

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MAURO GIOVANI TAFFAREL

**PROJETO DE UMA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO DE AR-COMPRESSO: ESTUDO
DE CASO DO LABORATÓRIO DE ENSINO NO CURSO DE ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

**Bagé - RS
2015**

MAURO GIOVANI TAFFAREL

**PROJETO DE UMA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO DE AR-COMPRESSO: ESTUDO
DE CASO DO LABORATÓRIO DE ENSINO NO CURSO DE ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Me. Maurício Nunes Macedo de Carvalho.

**Bagé - RS
2015**

MAURO GIOVANI TAFFAREL

**PROJETO DE UMA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO DE AR-COMPRESSO: ESTUDO
DE CASO DO LABORATÓRIO DE ENSINO NO CURSO DE ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de produção da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 29 de janeiro de 2015.

Banca examinadora:

Prof. Me. Maurício Nunes Macedo de Carvalho
Orientador
UNIPAMPA – CAMPUS BAGÉ

Prof. Me. Vanderlei Eckhardt
Avaliador
UNIPAMPA – CAMPUS BAGÉ

Prof. Me. Cesar Antonio Mantovani
Avaliador
UNIPAMPA – CAMPUS BAGÉ

RESUMO

A Automação Industrial, por estar cada vez mais presente, tanto nas plantas industriais quanto no nosso cotidiano, facilitando a vida das pessoas, seja num processo fabril, em que máquinas passam a executar funções repetitivas que até então eram feitas por trabalhadores; seja proporcionando conforto em sistemas de uso pessoal e domiciliar, como no caso de acessarmos contas bancárias através de celulares, programarmos um sistema de alarme ou, simplesmente, acionarmos portões eletrônicos. Comumente utilizado como fonte de energia para acionamento dos automatismos do maquinário industrial, o ar comprimido, através dos princípios da pneumática, tornou-se uma opção inteligente e com bom custo benefício. O presente trabalho tem por finalidade projetar uma linha de distribuição de ar comprimido para uso nos laboratórios do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), campus Bagé, RS, que conta com dois laboratórios que dependem de linha de ar comprimido para abastecer seus equipamentos: o Laboratório de Automação Industrial e o Laboratório de Metrologia – LaMet. A metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho é de caráter quantitativo, sendo delineada como um estudo de caso, que busca um estudo aprofundado de um, ou poucos objetos. No final deste estudo, é apresentado o projeto de uma rede de distribuição de ar comprimido, mostrando a vazão total necessária para abastecer os equipamentos presente nos laboratórios, o dimensionamento e o leiaute da rede de ar comprimido

Palavras-chave: Automação, pneumática, rede de ar-comprimido.

ABSTRACT

The Industrial Automation, to be increasingly present in both industrial plants and in our daily lives, making people's lives, whether in a manufacturing process in which machines are to perform repetitive tasks that were previously done by workers; is providing comfort in personal and home-use systems, such as we access bank accounts through mobile, to program an alarm system or simply trigger-grinders electronic gates. Commonly used as an energy source to drive the automation of industrial machinery, compressed air, through the principles of pneumatics, has become a smart and cost effective option. This study aims to design a compressed air distribution line for use in Production Engineering Course laboratories of the Federal University of Pampa (UNIPAMPA) campus Bage, RS, which has two laboratories that rely on compressed air line to supply their equipment: the Industrial Automation Laboratory and Metrology Laboratory - Lamet. The methodology used in the development of the work is of quantitative character, being delineated as a case study, which seeks a thorough study of one or a few objects. At the end of this study, we present the design of a compressed air distribution network, showing the total flow needed to supply this equipment in laboratories, the design and layout of the compressed air network.

Keywords: Automation, pneumatics, compressed air network.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução dos sistemas de automação	17
Figura 2 – Elementos de um Sistema Automatizado.....	18
Figura 3 – Pirâmide de automação	20
Figura 4 – Automação e uso de computadores em sistema de produção	22
Figura 5 – Classificação dos tipos de automação: volume e variedade de produção	22
Figura 6 – Sistema de produção, armazenamento e condicionamento de ar comprimido	27
Figura 7 – Tipos conceptivos de compressores.....	28
Figura 8 – Princípio funcional do compressor por redução de volume.....	29
Figura 9 – Ciclo de um compressor alternativo.....	30
Figura 10 – Compressor de palhetas.....	31
Figura 11 – Compressor parafuso.....	31
Figura 12 – Compressor de lóbulos	32
Figura 13 – Compressor radial	33
Figura 14 – Detalhe interno do turbocompressor axial	34
Figura 15 – Acionamento motor elétrico.....	36
Figura 16 – Acionamento motor à explosão.....	36
Figura 17 – Resfriador posterior.....	39
Figura 18 – Reservatório de ar comprimido.....	40
Figura 19 – Secador por refrigeração ou secagem em baixa temperatura.....	42
Figura 20 – Secagem por absorção.....	43
Figura 21 – Secagem por adsorção	44
Figura 22 – Localização da central geradora.....	46
Figura 23 – Rede de circuito aberto.....	48
Figura 24 – Rede de circuito fechado	48
Figura 25 – Fixação das redes nas colunas: a) por pendurais e b) por grampos.	49
Figura 26 – Elementos que compõem uma rede pneumática	50
Figura 27 – Engate rápido	51
Figura 28 – Inclinação de 0,5 a 2% do comprimento.....	51
Figura 29 – Purgador	52
Figura 30 – Efeitos do ar comprimido contaminado	53
Figura 31 – Tipos de contaminantes.....	53

Figura 32 – Manômetro tipo tubo de Bourdon	55
Figura 33 – Unidade de condicionamento ou LUBRIFIL.....	55
Figura 34 – Volume corrente.....	56
Figura 35 – Variáveis e unidades	57
Figura 36 – Queda de pressão.....	57
Figura 37 – Pressão de regime.....	58
Figura 38 - Delineamento da pesquisa	62
Figura 39 - Linha de ar comprimido.....	64
Figura 40 – Visão geral dos laboratórios.....	65
Figura 41- Ampliação laboratório 1113	66
Figura 42 – Rede de distribuição dos laboratórios	66
Figura 43 – Vista frontal da Central Geradora	67
Figura 44 - Relação dos equipamentos presente na rede pneumática	67
Figura 45 - Exemplo de linha pneumática.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de equipamentos presentes nos laboratórios de EP, e seus respectivos consumos de ar.	63
Tabela 2 - Comprimento retilíneo das linhas de alimentação de ar comprimido.	71
Tabela 3 - Singularidades da linha tronco ou principal.	72
Tabela 4 - Singularidades da linha secundária.	74
Tabela 5 – Singularidades das linhas de alimentação.....	76
Tabela 6 - Resumo dos elementos presentes na rede de distribuição de ar comprimido.	77

LISTA DE SIGLAS

CAD – Projeto Auxiliado por Computador (*Computer-aided Design*)

CAM – Manufatura Auxiliada por Computador (*Computer-aided Manufacturing*)

CIM – Manufatura Integrada por Computador (*Computer Integrated Manufacturing*)

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa

LABESI - Laboratório de Ergonomia e Segurança Industrial

LaMet - Laboratório de Metrologia

LABEM - Laboratório de Ensaios Mecânicos

LaFa - Laboratório de Fabricação

EP – Engenharia de Produção

PCM – Pés Cúbicos por Minuto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Contextualização do tema	11
1.2	Justificativa	13
1.3	Questão de pesquisa	14
1.4	Objetivos.....	14
1.4.1	Objetivos Específicos	14
1.5	Escopo e delimitação do trabalho	15
1.6	Estrutura do trabalho	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	Automação industrial.....	16
2.2	A automação como instrumento de ensino nas engenharias	18
2.3	Arquitetura da Automação Industrial.....	20
2.3.1	Automação dos sistemas de produção da fábrica	22
2.3.2	Controle computadorizado dos sistemas de apoio à produção	24
2.4	Pneumática	25
2.5	Produção de ar-comprimido.....	27
2.5.1	Compressores Volumétricos.....	28
2.5.2	Compressores Dinâmicos	32
2.5.3	Crítérios para escolha do compressor.....	34
2.6	Preparação do ar-comprimido	38
2.6.1	Resfriador posterior	38
2.6.2	Reservatório de ar-comprimido	39
2.6.3	Secador de ar	41
2.6.4	Filtro de ar-comprimido	44
2.7	Distribuição de ar comprimido	45
2.7.1	Efeitos causados pelo ar comprimido contaminado	52
2.8	Condicionamento do ar comprimido	53
2.8.1	Filtragem do ar	54
2.8.2	Regulagem da pressão	54
2.8.3	Manômetro	54
2.8.4	Lubrificação.....	55

2.9	Dimensionamento de circuitos pneumáticos	56
2.9.1	Dimensionamento da linha principal	56
2.9.2	Dimensionamento da linha secundaria	58
2.9.3	Cálculo do Consumo de ar de cilindros	59
3	METODOLOGIA	60
3.1	Método da pesquisa	60
3.2	Seleção da abordagem de pesquisa	60
3.3	Coleta e análise dos dados	61
3.4	Limitações do método	61
3.5	Procedimentos Metodológicos	62
4	RESULTADOS E ANÁLISE DE PESQUISA	63
4.1	Leiaute da rede de distribuição	64
4.2	Produção, preparação e condicionamento do ar comprimido	67
4.2.1	Compressor de ar	68
4.2.2	Resfriador Posterior	68
4.2.3	Dimensionamento de reservatório	68
4.2.4	Filtros de ar comprimido	69
4.2.5	Secadores de ar	70
4.3	Dimensionamento das tubulações	70
4.3.1	Calculando a Linha tronco:	71
4.3.2	Calculando as linhas secundárias:	73
4.3.3	Calculando as linhas de alimentação:	75
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
5.1	Conclusões da Pesquisa	78
5.2	Limitações da Pesquisa	79
5.3	Sugestões para pesquisas futuras	79
	REFERÊNCIAS	81
	ANEXOS	83

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a contextualização do tema, onde procurar-se-á explicar os conceitos envolvidos no assunto, bem como um histórico desde o surgimento da Automação Industrial. Explicar-se-á os principais níveis de automação, seus tipos quanto ao fluido utilizado, e a importância do estudo da Automação no curso de Engenharia de Produção, com o intuito de fundamentar e apresentar os objetivos desta pesquisa.

1.1 Contextualização do tema

Qualificação em um curso de graduação bem estruturado, com aparelhamento de ponta, é o que qualquer ingressante em uma universidade deseja. Este é um dos atributos que definem um ensino de qualidade para a maioria dos estudantes que escolheram uma área da engenharia ou tecnologia como futuro ofício. Nos cursos pertencentes às ciências exatas e biológicas, principalmente, isso implica em investimentos nas áreas universitárias voltadas à prática, como laboratórios de ensino e pesquisa das mais diversas espécies que possibilitem a demonstração de experimentos visando a aprendizagem de maneira palpável e, simuladora das possibilidades de trabalho após a graduação, bem como, a realização de trabalhos para análise e produção de dados científicos.

Laboratórios voltados às graduações de engenharia, em geral englobam desde espaços destinados a experiências com produtos químicos, passando por laboratórios de informática e chegando a avançados centros tecnológicos de simulação e maqueteamento, como é o caso da automação, da robótica, da mecatrônica entre outros. O que todos têm em comum é a especificidade de sua estrutura e aparelhagem, que apresenta desde móveis planejados e ergonômicos e, até mesmo, chega a sistemas de encanamento ou maquinário permissivo às simulações em pequena escala de situações realistas em indústrias e grandes empreendimentos.

Segundo Moraes e Castrucci (2007), automação é todo sistema apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano a fim de aperfeiçoar processos e serviços, a favor da qualidade e da segurança humana envolvida, bem como da eficácia da produção – acelerando processos e reduzindo custos. Para o autor, esta última não é a meta principal, automatizar qualquer processo industrial hoje visa muito mais os atributos do produto, como: flexibilidade de modelos para oferta, maior nível de qualidade, menores perdas de material e energia, aumento na segurança dos trabalhadores e do meio em que se insere a indústria,

melhor acesso e qualidade na informação sobre o processo, além de controle de produção e planejamento mais certos.

Automação significa a dinâmica organizada dos automatismos, ou seja, suas associações de uma forma otimizada e direcionada à consecução dos objetivos do progresso humano. Portanto, não é, nunca foi e nunca será a mera substituição do elemento humano dentro do processo fabril, mas sim um meio de garantir alta produtividade com elevada eficiência e padrão de qualidade, permitindo redução no custo final do produto, bem como sua disponibilidade em tempo relativamente menor e em quantidades maiores (FIALHO, 2011, p.17).

Historicamente, o termo automação, conforme Moraes e Castrucci (2007), surgiu como um neologismo, criado pela área empresarial do *marketing*, na década de 60, para se referir às linhas industriais que se baseavam em computadores controladores, principalmente, na indústria de equipamentos. Já Groover (2011), afirma que o termo original, *automation*, teria sido criado por um engenheiro da britânica Ford Motors Company, em 1946, ganhando notoriedade, talvez, no pós-guerra, quando da ascensão das indústrias automobilísticas.

A humanidade se utiliza de fluidos sob pressão há séculos. Contudo, no meio industrial, apenas após a Segunda Guerra Mundial sabe-se que começaram a ser aplicados. No Brasil, o impulso a esse artifício se deu a partir da década de 1960, com a chegada da indústria automobilística e o surgimento da Automação Industrial (FIALHO, 2011).

Podemos dividir a Automação Industrial, sob o ponto de qual fluido se utiliza, em dois grupos: Automação Hidráulica e Automação Pneumática.

A pneumática utiliza como fonte de energia a compressão do ar atmosférico em um reservatório, transformando-o em ar comprimido para acionamento de seus automatismos. Apesar de o ar ser um recurso abundante, ele necessita de uma série de tratamentos até chegar às condições apropriadas para uso. Tais condições são: pressão adequada e qualidade. A pressão adequada é conseguida através de compressores, já a qualidade necessita de muitos outros recursos como secadores, purgadores e filtros.

O presente estudo é desenvolvido na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), no Campus Bagé. Esta universidade conta com dez diferentes campi situados em diversas cidades do interior do Rio Grande do Sul. O campus Bagé, tem 1.514 alunos e conta atualmente com treze cursos, sendo eles: engenharia de produção, engenharia de alimentos, engenharia química, engenharia de computação, engenharia de energias renováveis e de ambiente, física, química, matemática, música e letras – currículo antigo, letras – português e literatura de língua portuguesa, letras – línguas adicionais inglês e espanhol e respectivas literaturas (CATÁLOGO INSTITUCIONAL UNIPAMPA, 2013).

O curso de Engenharia de Produção tem como objetivos oportunizar sólida formação técnica e científica e desenvolver atitude investigativa de modo a despertar nos alunos a busca constante de atualização, acompanhando a rápida evolução científica na área; formar profissionais habilitados ao projeto à operação, ao gerenciamento e melhoria de sistemas de produção de bens e serviços, integrando aspectos humanos, econômicos, sociais e ambientais, com visão ética; promover atividades práticas oportunizando ao discente desenvolver a relação entre o conteúdo teórico aprendido com a vivência prática através das aulas de laboratórios, visitas a empresas, participação em congressos, seminários e do estágio curricular supervisionado (PROJETO PEDAGÓGICO DO CURSO, 2013).

Atualmente, o curso da Engenharia de Produção da UNIPAMPA, campus Bagé, conta com 07 laboratórios: Laboratório de Automação Industrial, Laboratório de Projeto de Produto, Laboratório de Sistemas e Simulação, Laboratório de Ergonomia e Segurança Industrial – LABESI, Laboratório de Metrologia – LaMet, Laboratório de Ensaio Mecânicos – LABEM, Laboratório de Fabricação – LaFa (PROJETO PEDAGÓGICO DO CURSO, 2013).

Em se tratando especialmente dos laboratórios de Engenharia de Produção, estes dispõem de diversos equipamentos que utilizam de ar comprimido para seu funcionamento. Assim, com a preocupação de torna-los mais eficientes, apresentar-se-á como foco principal deste trabalho, fazer o dimensionamento da linha de ar comprimido, utilizada para alimentar os componentes pneumáticos dos mesmos.

1.2 Justificativa

A automação se faz presente no dia-a-dia do homem contemporâneo, seja em casa ou ambientes de lazer, onde os automatismos estão presentes, por exemplo, nos aparelhos de telefonia móvel, computadores de uso pessoal e afins, nos videogames, nos eletrodomésticos, em portões eletrônicos, em sistemas de alarme; ou na rua: nas máquinas de cartão de crédito, nos caixas de banco, nos metrô, nos *pardais*¹ ou, então, no ambiente de trabalho, em que temos sistemas de pontos eletrônicos de presença, esteiras de transporte de cargas industriais, sistemas computadorizados de aferição e medição de produtos, depósitos com controle automático, sistemas complexos anti-incêndio etc.

Como se percebe, a automação surgiu como uma tecnologia facilitadora do cotidiano humano, com ênfase à qualidade. No ambiente das indústrias, não é diferente. Ademais, a

¹ Pardais = controladores de velocidade de trânsito

automação permite o rigoroso controle e cumprimento de normas ambientais, cito como exemplos: os controladores de emissão de gases e liberação de efluentes, ou sistemas de reciclagem e aproveitamento de resultantes da produção, entre outros. A Automação Industrial está na atualidade entre as áreas da produção que mais garantem desenvolvimento e competitividade – sendo um diferencial da empresa que a aplica sabiamente.

A Engenharia de Produção, dedicada à gestão e ao planejamento principalmente das indústrias, deve formar profissionais que dominem os sistemas básicos da Automação Industrial, havendo um primeiro contato teórico e prático sólido com a área, obrigatoriamente, durante a graduação. Para isso, então, faz-se de suma importância um laboratório que forneça toda estrutura e condição necessária ao processo de aprendizagem pleno.

Tendo em vista a melhoria da estrutura física do Laboratório da Engenharia de Produção da UNIPAMPA para que seus alunos tenham acesso a um ensino de excelência no que se refere à Automação Industrial, faz-se essencial que este espaço disponha de um sistema de distribuição de ar comprimido apropriado, destinando-se à simulação de sistemas pneumáticos automatizados.

1.3 Questão de pesquisa

Como realizar o projeto de uma rede de distribuição de ar-comprimido para uso nos laboratórios de ensino em engenharia de produção?

1.4 Objetivos

Projetar uma rede de geração, tratamento e distribuição de ar-comprimido para o uso nos laboratórios de ensino no curso de Engenharia de Produção.

1.4.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo principal deste estudo, se deve cumprir os seguintes objetivos específicos:

- a) Descrever a forma de produção, preparação e distribuição de ar-comprimido;
- b) Apresentar o método de dimensionamento de redes de ar-comprimido;
- c) Investigar quais são os equipamentos pneumáticos utilizados no laboratório de ensino, objeto desta pesquisa.

1.5 Escopo e delimitação do trabalho

Este estudo delimita-se ao projeto do dimensionamento de uma rede de distribuição de ar-comprimido nos laboratórios de ensino do curso de Engenharia de Produção. Para o cálculo do dimensionamento, realizou-se o levantamento de todas as variáveis necessárias para o projeto, tais como: consumo dos equipamentos presentes no laboratório que dependem do abastecimento de ar comprimido para seu funcionamento, pontos de instalação, área e perímetro dos laboratórios, solicitações dos usuários do ambiente, entre outros.

Depois de realizado o dimensionamento, utilizou-se o software SketchUp para ilustrar o desenho em 3D da rede pneumática para o laboratório, possibilitando uma visão ampla do projeto.

Esta pesquisa elaborou o projeto pneumático de uma rede de distribuição de ar-comprimido sem, no entanto, realizar estudos a respeito do custo de seu dimensionamento, bem como, ciclo de vida dos produtos e equipamentos utilizados.

1.6 Estrutura do trabalho

No capítulo I, é apresentada a introdução ao assunto que é proposto nesta pesquisa, subdividindo em: contextualização do tema, justificativa, questão de pesquisa, os objetivos, delimitação do trabalho e estrutura do trabalho.

No capítulo II, é exposta a fundamentação teórica, que abrange os temas desta pesquisa, tais como: Automação industrial, sua definição e histórico; arquitetura da automação industrial, nos sistemas de produção e controles computadorizados dos sistemas; pneumática, falando sobre a produção, preparação, distribuição e condicionamento do ar comprimido e por último tratando do dimensionamento dos circuitos pneumáticos.

No capítulo III, é apresentada a metodologia selecionada para esta pesquisa a para alcançar os objetivos, falando sobre o método que será utilizado e a classificação da pesquisa.

No capítulo IV, são apresentados os resultados e a análise da pesquisa, através de cálculos e tabelas.

No capítulo V, são apresentadas as conclusões sobre esta pesquisa, bem como limitações da pesquisa e sugestões para pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentado o embasamento teórico desta pesquisa, onde se explicita, inicialmente, os conceitos de automação industrial e sua arquitetura junto aos sistemas de produção. Após são apresentadas detalhadamente as características dos fluidos pneumáticos e as que predizem a fabricação e uso de uma linha de ar comprimido a fim de seu emprego em automação.

2.1 Automação industrial

De forma direta, Ribeiro (2001) afirma que toda vez que se substitui a realização de um trabalho outrora humano ou animal pelo trabalho de uma máquina, podemos denominar automação.

Segundo Groover (2011), ainda que os processos de automação surjam, então, sob uma óptica fria, como substituintes de operários, inúmeros autores defendem que tal substituição torna-se legítima e justa, uma vez que se destina ao refino da produção, agregando qualidade ao produto, segurança à linha de produção em que se instaura, acelerando o processo fabril e diminuindo o custo. O homem, conclui-se, ainda se faz fundamental, mas agora no controle dessas máquinas.

Por tanto, pode-se dizer que os processos de automação estão sempre, ao longo da história da humanidade, em relação direta com o surgimento de dispositivos mecânicos. O advento pré-histórico da roda, seguida tempos depois pelo desenvolvimento de sistemas rudimentares de alavanca e guincho e *a posteriori* agregados, no medieval, aos parafusos e engrenagens, com certeza foram o substrato para que se construíssem sistemas mecânicos mais refinados, como os moinhos de farinha, surgidos com o antigo hábito de cultivar trigo e comer pão, aproximadamente nos anos 85 a.C.; os moinhos de vento, tão presentes nos feudos; e as máquinas a vapor, marco da Revolução Industrial Inglesa.

A Figura 1 apresenta cronologicamente, a evolução dos sistemas de automação desde que o homem dispôs até os dias atuais:

Figura 1 – Evolução dos sistemas de automação

Século XVIII	<ul style="list-style-type: none"> - 1733: Lançadeira volante - 1765: James Watt inventa a máquina a vapor; - 1775: mandriladora; - 1785: James Watt e Matthew Boulton melhoram a máquina a vapor, com o desenvolvimento do controlador centrífugo; - 1787: barco a vapor; - por volta de 1800: peças intercambiáveis;
Século XIX	<ul style="list-style-type: none"> - 1803: locomotivas; - 1881: eletrificação;
Século XX	<ul style="list-style-type: none"> - 1913: linha de montagem; - 1924: linhas de transferência mecanizadas; - 1930 a 1940: teorias matemáticas sobre sistemas de controle; - 1944: <i>Harvard University</i> - computador eletromecânico MARK I; - 1946: Del Harder cunha o termo <i>automation</i> – referindo-se aos vários dispositivos automáticos desenvolvidos nas linhas de produção e montagem da <i>Ford Motor Company</i> (Reino Unido); - 1946: Universidade da Pensilvânia (EUA) - surge o primeiro computador eletrônico digital; - 1948: surgimento dos transistores; - 1952: MIT – <i>Massachusetts Institute of Technology</i> (EUA) – criada e demonstrada a primeira máquina-ferramenta de controle numérico; - 1954: projetado primeiro robô industrial; - 1956: surge o Disco Rígido para computadores; - 1960: desenvolvidas as pastilhas de Circuitos Integrados; - 1961: George Devol tem a patente do robô industrial; - 1961: primeiro robô instalado a fim de descarregar peças em operação de fundição; - 1961: linguagem de programação APT para CN (<i>controle numérico</i>) de máquinas-ferramenta; - 1960 – 1970: computadores digitais são conectados a máquinas-ferramenta; - Fim da década de 60: <i>Ingersoll Rand Company</i> instaura o primeiro sistema de manufatura flexível dos EUA; - 1969: introduzido primeiro CLP – <i>Controlador Lógico Programável</i>; - 1969: sistema operacional UNIX; - 1971: surge o microprocessador; - 1978: <i>Apple Computer</i> apresenta o primeiro PC – computador pessoal; - 1979: linguagem VAL para programação de robôs; - 1984: memória RAM (<i>Random Access Memory</i>); - 1985: <i>Microsoft Windows</i> – o sistema operacional que torna famoso Bill Gates - 1990: chips de memória com capacidade de armazenar milhões de bytes; - 1993: a Microsoft cria o processador <i>Pentium</i>; - 1995: linguagem de programação JAVA.
Século XXI até os dias atuais	<ul style="list-style-type: none"> - 2000: Criada a automação na Web, para supervisão remota de processos com produção automatizada. A solução integra PLCs e outros componentes em uma arquitetura aberta usando Ethernet e os protocolos internet para conectar via Web.

Fonte: GROOVER (2011), adaptado pelo autor (2014)

Nos idos dos anos 1800, os três elementos básicos de um sistema automatizado já existiam – mesmo que primitivos quando comparados aos sistemas atuais.

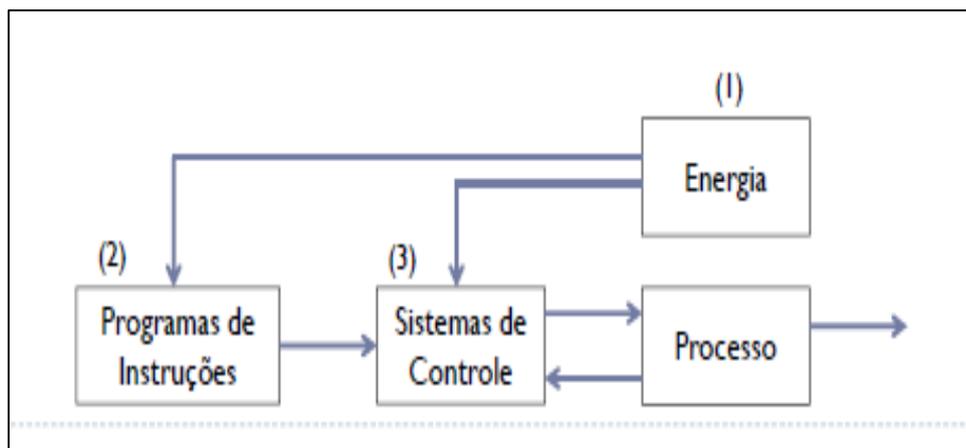
O primeiro elemento é a energia, atrelada a todos os processos, sejam eles mecânicos, hidráulicos, químicos ou pneumáticos, que um sistema dispõe e a capacidade deste de transformar ou transmitir essa energia durante o processo.

Em 1785, o já citado controlador centrífugo que tinha a função de retroalimentar e controlar a válvula da máquina a vapor, foi um dos primeiros mecanismos de controle importantes, a que costumamos chamar de controle em *feedback*. Os controladores exemplificam o segundo elemento básico da automação: controle.

O terceiro elemento é a capacidade das máquinas de serem programáveis. Isso se dá através de sistemas que permitam instruções distintas à máquina e execução a partir dessas instruções, com capacidade de programação única ou até múltipla em uma mesma máquina. Daí, gera-se a possibilidade de uma mesma máquina produzir séries diversas de produtos.

Então, para um sistema ser considerado automatizado, deve unir essencialmente esses três elementos. Na Figura 2, Groover (2011) apresenta, os elementos de um sistema automatizado:

Figura 2 – Elementos de um Sistema Automatizado



Fonte: Groover (2011)

2.2 A automação como instrumento de ensino nas engenharias

Atualmente, as instituições universitárias enfrentam mudança no processo pedagógico importante no âmbito das graduações em Engenharia. Isso se deve às reformas governamentais impostas, desde 1996, com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional e, em 2002, com a publicação no Diário Oficial da União, das Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Desde então, exige-se mudanças importantes nas grades curriculares dos cursos de engenharia, com efeito sobre as grades disciplinares das graduações e suas cargas horárias (PINTO; PORTELA; OLIVEIRA, 2003).

Esse desafio pedagógico de realizar as adequações exigidas, mantendo o foco na qualidade de formação dos acadêmicos, tem sido motivo de muitas discussões entre mestres universitários dos cursos de engenharias nos últimos anos, buscando o ensino ideal ao preparo de profissionais competentes e colaborativos ao desenvolvimento brasileiro. (NEVES *et al.*, 2007) corrobora o assunto, afirmando:

Os cursos de engenharia elétrica, engenharia mecânica, engenharia de produção, engenharia de controle e automação vêm se colocando na contingência de munir seus estudantes de ferramentas que os possibilitem de, no menor tempo possível, se adequarem ao cotidiano técnico de uma empresa e, pelo maior tempo possível, estarem preparados para se atualizar tecnicamente. Estes objetivos, em parte conflitantes, conduzem para a seguinte questão: qual o compromisso ideal entre profundidade e abrangência quando se leciona uma disciplina de automação industrial? De fato, as limitações de tempo num curso de engenharia obrigam que se opte ou por aprofundar certos tópicos da matéria, deixando o aluno sem visão de conjunto, ou por dar uma ideia geral do problema, deixando lacunas na formação do estudante que tornarão mais lento o acompanhamento dos avanços de seu campo de trabalho. E assim, a formação de engenheiros qualificados para o futuro é necessária equilibrando estas decisões sobre profundidade e abrangência (NEVES *et al.*, 2007).

Quando se traz, então, essas preocupações para o ensino da automação, robótica e mecatrônica, têm basicamente dois enfoques direcionados ao aprendizado: o primeiro enfoque volta-se àquele ensino tradicionalista, em que se utilizam robôs industriais e se evidencia ao aluno a definição clássica da robótica: um conjunto de conceitos físicos básicos e complexos, que vão da mecânica à inteligência artificial e que, assim, juntos, formam um robô. Ensina-se o aluno a fabricá-lo, lidar com ele e reconhecer suas limitações e atributos. O segundo enfoque é o pedagógico, centrado em como propiciar ambientes de aprendizado capazes, através da robótica, de preparar o aluno para vivenciar e experienciar situações que o remetam à realidade futura, com a aplicação da robótica industrial ou nas mais diversas áreas científicas – tornando o aluno um futuro profissional potencialmente competente ao mercado de trabalho.

O que se identifica hoje nas graduações de Engenharia brasileiras, principalmente nas Engenharias de Computação e nas de Controle e Automação (Mecatrônica), é uma tendência ao segundo enfoque – o qual não abdica do primeiro, mas apenas o usa como instrumento de base ao segundo. Um notável exemplo é o curso de Engenharia Mecatrônica da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), que desde 1998 forma engenheiros capazes de atuar na interface entre os sistemas produtivo e gerencial de empresas (D'ABREU, 1999).

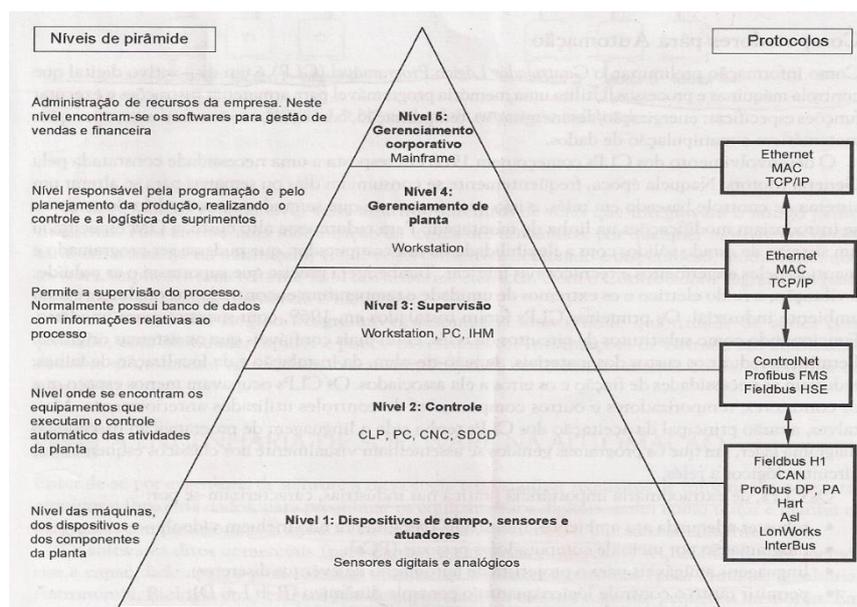
Sobre os engenheiros recentemente formados na Unicamp, (D'ABREU, 1999, p. 2) ainda complementa:

Espera-se que estes engenheiros tenham uma formação interdisciplinar com conhecimentos nas áreas de mecânica, eletrônica, instrumentação industrial, informática, controle e gestão da produção. Isso possibilitará, a este profissional, elaborar estudos e projetos, bem como participar da direção e fiscalização de atividades relacionadas com o controle de processos e a automação de sistemas industriais. O objetivo aqui é a formação de um profissional apto a atender às crescentes e variáveis demandas impostas pelas alterações tecnológicas, sociais e econômicas que vêm acontecendo, neste final do Século XX, e que certamente acontecerão de forma mais intensa e acentuada no Século XXI. É aí, que acreditamos, que ambientes de aprendizagem baseados no uso de dispositivos robóticos exerce um papel importante no processo de formação deste profissional (D'ABREU, 1999, p. 2).

2.3 Arquitetura da Automação Industrial

Moraes e Castrucci (2007), apresentam a Pirâmide de Automação (Figura 3) para ilustrar os diferentes níveis de automação que podem estar presentes nas plantas/projetos de uma indústria. O controle programável está ligado diretamente com a base da pirâmide, onde se atua sobre o processo produtivo com a operação de máquinas. Já no topo da pirâmide, encontra-se o setor corporativo da empresa, que tem como característica marcante a informatização.

Figura 3 – Pirâmide de automação



Fonte: Moraes e Castrucci (2007)

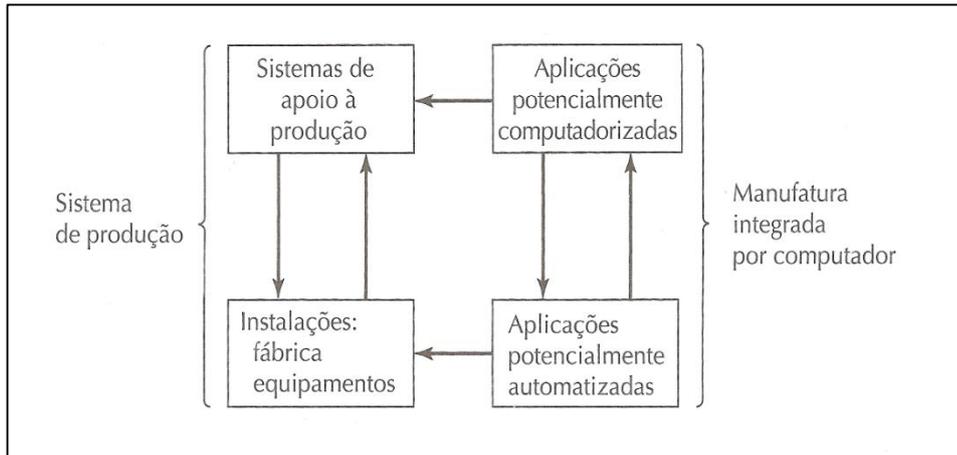
Conforme a Figura 3 vê-se diferentes níveis de automação, tais como:

- Nível 1: é o nível das máquinas, dispositivos e componentes. Ex.: máquinas de embalagens, linha de montagem ou manufatura.
- Nível 2: É o nível dos controladores digitais, dinâmicos e lógicos e de algum tipo de supervisão. Aqui se encontram concentradores de informações sobre o nível 1, e as interfaces homem – máquina.
- Nível 3: Permite o controle do processo produtivo; normalmente é constituído por bancos de dados com informações com os índices de qualidade da produção, relatórios e estatística de processos. Ex.: a avaliação de controle da qualidade em processo químico ou alimentício.
- Nível 4: É o nível responsável pela programação e planejamento da produção, realizando controle e a logística dos suprimentos. Ex.: Controle de suprimentos e estoques em função da sazonalidade e da distribuição geográfica.
- Nível 5: é o nível responsável pela administração dos recursos da empresa, em que se encontram os softwares para gestão de vendas e financeira; é também onde se realizam a decisão e o gerenciamento de todo o sistema.

Vê-se que os mecanismos automatizados estão cada vez mais presentes nos sistemas de produção, ainda que existam muitos componentes do sistema operando manualmente ou administrativamente, onde vínculo humano persiste em determinados momentos. Contudo, boa parte dos sistemas ainda humanizados podem vir, no futuro, a se tornarem automatizados.

Para Groover (2011), os elementos automatizados de uma linha industrial podem ser classificados em duas categorias: a automação dos sistemas de produção da fábrica e o controle computadorizado dos sistemas de apoio à produção, podendo, comumente nos dias atuais, essas categorias se encontrarem ao mesmo tempo em um mesmo sistema de produção; ou seja, embora a classificação separe, a apresentação e identificação de computadores de apoio à linha industrial funcionando concomitantemente a máquinas, muitas vezes as controlando ou acompanhando o funcionamento é situação corriqueira em chãos fabris contemporâneos. As duas categorias, então, se sobrepõem, como mostra o fluxograma, na Figura 4.

Figura 4 – Automação e uso de computadores em sistema de produção



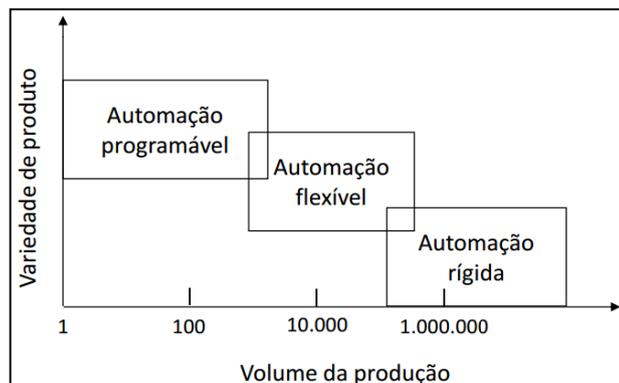
Fonte: Groover (2011)

2.3.1 Automação dos sistemas de produção da fábrica

Destinados a operar sobre o produto físico, os sistemas de produção automatizados tentam se basear minimamente no trabalho humano se comparado ao mesmo processo manual. Estes automatismos normalmente executam operações como montagem, inspeção e gerenciamento de materiais. Existem casos de sistemas muito automatizados, em que quase não se faz uso da mão-de-obra humana.

De acordo com Groover (2011), podemos classificar os sistemas de produção automatizados em três tipos, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 – Classificação dos tipos de automação: volume e variedade de produção



Fonte: Groover (2011)

A Automação Fixa caracteriza-se por ser composta de máquinas que realizam sequência de operações fixa, configuradas previamente e restritas quanto às tarefas programadas. Exigem um investimento inicial alto, por se tratarem de máquinas que atendam a funções determinadas da linha de produção, com atributos e peças específicas que lhe permitam a funcionalidade a que se destinam – como, por exemplo, encaixar uma peça no produto. Costumam integrar a linha produtiva de manufaturas em grande escala, que supram em produtividade e agilidade de produção, o custo de emprego dessas máquinas específicas. Contudo, por serem fixas, não possibilitam mudanças de configuração de funções, nem muito menos produtos diferenciados entre si (GROOVER, 2011).

Na automação programável, o maquinário é desenvolvido com a capacidade de ser programável ao gosto da empresa; podendo-se, ao mudar a programação, alterar sequência de operações para acomodar diferentes configurações de produtos. A operação é controlada por um programa principal pré-elaborado, e novos programas podem ser criados e inseridos nas máquinas para aperfeiçoar características do produto, customizar ou mesmo produzir artefatos tão diferentes que podem ser considerados novos modelos.

Ao primeiro momento, da instalação da linha de produção, também elevam o custo da mesma, por serem específicos à fabricação de determinado produto e não terem tanta agilidade de demanda em relação à automação fixa. No entanto, a flexibilidade para configurar novas funções, lhes dá a vantagem de serem utilizados multiplamente, quem sabe em mais de uma linha de produção, e até desempenhando funções diferentes – o que os torna boas alternativas para produções em regime de lotes; ou seja, para produções em pequeno a médio volume. Os robôs industriais encaixam-se nessa categoria.

O tempo despendido para reconfigurar/reprogramar essas máquinas entre um lote e outro, ou mesmo remontar, com novas peças e acessórios, é um fator preponderante desta automação. O ciclo de produção deve, então, considerar essas fases de preparo do maquinário – o que, no final das contas, agrega custo ao produto final, por se produzir menos.

Na automação flexível, produzir muitos produtos ou peças em pouco tempo, volta a ser, como na fixa, possível graças a não existir tempo perdido de reprogramação do sistema das máquinas nem de remontagem de peças, como há na automação do tipo programável. O sistema flexível é capaz de produzir a partir de variadas programações e combinações destas, distintos produtos em uma mesma linha, ou seja, sem que precisem ser divididos em lotes.

Assim como nos anteriores, o investimento inicial em equipamentos específicos é grande. Porém, os sistemas flexíveis são capazes de produzirem composições de produto variáveis de forma contínua, aliando a versatilidade produtiva da automação programável e a

rapidez de produção da automação fixa, o que lhes confere uma capacidade de produtividade média. Na verdade, essa capacidade da automação flexível de mudar sem perda de tempo a programação de produção e a programação física das máquinas se dá graças à transferência eletrônica de dados para o sistema produtivo, determinando o momento exato de substituição da programação do sistema, que ora se comporta como rígido ora como programável.

2.3.2 Controle computadorizado dos sistemas de apoio à produção

Normalmente implementados por meio de computadores, os sistemas de apoio à produção têm como objetivo diminuir a quantidade de esforço manual e burocrático nas fases de projeto de produto, planejamento e controle da produção e nas funções de negociação da empresa. Os computadores também são utilizados para a implementação da automação de apoio à produção. Existem alguns sistemas computadorizados que abrangem todas as fases dos sistemas de apoio à produção em uma empresa - Manufatura Integrada por Computador (CIM).

Também podemos encontrar termos específicos ligados na caracterização de elementos do sistema CIM: Projeto Auxiliado por Computador (CAD – *computer-aided design*) – Utiliza recurso dos sistemas computadorizados especificamente atuando na função de projetar o produto; Manufatura Auxiliada por Computador (CAM– *computer-aided manufacturing*) – O sistema computadorizado executa funções de logística e engenharia do produto, como programar o maquinário para controle numérico da produção.

Ao se integrar ambos os sistemas de apoio à produção, temos os conhecidos sistemas CAD/CAM, os quais integram as duas funcionalidades em um único sistema, formando, assim, um efetivo sistema CIM. Os sistemas CIM, além de interferirem diretamente no resultado produtivo ou produto, são capazes de interferirem não só no produto físico, mas, sobremaneira, no produto intelectual, de planejamento técnico, logístico, comercial deste produto, formando um ciclo básico de funções que se reportam a quatro eventos principais – são eles: funções de negócio; projeto do produto; planejamento da produção; e controle da produção (GROOVER, 2011).

2.4 Pneumática

Define-se como o estudo dos fenômenos relacionados aos fluidos gasosos. O termo é oriundo da raiz grega *pneuma* - fôlego, sopro.

Como já exposto, a pneumática utiliza como fonte de energia a compressão do ar atmosférico, transformando-o em ar comprimido para acionamento de seus automatismos.

O uso da pneumática como fonte de energia para o sistema ao qual se insere, pode trazer muitas vantagens, algumas dessas vantagens despertam muito o interesse das fábricas. Parker (2007), lista algumas dessas vantagens para o uso da pneumática:

- Um acréscimo na produção com um investimento inicial relativamente pequeno;
- Custo operacional reduzido, devido ao fato de não precisar de um trabalhador na frente da máquina executando movimentos repetitivos - isso pode ser substituído por elementos pneumáticos;
- Facilidade de operação por parte dos funcionários, por não precisarem de grandes especializações para manuseio;
- Pelo fato dos equipamentos pneumáticos trabalharem sempre em pressões moderadas, aumenta a segurança dos trabalhadores;
- Com a diminuição de operações repetitivas feita pelos trabalhadores, e agora passando a serem executadas pelos controles pneumáticos, reduzem os acidentes provocados por fadiga.

Apesar de ter algumas boas vantagens, a pneumática, como todas as fontes de energia existentes, também apresenta algumas limitações. Parker (2007), quando se refere a tais limitações, afirma:

- Para obter um bom funcionamento, o ar precisa ser bem preparado antes de abastecer os equipamentos. Ele precisa estar completamente sem umidade, sem impurezas – se isso não ocorrer pode causar corrosão nos equipamentos;
- Quando comparados com outros sistemas, os elementos utilizados em pneumática normalmente atuam em pressões baixas, sendo assim não são aconselhados para o uso em operação de extrusão de metais. A pressão máxima utilizada por esses elementos é de 1723,6 KPa;
- O ar-comprimido apresenta velocidades muito baixas devido às suas propriedades físicas. Em casos que necessitam de maiores velocidades, são usados sistemas mistos (hidráulicos e pneumáticos);

- Por ser um fluido extremamente compressível, é impossível obter paradas intermediárias e velocidades uniformes. Quando são efetuadas exaustões para a atmosfera, o ar-comprimido torna-se um grande poluidor sonoro – uma das maneiras dessa poluição ser evitada deve-se ao uso de silenciadores nos orifícios de escape.

Uma das etapas fundamentais para produção do ar-comprimido é a compressão. Antes de chegar aos instrumentos que consumirão o ar para operar, ele passa por uma série de elementos ao longo do percurso. Normalmente os tipos de compressores que irão ser utilizados e seu posicionamento podem afetar em maiores ou menores proporções a quantidade de sujeiras, óleo e água que irão inserir-se no sistema pneumático.

Conforme Croser e Ebel (2002), a seguir alguns elementos utilizados para preparação e utilização do ar:

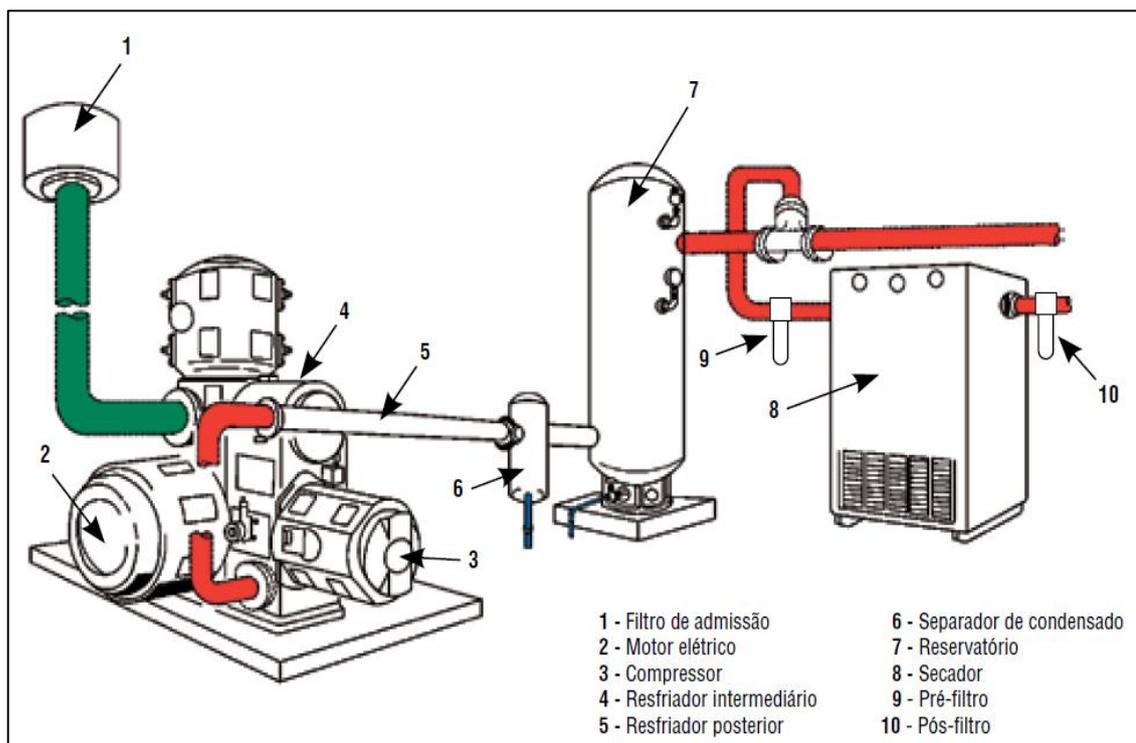
- Filtro de ar;
- Compressor de ar;
- Reservatório de ar;
- Secador de ar;
- Filtro de ar, com separador de água;
- Regulador de pressão;
- Lubrificador de ar, conforme solicitado;
- Pontos de drenagem.

Portanto, se o ar-comprimido for mal preparado irá fazer com que o sistema funcione de maneira errada, causando alguns danos como:

- Desgaste acelerado das vedações;
- Contaminação dos silenciadores;
- Corrosão dos componentes.

Na Figura 6, pode-se enxergar melhor um sistema de produção, armazenamento e condicionamento de ar comprimido segundo Parker (2007).

Figura 6 – Sistema de produção, armazenamento e condicionamento de ar comprimido



Fonte: Parker(2007)

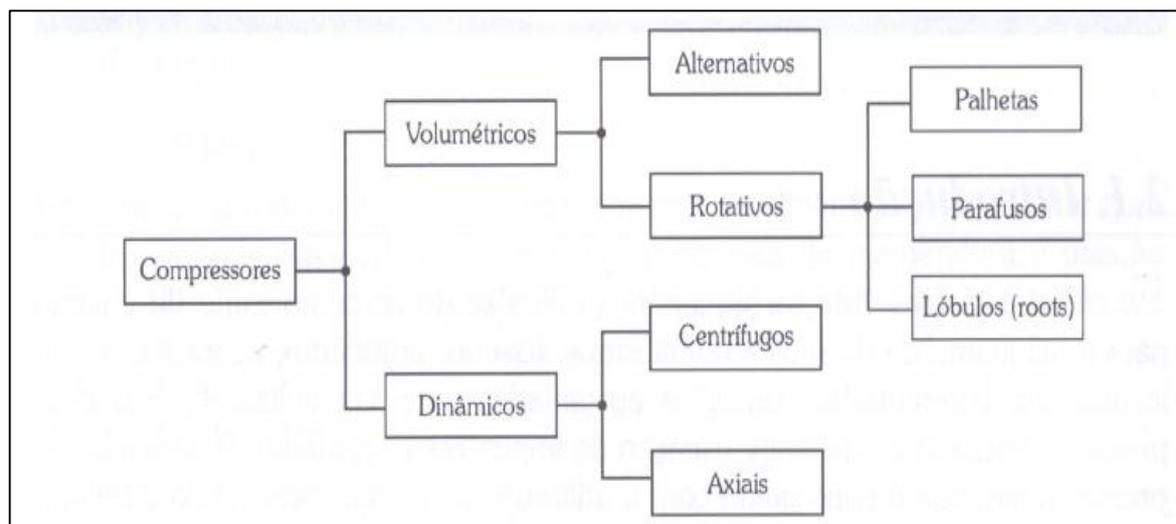
2.5 Produção de ar-comprimido

Por se tratar de uma das primeiras etapas na produção do ar-comprimido, os compressores são de suma importância para nosso conhecimento. Segundo Croser e Ebel (2002), existem muitos tipos de compressores disponíveis no mercado, porém a seleção é feita dependendo da quantidade de ar, qualidade e limpeza e o quão seco ele deve ser. Existem vários níveis desses critérios dependendo do tipo de compressor.

Conforme Parker (2007, p. 12), “compressores são máquinas destinadas a elevar a pressão de certo volume de ar, admitido nas condições atmosféricas, até uma determinada pressão, exigida na execução dos trabalhos realizados pelo ar comprimido”.

Fialho (2011), diz que os tipos de compressores usados no meio industrial atualmente são divididos em dois princípios conceptivos que os justificam: Volumétrico e Dinâmico, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 – Tipos conceptivos de compressores.



Fonte: Fialho (2011)

2.5.1 Compressores Volumétricos

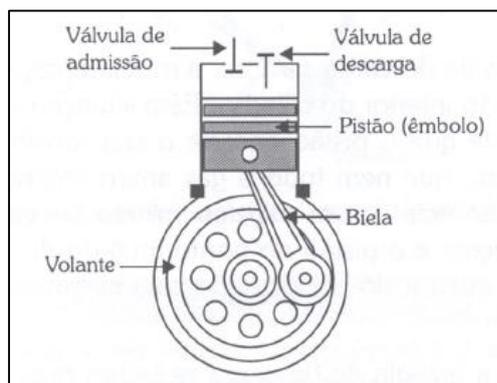
De acordo com Parker (2007), Compressores Volumétricos ou de deslocamento positivo têm como base reduzir o volume do gás para conseguir o aumento da pressão. Após atingir uma certa pressão é aberta a válvula de descarga, ou simplesmente o ar é empurrado para o tubo de descarga enquanto o volume da câmara de compressão vai diminuindo continuamente.

Segue abaixo exemplos de compressores volumétricos, conforme apresenta Fialho (2011):

a) Compressores Alternativos

Esses equipamentos utilizam um sistema biela-manivela para converter o movimento rotativo de um eixo no movimento translacional de um pistão ou êmbolo. Assim, a cada rotação do acionador, o pistão efetua um caminho de ida e outro de vinda na direção do cabeçote, criando um ciclo de operação. O funcionamento está ligado ao comportamento das válvulas, que possuem um componente móvel chamado de obturador, que compara as pressões interna e externa ao cilindro. O obturador da válvula de sucção se abre para dentro do cilindro quando a pressão da tubulação é maior que a pressão interna do cilindro, e mantém-se fechado em caso contrário. A Figura 8 exemplifica esse tipo de compressor.

Figura 8 – Princípio funcional do compressor por redução de volume



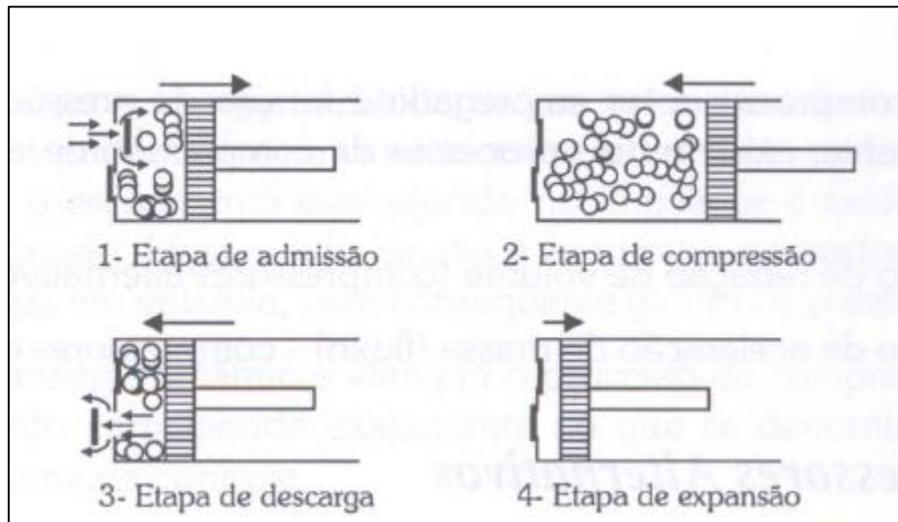
Fonte: Fialho (2011)

Na fase de admissão o pistão se movimenta na direção contrária ao cabeçote, fazendo com que a válvula de sucção seja aberta devido a uma tendência de depressão no interior do cilindro, e dessa maneira faz com que o gás seja aspirado. Se o movimento do pistão for o contrário, nesse caso no sentido do cabeçote, então teremos a fase de compressão, fazendo com que a válvula de sucção se feche e com isso a pressão interna do cilindro seja suficiente para promover a abertura da válvula de descarga.

Na fase de descarga o movimento do pistão no sentido do cabeçote, expulsa o gás do interior do cilindro para fora, devido a válvula de descarga estar aberta, acontece que nem todo o gás é expulso do cilindro porque existe uma parte chamada de volume morto, que fica entre o cabeçote e o pistão no ponto final de deslocamento deste, fazendo com que não caia instantaneamente a pressão no interior do cilindro, quando se inicia o curso de retorno.

Após a válvula de descarga se fecha, e começa a cair a pressão interna no interior do cilindro, até o momento que a pressão cair o suficiente para que a válvula de admissão volte a ser acionada, nesse momento em que as duas válvulas estão fechadas, é chamado de fase de expansão, e antecede a fase de admissão de um novo ciclo. As válvulas por funcionarem de modo automático, percebe-se que o compressor aspira e descarrega o gás, respectivamente, nas pressões exatas reinantes nas tubulações de sucção e descarga. A Figura 9 ilustra as etapas do compressor alternativo.

Figura 9 – Ciclo de um compressor alternativo.



Fonte: Fialho (2011)

- **Compressores alternativos de simples ação:** São assim chamados porque o êmbolo se movimenta de forma ascendente obtendo a compressão do ar em apenas uma direção.

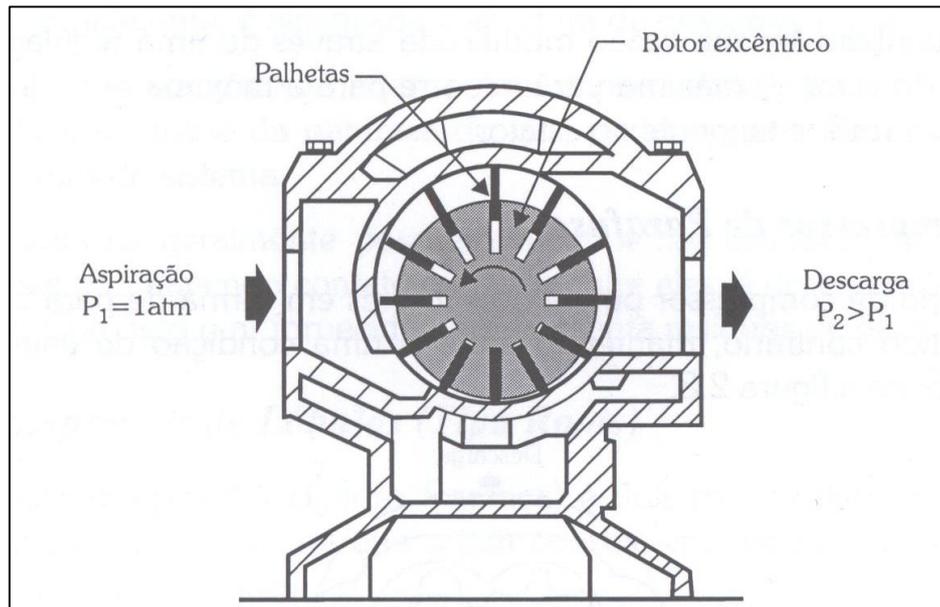
- **Compressores alternativos de dupla ação:** Esses compressores possibilitam que o ar seja comprimido em dois sentidos de deslocamento do êmbolo. Por apresentarem essa característica têm maior eficiência se comparados aos de simples ação.

b) Compressores Rotativos

Para que se atinjam a pressão ideal de utilização, esses compressores utilizam-se de movimentos rotacionais de elementos internos. De forma direta, eles promovem a sucção e compressão do ar. Esses compressores são divididos em três tipos: compressor de palhetas, de parafusos e de lóbulos.

- **Compressor de palhetas:** São assim chamados por possuírem um rotor ou tambor central que gira excêntrica em relação a carcaça, possuindo rasgos radiais que se prolongam por todo seu comprimento, onde são inseridas palhetas retangulares. Na Figura 10 pode ser visto com mais clareza.

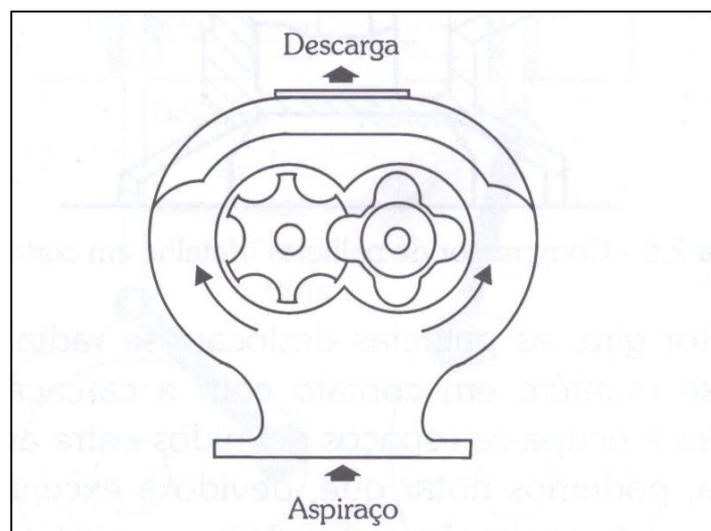
Figura 10 – Compressor de palhetas



Fonte: Fialho (2011)

- **Compressor de Parafuso:** Nesse tipo de compressor são encontrados dois rotores em forma de parafusos que giram em sentidos opostos, mantendo entre eles uma condição de engrenamento. Pode ser bem observado na Figura 11.

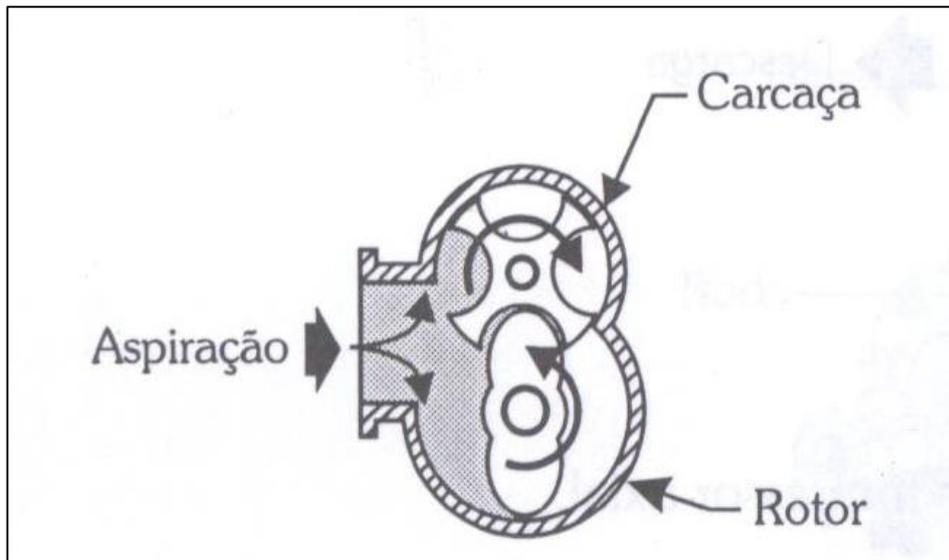
Figura 11 – Compressor parafuso



Fonte: Fialho (2011)

- **Compressor de lóbulos:** São formados por um cilindro e dois rotores descentrados, desenhados com muita precisão, se mantendo sempre tangentes ao cilindro e tangentes entre si. A Figura 12, exemplifica esse tipo de compressor.

Figura 12 – Compressor de lóbulos



Fonte: Fialho (2011)

2.5.2 Compressores Dinâmicos

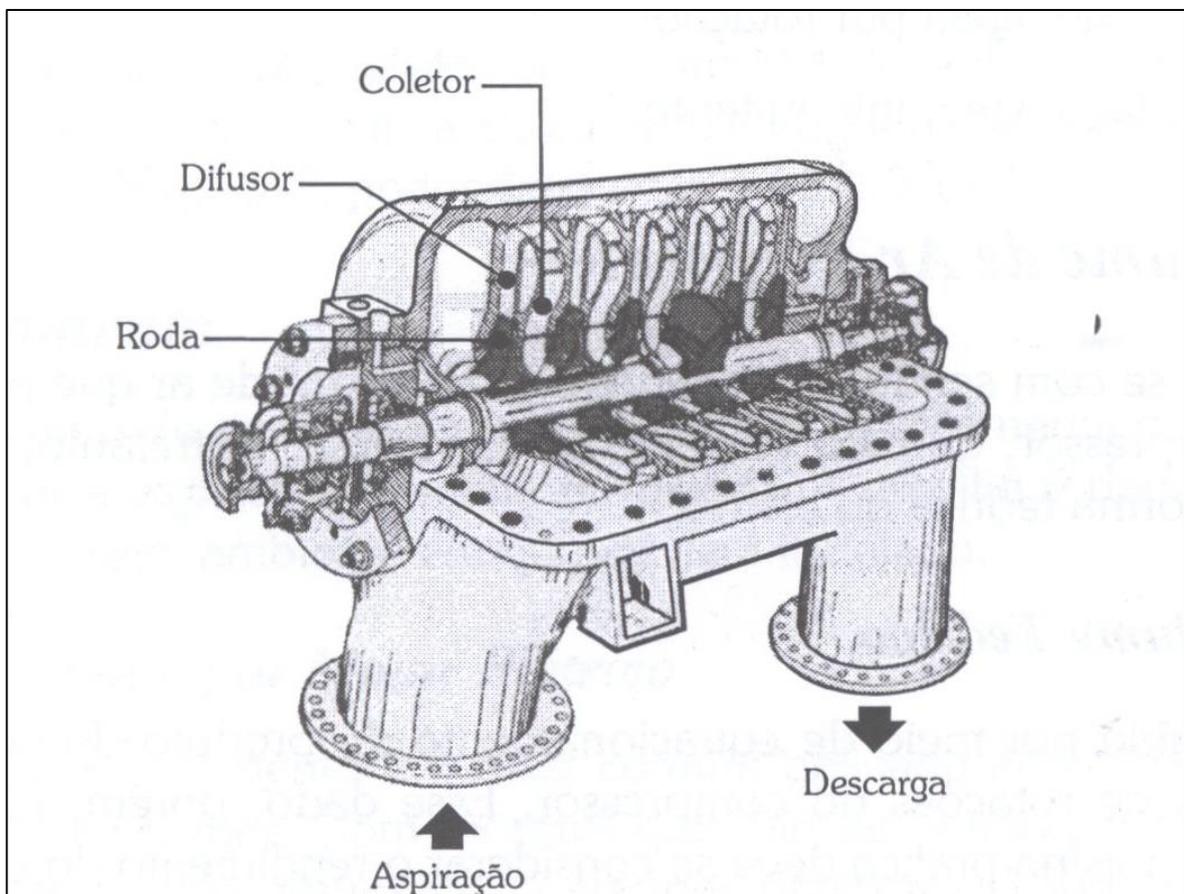
Segundo Parker (2007), nos compressores dinâmicos a elevação da pressão é obtida por meio da conversão da energia cinética em energia de pressão, enquanto o ar passa através do compressor. Após o ar ser admitido, é colocado em contato com impulsores munidos de alta velocidade. O ar é acelerado, podendo atingir velocidades elevadas e conseqüentemente os impulsores transmitem energia cinética ao ar. Logo após, seu escoamento é diminuído por meio de difusores, obrigando a uma elevação na pressão.

A seguir, são apresentados modelos de compressores dinâmicos segundo Fialho (2011):

a) Compressor radial (centrífugo)

É formado por uma sucessão de rodas e pás colocadas em série sobre o mesmo eixo. O ar entra pela tubulação de aspiração e passa pela sua primeira roda, onde a velocidade aumenta; depois passa pelo difusor, onde sua velocidade diminui e sua pressão aumenta; para depois passar no coletor e seguir para segunda roda, onde ocorrerá nova centrifugação. Assim, o ar vai aumentando sua pressão progressivamente até o momento da descarga. A Figura 13 apresenta as partes do compressor radial.

Figura 13 – Compressor radial

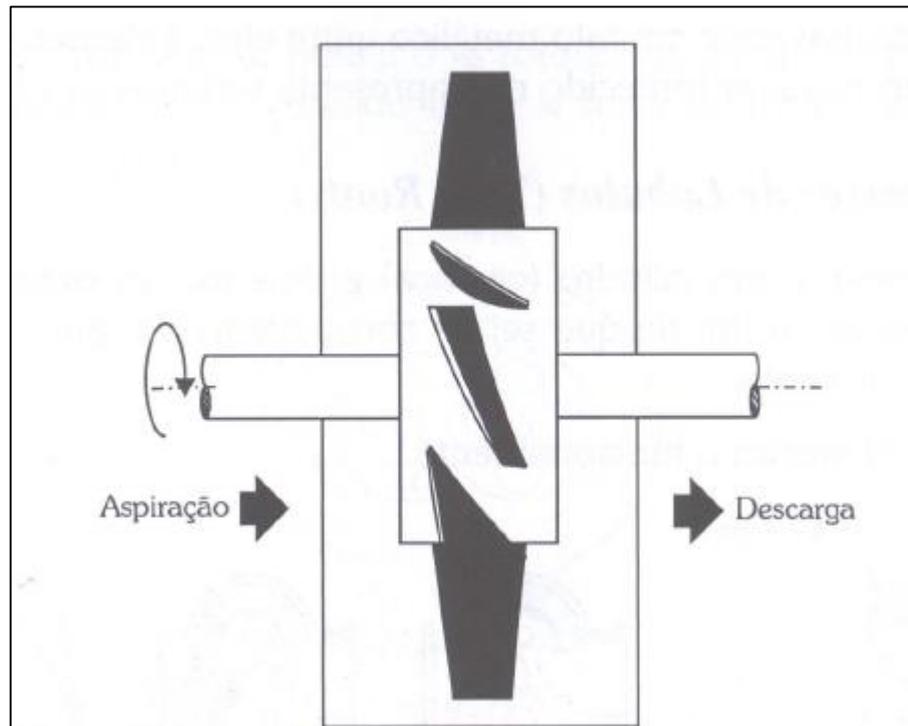


Fonte: Fialho (2011)

b) Compressor Axial (turbocompressor)

Nesse tipo de compressor o ar, depois de ser admitido, é acelerado axialmente, por uma série de lâminas rotativas ao longo do eixo, conforme Figura 14.

Figura 14 – Detalhe interno do turbocompressor axial



Fonte: Fialho (2011)

2.5.3 Critérios para escolha do compressor

De acordo com Fialho (2011), as seguintes características devem ser observadas na escolha de um compressor:

- 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 regulação;
 - Regulação por Descarga
 - Regulação por Fechamento
 - Regulação por Garras

- Regulagem por Rotação
- Regulagem Intermitente

O volume de ar fornecido pode ser definido como a quantidade total em m³ fornecidos pelo compressor, quando estiver operando em máxima atividade. Este ainda pode ser definido de forma teórica ou efetiva (FIALHO, 2011).

O volume teórico é definido através de equacionamento do produto do volume do cilindro, pelo número de rotações do compressor, deve-se levar em consideração o rendimento do compressor (FIALHO, 2011).

Já o volume efetivo é a quantidade de ar que vai ser utilizado efetivamente, para fazer os automatismos pneumáticos funcionar. O rendimento varia de acordo como tipo de compressor (FIALHO, 2011).

A pressão também é um fator muito importante, pois é através dela que conseguimos a força desenvolvida pelos atuadores, a pressão também pode ser definida como: Pressão de regime e Pressão de trabalho (FIALHO, 2011).

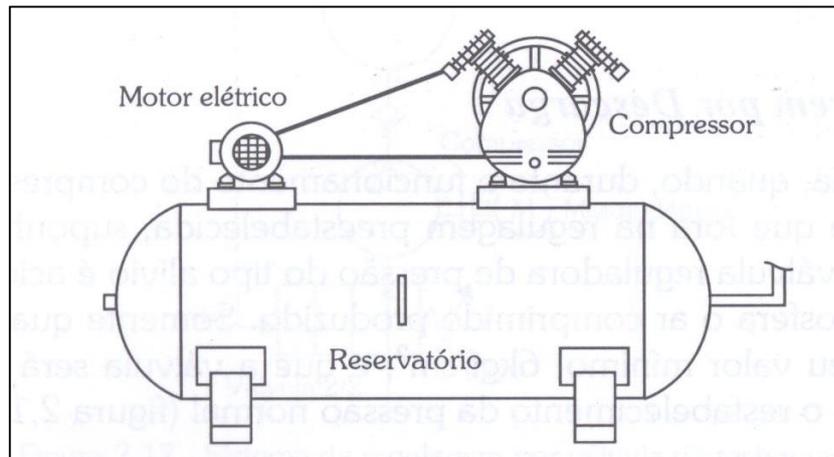
A pressão de regime é a pressão que o compressor fornece para linha efetivamente, que alimenta todos os componentes. Não se aconselha que a pressão liberada pelo reservatório seja utilizada nos automatismos por causa das flutuações que ela apresenta causadas pela temperatura (FIALHO, 2011).

A pressão de trabalho é a pressão utilizada para acionar diversos automatismos, essa pressão deve ser menor que a pressão de regime, e para que isso aconteça usamos válvulas redutoras de pressão, normalmente se usa um conjunto chamado LUBRIFIL (Conjunto de válvula redutora, manômetro e lubrificador), esse faz com que se reduza a pressão, mantenha-se constante e garanta durante os processos que as forças e velocidades desenvolvidas pelos automatismos (FIALHO, 2011).

Os compressores usam dois modos diferentes de acionamento, a partida por motor elétrico e por motor explosão. Nos motores explosão é usado gasolina ou diesel. Normalmente se escolhe o tipo de acionamento conforme a necessidade, que neste caso seria o local de instalação.

Os acionamentos por motor elétrico vão de baixas potências, que são utilizados em laboratórios, casa, oficinas, até aqueles de grandes potências de uso industrial com grandes reservatórios. Segue abaixo uma Figura 15, exemplificando os compressores com acionamento por motor elétrico (FIALHO, 2011).

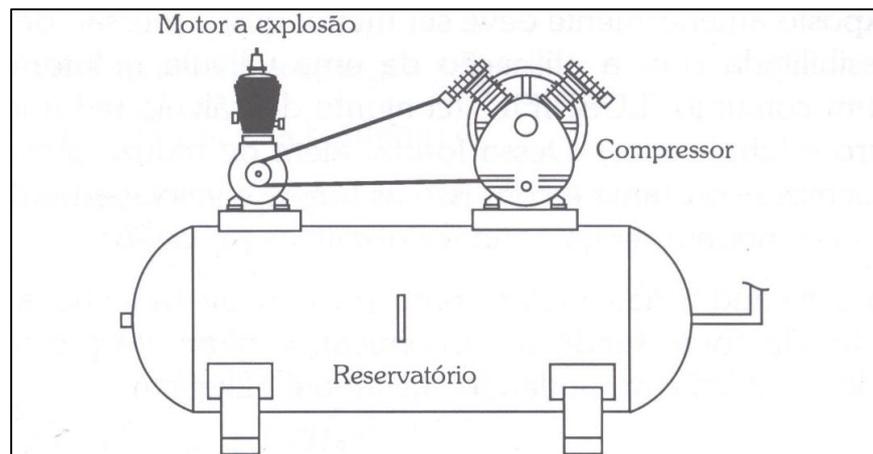
Figura 15 – Acionamento motor elétrico



Fonte: Fialho (2011)

Já os acionamentos por motor a explosão também cobrem uma vasta área de configurações, de pequenas potências, até grandes potências, que neste caso usam de sistemas de motores automotivos a diesel. São mais utilizados em lugares onde não tenha chagado energia elétrica, ou em casos como na zona rural, que existe uma limitação no uso da eletricidade, ou até mesmo por motivos de economia de energia. Figura 16 mostra um exemplo de motor à explosão (FIALHO, 2011).

Figura 16 – Acionamento motor à explosão



Fonte: Fialho (2011)

Os sistemas de regulagem são usados para controlar os diversos automatismos, já que não se faz presente o consumo constante de ar, é necessário fazer a combinação da demanda real com o volume fornecido pelo compressor. Existem diversos modelos de compressores que são ajustados conforme a forma de regulagem que trabalham entre valores

preestabelecidos, que nada mais é que deixar o sistema trabalhando numa pressão intermediária, ou seja, nem máxima e nem mínima. A seguir, serão apresentados os sistemas de regulagens mais encontrados de acordo com Fialho (2011).

No sistema de regulagem por descarga durante o uso do compressor ele atinge sua pressão máxima conforme foi estabelecida, neste momento uma válvula reguladora de pressão do tipo alívio é acionada, liberando na atmosfera o ar comprimido produzido, aí a pressão começa a cair até atingir seu ponto de mínimo, quando a válvula será totalmente fechada, permitindo que a pressão volte ao normal.

No sistema de regulagem por fechamento, existe certa semelhança com o caso anterior, só que no lugar da válvula de regulagem de pressão, ele utiliza de uma válvula que possui uma via e duas posições com retorno por mola, quando atingir a máxima pressão a mola é selecionada, permitindo a troca de posição, quando isso acontece a alimentação do compressor para de funcionar enquanto a pressão cai até seu ponto de mínimo, que é quando a válvula volta a funcionar, reativando o compressor.

Já no sistema de regulagem por garras, uma estrutura do tipo garra entra em funcionamento todas as vezes que uma pressão do ar pré-determinada for atingida, deixando a válvula de admissão aberta, fazendo com que durante a fase de compressão o ar seja liberado para a atmosfera. Quando a pressão do reservatório voltar ao seu valor mínimo de desativação do sistema, é quando volta ao normal o sistema de abastecimento do reservatório.

O sistema de regulagem por rotação é utilizado especificamente nos compressores acionados por motor de compressão interna, neste sistema quando a pressão máxima preestabelecida for atingida, o motor sofre uma desaceleração, fazendo com que reduza o número de giros, e conseqüentemente faz com que aspire um volume de ar menor, diminuindo o volume de ar que é aspirado, diminuindo o volume de ar a ser comprimido, logo o consumo da rede fará com que o ar caia até um nível mínimo pré-determinado fazendo com que o motor volte a acelerar recuperando seu giro normal.

Os sistemas de regulagem intermitentes são utilizados em compressores com acionamento por motores elétricos, este sistema funciona com o auxílio de um pressostato, que é ligado à rede de alimentação do motor, quando a pressão atinge seu valor máximo admissível, que foi programado no pressostato, ele desligará a chave conectora, que fará com que a pressão comece a cair, até um valor mínimo pré-determinado, quando o pressostato se desligará, reativando o motor. São utilizados com frequência em compressores de pequeno porte.

Conforme Zenit (2006) a quantidade de compressores é definida pela vazão total do sistema, deve ser estabelecido um fator entre 20% e 50% para ampliações na rede, e escolher dois compressores que somados atendam a vazão total, é aconselhado se deixar um compressor igual aos escolhidos anteriormente em *stand by*, usando esse sistema de três compressores com um reserva, podemos fazer um rodízio entre eles, sem sobrecarregar nenhum, deixando todos com o mesmo nível de desgaste.

2.6 Preparação do ar-comprimido

Neste capítulo é explicado o tratamento do ar comprimido, antes de chegar aos pontos de alimentação dos equipamentos.

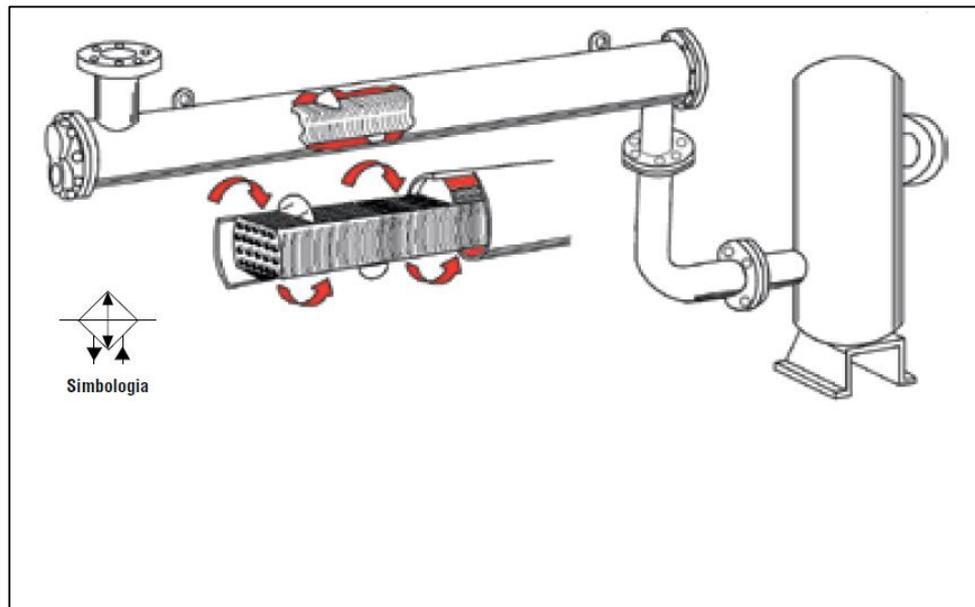
2.6.1 Resfriador posterior

Para Parker (2007) o resfriador posterior é o equipamento mais completo, quando se trata do processo de eliminar a umidade que fica presente no ar comprimido, essa umidade como já foi vista, é muito prejudicial para o sistema de distribuição do ar comprimido.

Este resfriador fica localizado entre a saída do compressor e o reservatório, justamente porque o ar comprimido atinge a temperatura mais elevada na saída, utilizado para resfriar o ar, ele funciona simplesmente como um trocador de calor, e o resultado do resfriamento é uma eliminação entre 75 a 90% do vapor de água presente no ar, como também vapores de óleos, e com isso prevenindo dilatações na linha de distribuição que são causadas pelas altas temperaturas de descarga do ar.

Caso não exista esse processo de eliminação do vapor de água, pode acontecer de termos choques térmicos e contrações nas linhas, devido às paradas e a presença de umidade, e com isso surge a presença de trincamentos nas uniões soldadas onde acontece vazamentos de ar. A Figura 17 mostra o resfriador posterior.

Figura 17 – Resfriador posterior.

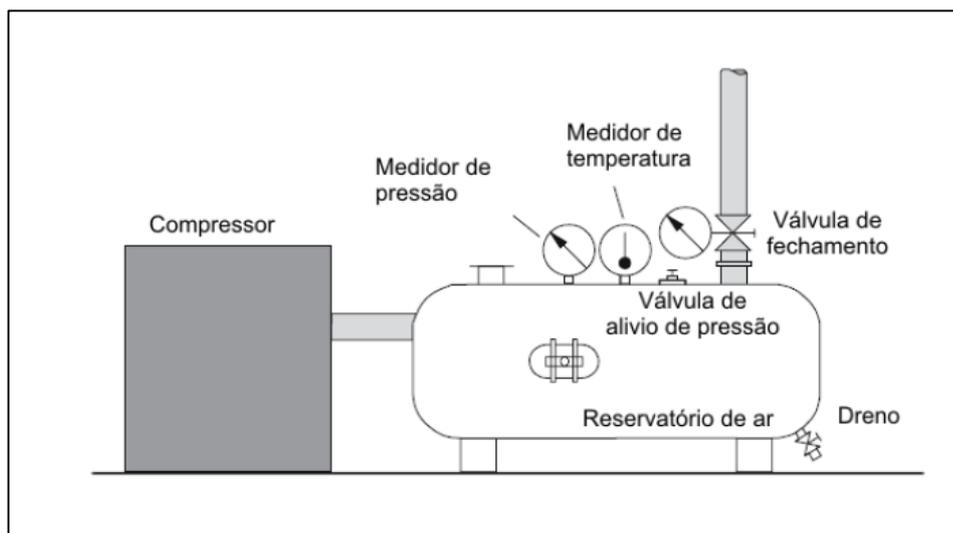


Fonte: Parker (2007)

2.6.2 Reservatório de ar-comprimado

Segundo Croser e Ebel (2002), todo e qualquer compressor necessita de um reservatório como seu acessório, para estabilizar o ar-comprimado. Esse reservatório compensa as oscilações de pressão quando o ar-comprimado está sendo retirado do sistema. Quando a pressão no reservatório está caindo abaixo de um valor determinado, o compressor entra em ação compensando até que o valor mais alto definido seja alcançado novamente. O reservatório, por possuir uma grande área de superfície, resfria o ar – assim, uma parte da umidade do ar é separada diretamente no reservatório na forma de água, que possui um dreno funcionando regularmente. A Figura 18 mostra um exemplo de reservatório.

Figura 18 – Reservatório de ar comprimido



Fonte: Croser e Ebel (2002)

Conforme Croser e Ebel (2002), para se saber o tamanho do reservatório de ar comprimido a ser usado, precisamos ter alguns conhecimentos prévios como os citados a seguir:

- A quantidade de ar utilizada nas operações realizadas;
- Capacidade de produção do compressor;
- O tamanho da rede de distribuição;
- Tipo de regulagem de ciclo do compressor;
- Queda de pressão permissível na rede de fornecimento.

Segundo Parker (2006), para se calcular de maneira rápida o volume de um reservatório de ar, deve-se seguir algumas regras. Se o compressor for de pistão o volume do reservatório de ar deve ser igual a 20% da vazão total do sistema, medida em $m^3/min.$, caso seja um compressor rotativo esse mesmo volume deve ser de 10%. Uma vez encontrado o volume do reservatório ideal para seu sistema, é recomendado que se divida em dois reservatórios menores de tamanhos iguais, instalando um antes do pré-filtro e depois do compressor e outro depois do pós-filtro. Utilizando esse tipo de arranjo, evitamos vazamentos de óleo acidentais pelos compressores, temos também um fornecimento de ar adequado para o consumo dos equipamentos.

2.6.3 Secador de ar

De acordo com Parker (2007), é necessário que se elimine toda ou o máximo possível da umidade presente no ar-comprimido, pois sua presença é prejudicial à automação pneumática, e pode causar graves danos, mas isto é praticamente impossível. Para que não ocorra inconvenientes, através das devidas preparações consegue-se uma distribuição do ar-comprimido com valores muito baixos e toleráveis de umidade nas aplicações encontradas.

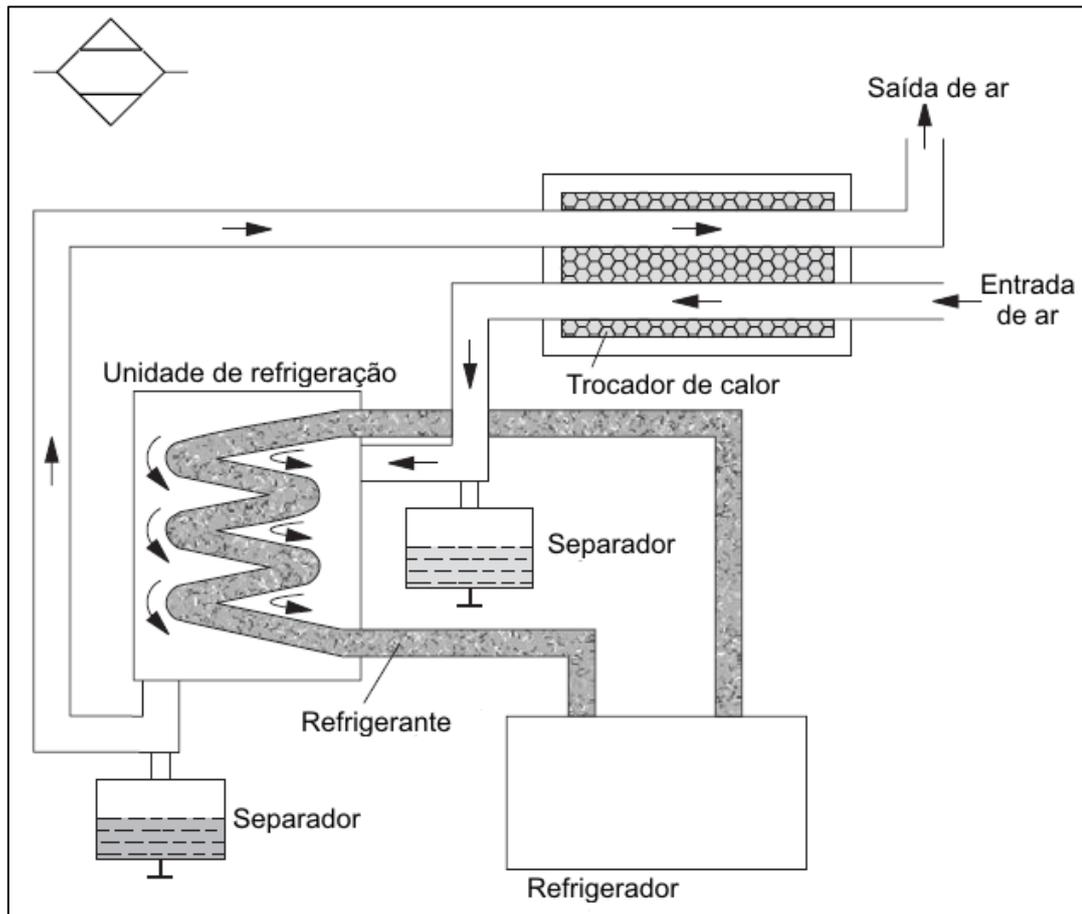
Para Croser e Ebel (2002, p. 16) “a temperatura do ponto de orvalho é a temperatura na qual a umidade relativa é de 100%. Quanto mais abaixo do ponto de orvalho, mais a água irá condensar e reduzir a quantidade dispersa no ar”.

Apesar da compra de um secador de ar comprimido ser muitas vezes considerada como um alto investimento nas empresas pode-se verificar que a implantação do mesmo tornou-se altamente lucrativo, pagando-se em pouco tempo de trabalho. Existem muitos meios para secagem do ar, vamos citar os três mais importantes, tanto pelo lado dos resultados finais obtidos, quanto por sua maior difusão (PARKER, 2007).

a) Secagem por refrigeração

Para Croser e Ebel (2002), este tipo de secagem é a mais utilizada na atualidade, o ar comprimido é conduzido através de um sistema de troca de calor, por onde um refrigerante flui, tem como objetivo principal diminuir a temperatura do ar para um ponto de orvalho que garanta que a água no ar se condensara e gotejará conforme a quantidade desejada. Após entrar no secador o ar é pré-resfriado por um trocador de calor, através do ar frio de exaustão, então este ar é resfriado até uma temperatura entre +2 e +5 °C. Após ser seco, o ar comprimido é filtrado. Antes de o ar comprimido ser devolvido a rede ele é aquecido para que volte novamente as condições ambiente. A Figura 19 exemplifica o secador por refrigeração.

Figura 19 – Secador por refrigeração ou secagem em baixa temperatura

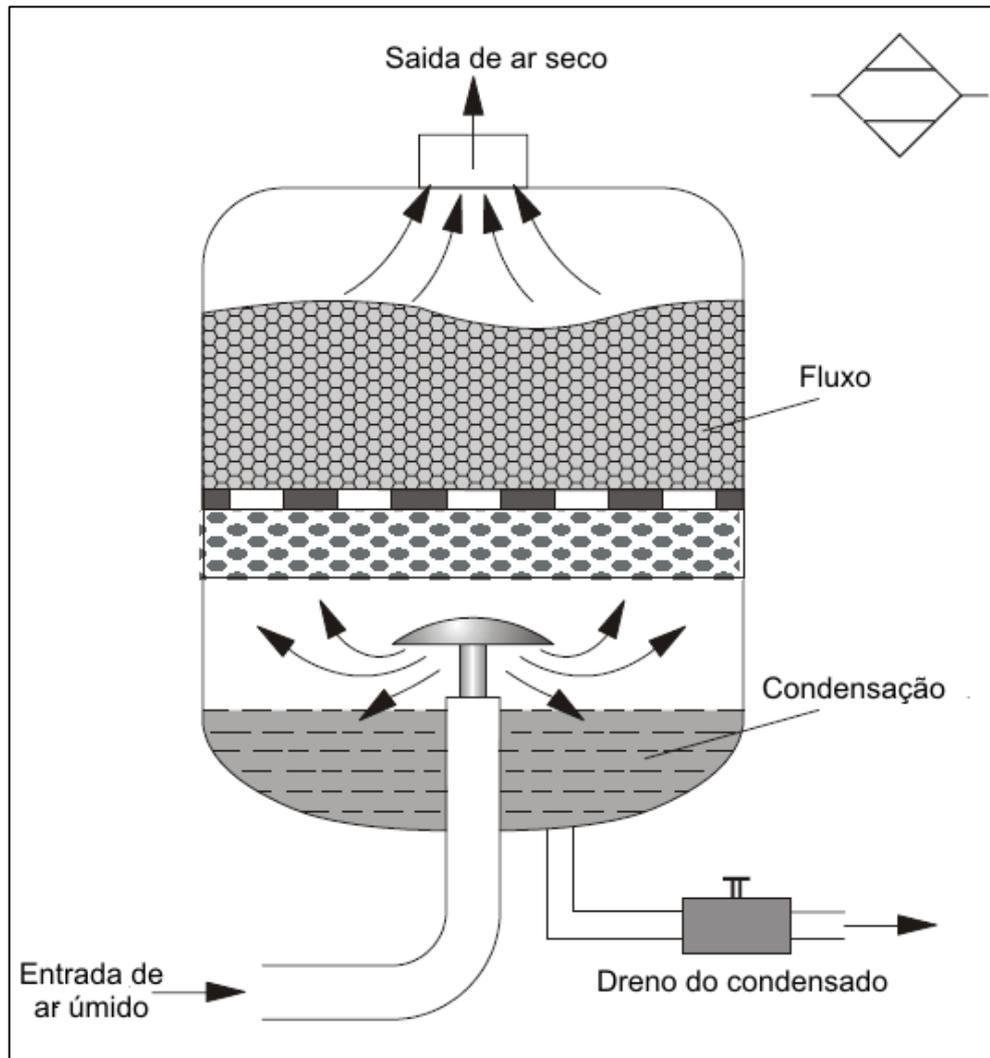


Fonte: Croser e Ebel (2002)

b) Secagem por absorção

Este tipo de secagem é feito pura e simplesmente através de processos químicos, atualmente não é de maior importância na prática, por que os custos para esse tipo de secagem são muito elevados e com baixa efetividade na maioria das operações. Nos secadores por absorção podemos separar também partículas de óleo e vapor de óleo, a umidade do ar forma um composto com o agente secador no tanque, isso acontecendo faz com o agente secador se distribua; é nessa hora que ele é descarregado na forma de um fluido na base do tanque, o agente de fluxo deve ser substituído e a mistura drenada com alguma regularidade. A Figura 20 exemplificando esse tipo de secagem (CROSER E EBEL, 2002).

Figura 20 – Secagem por absorção

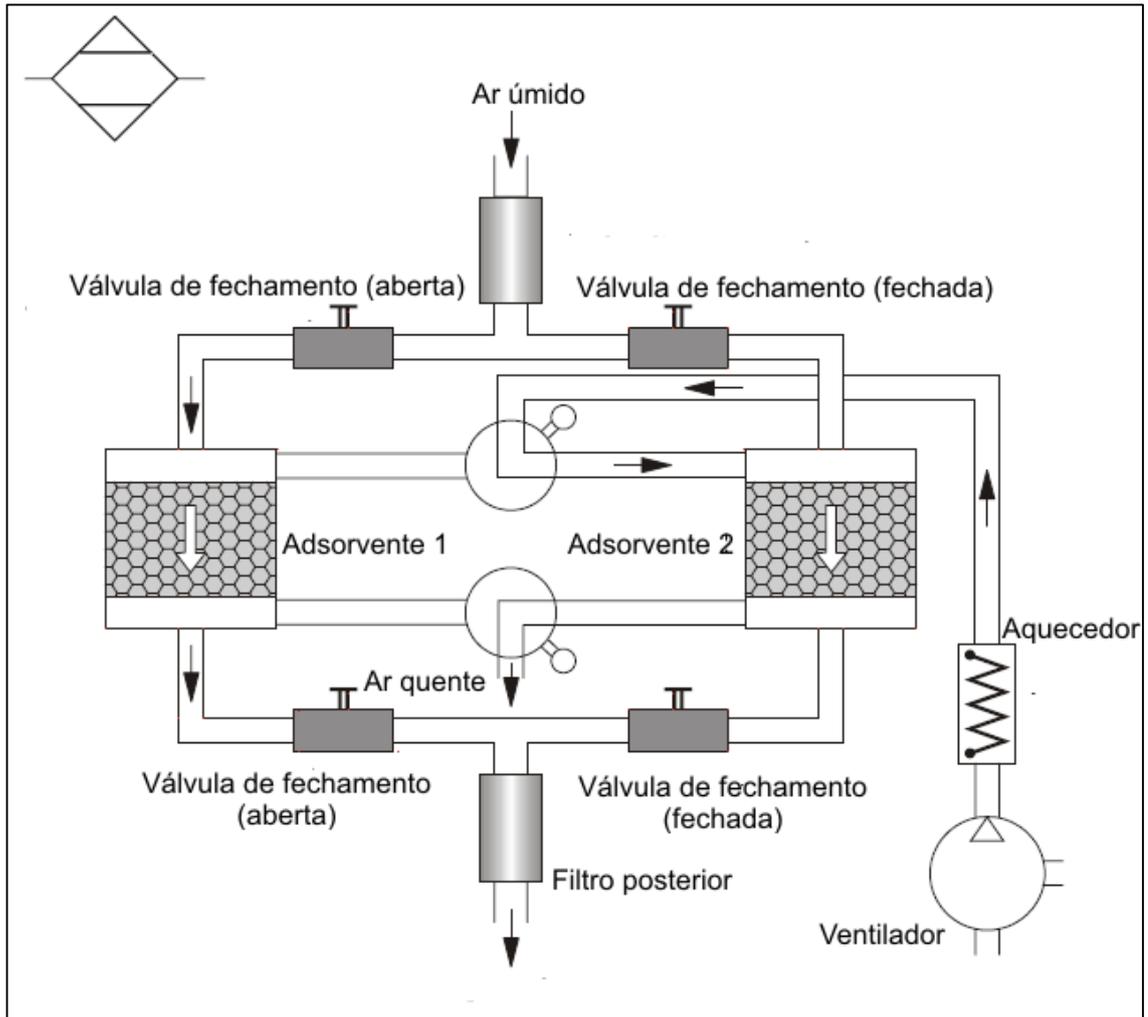


Fonte: Croser e Ebel (2002)

c) Secagem por adsorção

Segundo Croser e Ebel (2002), neste tipo de secagem a água é colocada na superfície dos sólidos, o agente responsável pela secagem é um material granulado (gel), sendo composto quase que 100% por dióxido de silício (sílica-gel). É comum a utilização de dois tanques, quando ocorre a saturação do gel em um dos tanques, o fluxo de ar é encaminhado para o outro tanque, enquanto isso o tanque saturado é regenerado com o método de secagem de ar quente. Nesses secadores conseguimos atingir os menores pontos de orvalho equivalente (abaixo a $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$). Conforme mostra a Figura 21.

Figura 21 – Secagem por adsorção



Fonte: Croser e Ebel (2002)

2.6.4 Filtro de ar-comprimado

Conforme Parker (2007) de modo geral se usa os filtros de ar comprimido em três posições diferentes, antes e depois do secador de ar comprimido e também junto aos pontos de uso. A principal função dos filtros pré-secadores por refrigeração é fazer o restante da separação da contaminação sólida e líquida, que não havia sido separada pelo separador de condensados posterior, isso é feito para proteger os trocadores de calor do secador contra o excesso de óleo vindo do compressor de ar, podendo deixá-los impregnados prejudicando seu desempenho na troca térmica, ou também reduzindo a capacidade de resfriamento do ar comprimido.

No caso dos filtros pós-secadores têm a responsabilidade de eliminar a umidade residual, que não havia sido totalmente removida pelo separador mecânico de condensados do secador por refrigeração e também os sólidos não retidos no pré-filtro.

Qualquer secador por refrigeração, na verdade, o ar comprimido sofre um reaquecimento antes de voltar a tubulação, esse reaquecimento é proposital, evitando que a tubulação fique gelada, e provocando a completa reevaporação da umidade residual, que não tinha sido removida pelo separador de condensados.

2.7 Distribuição de ar comprimido

Para Fialho (2011) qualquer que seja a utilização de uma rede de ar comprimido, não só em nível industrial, a instalação requer cuidados importantes que vão desde o lugar onde vai ser instalada a central gasosa (compressor), sistema de arrefecimento, dimensionamento da rede, sistemas de montagem e fixação da rede, tratamento do ar e identificação conforme normas.

Conforme Parker (2007, p. 23) “aplicar, para cada máquina ou dispositivo automatizado, um compressor próprio, é possível somente em casos esporádicos e solitários”.

Ainda, para o mesmo autor, em lugares onde são exigidos muitos pontos de alimentação, a melhor escolha é utilizar uma rede de distribuição de ar comprimido, com tomadas nas proximidades dos utilizadores.

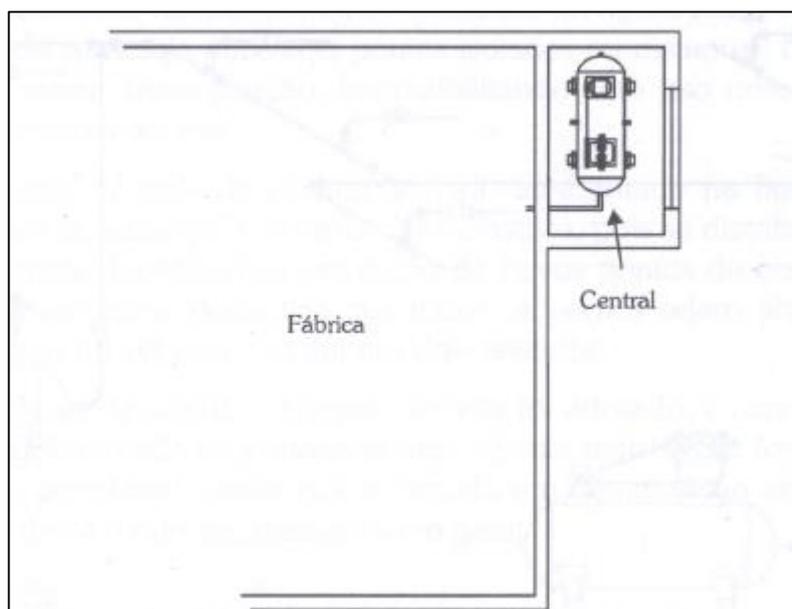
Segundo Croser e Ebel (2002), para que se possa garantir uma distribuição de ar com qualidade e sem falhas, e com muita credibilidade, alguns requisitos devem ser bem observados: devemos analisar o material que vai ser usado nas tubulações; as resistências de fluxo; Leiante dos tubos; o cálculo correto do tamanho do sistema de tubulação e manutenção.

No caso da necessidade de ampliação das instalações, previsões deverão ser feitas em todos os casos para prováveis acréscimos na rede de ar comprimido. Após determinado o tamanho da linha principal com a sua necessidade atual, devemos aumentá-la para que se tenha uma margem de segurança. Futuramente, se for preciso, aumentar a rede de distribuição, as válvulas de tampa e de desligamento permitem que isso aconteça.

Perdas no processo de distribuição de ar comprimido, sempre acontecem devido às resistências de fluxo, que são representadas por restrições, dobras, derivações e conexões. O ideal é se conseguir a menor queda de pressão possível em uma rede interna (CROSER E EBEL, 2002).

Para Fialho (2011) a central geradora deve ser instalada em um lugar imune de poeira e com livre circulação de ar, e que seja possível controlar a temperatura nas diferentes épocas do ano, mantendo o mais estável possível entre 20 e 25°C. Normalmente na indústria delimita-se uma área externa a fábrica, mas anexa a ela, sempre bem coberta e resguardada. A Figura 22 demonstra essa ideia.

Figura 22 – Localização da central geradora



Fonte: Fialho (2011)

Em casos de pequenas centrais de ar comprimido, o fluxo de ar livre existente no ambiente onde se encontra, mais o aletamento existente no compressor, são capazes de uma boa dissipação térmica, que é produzido pelo atrito do ar comprimido dentro da câmara. Porém quando falamos de compressores de maior potência, superior a 40hp, é aconselhado o uso de um sistema de resfriamento mais elaborado, com uso de ventiladores industriais ou até mesmo um sistema de refrigeração com água recirculante. Ainda assim, dependendo da potência dos compressores e de seus picos de temperatura, e levando em consideração as épocas do ano, como o verão, por exemplo, a central pode ser totalmente fechada, isolando as paredes termicamente, usando coolers para climatizar, com recirculação de amônia, tudo isso usando um termostato como controlado, como é feito nos sistemas de câmaras frigoríficas (FIALHO, 2011).

Segundo a Norma Regulamentadora (NR-13), que trata de caldeiras e vasos de pressão, temos que seguir os critérios a seguir quanto a suas instalações. Esta afirma que, todo

vaso de pressão deve ser instalado de modo que todos os drenos, respiros, bocas de visita e indicadores de nível, pressão e temperatura, quando existentes, sejam facilmente acessíveis.

Quando instalados em ambientes fechados, temos os seguintes critérios:

- a) dispor de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas e dispostas em direções distintas;
- b) dispor de acesso fácil e seguro para as atividades de manutenção, operação e inspeção, sendo que, para guarda corpos vazados, os vãos devem ter dimensões que impeçam a queda de pessoas;
- c) dispor de ventilação permanente com entradas de ar que não possam ser bloqueadas;
- d) dispor de iluminação conforme normas oficiais vigentes;
- e) possuir sistema de iluminação de emergência.

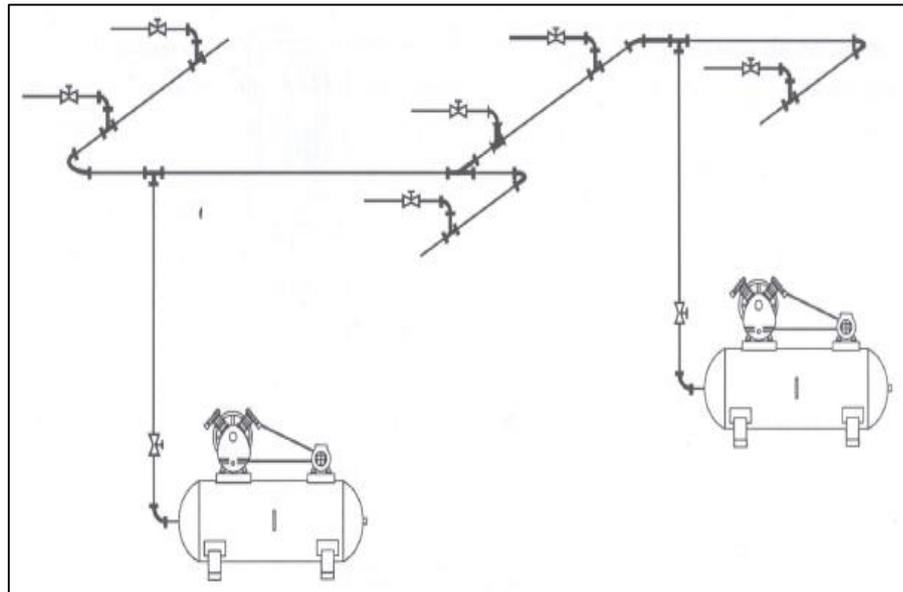
Quando se busca uma distribuição de ar de alta qualidade e desempenho, não se pode esquecer um fator muito importante que é o Leiaute, que deve ser desenhado no modo isométrico ou escala, tornando possível a análise e obtenção das dimensões das tubulações nos diversos trechos. Através do leiaute ficamos conhecendo a rede principal de distribuição, suas ramificações, os pontos de consumo, incluindo futuras aplicações, e também ele que nos apresenta as pressões nos pontos de consumo, a posição das válvulas de fechamento, curvaturas, separadores de condensados, etc. Então através do leiaute podemos definir qual o menor percurso da tubulação, tendo como resultados menos perdas de carga e gerando economia (PARKER, 2007).

Conforme Fialho (2011) antes de qualquer dimensionamento de rede de ar comprimido com relação a diâmetro de tubulação, perdas de carga e tratamento de ar, devendo-se analisar por quais pontos a rede irá passar na área da empresa, através destas respostas é possível definir a distribuição em redes de circuito aberto ou redes de circuitos fechadas.

As redes de circuitos abertos são geralmente indicadas para o uso em casos que se deseja abastecer pontos isolados ou distantes, nessas redes o ar flui em uma única direção, tornando impossível a alimentação igual em todos os pontos (FIALHO, 2011).

A Figura 23 representa um sistema de redes de circuito aberto.

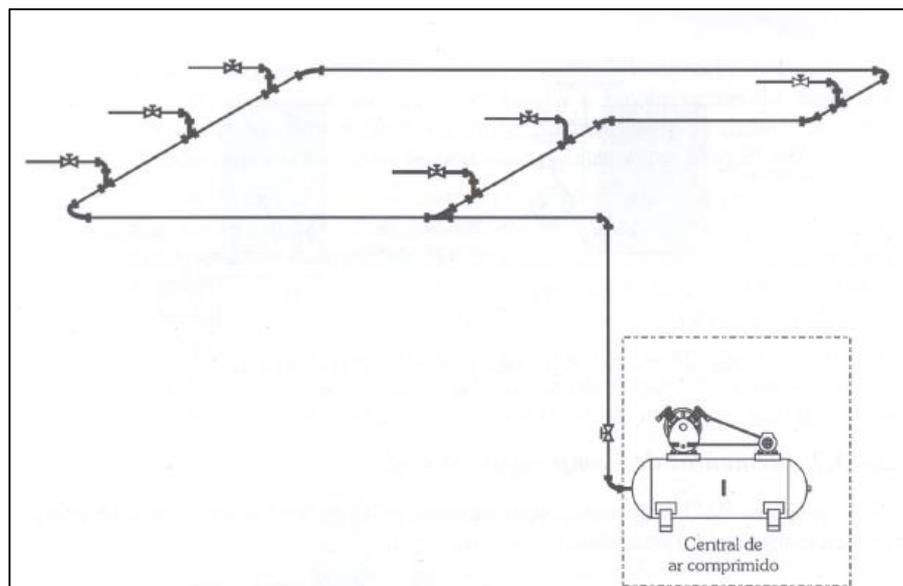
Figura 23 – Rede de circuito aberto



Fonte: Fialho (2011)

Segundo Fialho (2011), as redes de circuitos fechados são as mais utilizadas pelas indústrias, pois possuem uma grande facilidade de instalação de pontos de consumo não previstos, visto que está distribuída por toda fábrica, permitindo que todos os pontos de consumo sejam abastecidos uniformemente, pelo fato de o ar fluir em duas direções. Conforme exemplificado na Figura 24.

Figura 24 – Rede de circuito fechado



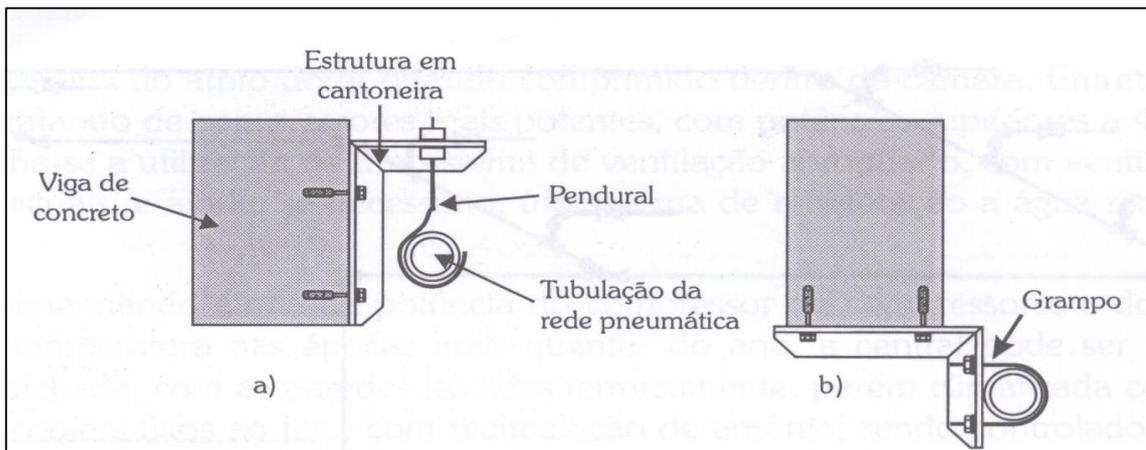
Fonte: Fialho (2011)

Após a escolha da rede distribuição, é recomendado que em cada ponto de tomada seja instalada uma válvula registro, que irá facilitar na manutenção, não sendo preciso o desligamento geral da rede (FIALHO, 2011).

Toda rede pneumática deve ser pintada de azul de acordo com o boletim NB-54/80 da ABNT, sendo em tonalidade classificada pela 2.5 PB 4/10 do sistema Munsell.

Redes de distribuição pneumáticas, normalmente são aéreas, tendo como apoio para fixação paredes, vigas, ou ao forro por meio de ferragens apropriadas, como tirantes, pendurais, cantoneiras, etc. A Figura 25 mostra dois modelos utilizados conforme Fialho (2011).

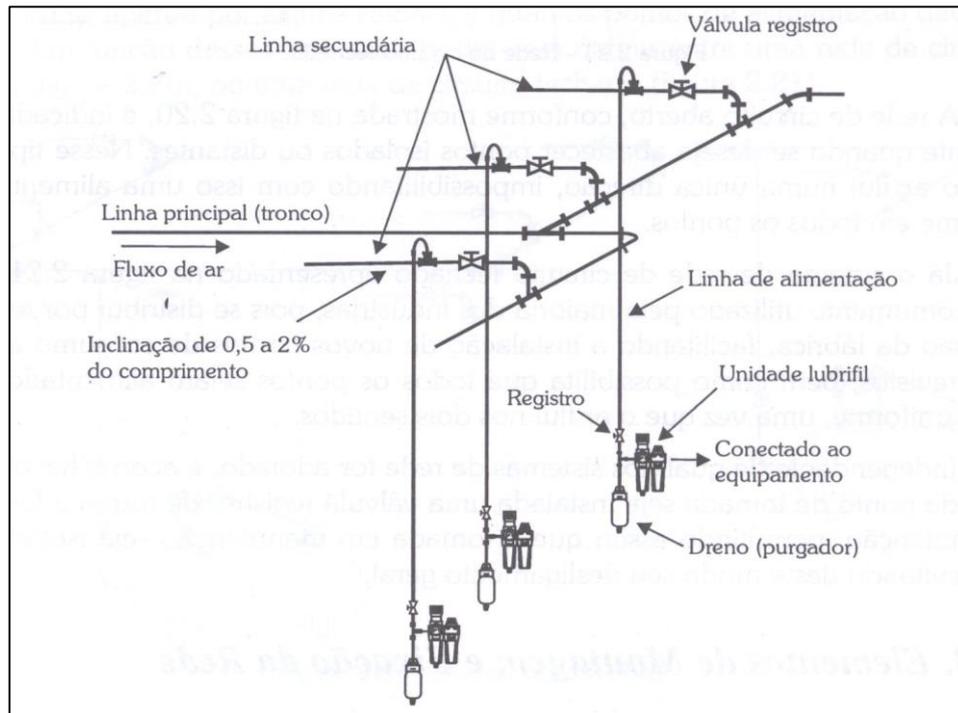
Figura 25 – Fixação das redes nas colunas: a) por pendurais e b) por grampos.



Fonte: Fialho (2011)

Conforme a Figura 26, podemos analisar um trecho esquemático de uma rede pneumática, identificando os seus elementos (FIALHO, 2011).

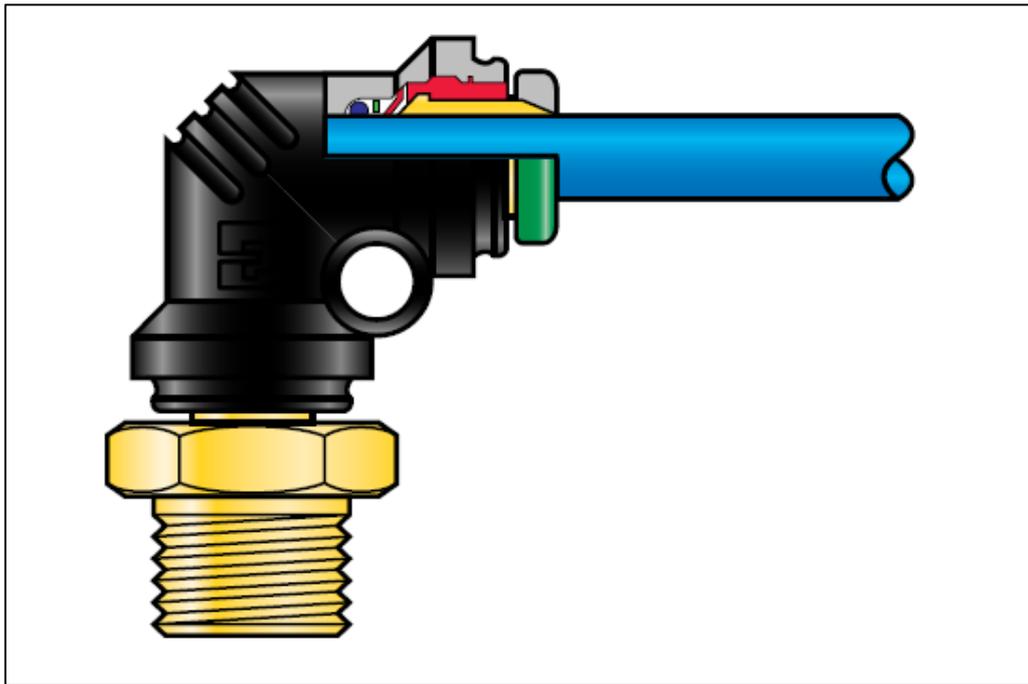
Figura 26 – Elementos que compõem uma rede pneumática



Fonte: Fialho (2011)

Os tubos que formam a rede de ar comprimido, tanto a linha principal, secundária ou de alimentação podem ser compostas de aço galvanizado, aço inoxidável, alumínio, cobre e plástico de engenharia, sempre dando preferência aos resistentes a oxidação. Já nas linhas secundárias que irão compor as instalações, é muito importante levar em consideração os tipos de materiais bem como os tipos de acessórios que serão usados, devendo ser materiais de alta resistência e durabilidade. Até pouco tempo ainda eram usados os tubos de cobre, mas essas tubulações já sofreram uma grande evolução, atualmente já são utilizados tubos sintéticos, os quais proporcionam boa resistência mecânica, com grande flexibilidade e elevada força de ruptura, tais como tubos de polietileno, poliuretano e tubos de nylon. Um novo conceito de conexões, que atende a todas as necessidades de instalação de circuitos pneumáticos, são as conexões instantâneas, semelhantes a um engate rápido (PARKER, 2007). A Figura 27, mostra um exemplo de engate rápido.

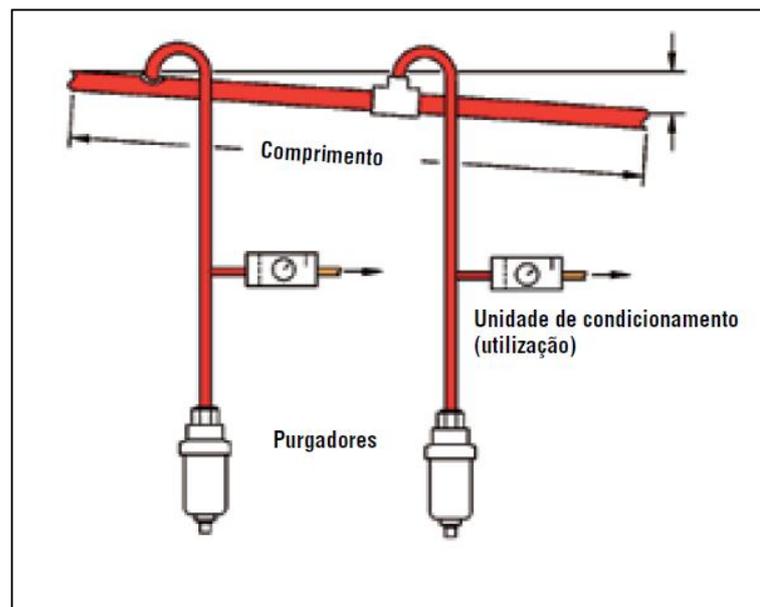
Figura 27 – Engate rápido



Fonte: Parker (2007)

As linhas secundárias devem ter uma inclinação que ajuda no recolhimento de condensados e impurezas no decorrer das tubulações, por recomendação a inclinação deve ter entre 0,5 a 2% do comprimento reto do tubo. A Figura 28 apresenta a inclinação da rede.

Figura 28 – Inclinação de 0,5 a 2% do comprimento

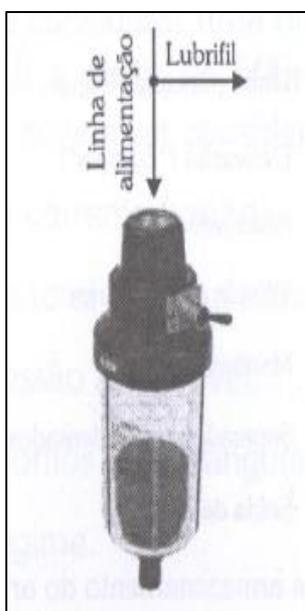


Fonte: Parker (2007)

Já as linhas de alimentação dos automatismos, devem sair da linha secundária da parte superior, e de preferência devem ter um registro para que facilite a manutenção da unidade de conservação pneumática (LUBRIFIL) ou dreno sem precisar desligar toda a linha secundária.

Os purgadores, que são instalados no final das linhas verticais, têm como objetivo recolher os condensados que se originam devido as variações de temperaturas ao longo do ano, assim evitando que cause problemas nos automatismos por corrosão, na Figura 29 mostra um exemplo de purgador.

Figura 29 – Purgador



Fonte: Fialho (2011)

2.7.1 Efeitos causados pelo ar comprimido contaminado

Conforme Parker (2006), o ar atmosférico quando utilizado para fim de alimentação de redes pneumáticas, deve estar o mais tratado possível, para evitar uma redução muito grande no tempo de vida dos dispositivos e máquinas pneumáticas. Esse tratamento que se faz no ar, busca eliminar o máximo de água e resíduos de óleo, quando não é feito adequadamente esse tratamento do ar, surge muitos efeitos na rede de ar comprimido, tais como: obstrução de orifícios; desgaste de vedações; erosão nos componentes pneumáticos; redução da eficiência de produtividade das máquinas e custos elevados com paradas de máquinas. A Figura 30 mostrara alguns efeitos do ar comprimido contaminado.

Figura 30 – Efeitos do ar comprimido contaminado



Fonte: Parker (2006)

Segundo Parker (2006), podemos ter sérias consequências para nossa rede de distribuição caso os contaminantes não sejam bem eliminados, tais como: ferrugem nas tubulações; imperfeições em processo de pintura; deterioração de vedações; erro de leitura de instrumentos, entre outros. A Figura 31 demonstra tipos de contaminantes.

Figura 31 – Tipos de contaminantes



Fonte: Parker (2006)

2.8 Condicionamento do ar comprimido

Conforme Parker (2001), antes do ar ser utilizado nos elementos pneumáticos, após ter passado pelos processos de produção, preparação e distribuição, ele deve ter um condicionamento final, que vai possibilitar um melhor desempenho dos equipamentos. O LUBRIFIL é uma unidade de condicionamento formada por filtro, válvula reguladora de pressão e lubrificador, esta unidade é indispensável em qualquer sistema pneumático, mesmo

os mais simples precisam desse beneficiamento do ar, que consiste na filtragem, na regulação da pressão e na injeção de uma determinada quantidade de óleo usado para lubrificação de todas as partes mecânicas dos componentes pneumáticos.

2.8.1 Filtragem do ar

Como já foi visto, no processo de preparação do ar, utiliza-se um filtro, onde fica retida a maior parte das impurezas, mas as pequenas partículas que ficam suspensas e são arrastadas pelo fluxo de ar comprimido, sendo essas, retiradas aqui, na filtragem do ar, que também retém o máximo da umidade presente. Normalmente esses filtros agem de duas formas diferentes: pela ação da força centrífuga; pela passagem do ar através de um elemento filtrante, composto de bronze sinterizado ou malha de nylon.

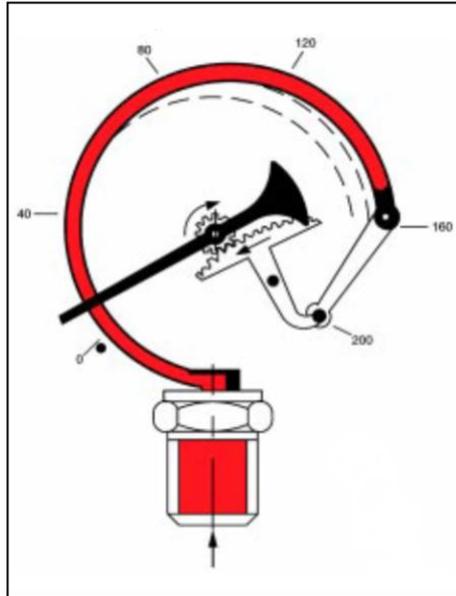
2.8.2 Regulagem da pressão

Neste processo é usada uma válvula reguladora de pressão ou simplesmente um regulador de pressão, que tem como função equilibrar automaticamente o volume de ar comprimido solicitado pelos equipamentos, funcionar também como uma válvula de segurança e manter a pressão de trabalho constante, sem levar em consideração as flutuações da pressão na entrada quando acima do valor regulado. Independente dos picos de pressão, a pressão primária deve ser sempre maior que a pressão secundária.

2.8.3 Manômetro

Estes instrumentos são usados para medir e indicar a intensidade de pressão de ar comprimido, eles servem para ajustar a intensidade de pressão nas válvulas, que podem influenciar a força e o torque de um conversor de energia. A Figura 32 mostra um exemplo de manômetro.

Figura 32 – Manômetro tipo tubo de Bourdon



Fonte: Parker (2001)

2.8.4 Lubrificação

A lubrificação dos componentes dos sistemas pneumáticos é feita para diminuir os desgastes e a força de atrito causado pelos movimentos relativos, caso não haja essa lubrificação, os componentes podem se tornar inutilizáveis. Esta lubrificação é feita através do ar comprimido, que mescla um pouco de óleo com o ar comprimido, com o intuito de lubrificar as partes mecânicas internas e moveis presentes nos mecanismos que ficam em contato direto com o ar. A Figura 33 mostra o LUBRIFIL.

Figura 33 – Unidade de condicionamento ou LUBRIFIL



Fonte: Parker (2001)

2.9 Dimensionamento de circuitos pneumáticos

Nesta seção é apresentada a maneira de se fazer o dimensionamento de uma linha de ar comprimido, apresentando seus elementos e equações usadas.

2.9.1 Dimensionamento da linha principal

Para Fialho (2011), para fazer o dimensionamento da linha principal (tronco) é necessário levar em consideração um diâmetro mínimo necessário para abastecer todos os automatismos que existem na área de operação, também é aconselhado que se estime que este vá aumentar com o passar dos anos. O dimensionamento deve levar em consideração uma queda de pressão de 0,3 a 0,5Kg/cm² do reservatório e ter uma distância de 0,5 a 500m do ponto de consumo. Alguns itens devem ser levados em consideração no dimensionamento da linha tronco:

- Volume de ar corrente (Vazão);
- Comprimento total da linha tronco;
- Queda de pressão admissível;
- Número de pontos de estrangulamento;
- Pressão de regime.

O volume de ar corrente é dado pela quantidade de ar consumido pelos equipamentos da rede em m³ por hora, levando consideração que todos estivessem funcionando ao mesmo tempo.

Para que se possa ter um dimensionamento confiável, é necessário estimar no cálculo uma possível ampliação da rede, adicionando a esse volume o percentual calculado. A Figura 34 mostra a variável do volume de ar corrente.

Figura 34 – Volume corrente

Variável	Unidade
Q	[m ³ /h]

Fonte: Fialho (2011)

Já no comprimento total da linha tronco somasse o comprimento linear da tubulação da linha tronco com o comprimento equivalente causado dos pontos de estrangulamento. Na equação 1 podemos calcular o comprimento total da linha, já na Figura 35 temos as variáveis e suas unidades.

$$L_t = L_1 + L_2 \quad (1)$$

Figura 35 – Variáveis e unidades

Variável	Unidade
L_t	[m]
$L_1 =$ Comprimento retilíneo	[m]
$L_2 =$ Comprimento equivalente	[m]

Fonte: Fialho (2011)

A queda de pressão para se ter um desempenho satisfatório da rede, não deverá passar de $0,3\text{kgf/cm}^2$, já em casos de redes muito grandes deve chegar no máximo até $0,5\text{kgf/cm}^2$. A pressão de um fluido diminui gradualmente ao longo do comprimento das tubulações, devido ao atrito interno e de seus possíveis estrangulamentos que possam existir ao longo do percurso. A Figura 36 mostra a variável e a unidade da queda de pressão.

Figura 36 – Queda de pressão

Variável	Unidade
ΔP	[kgf/cm ²]

Fonte: Fialho (2011)

O número de pontos de estrangulamento são as singularidades já conhecidas (curvas, registros, tês, etc.), no qual são necessárias para fazer a distribuição da rede principal ao longo

da fábrica. A tabela A.6 que está apresentada no ANEXO (B) transformara as singularidades em comprimento equivalente (L_2).

A pressão de regime é a pressão na qual o ar se encontra contida no reservatório. Na Figura 37 temos sua variável e sua unidade.

Figura 37 – Pressão de regime

Variável	Unidade
P	[kgf/cm ²]

Fonte: Fialho (2011)

De acordo com Fialho (2011), a equação 2 é utilizada para determinar o diâmetro mínimo que se pode ter para atender a demanda, levando em consideração futuras ampliações:

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1.663785 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{1,85} \cdot Lt}{\Delta P \cdot P}} \right] \quad (2)$$

Depois de feito o cálculo será obtido um diâmetro interno que terá a unidade de medida em milímetros. Para obter o diâmetro comercial deve ser consultada uma tabela A.5 que está disponível no ANEXO (A) para tubulações de aço preto ou galvanizado.

2.9.2 Dimensionamento da linha secundaria

Para fazer o dimensionamento das linhas secundarias usa-se a mesma equação 2, mas deve ser observado se todas possuem o mesmo comprimento, caso isso aconteça, é só dividir o volume de ar corrente pelo número de linhas secundarias, e também deve ser ajustado o valor da variável de comprimento (L_t).

2.9.3 Cálculo do Consumo de ar de cilindros

Conforme Parker (2006), é de suma importância saber o quanto é consumido de ar em uma rede de distribuição, assim sabe-se o quanto se deve produzir desse ar e também consegue-se saber qual as despesas com energia. A seguir será apresentado o cálculo necessário para se saber o consumo de ar, conforme uma pressão de trabalho determinada, num determinado diâmetro de cilindro e num determinado curso.

Para o cálculo do consumo de ar, é necessário saber a Relação de Compressão, conforme equação 3:

$$\text{Relação de compressão} = \frac{1.013 + \text{pressão de trabalho em bar}}{1.013 \text{ (baseado ao nível do mar)}} \quad (3)$$

Para cilindros de ação simples, vê-se a seguinte equação para cálculo, conforme equação 4:

$$Q = s \cdot n \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \text{relação de compressão (l/min)} \quad (4)$$

Para cilindros de dupla ação, vê-se a seguinte equação para cálculo, conforme equação 5:

$$Q = \left[s \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} + s \cdot \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \right] \cdot n \cdot \text{relação de compressão (l/min)} \quad (5)$$

Para tais equacionamentos, têm-se que:

Q = volume de ar (l/min)

s = curso (cm)

n = número de cursos por minuto

D = Diâmetro do êmbolo

d = diâmetro da haste

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo explicar qual o método de pesquisa foi utilizado no desenvolvimento desta monografia, além de demonstrar as limitações do método, também foi exposta a seleção de abordagem de pesquisa e a maneira como foram coletados os dados.

3.1 Método da pesquisa

Segundo Gil (2010), “Pode-se definir pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos”.

Essa pesquisa caracteriza-se como exploratória quanto aos seus objetivos, que segundo Gil (2010), pesquisas exploratórias tendem a ser bem maleáveis quanto ao seu planejamento, pois se tem grande interesse em considerar os mais diversificados aspectos relativos ao fato ou acontecimento estudado.

Quanto à abordagem da pesquisa, de acordo com Gerhardt e Silveira (2009), têm-se a pesquisa qualitativa e a quantitativa.

Em relação à quantitativa, os resultados podem ser mensurados, pois ela considera que a realidade só pode ser compreendida, com base na análise de dados brutos, coletados com a ajuda de instrumentos. Esse tipo de pesquisa, explica as causas de um acontecimento, buscando a linguagem matemática (GERHARDT E SILVEIRA, 2009).

Em relação à qualitativa, os pesquisadores não se preocupam tanto com números, e sim em explicar em o porquê das coisas, nunca as mensurando. Procuram estar sempre lidando com aspectos do mundo real, que não podem ser quantificados, tornando sempre imprevisível o desenvolvimento da pesquisa (GERHARDT E SILVEIRA, 2009).

Este estudo caracteriza-se por uma pesquisa quantitativa, onde a análise pode ser feita através de dados que podem ser tratados estatisticamente, pois serão dimensionados os dutos de distribuição de ar comprimido em um laboratório de ensino em engenharia de produção.

3.2 Seleção da abordagem de pesquisa

Esta pesquisa caracterizou-se como um estudo de caso, quanto aos seus procedimentos técnicos, a fim de alcançar os objetivos propostos. Segundo Gil (2010), trata-se de um tipo de pesquisa muito utilizada em algumas áreas, tendo como finalidade um estudo muito

aprofundado de um, ou poucos objetos, tornado possível um conhecimento muito detalhado do que é estudado.

Já para Yin (2005), indica o estudo de caso como a estratégia mais natural, quando se quer compreender os fatos atuais, podendo se fazer uma análise intensa a partir de um número pequeno de situações, isso quando não se reduz até um único caso, para se ter melhor entendimento do acontecimento.

3.3 Coleta e análise dos dados

Para Gil (2010, p. 120), “Na maioria dos estudos de caso bem conduzidos, a coleta dos dados é feita mediante entrevistas, observações e análise de documentos”.

Já para Marconi e Lakatos (2010), é nesta fase, que se começa a aplicação de instrumentos e técnicas selecionadas para se fazer a coleta dos dados previstos. Ainda para o autor, esta fase toma muito mais tempo do que se está previsto, exigindo muita atenção no registro dos dados, além de paciência do pesquisador.

Nesta pesquisa os dados serão coletados através de visitas no laboratório, observando os equipamentos, que serão listados para entrar na presente pesquisa, além de entrevistas com os responsáveis pelo local.

Após feito o levantamento no laboratório, será utilizado um software chamado SketchUP, versão PRO 2014, programa que vai possibilitar fazer o projeto em 3D das instalações da linha de ar comprimido.

3.4 Limitações do método

Como limitação desta pesquisa é possível citar que o dimensionamento da rede de distribuição de ar foi realizado com base em informações fornecidas pelos manuais e sítios eletrônicos dos fabricantes dos equipamentos instalados nos laboratórios, no entanto, ao uso, esses equipamentos podem apresentar valores diferentes dos enunciados.

Da mesma forma, a observação e entrevista com os professores e técnicos usuários dos equipamentos que consomem ar comprimido, podem fornecer valores que diferem do real consumo na prática em laboratório.

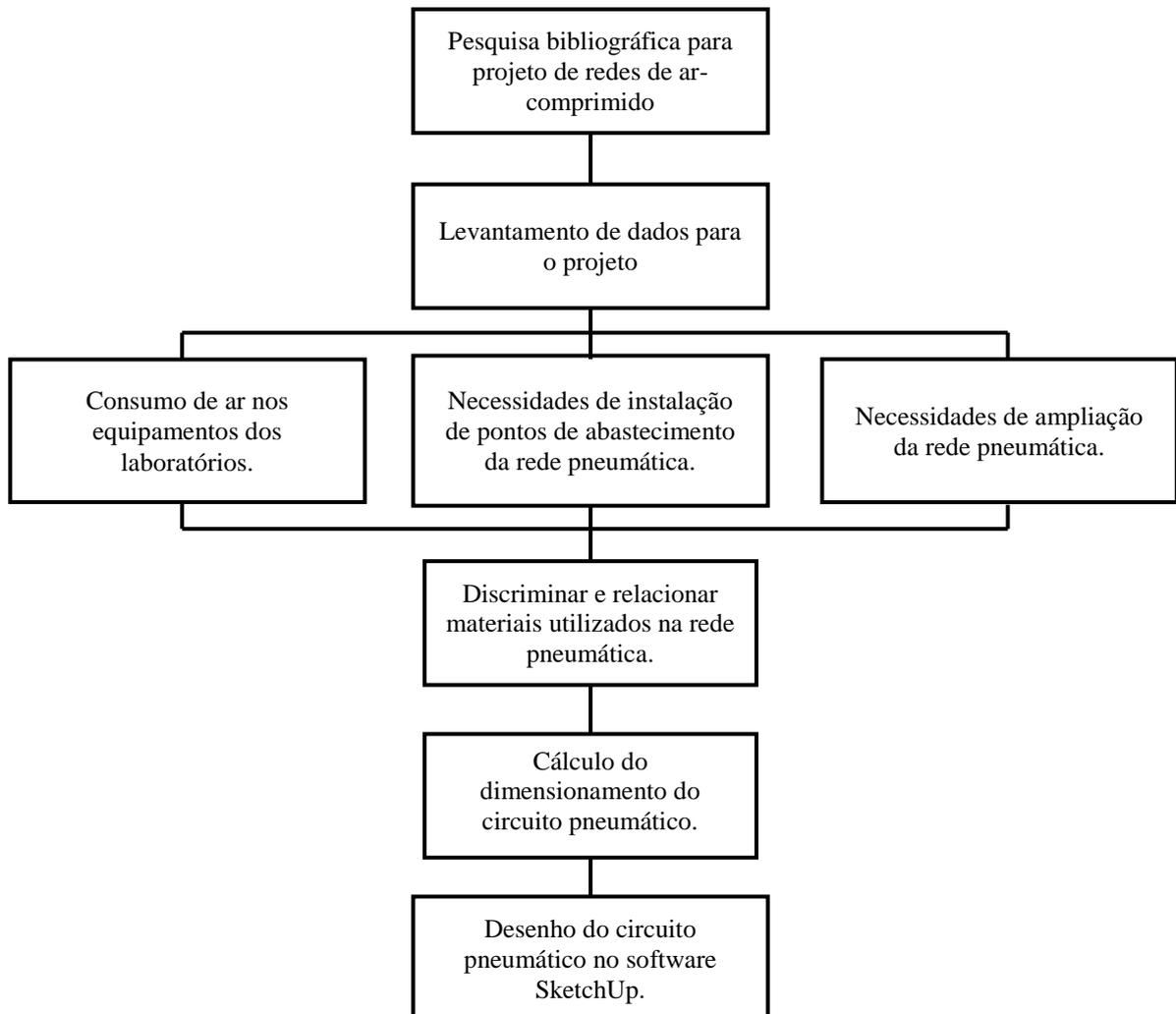
Existe, ainda, a possibilidade de instalações de equipamentos que, inicialmente, não foram considerados no dimensionamento das linhas de ar, como também, a localização do ponto de distribuição.

3.5 Procedimentos Metodológicos

Para o desenvolvimento desta pesquisa, adotou-se como método as seguintes etapas:

No primeiro momento foi realizada uma pesquisa bibliográfica dos assuntos estudados, seguido de um levantamento dos dados que seriam utilizados no projeto, que levaram em consideração muitos fatores importantes como consumo dos equipamentos, pontos de abastecimento, entre outros. Na etapa seguinte do projeto, fez-se uma discriminação dos materiais utilizados na rede pneumática, chegando ao momento de calcular o dimensionamento do circuito pneumático. Depois de todas as etapas realizadas, o projeto foi elaborado no programa chamado sketchUp, possibilitando a visualização e demonstração do mesmo em 3D. A Figura 38, mostra o delineamento da pesquisa.

Figura 38 - Delineamento da pesquisa



4 RESULTADOS E ANÁLISE DE PESQUISA

Nesta fase do projeto, foram realizadas visitas aos laboratórios da engenharia de produção, com o objetivo de fazer o levantamento dos equipamentos que utilizam ar comprimido para seu funcionamento. Buscou-se saber onde devem ser instalados os pontos de consumo dos equipamentos e também fazer uma previsão da necessidade de ampliação da rede pneumática. Após as visitas, foram determinados os equipamentos listados na Tabela 1, sendo os valores de consumo de ar obtidos em catálogos de fabricantes destes equipamentos ou similares.

Tabela 1 - Lista de equipamentos presentes nos laboratórios de EP, e seus respectivos consumos de ar.

Equipamentos	Existente	Local de Instalação (Sala)	Quantidade			Consumo de ar (l/min) de cada unidade	Consumo total de ar (l/min)
			Cilindro (mm)	Quantidade x consumo			
Bancada de treinamento de automação	Sim	1113	Cilindro (mm)	Quantidade x consumo		138,6	138,6
	Sim	1113	75	1 x 14,02	14,02		
	Sim	1113	100	2 x 15,57	31,14		
	Sim	1113	120	8 x 11,68	93,44		
Máquina ensaio de Tração, Flexão e compressão	Sim	1113	1			0,0086	0,0086
Máquina Medição 3D	Sim	1113	1			150	150
Solda Ponto	Sim	1114	1			0,0086	0,0086
Torno CNC	Sim	1112	1			150	150
Pistola de Ar	Sim	1112, 1113, 1114	3			114	342
Máquina corte Plasma	Não	-	2			227	454
Máquina ensaio de Fadiga	Não	-	1			0,0086	0,0086
Máquina ensaio de Fluência	Não	-	1			0,0086	0,0086
Máquina ensaio de Torção	Não	-	1			0,0086	0,0086
Centro de Usinagem	Não	-	1			100	100
TOTAL		-	13				1334,643

Fonte: Autor (2015)

O consumo total de ar dos equipamentos presentes no laboratório, somado ao consumo dos equipamentos que estão sendo adquiridos, quando ligados juntos, é 1.334,643 litros/minuto, que também pode ser representado como 80,07 m³/hora.

Através de entrevistas com os responsáveis pelos laboratórios, foi decidido o local de instalação da central geradora de ar comprimido, o posicionamento das linhas tronco, secundárias e de alimentação. Quanto à decisão de aumento da capacidade, ficamos com a sugerida pelos livros, que é de 60% para os próximos 10 anos.

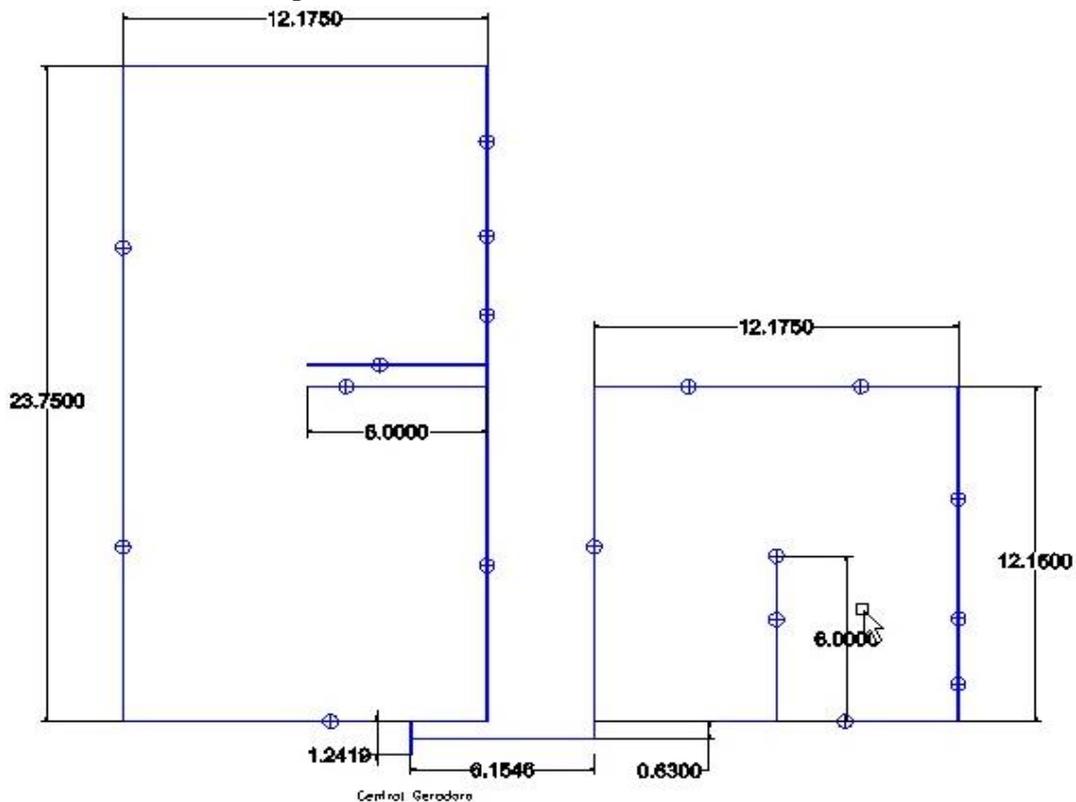
O pé-direito dos laboratórios apresenta uma dimensão de 3,30 metros. Optou-se no projeto por colocar a linha tronco ou principal posicionada a 0,30 metro do teto do laboratório, e as linhas de alimentação terão um caimento de 1,70 metros, ficando a 1,30 metros do piso.

Depois de serem tomadas essas decisões, obtive todos os dados necessários para calcular o dimensionamento da linha pneumática dos laboratórios de EP.

4.1 Leiaute da rede de distribuição

Na Figura 39, é apresentado o leiaute da rede de distribuição de ar comprimido dos laboratórios da Engenharia de Produção, onde podemos verificar toda a rede pneumática, desde a sua central geradora, passando pela linha tronco, linhas secundarias e linhas de alimentação, que chegam aos equipamentos.

Figura 39 - Linha de ar comprimido

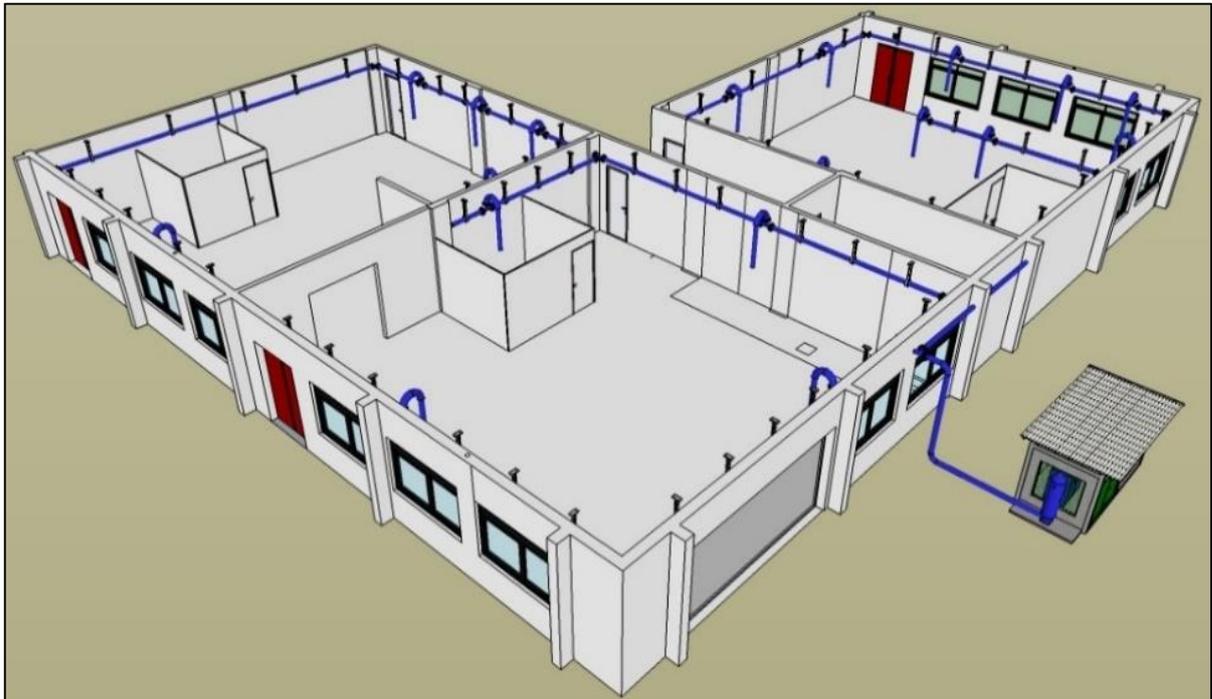


Fonte: Autor (2015)

Nas figuras podemos visualizar o leiaute dos laboratórios da Engenharia de Produção, com as linhas de ar comprimido.

Na Figura 40, é possível verificar a central geradora, local onde ficam localizados alguns equipamentos responsáveis pela preparação do ar comprimido, tais como: os secadores de ar, os filtros e também o reservatório de ar comprimido.

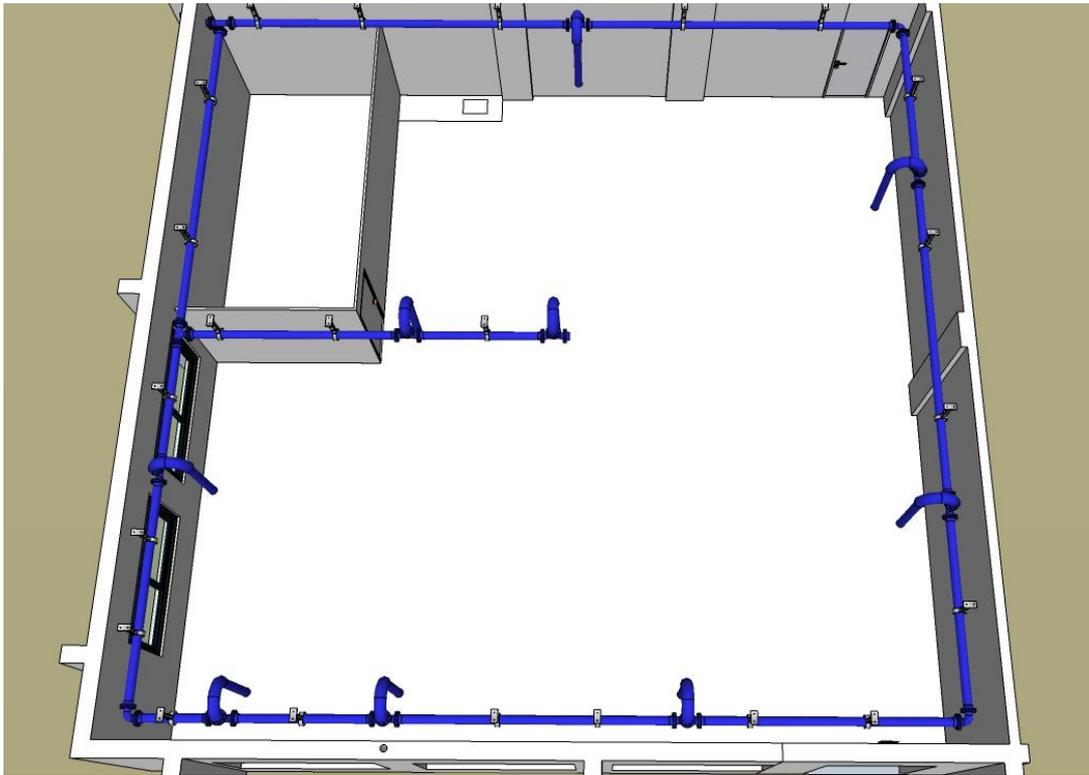
Figura 40 – Visão geral dos laboratórios



Fonte: Autor (2015)

Na Figura 41, temos a sala 1113 de um dos laboratórios da engenharia de produção vista de maneira ampliada, mostrando também a rede de circuito pneumático do tipo fechada, a mais usada industrialmente por abastecer a linha pneumática uniformemente, além de tornar mais fácil a instalação de outras linhas de consumo.

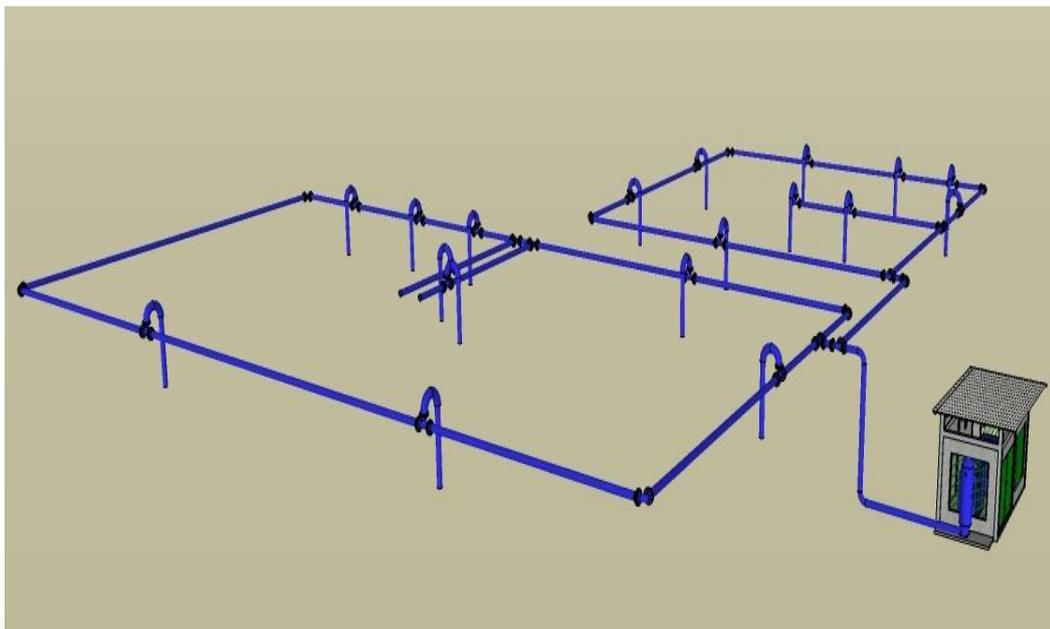
Figura 41- Ampliação laboratório 1113



Fonte: Autor (2015)

Na Figura 42, podemos observar a rede de distribuição e os pontos de alimentação da rede pneumática dos laboratórios, partindo da central geradora.

Figura 42 – Rede de distribuição dos laboratórios



Fonte: Autor (2015)

Na Figura 43, é possível observar uma vista frontal do laboratório onde vê-se a central de produção e preparação de ar comprimido e demais aberturas das instalações.

Figura 43 – Vista frontal da Central Geradora



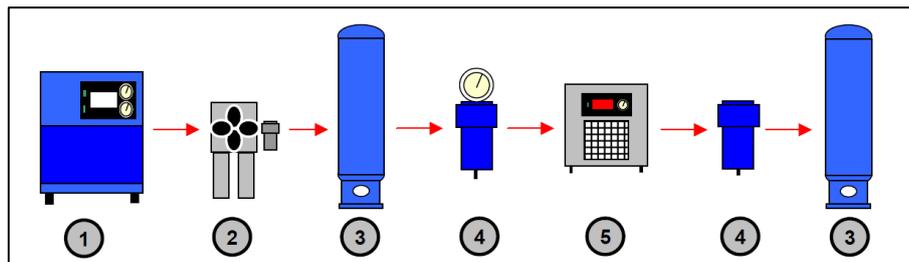
Fonte: Autor (2015)

Apesar de ser um desenho meramente ilustrativo, ele foi projetado nas dimensões reais dos laboratórios, tornando possível a visualização da localização da linha pneumática de cada ponto de consumo e da central geradora.

4.2 Produção, preparação e condicionamento do ar comprimido

A Figura 44, mostra todos os equipamentos que foram sugeridos para a rede de distribuição pneumática dos laboratórios da Engenharia de Produção.

Figura 44 - Relação dos equipamentos presente na rede pneumática



Fonte: Fargon (2006)

Lista dos equipamentos numerados na Figura 44:

- 1 – Compressor de ar;
- 2 – Resfriador Posterior;
- 3 – Reservatórios de ar comprimido;
- 4 – Filtros de ar comprimido;
- 5 – Secador de ar comprimido.

4.2.1 Compressor de ar

Nos laboratórios da Engenharia de Produção, existem três compressores que vão ser utilizados no projeto. Esses compressores são do tipo pistão, e cada um deles apresenta um reservatório de 100 litros.

4.2.2 Resfriador Posterior

Conforme foi revisado no referencial teórico, os resfriadores posteriores são muito importantes para o sistema de tratamento do ar pneumático, pois com esses equipamentos é possível eliminar de 75 a 90% do vapor de água presente no ar, entre outras coisas.

No caso dos resfriadores posteriores, existem diversas marcas e a maioria das marcas possui uma capacidade de 50 a 3000 PCM. Para os laboratórios da Engenharia de Produção, conforme pesquisado, seria adequado instalar um resfriador com capacidade de 50 PCM ou 84,951 m³/hora, que é a menor capacidade encontrada no mercado. Esse resfriador conseguiria prover o adequado tratamento do ar de toda a linha pneumática do laboratório.

4.2.3 Dimensionamento de reservatório

Para o cálculo do volume do reservatório de ar comprimido, que abastecerá a rede pneumática do laboratório de EP, é necessário conhecer: a vazão total do sistema, que nesse caso é de 128,112 m³/hora, levando em conta todos os equipamentos presentes e os que estão sendo adquiridos e; saber se o compressor utilizado é do tipo pistão ou rotativo, que neste caso por opção do projeto será do tipo pistão. Para tanto, adotou-se um aumento de 60% da linha nos próximos 10 anos e considerou-se todos os equipamentos funcionando simultaneamente.

Para compressores do tipo pistão o volume do reservatório é igual a 20% da vazão total do sistema medida em m^3/minuto .

- Vazão Total = $2,1352 \text{ m}^3/\text{minuto}$

- Volume do reservatório = $20\% \times 2,1352 \text{ m}^3/\text{minuto} = 0,42704 \text{ m}^3$

Isso significa que o volume do reservatório deve ser de aproximadamente $0,42704 \text{ m}^3$ ou 427,04 litros

Entretanto, vê-se que o consumo de ar dos equipamentos existentes no laboratório perfaz um total de 780 litros/minuto, ou $46,83 \text{ m}^3/\text{hora}$.

Na sala 1112, o consumo de ar dos equipamentos quando ligados ao mesmo tempo seria de 262 litros/minuto ou $15,72 \text{ m}^3/\text{hora}$.

Na sala 1113, a qual possui o maior consumo de ar dos equipamentos quando ligados simultaneamente é igual a 402,6 litros/minuto, ou $24,15 \text{ m}^3/\text{hora}$.

Já na sala 1114, que possui uma menor demanda de ar é igual a 114,0086 litros/minuto ou $6,84 \text{ m}^3/\text{hora}$.

- Vazão Total = $0,7805 \text{ m}^3/\text{minuto}$

- Volume do reservatório = $20\% \times 0,7805 \text{ m}^3/\text{minuto} = 0,1561 \text{ m}^3$

Isso significa que o volume do reservatório deve ser de aproximadamente $0,1561 \text{ m}^3$ ou 156,1 litros

Assim, podemos observar que para abastecer as três salas dos laboratórios da EP, seria necessário um reservatório de aproximadamente 200 litros ou $0,2 \text{ m}^3$ que conseguiria manter os equipamentos presentes nestas salas funcionando simultaneamente.

Depois de encontrado o volume total de armazenamento de ar necessário para o sistema, recomenda-se dividi-lo em dois reservatórios menores, de igual capacidade, sendo o primeiro instalado logo após o compressor de ar e antes do pré-filtro e o segundo logo após o pós-filtro.

4.2.4 Filtros de ar comprimido

Os filtros de ar comprimido são muito importantes, pois normalmente estão presentes junto ao ponto de uso de equipamentos e também antes e pós-secador. Eles são responsáveis por fazer o restante da separação dos sólidos e líquidos e eliminar a umidade residual que ainda se faz presente na linha.

4.2.5 Secadores de ar

Como foi no referencial teórico, existem no mínimo três tipos de secadores; Secagem por refrigeração, por absorção e por adsorção. Foram estudados os três tipos, e de acordo com as literaturas o melhor dos três é a secagem por adsorção, que é onde conseguimos atingir os menores pontos de orvalho.

Nesse projeto um secador por adsorção com capacidade igual a 117 pcm ou 198,8 m³/hora, poderá manter o ar seco e garantir que os demais equipamentos não sofram perdas ou danos devido à umidade.

4.3 Dimensionamento das tubulações

Para realizar o dimensionamento das tubulações fez-se necessário realizar uma série de cálculos, alcançados através de equações matemáticas que estão citadas no Capítulo 2.9 - Dimensionamento de circuitos pneumáticos.

Para a obtenção de resultados satisfatórios em nossos cálculos, foi necessário tomar algumas decisões, e ter o conhecimento de algumas variáveis presentes nas equações matemáticas, tais como: o consumo de ar dos equipamentos presentes nos laboratórios da Engenharia de Produção, a pressão de regime, a queda de pressão admitida, o comprimento retilíneo das linhas de distribuição de ar comprimido, entre outras.

Para começar os cálculos, vamos listar as variáveis que são necessárias para que o dimensionamento aconteça:

- Volume de ar corrente (Vazão), conforme apresentado na tabela 1, os laboratórios da Engenharia Produção, tem um consumo de ar de 80,07 m³/hora quando ligados simultaneamente. E ainda estimamos uma possível ampliação na rede de 60% para os próximos 10 anos, que resulta em uma vazão de 128,112 m³/hora.

- Queda de pressão admissível, não pode ultrapassar 0,3kgf/cm², para se possa ter um desempenho satisfatório.

- As linhas possuem comprimentos retilíneos diferentes, para cada dimensionamento usa-se o tamanho da linha apropriado, que foi calculado através do leiaute apresentado na figura 39. Na tabela 2 é apresentada as linhas e seus respectivos comprimentos.

- Número de pontos de estrangulamento ou singularidades, são utilizados para distribuir a linha de ar comprimido na planta industrial. Nas tabelas 3, 4 e 5 serão apresentadas as singularidades das linhas tronco, secundária e de alimentação.

- Admitiu-se o uso de uma pressão nos equipamentos do laboratório de 6Kgf/cm², que é a considerada econômica industrialmente.

Tabela 2 - Comprimento retilíneo das linhas de alimentação de ar comprimido.

	Linha primaria ou tronco (m)	Linhas secundárias (m)	Linhas de alimentação (m)
Comprimento retilíneo por linha de distribuição de ar comprimido (m)	128,5265	6	1,70
Quantidade	1	3	18
Comprimento Retilíneo total (L ₁)	128,5265	18	30,6

Fonte: Autor (2015)

Para o dimensionamento da linha tronco ou principal, foi feito o seguinte cálculo, através da equação (2).

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1.663785 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{1,85} \cdot Lt}{\Delta P \cdot P}} \right]$$

Foi verificada a vazão para os equipamentos presentes no laboratório, de 80,07 m³/hora, entretanto com um aumento de 60% da linha de ar comprimido nos próximos 10 anos, deve ser realizado o seguinte cálculo para reajustar a vazão:

$$Q = 80,07 \text{ [m}^3\text{/hora]} \times 1.6 = 128,112 \text{ [m}^3\text{/hora]}$$

No decorrer deste estudo este valor de vazão foi o utilizado nos cálculos do dimensionamento das linhas de ar comprimido.

4.3.1 Calculando a Linha tronco:

1º passo - Aplicar a equação (2) sem considerar as singularidades presentes na linha tronco, e levando em consideração o aumento da linha de ar comprimido de 60% para os próximos 10 anos. Nesta etapa temos as seguintes variáveis:

$$Q = 128,112 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$L_1 = 128,5265 \text{ m}$$

$$L_2 = ?$$

$$P = 6 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\Delta P = 0,3 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1.663785 \cdot 10^{-3} \cdot 128,112^{1,85} \cdot 128,5265}{0,3 \cdot 6}} \right]$$

$$d = 39,33 \text{ mm}$$

Após o cálculo desse diâmetro de 39,33mm, utilizamos a tabela A.5, que está no ANEXO A e encontramos que o diâmetro comercial é 1.1/2 in.

Esse diâmetro comercial é usado para calcular as singularidades da linha tronco, na tabela A.6 que está presente no ANEXO B.

Na tabela 3 podemos observar as singularidades e seus respectivos comprimentos.

Tabela 3 - Singularidades da linha tronco ou principal.

Singularidades linha principal ou tronco	Quantidade	Comprimento (m)	Total (m)
Curva 90° raio longo roscada	9	1	9
Válvula do tipo gaveta roscada	2	0,37	0,74
Tês fluxo pelo ramal roscado	17	3	51
Comprimento equivalente total (L ₂)	-	-	60,74

Fonte: Autor (2015)

2º passo – Depois de encontramos o comprimento equivalente (L₂) da linha tronco através de suas singularidades, vamos utilizar a equação (1), abaixo, para calcularmos o comprimento total.

$$L_t = L_1 + L_2 = 128,112 + 60,74 = 189,2665 \text{ m}$$

3º - Após calculado o comprimento total (L_t), voltamos a aplicar a equação (2).

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1.663785 \cdot 10^{-3} \cdot 128,112^{1,85} \cdot 189,2665}{0,3 \cdot 6}} \right]$$

$$d = 42,49 \text{ mm}$$

Agora voltamos a utilizar a tabela A.5, presente no ANEXO A e descobrimos que o diâmetro comercial da linha tronco é de 2in.

4.3.2 Calculando as linhas secundárias:

No caso das linhas secundárias, utiliza-se as mesmas equações (1) e (2), com a mesma ordem de cálculos, porém temos de calcular o volume de ar corrente para as linhas secundárias.

Na linha de distribuição, existem três linhas secundárias de mesmo comprimento – 6,0m cada -, então realizamos o seguinte cálculo para descobrir o volume de ar corrente:

$$Q = 128,112 \text{ m}^3/\text{hora} / 3 = 42,07 \text{ m}^3/\text{hora},$$

Essa vazão vai ser a utilizada para os cálculos das linhas secundárias.

1º passo – Aplicando a equação (2) sem levar em consideração as singularidades. Para tanto, tem-se os seguintes dados:

$$Q = 42,07 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$L_1 = 6 \text{ m (cada linha secundária)}$$

$$L_2 = ?$$

$$P = 6 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\Delta P = 0,3 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1.663785 \cdot 10^{-3} \cdot 42,07^{1,85} \cdot 6}{0,3 \cdot 6}} \right]$$

$$d = 14,11 \text{ mm}$$

Após calculado esse diâmetro interno de 14,11mm, utilizamos a tabela A.5, que está no ANEXO A, descobrimos que o diâmetro comercial é 1.1/2 in.

Esse diâmetro comercial é usado para calcular as singularidades, na tabela A.6 que está presente no ANEXO B. Na tabela 4 podemos observar as singularidades e seus respectivos comprimentos.

Tabela 4 - Singularidades da linha secundária.

Singularidades linha Secundária	Quantidade	Comprimento (m)	Total (m)
Curva 90° raio longo roscada	3	0,67	2,01
Válvula do tipo gaveta roscada	3	0,17	0,51
Tês fluxo pelo ramal roscado	6	1,3	7,8
Cotovelo comum 90° roscado	1	1,1	1,1
Comprimento equivalente total (L ₂)	-	-	11,42

Fonte: Autor (2015)

2° passo - Depois que encontramos o comprimento equivalente (L₂) da linha secundária através de suas singularidades, vamos utilizar a equação (1), apresentada abaixo, para encontrarmos o comprimento total.

$$L_t = L_1 + L_2 = 6 + 11,42 = 17,42 \text{ m}$$

3° - Logo após encontrarmos o comprimento total (L_t), voltamos a aplicar a equação (2).

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1.663785 \cdot 10^{-3} \cdot 42,07^{1,85} \cdot 17,42}{0,3 \cdot 6}} \right]$$

$$d = 17,46 \text{ mm}$$

Utilizando a tabela A.5, presente no ANEXO A e descobrimos que o diâmetro comercial da linha secundária é de 3/4in.

4.3.3 Calculando as linhas de alimentação:

No caso das linhas de alimentação, também utilizamos as mesmas equações (1) e (2), com a mesma a mesma ordem de cálculos, porém temos de calcular o volume de ar corrente para essas linhas de alimentação.

Existem no total 18 linhas de alimentação, todas com 1,70m, que estão presentes ao longo da planta industrial.

Devemos realizar o cálculo a seguir para descobrir o volume de ar corrente presente nestas linhas.

Já que algumas destas linhas estão diretamente ligadas na linha troco e outras ligadas nas linhas secundárias, devemos calcular separadamente as correntes de ar de cada linha.

$$Q_{\text{ligadas a linha troco}} = 128,112 \text{ m}^3/\text{hora} / 14 = 9,18 \text{ m}^3/\text{hora}.$$

$$Q_{\text{ligadas a linha secundaria}} = 42,07 \text{ m}^3/\text{hora} / 4 = 10,51 \text{ m}^3/\text{hora}.$$

Neste trabalho, entendeu-se que o dimensionamento das tubulações das linhas de alimentação será realizado com o maior valor obtido de vazão das linhas de alimentação derivadas da linha secundária, 10,51 m³/hora.

1º passo – Aplicando a equação (2) sem levar em consideração as singularidades.

$$Q = 10,51 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$L_1 = 1,70 \text{ m (cada linha secundária)}$$

$$L_2 = ?$$

$$P = 6 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$\Delta P = 0,3 \text{ Kgf/cm}^2$$

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1.663785 \cdot 10^{-3} \cdot 10,51^{1,85} \cdot 1,70}{0,3 \cdot 6}} \right]$$

$$d = 6,56 \text{ mm}$$

Após encontrarmos esse diâmetro interno de 6,56mm, utilizamos a tabela A.5, que está no ANEXO A, e verificamos que o diâmetro comercial é 1/4in, mas como a tabela A.6 do

ANEXO B tem como seu menor diâmetro comercial ½in para calcular as singularidades, vamos utilizar ½in.

Esse diâmetro comercial é usado para calcular as singularidades, na tabela A.6 que está presente no ANEXO B. Na tabela 5 podemos observar as singularidades e seus respectivos comprimentos equivalentes.

Tabela 5 – Singularidades das linhas de alimentação.

Singularidades linha de alimentação	Quantidade	Comprimento (m)	Total (m)
Curva 180° raio longo roscada	18	1,1	19,8
Válvula do tipo gaveta roscada	18	0,17	3,06
Tês fluxo pelo ramal roscado	18	1,3	23,4
Comprimento equivalente total (L ₂)	-	-	46,26

Fonte: Autor (2015)

2º passo - Aproveitando o comprimento equivalente (L₂) da linha secundária através de suas singularidades, vamos empregar a equação (1), exibida abaixo, para calcular o comprimento total.

$$L_t = L_1 + L_2 = 1,70 + 46,26 = 47,96 \text{ m}$$

3º - Para calcularmos o comprimento total (L_t), voltamos a aplicar a equação (2).

$$d = 10 \left[\sqrt[5]{\frac{1.663785 \cdot 10^{-3} \cdot 10,51^{1,85} \cdot 47,96}{0,3 \cdot 6}} \right]$$

$$d = 12,80 \text{ mm}$$

Utilizando a tabela A.5, no ANEXO A, constatamos que o diâmetro comercial das linhas de alimentação é de 1/2 in.

Após realização dos cálculos obtivemos os resultados de dimensionamento da linha de distribuição pneumática que está presente na tabela 6.

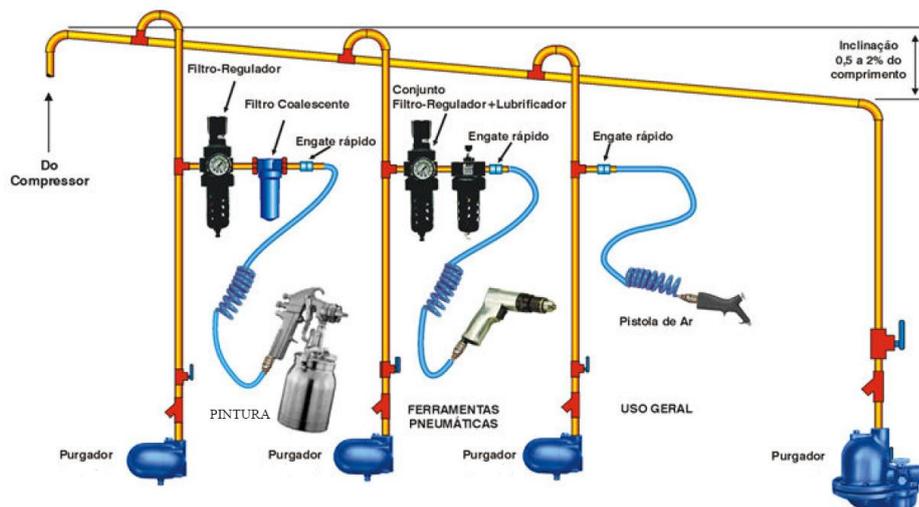
Tabela 6 - Resumo dos elementos presentes na rede de distribuição de ar comprimido.

	Linha Tronco	Linhas Secundárias	Linha de Alimentação
Dimensionamento	2 in	¾ in	½ in
Curva 90° raio longo roscada	9 un.	3 un.	-
Cotovelo comum 90° roscado	-	1 un.	-
Curva 180° raio longo roscada	-	-	18 un.
Válvula do tipo gaveta roscada	2 un.	3 un.	18 un.
Tês fluxo pelo ramal roscado	17 un.	6 un.	18 un.
Outros elementos			
Unidade LUBRIFIL	-	-	18 un.
Ganchos para fixar a rede	22 un.	6 un.	
Purgadores		3 un.	20 un.

Fonte: Autor (2015)

Na Figura 45, podemos enxergar alguns exemplos de singularidades e alguns acessórios presentes nas linhas pneumáticas.

Figura 46 - Exemplo de linha pneumática



Fonte: Fargon (2006)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões do estudo, limitações da pesquisa e sugestões de pesquisas futuras de acordo com o que foi encontrado no transcorrer do projeto.

5.1 Conclusões da Pesquisa

Respondendo à questão de pesquisa e atendendo ao objetivo principal, ao final deste estudo é possível observar o projeto de dimensionamento de uma rede de ar comprimido para os laboratórios de Engenharia de Produção. Esse dimensionamento foi realizado através de cálculos matemáticos que foram executados a partir de informações coletadas em manuais, visita e observação nos laboratórios e entrevistas junto aos responsáveis por tais espaços.

Atendendo aos objetivos específicos, buscou-se com o referencial teórico apresentar as formas de produção, preparação e distribuição do ar comprimido ao longo da linha pneumática, e também mostrar como é feito o dimensionamento, suas variáveis e informações necessárias para o tornar o mais confiável possível.

Através dos objetivos secundários também foi possível verificar todos os equipamentos presentes nos laboratórios e alguns que estão em processo de compra. Nessa etapa pôde-se observar que existem alguns equipamentos que possuem uma maior utilização do que outros.

Com o decorrer da pesquisa e as frequentes visitas aos laboratórios, foi possível notar que para a instalação de linhas de distribuição pneumática nesses laboratórios, não há grandes limitações, pois, os pontos por onde a rede pneumática irá passar são de fácil acesso ao maquinário necessário para a instalar.

Ainda, nas visitas ficou explícita a necessidade dessa linha de ar comprimido, pois, os equipamentos presentes nos laboratórios hoje em dia não têm nenhum tipo de segurança quanto à qualidade do ar – que, no caso da instalação de uma linha pneumática, proporcionaria o adequado tratamento do ar utilizado nos equipamentos.

Os laboratórios da EP ainda contam com alguns equipamentos que podem ser aproveitados no projeto de distribuição de ar. Existem três compressores que hoje em dia são os que abastecem os equipamentos presentes nos laboratórios. Estes mesmos compressores, que possuem cada um, um reservatório de 100 Litros, podem suprir a demanda de ar que atualmente os laboratórios necessitam, que é de 156,1 litros, como mostrado nos cálculos de dimensionamento de reservatórios. Somando os três compressores, vamos ter um reservatório

de 300 litros, com dois deles funcionando alternadamente e abastecendo os equipamentos e o terceiro sendo utilizado como reservatório pulmão, ou seja, ficando de reserva – caso ocorresse algum imprevisto na linha, ele entraria em funcionamento.

No transcorrer do projeto, foram encontrados muitos tipos de materiais usados nas tubulações que distribuem o ar ao longo da planta industrial, tais como: aço galvanizado, aço inoxidável, alumínio, cobre e plástico de engenharia. Neste sentido, sugere-se usar o alumínio na linha principal, por ser mais leve e ser resistente à oxidação; já nas linhas secundárias e de alimentação podem ser de alumínio com engate rápido, tornando mais fácil sua remoção e apresentando boa vedação, oferecendo segurança e qualidade.

5.2 Limitações da Pesquisa

Esta pesquisa limitou-se a dimensionar a linha de ar comprimido que suprirá apenas a demanda dos laboratórios da Engenharia de Produção, mais especificamente as salas 1112-LaFa – Laboratório de Fabricação, 1113-LaMet - Laboratório de Ensaios Mecânicos e 1114-LaFa – Laboratório de Fabricação.

Este projeto não incluiu realização de nenhum tipo orçamento, seja com relação a tubulações, compressores, resfriadores, seja com relação a qualquer outro tipo de equipamento aqui proposto. Não se considerou levantamentos de custos nesta pesquisa, por se tratar de um trabalho que, apesar de agora ser plausível de execução, teve como principal meta dimensionar e demonstrar graficamente a possibilidade de instalação da linha de ar-comprimido funcionando e adequada; ademais, por se destinar a um espaço de instituição pública, para ser aprovado, passará indubitavelmente por processo de licitação, sendo os orçamentos de responsabilidade pela parte contratante do serviço de execução deste projeto – o governo federal.

5.3 Sugestões para pesquisas futuras

Atualmente existem muitos materiais que podem ser utilizados na composição das linhas, pesquisar esses materiais, comparando-os e optar pelo que ofereça maior segurança, menor custo (visando mera sugestão ao processo de licitação), e mantendo a qualidade da distribuição.

Também se poderá elencar empresas prestadoras do serviço de instalação de linhas de ar comprimido, caracterizando seus métodos e equipamentos utilizados para a realização do serviço – além de possibilitar, ao apresentar o projeto, um orçamento da prestação de serviço.

Outra possibilidade, era a de se utilizar os métodos desta pesquisa para estendê-la aos demais laboratórios da Universidade.

REFERÊNCIAS

CROSER, Peter; EBEL, Frank. **Pneumática: nível básico**. São Paulo: Festo Didactic, 2002.

D'ABREU, João Vilhete Viegas. Desenvolvimento de ambientes de aprendizagem baseados no uso de dispositivos robóticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 1999, Curitiba. **Anais Eletrônicos...** Curitiba: UFPRJ, 1999. Disponível em: <<http://www.nied.unicamp.br/oea>>. Acesso em: 18 dez. 2014.

FARGON tratamento ar comprimido. **Manual de tratamento de ar comprimido**. 1. ed. São Paulo: FARGON 2006. Disponível em < <http://www.fargon.com.br> >. Acesso em: 18 de nov. 2014.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação pneumática: projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. 5. ed. São Paulo: Érica, 2011.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GROOVER, Mikell P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. Tradução de Jorge Ritter, Luciana do Amaral Teixeira e Marcos Vieira.3. ed. São Paulo: Pearson, 2011. Título original: Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos da metodologia científica**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Brasília: 2014

MORAES, Cícero Couto de; CATRUCCI, Plínio. **Engenharia de automação industrial**. 2.ed. São Paulo: LTC, 2007.

NEVES, Cleonor; DUARTE, Leonardo; VIANA, Nairon; LUCENA, Vicente Ferreira de. Os dez maiores desafios de automação industrial: as perspectivas para o futuro. CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2007, João Pessoa. **Anais...** Amazonas: UFAM, 2007.

PARKER TRAINING. **Tecnologia eletropneumática industrial**. Apostila M1002-2BR, Jacareí – SP, 2001.

_____. **Dimensionamento de redes de ar comprimido**. Apostila M1004 BR Jacareí – SP, 2006.

_____. **Tecnologia pneumática industrial**. Apostila M1001-1 BR, Jacareí – SP, 2007.

PINTO, Danilo Pereira; PORTELA, Júlio Cesar da Silva; OLIVEIRA, Vanderli Fava de. Diretrizes curriculares e mudança de foco no curso de engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Juiz de fora: UFJF, 2003.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Automação industrial**. Salvador: Tek Treinamento & Consultoria, 2001.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA. Curso de Engenharia de Produção. **Projeto pedagógico do curso**. Maio, 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA. Reitoria – Assessoria de Comunicação Social. **Catálogo institucional Unipampa**. Ano 2. Edição IV, junho, 2013.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamentos e métodos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZENIT soluções para fluidos. **Manual de ar comprimido**. 1. ed. São Paulo: Zenoar 2006. Disponível em < <http://www.zenitcompressores.com.br/downloads> >. Acesso em: 10 de nov. 2014.

ANEXOS

ANEXO A – Tabela dos diâmetros comerciais

A.5. Norma ASTM A 120 Schedule 40*Tubo de aço para condução de fluidos e outros fins*

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

Fonte: Fialho (2011)

ANEXO B – Tabela das singularidades

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

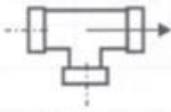
Conexões		Diâmetro Nominal (in)							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
 90° Cotovelo comum	ROSQ.	1,1	1,34	1,58	2	2,25	2,6	2,8	
	FLAN.	0,30	0,37	0,50	0,62	0,73	0,95	1,1	
	Diâmetro Nominal (in)								
		3	3.1/2	4	5	6	8	10	
	ROSQ.	3,4	3,7	4,0	-	-	-	-	
	FLAN.	1,3	1,55	1,8	2,2	2,7	3,7	4,3	

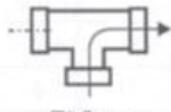
Conexão		Diâmetro Nominal (in)							
		1/2	3/4	1	1.1/4	1.1/2	2	2.1/2	
 Curva 90° raio longo	ROSQ.	0,67	0,70	0,83	0,98	1,0	1,1	1,1	
	FLAN.	0,33	0,40	0,49	0,61	0,70	0,83	0,88	
	Diâmetro Nominal (in)								
		3	3.1/2	4	5	6	8	10	
	ROSQ.	1,2	1,3	1,4	-	-	-	-	
	FLAN.	1,0	1,15	1,3	1,5	1,7	2,1	2,4	

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	

Fonte: Fialho (2011)

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

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

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

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

Fonte: Fialho (2011)

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

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

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

Fonte: Fialho (2011)

