

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DAELT – DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

JAIRO CESAR PACHECO

**VAZAMENTOS EM REDES DE AR COMPRIMIDO: ESTUDO DE
VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE DETECÇÃO AUTOMÁTICA**

MONOGRAFIA

CURITIBA

2018

JAIRO CESAR PACHECO

**VAZAMENTOS EM REDES DE AR COMPRIMIDO: ESTUDO DE
VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE DETECÇÃO AUTOMÁTICA**

Trabalho de Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Eficiência Energética, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Luiz Amilton Peplow
Co-Orientador: Prof. Me. Fábio José Horta Nogueira

CURITIBA

2018



Ministério da Educação

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Câmpus Curitiba



Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA

TERMO DE APROVAÇÃO

VAZAMENTOS EM REDES DE AR COMPRIMIDO:

Estudo de viabilidade de um sistema de detecção automática

Por

JAIRO CESAR PACHECO

Esta monografia foi apresentada às **17:00 h** do dia **11/05/2018** como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, **Câmpus Curitiba**. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho:

1		Aprovado
2		Aprovado condicionado às correções Pós-banca, postagem da tarefa e liberação do Orientador.
3		Reprovado

Prof. M. Eng. Daniel Balieiro Silva

UTFPR – Examinador

Prof. M. Eng. Fábio José Horta Nogueira

UTFPR – Co-Orientador

Prof. M. Eng. Luiz Amilton Peplow

UTFPR – Orientador

À minha esposa Sylvia e a meu filho Mateus, pelo incentivo desde o início da especialização, bem como aos meus pais, Cezar e Paulina, que sempre me apoiaram na busca do conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela proteção nas minhas idas e vindas de Joinville à Curitiba.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, e seus colaboradores, por oferecer esta especialização em Eficiência Energética, tão importante para formação de especialistas em uma área de vital importância para o crescimento do país e preservação dos recursos naturais.

Aos professores que compartilharam seus conhecimentos e experiências, possibilitando minha especialização na área de eficiência energética.

Aos colegas de aula, que trouxeram as experiências vividas em suas empresas, e que contribuíram em muito com nosso aprendizado.

À Krona Tubos e Conexões, que sempre incentiva à busca de conhecimentos de seus colaboradores e que possibilitou a elaboração desta monografia com dados reais de fábrica.

À minha esposa Sylvia e a meu filho Mateus, que além de me apoiarem, abdicaram horas de convívio, para que eu pudesse me dedicar aos estudos.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

PACHECO, Jairo Cesar. **Vazamentos em redes de ar comprimido**: Estudo de viabilidade de um sistema de detecção automática. 2018. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Especialização em Eficiência Energética. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Esta monografia mostra os gastos com energia elétrica devido a vazamentos de ar, em uma rede de distribuição de ar comprimido da empresa Krona Tubos e Conexões. Apresenta um sistema para detecção de vazamentos de forma automática, com seus custos de implantação para a rede de distribuição citada. Através dos métodos de análise econômico-financeira de payback simples, VPL e TIR, compara os gastos anuais com energia elétrica gerados pelos vazamentos, com o valor do investimento para instalação do sistema, mostrando que é viável sua implantação.

Palavras-chave: Vazamento. Ar comprimido. Eficiência Energética.

ABSTRACT

PACHECO, Jairo Cesar. **Leaks in compressed air networks:** Viability study of an automatic detection system. 2018. 82 p. Course Conclusion Monograph - Energy Efficiency Specialization. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

This monograph shows the expenses with electric energy due to air leaks in a compressed air distribution network of the company Krona Tubos e Conexões. It presents a system for detecting leaks automatically, with its implementation costs for the cited distribution network. Through the methods of economic and financial analysis of simple payback, NPV and IRR, it compares the annual expenses with electricity generated by the leaks, with the value of the investment to install the system, showing that its implantation is feasible.

Keywords: Leak. Compressed Air. Energy Efficiency.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO9

- 1.1 DELIMITAÇÃO10
- 1.2 OBJETIVO GERAL10
- 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS10
- 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS10
- 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO11

2 REVISÃO LITERÁRIA11

- 2.1 AR COMPRIMIDO12
- 2.2 ETAPAS DE PRODUÇÃO E PREPARAÇÃO DO AR COMPRIMIDO15
- 2.3 DISTRIBUIÇÃO16
- 2.4 FORMAS DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS EM REDES DE AR COMPRIMIDO17

3 REDE DE AR COMPRIMIDO OBJETO DO ESTUDO18

- 3.1 EMPRESA18
- 3.2 REDE E SALA DE AR COMPRIMIDO19
- 3.3 MEDIÇÕES DE CONSUMO23
- 3.4 CUSTO ENERGIA ELÉTRICA27
- 3.5 CONSUMO E GASTOS COM VAZAMENTOS28

4 SISTEMA DE DETECÇÃO AUTOMÁTICO DE VAZAMENTOS EM REDES DE AR COMPRIMIDO30

- 4.1 SISTEMA DE DETECÇÃO AUTOMÁTICO PROPOSTO31
- 4.2 TRECHOS DA TUBULAÇÃO A SEREM MONITORADOS31
- 4.3 ELEMENTOS DO SISTEMA32
- 4.4 ROTINA DE TESTES33
- 4.5 SOLUÇÃO PROPOSTA35
- 4.6 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA - HARDWARE36
- 4.7 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA - SERVIÇOS40
- 4.8 INVESTIMENTO TOTAL41

5 ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA41

- 5.1 PAYBACK SIMPLES42
- 5.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO - VPL43
- 5.3 TAXA INTERNA DE RETORNO - TIR44

6 CONCLUSÕES44

6.1 CONCLUSÕES GERAIS44

6.2 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS45

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS46

APÊNDICE A – Equipamentos de Sistemas de Ar Comprimido47

ANEXO A – Certificado de calibração do medidor Embrasul71

ANEXO B – Instrução normativa Receita Federal72

ANEXO C – Datasheet dos principais componentes do sistema73

1 INTRODUÇÃO

Com o constante crescimento populacional, comercial e industrial, a necessidade de investimentos em geração de energia é fundamental para o atendimento das novas demandas. A preocupação na preservação dos recursos naturais do planeta e o crescimento de forma sustentável é um freio para este atendimento. Investimentos em Eficiência Energética são formas inteligentes de minimizar a necessidade de construções de novas usinas, além de contribuir na preservação de recursos naturais, seja na produção de energia, nos materiais empregados, quanto na preservação de áreas destinadas às construções destas usinas.

Grande parte da indústria utiliza ar comprimido em seus processos produtivos, principalmente para a movimentação de cilindros em máquinas e equipamentos. As perdas de ar comprimido, por vazamentos nas tubulações que conduzem este ar até o ponto de consumo, não é facilmente detectável, visto a quantidade de tubulações, conexões, mangueiras, reguladores e filtros presentes em uma rede pneumática, que em muitos casos são extensas, alimentando várias áreas da empresa.

O ar comprimido não tem cor e odor, os vazamentos produzem apenas um chiado característico, que se confunde com os ruídos presentes na maioria dos processos produtivos, isto dificulta a identificação e conserto destes vazamentos. Aliado o fato de poucos profissionais terem conhecimento para quantificar os gastos gerados por estes vazamentos, em sua grande maioria não é dada a devida importância, com isto o desperdício de energia com estes vazamentos pode ser significativo.

Justamente por tudo o que foi descrito, este trabalho visa apresentar um estudo de viabilidade de detecção de vazamentos em redes de ar comprimido de forma automática.

1.1 DELIMITAÇÃO

Dentre as formas usuais de detecção de vazamentos em redes de ar comprimido na indústria, a de forma automática é o objeto deste estudo.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade de aplicação de um sistema de detecção automática de vazamentos de redes de ar comprimido.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os gastos com energia elétrica provenientes de vazamentos de ar em uma rede de ar comprimido;
- Identificar os métodos mais utilizados na detecção de vazamentos em redes de ar comprimido;
- Propor a solução para um sistema de detecção automática de vazamentos em rede de ar comprimido;
- Determinar o investimento para a montagem e instalação do sistema citado;
- Realizar análise econômico-financeira;

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

- Medir o consumo de energia elétrica de compressores, gasto apenas para compensar vazamentos em uma determinada rede de ar comprimido na empresa Krona Tubos e Conexões, localizada no Município de Joinville, Estado de Santa Catarina;
- Avaliar a rede de ar comprimido escolhida, identificando os trechos que deverão ser monitorados os vazamentos;
- Especificar e identificar válvulas e transdutores de pressão comerciais, que possibilitem a instalação na rede de ar comprimido existente e que atendam as características do sistema proposto;

- Desenvolver escopo com as funcionalidades pretendidas com o sistema, principalmente da interação homem máquina;
- Especificar o hardware para atendimento das funcionalidades desejadas;
- Realizar as cotações necessárias, avaliar os investimentos totais e determinar viabilidade econômico-financeira do sistema.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo apresenta a introdução, as delimitações, objetivos, metodologia e como este trabalho esta estruturado.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica, iniciando pela composição do ar atmosférico, etapas de produção e preparação do ar comprimido, a distribuição e finalizando com as formas comerciais mais comuns de detecção de vazamentos.

O terceiro capítulo aborda uma determinada rede de ar comprimido da empresa Krona Tubos e Conexões, elementos que a compõem, bem como os gastos efetivos provocados pelos vazamentos de ar comprimido, demonstrando as medições realizadas e a metodologia utilizada para quantificar estes gastos.

O quarto capítulo mostra as características desejadas para o sistema de detecção de vazamentos que o autor visualiza que possa atender de forma satisfatória as necessidades de detecção de vazamentos das tubulações do prédio de Tubos da empresa Krona. Apresenta ainda a especificação dos materiais e serviços necessários, bem como os valores para a montagem do sistema.

O quinto capítulo compara os custos de implantação com os gastos anuais de energia elétrica originada dos vazamentos desta rede, determinando a viabilidade econômico-financeira, através de três métodos.

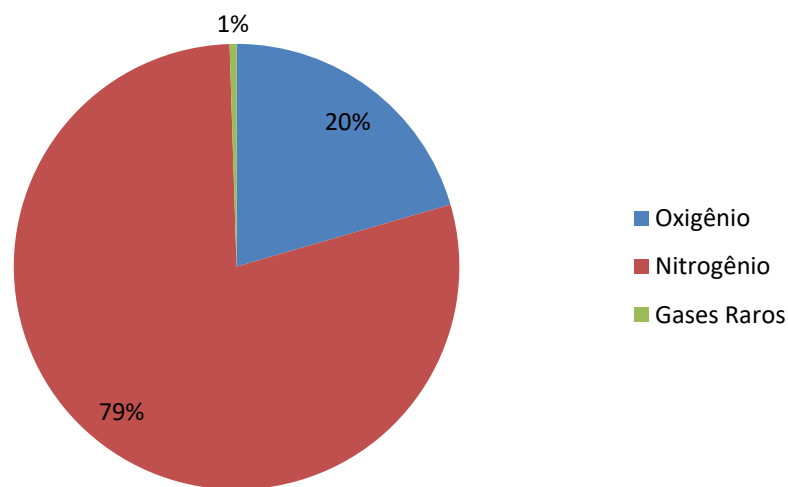
No último capítulo são expostas as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO LITERÁRIA

2.1 AR COMPRIMIDO

O ar comprimido é o resultado da compressão do ar ambiente, que é composto por uma mistura de oxigênio (20,5%), nitrogênio (79%) e alguns gases raros. Cerca de 6 bilhões de toneladas de ar são comprimidas anualmente no mundo, produzindo um consumo de 500 bilhões de kWh, com um custo de 30 bilhões de dólares (METALPLAN, 2017), conforme pode ser visto no gráfico 1.

Gráfico 1 - Composição do Ar



Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software Excel 2007 V. 12.0

Quase todas as plantas industriais, da microempresa à grande empresa, dispõem de algum tipo de sistema de ar comprimido. Suas utilizações incluem ferramentas pneumáticas, acionamentos mecânicos, controle de equipamentos e transporte de materiais. Entre os vários processos industriais, os sistemas de ar comprimido tem papel importante na produção, respondendo por uma parcela relevante do consumo energético da unidade industrial (KARMOUCHE, 2009).

O ar é denominado comprimido quando a pressão a que estiver sujeito é maior que a pressão atmosférica local. Quando isso ocorre, dizemos que o ar sofreu uma transformação termodinâmica, denominada compressão.

Durante vários anos, estudiosos pesquisaram o comportamento dos gases quando estes passavam por transformações. Chegaram a uma relação geral entre pressões, temperaturas e volumes ocupados, a qual se denominou Equação Geral

dos Gases. Representando para um gás o volume ocupado por V , a temperatura por T e a pressão por P , a Equação Geral dos Gases (1) é expressa por (PROCEL, 2005):

$$(P \times V) / T = \text{Constante} \quad (1)$$

Através do Princípio de Pascal constata-se que o ar é muito compressível sob a ação de pequenas forças. Quando contido em um recipiente fechado, o ar exerce uma pressão igual sobre as paredes, em todos os sentidos. Por Blaise Pascal temos: "A pressão exercida em um líquido confinado em forma estática atua em todos os sentidos e direções, com a mesma intensidade, exercendo forças iguais em áreas iguais". Matematicamente Pascal chegou à Equação (2), onde "P" é a pressão obtida, "F" é a força exercida e "A" é a área exposta a esta força.

$$P = F / A \quad (2)$$

O ar possui alguns princípios físicos importantes, como:

- Compressibilidade: Podemos encerrar o ar num recipiente com volume determinado e posteriormente provocar-lhe uma redução de volume. Podemos concluir que o ar permite reduzir o seu volume quando sujeito à ação de uma força exterior;
- Difusibilidade: O ar, assim como todos os gases, tem a propriedade que lhe permite misturar-se homoganeamente com qualquer meio gasoso que não esteja saturado;
- Expansibilidade: O ar tem a propriedade que lhe possibilita ocupar totalmente o volume de qualquer recipiente, adquirindo o seu formato, já que não tem forma própria (PARKER, 2007).

Segundo Moreira (2012), existem vantagens e desvantagens na utilização de ar comprimido:

Vantagens:

- O ar a ser comprimido faz parte de nosso ambiente e se encontra em grande quantidade na atmosfera. Como o ar comprimido é normalmente acondicionado em reservatórios ou vasos de pressão, seu transporte ou distribuição é muito fácil de ser realizado. Mesmo para distâncias consideravelmente grandes, o que permite que o ar possa ser utilizado a qualquer momento que se queira;
- Quanto à segurança, o trabalho realizado com ar comprimido, que não é sensível às mudanças de temperatura ambiental, garante o funcionamento perfeito, mesmo em situações térmicas extremas;
- O ar comprimido é indicado para aplicação em ambientes classificados, que apresente riscos de incêndio ou explosão;
- O sistema de filtragem torna o ar comprimido limpo, evitando a poluição ambiental em caso de eventuais vazamentos nas tubulações ou em um dos equipamentos pneumáticos;
- O ar comprimido permite alcançar altas velocidades de trabalho, sendo que as ferramentas e os componentes pneumáticos são protegidos contra eventuais sobrecargas de pressão.

Desvantagens:

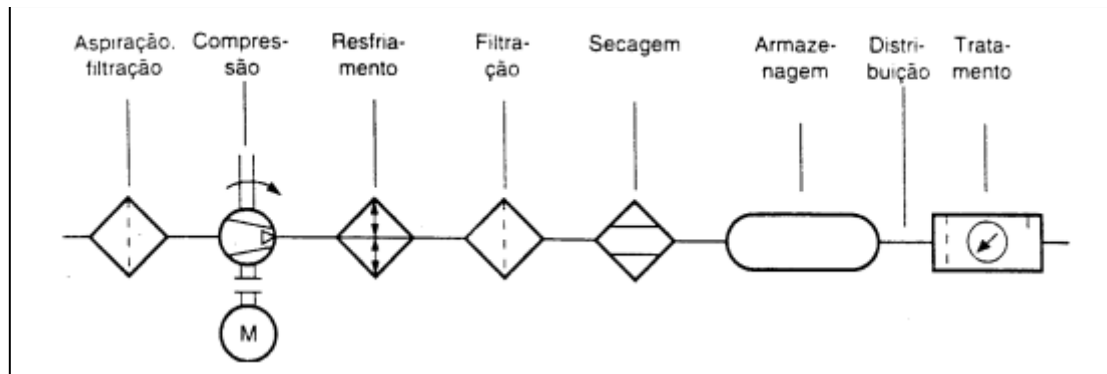
- O ar comprimido é um elemento energético relativamente caro, considerando que sua produção, armazenamento e distribuição pelas máquinas e dispositivos têm um alto custo;
- Não é possível manter uniforme e constante a velocidade dos atuadores pneumáticos;
- O escape de ar para atmosfera produz muito ruído, obrigando o uso de silenciadores;

- O óleo residual, proveniente dos compressores, pode produzir, junto com o ar comprimido, uma mistura de ar e óleo a qual apresenta perigo de explosão, principalmente quando há temperaturas superiores a 333K.

2.2 ETAPAS DE PRODUÇÃO E PREPARAÇÃO DO AR COMPRIMIDO

A Figura 1 mostra as etapas que o ar comprimido passa desde a sua geração e tratamento até ser distribuído nas máquinas.

Figura 1 - Etapas de Um Sistema de Ar Comprimido



Fonte: (SILVA, 2002)

Em geral, o ar comprimido é produzido de forma centralizada e distribuído na fábrica. Para atender às exigências de qualidade, o ar após ser comprimido sofre um tratamento que envolve:

- Filtração
- Resfriamento
- Secagem
- Separação de impurezas sólida e líquidas inclusive vapor d'água

Na Figura 1, cada equipamento por onde o ar passa é representado por um símbolo. Em pneumática existe uma simbologia para representar todos os equipamentos pneumáticos. Assim estão representados na Figura, por exemplo, os símbolos do filtro, compressor, motor (elétrico ou de combustão), resfriador, secador e reservatório. Na Figura 1 vemos que o ar é aspirado pelo compressor, que é a máquina responsável por comprimir o ar. A taxa de compressão é em geral 1:7, ou seja, o ar atmosférico a 1 bar é comprimido para 7 bar. Na entrada do compressor

existe um filtro para reter partículas sólidas do ar do meio ambiente. Ao ser comprimido, o ar aquece aumentando a temperatura em 7 vezes. Assim é necessário resfriá-lo, pois a alta temperatura pode danificar a tubulação. Após o resfriamento, o ar passa por um processo de secagem, na tentativa de remover a água do ar que está sob a forma de vapor, além disso, sofre uma filtração para eliminar partículas sólidas introduzidas pelo compressor, por exemplo. O ar então é armazenado num reservatório que tem duas funções:

- Garantir uma reserva de ar de maneira a garantir que a pressão da linha se mantenha constante, evitando que o compressor tenha que ser ligado e desligado várias vezes. Note que o consumo de ar na fábrica é variável ao longo do expediente;
- Alguns compressores, como o compressor de êmbolo, geram pulsos de pressão na compressão do ar. O reservatório evita que esses pulsos de pressão sejam transmitidos para linha pneumática da fábrica. Do reservatório, o ar é distribuído na fábrica e em cada máquina existe uma unidade de tratamento de ar, que irá ajustar as características do ar comprimido de acordo com as necessidades específicas da máquina. O ar comprimido é então convertido em trabalho mecânico pelos atuadores pneumáticos (SILVA, 2002).

Maiores informações sobre os tipos de compressores existentes, sistemas de resfriamento, secagem, armazenamento e tratamento de ar comprimido podem ser consultados no Apêndice A.

2.3 DISTRIBUIÇÃO

Uma rede de ar comprimido corretamente dimensionada garante uma baixa perda de carga (queda de pressão) entre a geração e o consumo, resultando num suprimento de ar adequado aos usuários, além de uma significativa economia de energia.

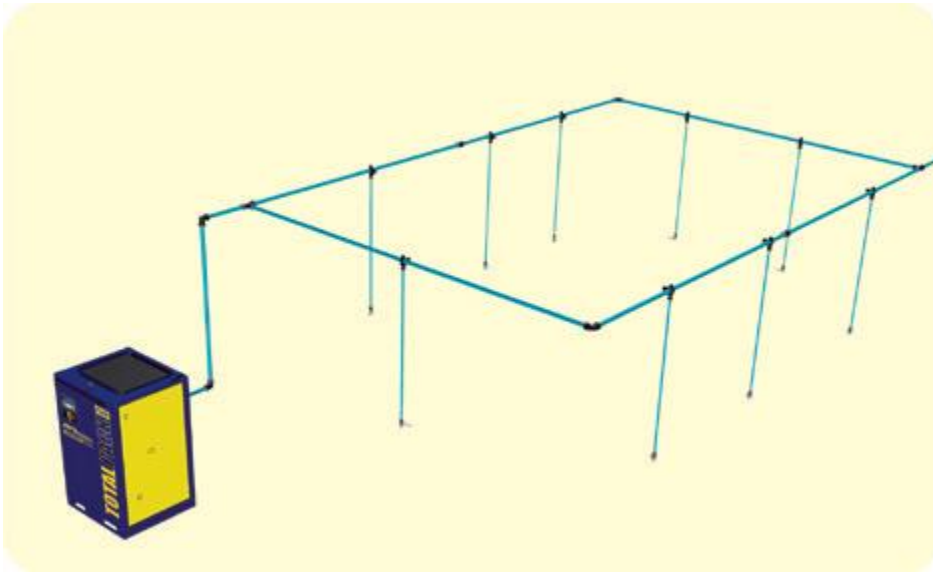
Sempre que possível, as extremidades da rede de ar devem ser interligadas, a fim de facilitar a equalização das pressões. O circuito em anel fechado é um layout de rede correto e bastante comum, conforme pode ser visto na Figura 2.

Mesmo que o ar comprimido seja tratado, convém construir a rede com uma pequena inclinação no sentido do fluxo de ar e instalar algumas válvulas nos pontos

inferiores da mesma, visando captar o condensado formado durante eventuais paradas dos equipamentos de tratamento.

Com relação aos materiais da tubulação, a preferência deve ser aos resistentes à oxidação, como aço galvanizado, aço inoxidável, alumínio, cobre e plásticos de engenharia. Conexões de raio longo também devem ser utilizadas para minimizar a perda de carga (METALPLAN, 2017).

Figura 2 – Circuito típico da distribuição de ar comprimido



Fonte: (METALPLAN, 2017)

2.4 FORMAS DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS EM REDES DE AR COMPRIMIDO

A forma mais usual de detecção de vazamentos de ar é, a de percorrer toda a tubulação e os circuitos pneumáticos das máquinas, a procura de chiados característicos de vazamentos. Com uma esponja, coloca-se um pouco de espuma na região onde foi identificado o chiado, identificando o correto ponto de vazamento, através das bolhas de ar que emergem na espuma.

Porem, através deste método, estes vazamentos não são facilmente identificáveis, visto que os chiados produzidos pelos vazamentos se confundem com os ruídos produzidos pelas máquinas, dificultando a localização dos vazamentos.

Para uma efetiva localização destes vazamentos, estes trabalhos de detecção devem ocorrer em períodos de fábrica parada, que geralmente ocorrem em

finais de semana ou feriados, encarecendo os custos de manutenção, que precisam trabalhar no regime de horas extras.

Equipamentos de detecção de vazamentos por ultrassom também são utilizados. Trata-se de equipamentos portáteis que captam a alta frequência originada pelo som associado a um vazamento de ar, através de uma sonda, que são transmitidos para fones de ouvido e para um medidor que o transforma em sinais luminosos e sonoros. Um exemplo deste tipo de detector pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Detector ultrassônico de vazamentos



Fonte: <https://is.gd/ACoG3E> – Acessado em 31/12/17

Embora os detectores ultrassônicos facilitem o trabalho de detecção, a sensibilidade e seu custo variam de um modelo para outro. É recomendável realizar alguns testes para ajustar o modelo mais adequado às necessidades existentes.

3 REDE DE AR COMPRIMIDO OBJETO DO ESTUDO

3.1 EMPRESA

O desenvolvimento deste trabalho de pesquisa foi realizado através da análise de uma rede de ar comprimido da empresa Krona Tubos e Conexões (www.krona.com.br).

Com 3 fábricas, 2 localizadas no município de Joinville, Estado de Santa Catarina, e uma no município de Marechal Deodoro no Estado de Alagoas, produz tubos, conexões e acessórios em PVC e PPR, sendo reconhecida nacionalmente como uma das maiores empresas de Tubos e Conexões do Brasil, além de estar entre as maiores empresas do país, segundo o jornal Valor Econômico.

(<https://is.gd/J0vVeh> - Acessado em 07/01/18).

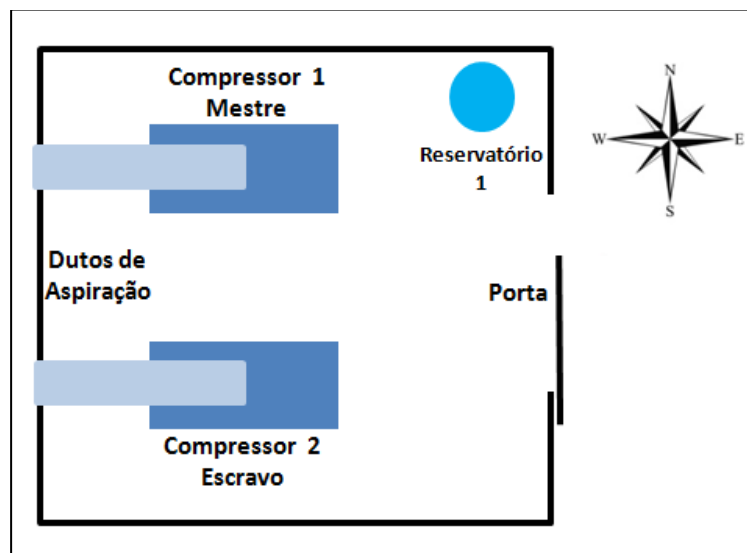
3.2 REDE E SALA DE AR COMPRIMIDO

A rede de ar comprimido escolhida da empresa Krona, está localizada no prédio de Tubos, fábrica de Joinville-SC, bairro Vila Nova.

Prédio com 4700m² possui uma sala de 30m², onde estão localizados 2 compressores e 1 reservatório de ar comprimido.

Na Figura 4 é apresentado o layout desta sala.

Figura 4 – Layout Sala Ar Comprimido



Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software Excel 2007 V. 12.0

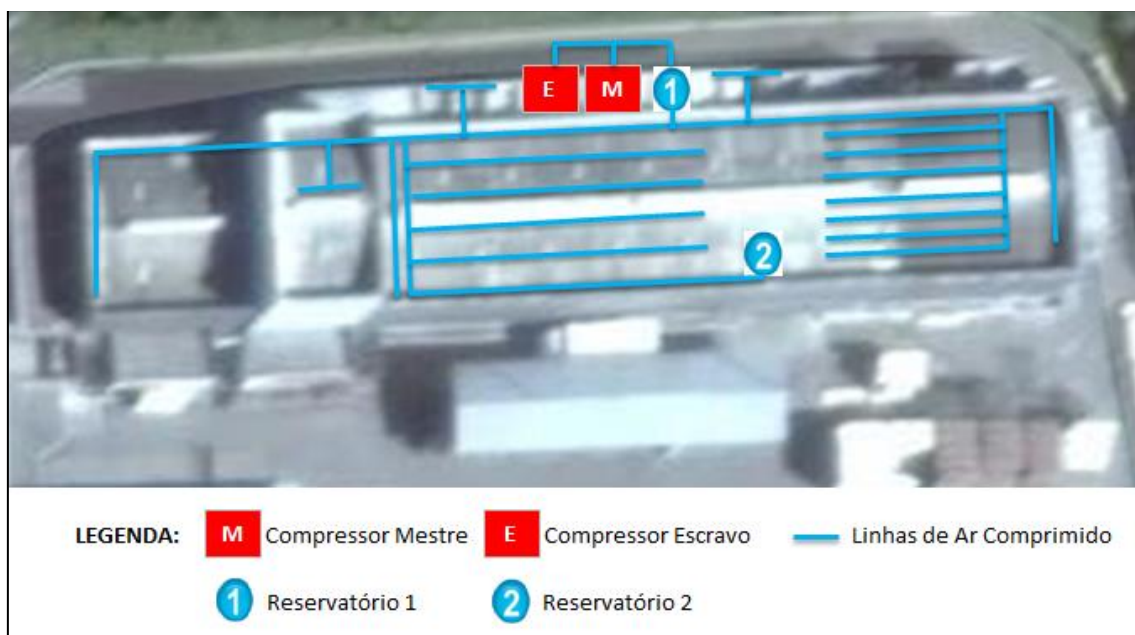
Na sala de ar comprimido operam 2 compressores. Um deles como mestre, (denominaremos de compressor mestre) responsável por alimentar as linhas de produção, tendo seu funcionamento praticamente constante, e o segundo compressor

como escravo (denominaremos de compressor escravo), com a função de garantir a vazão de ar necessária nos momentos de maior consumo da fábrica, com velocidade variável através de inversor de frequência. Dentro da sala encontra-se ainda um reservatório de ar comprimido (Reservatório 1) com capacidade de 1000 litros, que possui como principal função equilibrar e armazenar a pressão entre os compressores e o sistema de consumo.

Na Figura 5, é apresentada uma visão geral das tubulações de ar comprimido, que inicia no Reservatório 1 com tubulação metálica de 2", e vai derivando e reduzindo sucessivamente para bitolas de 1½", ¾" e ½", até abastecer as máquinas.

São aproximadamente 700 metros de tubulações, que partem da sala de compressores e percorrem quase a totalidade da fábrica.

Figura 5 – Rede de Ar Comprimido, objeto deste estudo.



Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software Excel 2007 V. 12.0

As Figuras 6 e 7 mostram os compressores mestre e escravo que estão na sala dos compressores.

Figura 6 – Compressor Mestre



Fonte: Autoria Própria

Figura 7 – Compressor Escravo



Fonte: Autoria Própria

As Figuras 8 e 9 mostram os dados de placas dos compressores mestre e escravo.

Figura 8 – Dados de placa compressor mestre

COMPRESSOR DE AR		Atlas Copco
Tipo: GA90 AFF 125 380/60 RIF +DDX		
Nº de série	BRP072772	
Pressão final max. (e)	8,85	bar
Descarga livre efetiva	907,2	m ³ /h
Potência do motor	125	CV
Rotação do motor:	3580	rpm
Massa	1730	Kg
Ano de Fabricação	12/2009	
Produzido no Brasil por: Atlas Copco Brasil Ltda		
1028 8223 70		

Fonte: Autoria Própria

Figura 9 – Dados de placa compressor escravo

COMPRESSOR DE AR		Atlas Copco
Tipo: GA90VSD FF 380/220V DDX		
Nº de série	BRP071505	
Pressão final max. (e)	12,75	bar
Descarga livre efetiva	717,5	m ³ /h
Potência do motor	125	CV
Rotação do motor:	2510	rpm
Massa	1880	Kg
Ano de Fabricação	07/2009	
Produzido no Brasil por: Atlas Copco Brasil Ltda		
1028 8223 70		

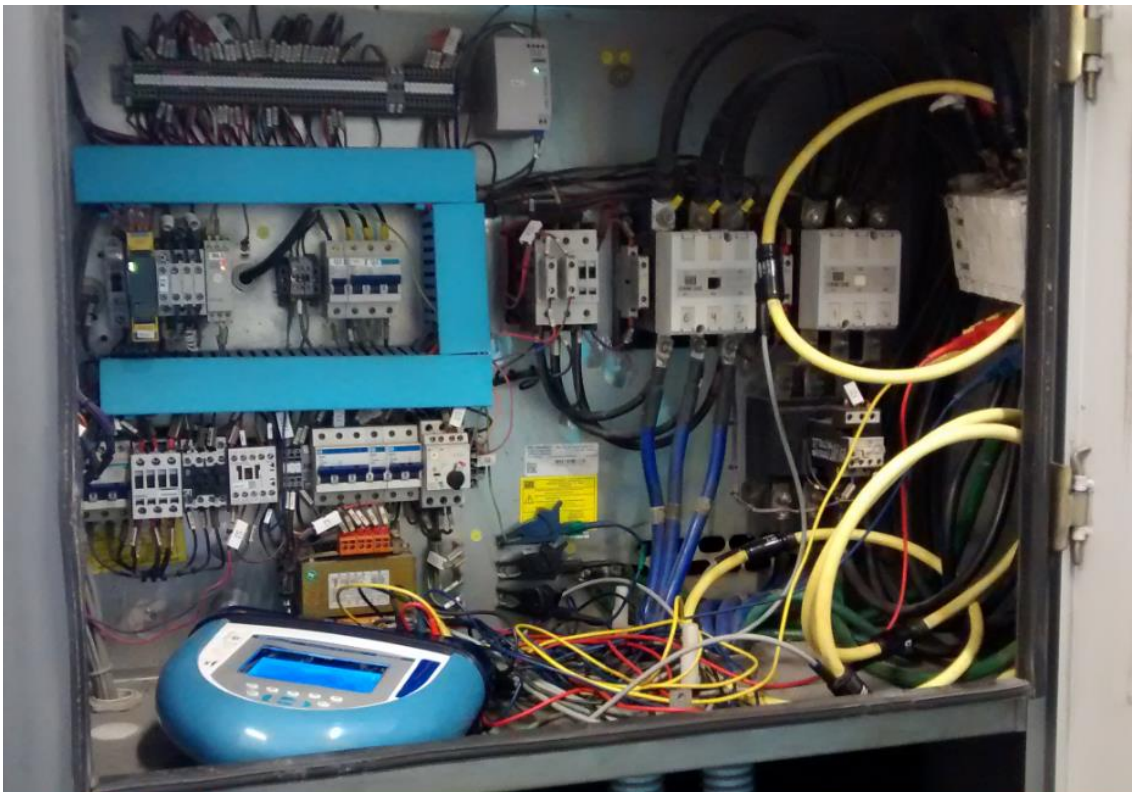
Fonte: Autoria Própria

3.3 MEDIÇÕES DE CONSUMO

Na rede de ar comprimido objeto deste estudo, o compressor mestre funciona de forma contínua em potência máxima, para atender a demanda das cargas da fábrica, bem como suprir os vazamentos de ar comprimido.

Utilizando o medidor de energia, modelo RE6000, da Embrasul, foram realizadas medições de consumo no compressor mestre, em pleno funcionamento da fábrica, conforme pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 – Medição realizada com o compressor mestre a plena carga



Fonte: Autoria Própria

Através do software ANL6000 da Embrasul, foi gerado o gráfico, mostrado na figura 11, que apresenta as tensões das 3 fases de alimentação do compressor e o comportamento da corrente em cada uma destas 3 fases no tempo. Já a figura 12, apresenta os valores das medições de tensões e correntes, mínimas, médias e máximas, consumo e fator de potência.

O consumo do compressor mestre em 01 hora de funcionamento foi de 99,89kWh, conforme identificado na figura 12.

Figura 11 – Gráfico da medição do compressor mestre a plena carga



Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software ANL6000 V.S.2,16 da Embrasul

Figura 12 – Relatório da medição do compressor mestre a plena carga

EMBRASUL RE6000/B/H/T/N N.S:96001044 V.S.2,16 ANL 2,08 (100 milissegundos)

Krona CGC: IE:
CEP: -
Tel: FAX

ANÁLISE GERAL (Integração = 100 milissegundos)

Intervalo considerado:
quinta-feira 21/12/2017 16:00:00,02 até quinta-feira 21/12/2017 17:00:00,02

Faixas de horário estabelecidas no software

Intervalo - Fora de ponta: 06:00 - 18:00 21:00 - 24:00
Intervalo - Ponta: 18:00 - 21:00
Intervalo - Reservado: 00:00 - 06:00

Máximos, médios e mínimos de tensões e correntes por fase.
Não considerados registros em queda e volta de energia. Tensão zero: 44,00 V

Fase A: tensões [V]			Correntes [A]		
Média	212,822		Média	176,253	
Mínimo	208,910	16:19:40,02 21/12/2017	Mínimo	170,100	16:38:13,32 21/12/2017
Máximo	215,060	16:39:01,42 21/12/2017	Máximo	181,800	16:33:00,52 21/12/2017
Fase B: tensões [V]			Correntes [A]		
Média	214,660		Média	178,801	
Mínimo	211,550	16:19:40,02 21/12/2017	Mínimo	174,300	16:44:43,92 21/12/2017
Máximo	216,810	16:38:58,42 21/12/2017	Máximo	184,800	16:15:23,92 21/12/2017
Fase C: tensões [V]			Correntes [A]		
Média	213,248		Média	172,601	
Mínimo	210,420	16:28:17,72 21/12/2017	Mínimo	167,400	16:56:49,42 21/12/2017
Máximo	215,450	16:38:54,52 21/12/2017	Máximo	178,500	16:49:16,02 21/12/2017

FASE	Fora de ponta				Ponta				FP	
	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh		
A	33,586	0,000	16,700	37,509	0,895	0,000	0,000	0,000	1,000	
B	33,977	0,000	17,849	38,380	0,885	0,000	0,000	0,000	1,000	
C	32,325	0,000	17,598	36,805	0,878	0,000	0,000	0,000	1,000	
Total	99,888	0,000	52,146	112,680	0,886	0,000	0,000	0,000	1,000	
FASE	Reservado				Total				FP	
	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh		
A	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	33,586	0,000	16,700	37,509	0,895
B	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	33,977	0,000	17,849	38,380	0,885
C	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	32,325	0,000	17,598	36,805	0,878
Total	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	99,888	0,000	52,146	112,680	0,886

Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software ANL6000 V.S.2,16 da Embrasul

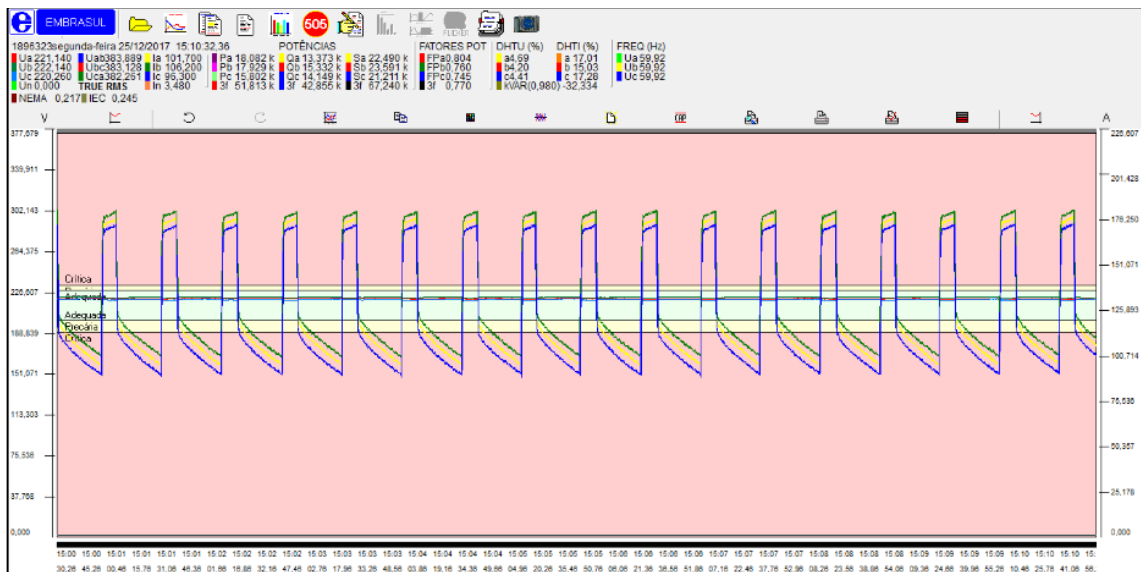
Para identificação do consumo de vazamento desta rede de ar comprimido, foram realizadas novas medições de consumo.

Com a fábrica parada, isto é, sem consumo de ar comprimido pelas máquinas e com o compressor escravo desligado, o compressor mestre atua alternando o funcionamento a plena carga com o funcionamento em alívio, apenas para o suprimento dos vazamentos existentes.

Novamente com o software ANL6000 da Embrasul, foi gerado novo gráfico e relatório, conforme mostrado nas Figuras 13 e 14.

Nesta nova condição o consumo do compressor mestre em 01 hora de funcionamento foi de 67,09kWh, conforme identificado na figura 14.

Figura 13 – Gráfico da medição do compressor mestre suprindo vazamentos



Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software ANL6000 V.S.2,16 da Embrasul

Figura 14 – Relatório da medição do compressor mestre suprindo vazamentos

EMBRASUL RE6000/B/H/T/N N.S:96001044 V.S.2,16 ANL 2,08 (100 milissegundos)										
Krona CGC: IE:										
, CEP: -										
Tel: FAX										
,										
ANÁLISE GERAL (Integração = 100 milissegundos)										
Intervalo considerado:										
segunda-feira 25/12/2017 15:00:00,06 até segunda-feira 25/12/2017 16:00:00,07										
Faixas de horário estabelecidas no software										
Intervalo - Fora de ponta: 06:00 - 18:00 21:00 - 24:00										
Intervalo - Ponta: 18:00 - 21:00										
Intervalo - Reservado: 00:00 - 06:00										
Máximos, médios e mínimos de tensões e correntes por fase.										
Não considerados registros em queda e volta de energia. Tensão zero: 44,00 V										
Fase A: tensões [V]					Correntes [A]					
Média	220,268				Média	124,476				
Mínimo	218,310	15:39:05,16	25/12/2017		Mínimo	94,200	15:05:12,66	25/12/2017		
Máximo	222,000	15:00:50,16	25/12/2017		Máximo	180,000	15:43:26,56	25/12/2017		
Fase B: tensões [V]					Correntes [A]					
Média	221,340				Média	128,565				
Mínimo	219,670	15:39:05,16	25/12/2017		Mínimo	98,700	15:17:19,06	25/12/2017		
Máximo	222,690	15:00:10,26	25/12/2017		Máximo	183,900	15:29:32,36	25/12/2017		
Fase C: tensões [V]					Correntes [A]					
Média	219,329				Média	119,215				
Mínimo	217,530	15:44:33,36	25/12/2017		Mínimo	88,800	15:55:21,47	25/12/2017		
Máximo	220,710	15:25:36,86	25/12/2017		Máximo	176,100	15:33:08,56	25/12/2017		
Fora de ponta					Ponta					
FASE	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP
A	23,086	0,000	14,622	27,327	0,845	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
B	23,033	0,000	16,473	28,317	0,813	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
C	20,970	0,000	15,392	26,013	0,806	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Total	67,089	0,000	46,486	81,620	0,822	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
Reservado					Total					
FASE	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP	kWh	kWh(g)	kVArh	kVAh	FP
A	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	23,086	0,000	14,622	27,327	0,845
B	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	23,033	0,000	16,473	28,317	0,813
C	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	20,970	0,000	15,392	26,013	0,806
Total	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	67,089	0,000	46,486	81,620	0,822

Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software ANL6000 V.S.2,16 da Embrasul

Durante as medições, observou-se que durante os períodos de alívio, (identificados claramente quando a válvula de alívio solta o ar para a atmosfera, gerando um ruído característico) o compressor mestre tem sua potência reduzida, conforme se observa no gráfico da Figura 13.

3.4 CUSTO ENERGIA ELÉTRICA

Para este estudo está sendo considerado como valor de energia elétrica o Preço das Liquidações das Diferenças (PLD) para energia comprada através do Mercado Livre de Energia para o submercado sul, somada ao valor do TUSD, que é

a tarifa de uso do sistema de distribuição (conhecido popularmente como valor do fio) para consumidores do grupo A4, cobrado pela Distribuidora Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc), ambos em vigor no mês de Fevereiro de 2018, conforme mostrado na Tabela 1.

O valor da demanda cobrada pela distribuidora não está sendo considerado neste estudo, visto que, dependendo do valor contratado, pequenas reduções não justificam a solicitação de redução de demanda.

Tabela 1 – Valores de Energia Elétrica

VALORES DE ENERGIA ELÉTRICA - FEVEREIRO/2018 (kWh)	
Valor Liquidação das Diferenças - PLD Sul (média mensal):	R\$ 0,189
Tarifa de uso do Sistema de Distribuição Celesc (TUSD):	R\$ 0,065
Preço do kWh de Energia Elétrica:	R\$ 0,253

Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software Excel 2007 V. 12.0

3.5 CONSUMO E GASTOS COM VAZAMENTOS

Seguindo os procedimentos de PROCEL (2015), para determinação dos vazamentos presentes na linha de ar comprimido, com apenas o compressor mestre em funcionamento e com os equipamentos da fábrica desligados, foram identificados através do gráfico da Figura 13, os tempos em que o compressor realizou a compressão, bem como o tempo total da amostragem.

Através da Equação (3):

$$Q \text{ vaz} = (Q \text{ comp} \times t) / T \quad (3)$$

Em que:

Q vaz = vazão atribuída aos vazamentos (m³/min);

Q comp = capacidade nominal de produção do compressor usado no teste (m³/min);

t = tempo do compressor em carga (compressão) em segundos;

T = tempo total (alívio + compressão) em segundos;

Realizando a conversão da vazão de compressor, apresentado em sua placa de dados (Figura 8) de 907,2m³/h para 15,12m³/min, chega-se ao seguinte resultado:

$$Q \text{ vaz} = (15,12\text{m}^3/\text{min} \times 54\text{s}) / 216\text{s}$$

$$Q \text{ vaz} = 3,78\text{m}^3/\text{min}$$

Este resultado nos mostra que 3,78m³/min (226,8m³/h) de ar comprimido estão sendo produzidos para suprir vazamentos, representando 25% da vazão de ar deste compressor.

Para produção de uma vazão de 15,12m³/min (907,2m³/h) este compressor consome 99,89kWh a plena carga, em cada hora de funcionamento. Só para suprir os vazamentos são gastos 24,97kWh a cada hora (183.629,38kWh anuais). Com o preço do kWh de R\$ 0,253 (Tabela1), sabendo que o consumo do compressor é de 99,89kWh para produção de 907,2m³/h, através de regra de três, determina-se o preço para produção de 1m³ de ar comprimido, que é de R\$ 0,028.

Multiplicando o valor da vazão gasta com vazamentos, pelo preço da produção de 1m³ e pelas 7.354 horas anuais de produção da empresa (1.406 horas a fábrica está parada e os compressores desligados), obtem-se o valor do gasto anual com vazamentos (4):

$$P_{\text{vaz}} = Q_{\text{vaz}} \times P_{\text{m}^3} \times h \quad (4)$$

Em que:

P_{vaz} = valor gasto com vazamentos (R\$);

Q_{vaz} = vazão atribuída aos vazamentos;

P_{m^3} = preço m³

h = horas anuais de produção;

Substituindo os valores na Equação (4), chega-se ao seguinte resultado:

$$P \text{ vaz} = 226,8\text{m}^3/\text{h} \times \text{R\$ } 0,028 \times 7.354\text{h}$$

$$P \text{ vaz} = \text{R\$ } 46.481,43$$

R\$ 46.481,43 é o valor anual que está sendo gasto com energia elétrica apenas para suprir os vazamentos, ou seja, um gasto mensal de R\$ 3.873,45 que

poderia estar sendo economizado e investido em outras ações de eficiência energética.

Considerando que nada é 100% estanque, um percentual de perdas de 5% é admitido em sistemas de ar comprimido.

Para este estudo consideraremos estas perdas de 5% e adotaremos o valor de R\$ 44.157,36 como valor do gasto anual com vazamentos.

4 SISTEMA DE DETECÇÃO AUTOMÁTICO DE VAZAMENTOS EM REDES DE AR COMPRIMIDO

4.1 SISTEMA DE DETECÇÃO AUTOMÁTICO PROPOSTO

Vazamentos de ar comprimido não sujam o chão, como ocorre em sistemas hidráulicos, não emitem cheiro, como ocorre em sistemas de gás, não são um perigo em termos de segurança. Por tudo isto, e pelo desconhecimento das perdas financeiras, grande parte das empresas não dão o devido valor aos gastos com vazamentos.

Mesmo para as empresas que estão cientes dos prejuízos, por terem uma equipe enxuta em seus quadros de manutenção, não dão a devida atenção, a correção destes vazamentos, principalmente por envolver trabalhos fora do expediente, aumentando o custo com horas extras, deixando estas correções em segundo plano.

O sistema proposto com esta pesquisa visa identificar trechos do sistema de ar comprimido e alertar a equipe de manutenção da existência de vazamentos nestes trechos, buscando uma resposta rápida na correção destes vazamentos. O sistema deverá ser programado para que automaticamente ligue e realize os testes, durante um intervalo em que não haja consumo de ar comprimido, porém com os compressores ligados.

Através do seccionamento de trechos da tubulação de ar comprimido, realizados de forma automática, com transdutores de pressão monitorando cada um dos trechos, é possível através de software desenvolvido para este fim, identificar os trechos que perderam pressão e com isto identificar os trechos da tubulação que apresentam vazamentos.

A equipe de manutenção terá seu trabalho facilitado, não necessitando gastar horas de trabalho na busca de vazamentos que podem não existir, agindo efetivamente quando existir vazamentos apontados pelo sistema, com maior agilidade, visto que dependendo da periodicidade dos testes, os vazamentos não ocorrerão por muito tempo.

4.2 TRECHOS DA TUBULAÇÃO A SEREM MONITORADOS

As escolhas dos trechos a serem monitorados estão diretamente relacionadas ao custo do sistema, bem como a facilidade de identificação dos vazamentos.

Quanto menores os trechos mais fácil será identificar os locais de vazamentos, por outro lado os custos serão bem maiores, devido principalmente à quantidade de válvulas e transdutores de pressão.

Para a rede pneumática do prédio de Tubos da empresa Krona, foram escolhidos 11 trechos, conforme pode ser observado na Figura 15, cada trecho pode ser identificado pela presença de um transdutor de pressão.

Para a seleção dos trechos foram priorizados tubulações de final de linha, por apresentarem grande quantidade de conexões, engates e mangueiras, potenciais elementos para vazamentos, e por possuírem as menores bitolas de tubulação, reduzindo os custos com as válvulas, por serem de menores diâmetros.

Figura 15 – Localização das válvulas e transdutores de pressão



Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software Excel 2007 V. 12.0

4.3 ELEMENTOS DO SISTEMA

O sistema deverá ser composto no mínimo dos seguintes elementos:

- IHM – Interface Homem Máquina: Como o próprio nome diz, será responsável pela interação da equipe de manutenção com o sistema automático de detecção de vazamentos. Deverá permitir a seleção da data e horário para realização do teste, da pressão mínima que a rede deverá estar para realização do teste, seleção dos trechos a serem testados, que poderá ser de toda a rede ou apenas de trechos desta rede. A IHM deverá ainda mostrar os resultados dos testes, trechos aprovados e trechos reprovados;
- CLP – Controlador Lógico Programável: Será responsável por toda a lógica de processamento. Deverá possuir no mínimo 11 entradas analógicas que receberão os sinais dos transdutores de pressão e 11 saídas digitais que farão o isolamento dos trechos através do acionamento das válvulas. Para a realização dos testes, fará o isolamento dos trechos através das válvulas e medirá a queda de pressão do trecho. Quanto mais rápida for a queda de pressão no trecho, maior será o vazamento;
- Válvulas Pneumáticas – Farão o isolamento dos trechos. Deverão ser estanques para não permitir fuga de ar para os demais trechos da tubulação, bem como na posição aberta não restringir a passagem de ar;
- Transdutores de Pressão – Serão responsáveis pelo monitoramento da pressão durante os testes.

4.4 ROTINA DE TESTES

Através da interface homem máquina o profissional de manutenção deverá programar o dia e horário para realização do teste, escolhendo um período em que não haja produção, isto é, em que não haja consumo de ar na fábrica, ou seja, que havendo consumo este seja exclusivamente gerado para suprir vazamentos.

Deverá ainda ficar atento para que não sejam desligados os compressores no período escolhido para os testes, visto que é comum em muitas empresas o desligamento dos compressores quando não há atividades de produção.

No dia e horário programados o controlador lógico programável irá checar através das informações dos transdutores de pressão se há pressão mínima para o teste em cada um dos trechos, efetuando os testes apenas nos trechos em que a pressão estiver acima do valor mínimo.

Para realização dos testes o CLP irá energizar as válvulas, isolando os trechos da rede de ar comprimido. Monitorando a queda de pressão informada pelos transdutores de pressão x tempo.

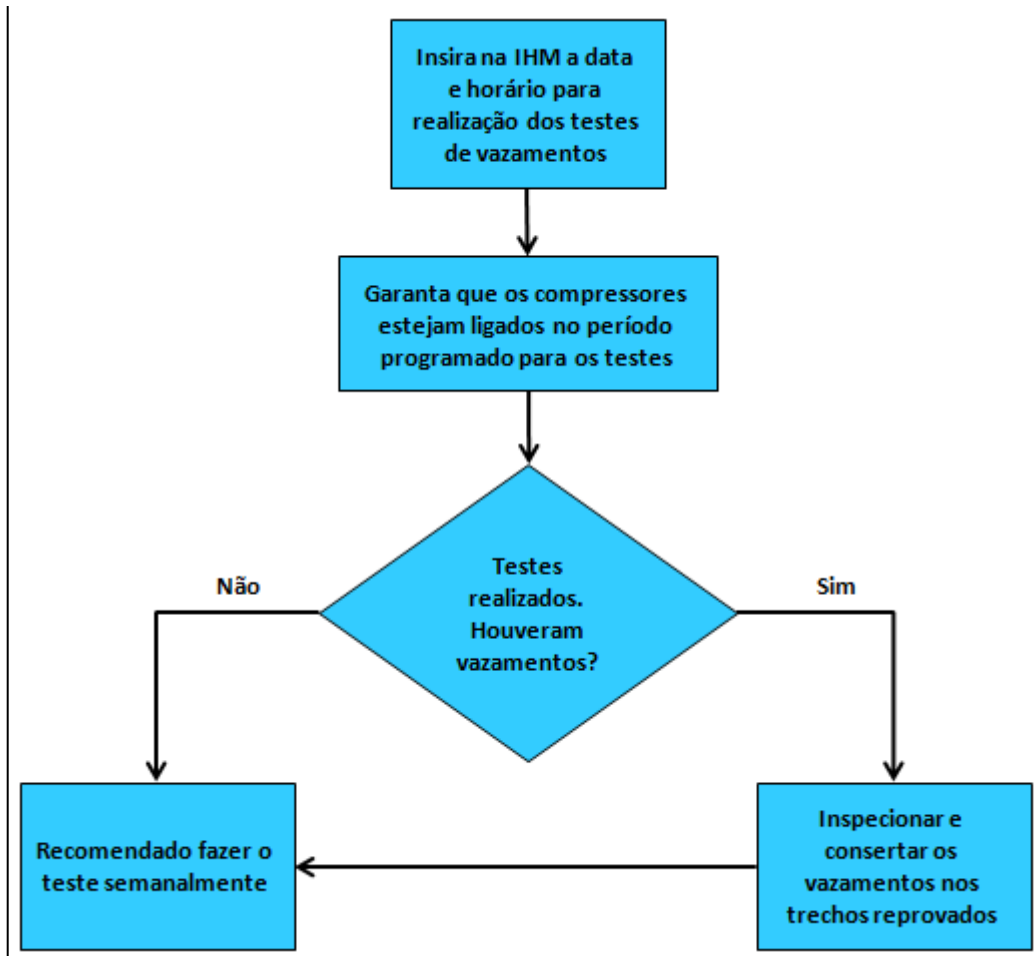
Como a determinação da vazão dos vazamentos depende, além da queda de pressão, do volume e temperatura, conforme a Equação geral dos gases visto no capítulo 2.1, sua determinação não é simples, logo simulações de vazamentos deverão ser executadas para determinação dos limites entre vazamentos aceitáveis ou não.

Após a realização dos testes o CLP vai armazenar os resultados e desenergizar as válvulas, disponibilizando na IHM, os resultados dos testes.

Com estas informações, durante a jornada de trabalho, sem a necessidade de horas extras, a equipe de manutenção verificará os resultados e fará uma inspeção criteriosa nos trechos que apresentaram vazamentos, procurando, identificando e consertando os pontos de vazamentos.

Para identificação dos vazamentos o mais breve possível, é recomendável que os testes sejam realizados com periodicidade semanal.

A Figura 16 mostra o fluxograma para realização dos testes de vazamentos.



Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software Excel 2007 V. 12.0

4.5 SOLUÇÃO PROPOSTA

No mercado há uma infinidade de fornecedores e marcas de componentes que possibilitam a montagem do sistema proposto.

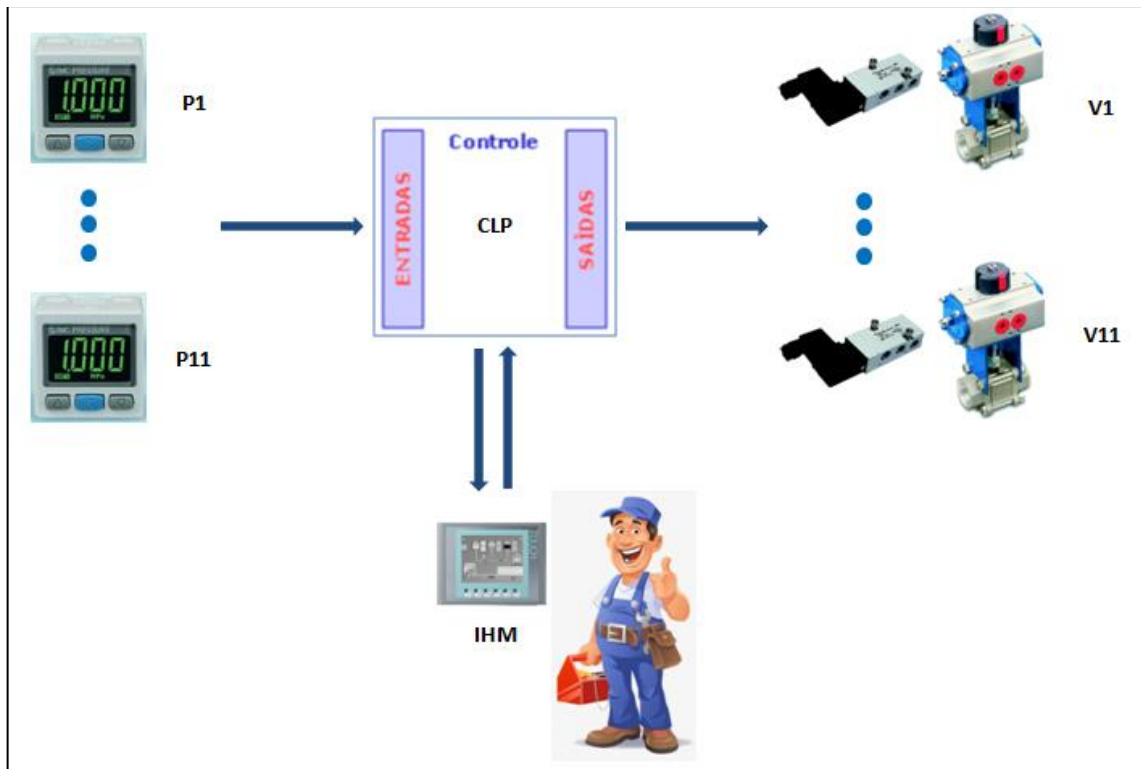
Foram solicitados orçamentos para diversos fornecedores. Dentre as propostas recebidas foram escolhidos os componentes que atendessem tecnicamente ao projeto, fossem de fabricantes conceituados no mercado e que apresentasse um preço competitivo, ou seja, um preço médio de mercado.

Em relação à mão de obra de projeto, programação, instalação e start-up do sistema, foram estimadas as horas necessárias com seus respectivos preços de mercado.

4.6 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA - HARDWARE

O diagrama esquemático do sistema de detecção automática de vazamentos está representado na Figura 17.

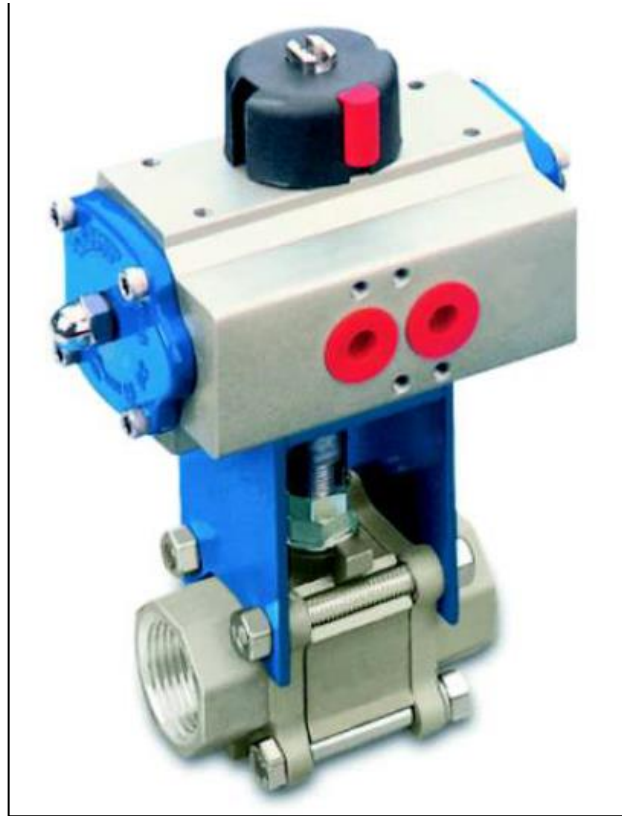
Figura 17 – Diagrama Esquemático do Sistema



Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software Excel 2007 V. 12.0

Para o seccionamento dos 11 trechos de tubulações propõe-se a utilização de 11 válvulas de esfera com atuador rotativo de $\frac{1}{2}$, modelo FNVB-04X0 da marca SMC, conforme pode ser visto na Figura 18, que possuem como característica principal garantir a estanqueidade quando fechada, e ter passagem plena na condição aberta, não afetando a vazão do circuito pneumático quando não estão sendo realizados os testes. Seu princípio de funcionamento exige uma atuação pneumática para funcionamento, com isto, a proposta é utilização de 11 válvulas solenoide com retorno mola 5/2V $\frac{1}{4}$ " 24VCC Namur, modelo VFN2120N-5D-02, também da marca SMC, conforme mostrado na Figura 19.

Figura 18 – Válvula de Esfera com Atuador Rotativo FNVB-04X0 SMC



Fonte: Catálogo ACSER, disponível em www.acser-automacao.com.br
Acessado em 22/11/2017

Figura 19 – Válvula solenoide com retorno mola VFN2120N-5D-02 SMC

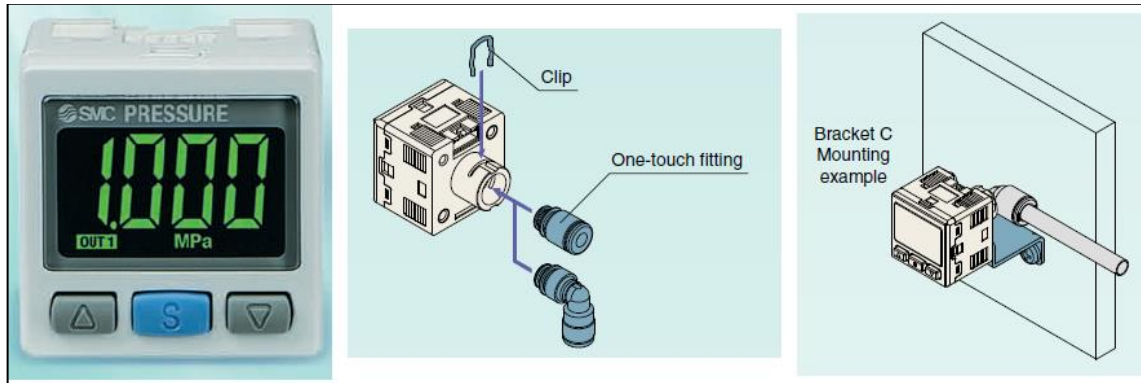


Fonte: Catálogo ACSER, disponível em www.acser-automacao.com.br
Acessado em 22/11/2017

Para a detecção das quedas de pressão durante a realização dos testes, a opção escolhida é a utilização de 11 peças do Pressostato digital com saída analógica de 1-5V, modelo ISE30A-01-E-L do fabricante SMC, que apresenta alta precisão,

facilidade de conexão a rede de ar comprimido, bem como facilidade de instalação, conforme mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Pressostato Digital com saída analógica ISE30A-01-E-L SMC



Fonte: Catálogo SMC, disponível em <http://www.smc pneumatics.com/pdfs/ISE30.pdf>

Acessado em 22/11/2017

Para monitoramento e controle dos 11 trechos de tubulação, um Controlador Lógico Programável – CLP, com no mínimo 11 entradas analógicas para monitoramento dos pontos de pressão e 11 saídas digitais para acionamento das válvulas é necessário. O controlador Lógico Programável, composto da CPU 1214C com 14 DI + 10DO + 2AI, modelo 6ES7 214-1HG40-0XB0, acrescido de um módulo de expansão SM 1222 RELE com 8DO modelo 6ES7 222-1HF32-0XB0, um módulo de expansão SB 123 com 1AI modelo 6ES7 231-4HA30-0XB0 e um módulo de expansão SM 1231 AI com 8AI modelo 6ES7 231-4HF32-0XB0, todos fabricados pela Siemens atendem a necessidade do projeto. A Figura 21 mostra a configuração do CLP.

Figura 21 – CLP Siemens linha SIMATIC S7 - 1200



Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software Excel 2007 V. 12.0

A Interface Homem Máquina escolhida é a KTP400 Basic mono PN, monocromática, touch screen, 3.8", modelo 6AV6 647-0AA11-3AX0 da Siemens, conforme pode ser visto na Figura 22. Esta é uma IHM de baixo custo que atende os requisitos do projeto.

Figura 22 – IHM KTP400 Basic Siemens



Fonte: Catálogo Siemens, disponível em <https://www.siemens.com.br/simatic-s7-1200>

Acessado em 22/11/2017

Os datasheets dos equipamentos referenciados neste capítulo encontram-se no Anexo C.

A Tabela 2 apresenta os preços do hardware para este projeto, preços estes orçados entre os meses de Janeiro e Fevereiro de 2018.

Tabela 2 – Lista de Hardware

LISTA DE HARDWARE					
Quant.	Descrição	Modelo	Fabricante	Preço Unit	Preço Total
11	Válvula de esfera com atuador rotativo	FNVB-04X0	SMC	R\$ 601,02	R\$ 6.611,22
11	Válvulas solenoide com retorno mola	VFN2120N-5D-02	SMC	R\$ 389,00	R\$ 4.279,00
11	Pressostato digital com saída analógica	ISE30A-01-E-L	SMC	R\$ 760,00	R\$ 8.360,00
1	CPU 1214C, DC/DC/RL, 14DI/10DO/2AI	6ES7 214-1HG40-0XB0	Siemens	R\$ 2.286,89	R\$ 2.286,89
1	Módulo de expansão SM 1222 Rele com 8DO	6ES7 222-1HF32-0XB0	Siemens	R\$ 785,35	R\$ 785,35
1	Módulo de expansão SB 1231 com 1AI	6ES7 231-4HA30-0XB0	Siemens	R\$ 442,92	R\$ 442,92
1	Módulo de expansão SM 1231 AI com 8AI	6ES7 231-4HF32-0XB0	Siemens	R\$ 2.528,36	R\$ 2.528,36
1	Interface Homem Máquina KTP400 Basic mono	6AV6 647-0AA11-3AX0	Siemens	R\$ 4.097,53	R\$ 4.097,53
1	Fonte de Alimentação 120/230VAC 24VDC 5A	6EP1 333-1LB00	Siemens	R\$ 541,22	R\$ 541,22
1020	Cabo Flexível 1KV 90G HEPR 2X 2,5MM2 PT B1052EPT	B1052EPT	Corfio	R\$ 2,63	R\$ 2.682,60
500	Cabo de controle 2x1,5mm² blindado	115CMPVCAST102CL5BFRPT	Belden	R\$ 6,05	R\$ 3.025,00
1	Quadro elétrico metálico 600x500x200mm		Opção	R\$ 206,67	R\$ 206,67
1	Materiais diversos (canaletas, parafusos, ident.,etc)			R\$ 200,00	R\$ 200,00
VALOR TOTAL DOS MATERIAIS:					R\$ 36.046,76

Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software Excel 2007 V. 12.0

Não estão sendo considerados materiais de infraestrutura para passagem dos cabos. Será reaproveitada a infraestrutura existente.

4.7 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA - SERVIÇOS

Para a montagem do sistema proposto, serviços de engenharia e técnicos serão necessários, e deverão compor o custo do sistema de detecção de vazamentos.

A Tabela 3 mostra a descrição dos serviços, quantidades e valores. Os valores de honorários de engenharia foram utilizados os sugeridos pelo CREA-SC, disponibilizados no site <http://www.crea-sc.org.br/portal/index.php?cmd =honorarios>, acessado no dia 11/02/2018. Valor de serviços de eletricitas foi considerado um valor médio para a região de Joinville-SC, em fevereiro de 2018.

Tabela 3 – Lista de Serviços

Serviços	Especilidade	Quantidade (Horas)	Valor (Hora)	Preço Total
Projeto Elétrico	Engenheiro	5	R\$ 175,00	R\$ 875,00
Desenvolvimeto Software PLC	Engenheiro	8	R\$ 175,00	R\$ 1.400,00
Desenvolvimeto Software IHM	Engenheiro	12	R\$ 175,00	R\$ 2.100,00
Montagem Painel Elétrico	Eletricista	8	R\$ 45,00	R\$ 360,00
Instalação Elétrica	Eletricista	20	R\$ 45,00	R\$ 900,00
Start-up engenharia	Engenheiro	6	R\$ 175,00	R\$ 1.050,00
Start-up instalação	Eletricista	6	R\$ 175,00	R\$ 1.050,00
Asbuilt	Engenheiro	2	R\$ 175,00	R\$ 350,00
VALOR TOTAL DOS SERVIÇOS:				R\$ 8.085,00

Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software Excel 2007 V. 12.0

4.8 INVESTIMENTO TOTAL

Para a implantação do sistema proposto, conforme demonstrado nos itens anteriores, será necessário o seguinte investimento:

Valor do Investimento em materiais:	R\$ 36.046,76
Valor do Investimento em serviços:	R\$ 8.085,00
Valor Total do Investimento:	R\$ 44.131,76

5 ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA

A proposta deste trabalho é avaliar a viabilidade econômico-financeira de montagem de um sistema de detecção automática de vazamentos.

Com a definição da solução, com os preços dos materiais e serviços apurados, totalizando um investimento de R\$ 44.131,76, sabendo da perda anual de R\$ 44.157,36 (R\$ 3.679,78 por mês) com vazamentos, considerando um custo de capital de 6,65% ao ano (0,554% ao mês), conforme taxa SELIC fixada na 212ª reunião do Copom no dia 07/02/18, e considerando a vida útil do equipamento de 10 anos, estipulados pela Receita Federal para o NCM 9026 (ver Anexo B), se torna possível a realização desta análise.

Entre os principais métodos utilizados para a análise econômico-financeira estão o payback simples, o payback descontado, o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o índice de lucratividade (IL).

Conforme FGV (2007), uma pesquisa realizada nos Estados Unidos por Harvey (2001), em 392 das maiores empresas norte-americanas por meio de seus executivos financeiros (CFOs), apontou que cerca de 78% preferem utilizar o VPL e a TIR, como métodos de avaliação de projetos. O payback simples vem a seguir com 55%.

Por serem as preferidas, este trabalho apresenta a análise econômico-financeira do projeto através destes 3 métodos.

5.1 PAYBACK SIMPLES

O método de payback simples considera o tempo de retorno do capital investido. O valor aplicado é adicionado, período a período, aos fluxos de caixa líquidos gerados, para que se obtenha o tempo de recuperação do investimento inicial. Isto ocorre no período em que a soma dos fluxos de caixa futuros for igual ao investimento inicial.

Utilizando a planilha do Excel, considerando o investimento necessário para implantação do sistema e a economia mensal que pode ser conseguida com a eliminação dos vazamentos, obtem-se a Tabela 4.

Tabela 4 – Payback Simples - Valores para os fluxos mensais do projeto

Mês	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fluxos de caixa	-44131	3680	3680	3680	3680	3680	3680	3680	3680	3680	3680	3680	3680
Valor acumulado	-44131	-40451	-36771	-33092	-29412	-25732	-22052	-18372	-14693	-11013	-7333	-3653	26,6

Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software Excel 2007 V. 12.0

A Tabela mostra que em um período de 12 meses se recupera o investimento inicial do projeto.

É conveniente salientar que o método de payback simples não leva em consideração o valor do dinheiro no tempo.

5.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO - VPL

O método do valor presente líquido (VPL) faz uma comparação do investimento realizado com o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto. Considera todos os fluxos de caixa, por isto nos dá uma medida de riqueza adicionada, quando o VPL é maior que zero, ou destruída, quando o VPL é menor que zero.

A decisão de investimento com base no método do valor presente líquido é simples e pode ser resumida da seguinte forma:

VPL > 0, o projeto é aceito;

VPL = 0, é indiferente aceitar ou não;

VPL < 0, o projeto é rejeitado.

Se o VPL for positivo, então teremos que na data zero, o valor presente de todos os futuros fluxos de caixa, descontados a taxa do custo de capital, é maior do que todo o capital investido.

Utilizando uma calculadora HP-12C, calcula-se o VPL do projeto, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – VPL – Cálculo do valor presente líquido

Limpar Memória	44.131	3.679,80	120	0,554	
f	CHS				F NPV
Clear REG	g Cfo	g CFj	g Nj	i	277.804,34

Fonte: Autoria Própria – Com auxílio de uma calculadora HP-12C

O valor do VPL é R\$ 277.804,34. Isto significa que a implantação do sistema, é capaz de gerar um excedente de R\$ 277.804,34 durante os 10 anos de vida útil do sistema, em relação à alternativa de aplicação baseada na taxa SELIC.

5.3 TAXA INTERNA DE RETORNO - TIR

A taxa interna de retorno (TIR) é uma referência a ser utilizada para definir a aceitação ou não de um projeto.

A TIR possui grande apelo, pois tenta sintetizar todos os méritos do projeto em um único número.

O processo decisório da taxa interna de retorno (TIR) pode então, ser assim resumido:

Custo de Capital < TIR, projeto deve ser aceito (VPL > 0);

Custo de Capital = TIR, indiferente aceitar ou não (VPL = 0);

Custo de Capital > TIR, projeto deve ser rejeitado (VPL < 0);

Utilizando uma calculadora HP-12C, temos o cálculo da TIR do projeto, conforme mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 – TIR – Cálculo da taxa de retorno do investimento

Limpar Memória	44.131	3.679,80	120	
f	CHS			F IRR
Clear REG	g Cfo	g CFj	g Nj	8,34%

Fonte: Autoria Própria – Com auxílio de uma calculadora HP-12C

A TIR do sistema de detecção automático de vazamento é de 8,34% ao mês, superior ao custo de capital, considerado neste trabalho como o valor da taxa SELIC que é de 0,55% ao mês. Logo esta análise econômico-financeira mostra que o projeto é viável.

6 CONCLUSÕES

6.1 CONCLUSÕES GERAIS

O sistema proposto se mostrou viável, na análise econômico-financeira do método VPL, com resultado positivo e ganho bem superior ao obtido se o investimento fosse colocado em uma aplicação com taxa SELIC.

Do mesmo modo, se apresentou viável, no cálculo da TIR, apresentando uma taxa interna de retorno mensal bem superior a taxa SELIC.

Quanto ao tempo de retorno do investimento, de 12 meses, calculado pelo payback simples, se mostrou viável para a maioria das empresas que consideram payback atrativos de até um ano, contudo esta viabilidade depende da política de cada empresa, que pode considerar o projeto inviável se considerar a viabilidade apenas de projetos menores que um ano.

A viabilidade ou não da solução apresentada pode variar bastante, depende da configuração da rede de ar comprimido, da quantidade de pontos escolhidos para monitoramento, da solução empregada, dos custos dos componentes utilizados e também dos custos de energia elétrica de cada empresa.

Independente da viabilidade ou não do sistema, este trabalho mostrou um exemplo da quantidade de energia elétrica gasta somente para compensar os vazamentos em tubulações de ar comprimido, gerando perdas financeiras para as empresas e contribuindo negativamente na preservação dos recursos naturais.

Ações simples, como a conscientização de gestores, equipes de manutenção e operadores, sobre a importância na identificação e conserto imediato destes vazamentos, bem como no uso inteligente de ar comprimido, evitando o uso em atividades de limpeza, ajudarão em muito na redução destes desperdícios.

6.2 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

- Desenvolver novos fornecedores para os componentes do sistema, buscando reduzir os custos da solução;

- Estudar o desenvolvimento de uma solução dedicada, utilizando microcontroladores ou placa arduino, em substituição ao CLP;
- Simular diferentes pontos para instalação das válvulas e pressostatos, minimizando os custos com a diminuição do número destes componentes, bem como no custo da instalação elétrica com cabos e mão de obra;
- Montagem de um protótipo para avaliar a viabilidade técnica do sistema;
- Estudar a implantação de novas funcionalidades no sistema, como a detecção online de quedas de pressão da rede pneumática, alertando a manutenção (e em muitos processos também a produção) de forma rápida, mitigando prejuízos na produção por falta de ar comprimido nas máquinas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORDEAUX-RÊGO, R.; PAULO, G. P.; SPRITZER, I. M. P. A.; ZOTES, L. P.
Viabilidade econômico-financeira de projetos. Série Gerenciamento de Projetos.
FGV Management. Rio de Janeiro: Editora FGV. 2007.

BOSCH. **Tecnologia de ar comprimido**. Campinas-SP: Robert Bosch Limitada. 2008.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. Mc Graw Hill / Bookman. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda. 2013.

EMBRASUL, **Manual Analisador de Energia RE6000**. Porto Alegre: 2015. Disponível em <https://is.gd/GzUzRH>. Acesso em 09/05/2017.

KARMOUCHE, A. R. **Análise da eficiência energética em compressores a pistão em sistemas de ar comprimido**. Dissertação (Mestrado em engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

METALPLAN, **Manual de Ar Comprimido**. 6º edição. 2017.

MOREIRA, I. S. **Sistemas Pneumáticos – Série Informações Tecnológicas**. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. São Paulo: SENAI-SP editora. 2012.

PAMPLONA E. O.; MONTEVECHI, J. A. B. **Apostila Engenharia Econômica I**. 2006. Disponível em <http://www.iepg.unifei.edu.br/edson/download/Apostee1.PDF>. Acesso em 20/11/2018.

PARKER TRAINING. **Tecnologia Pneumática Industrial**. Apostila M1001-1 BR. Jacareí SP: Parker Hannifin. 2007.

PROCEL. **Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. Rio de Janeiro: Eletrobrás. 2005.

SILVA, E. C. N. **Apostila de Pneumática**. PMR 2481 Sistemas Fluidomecânicos. Escola Politécnica da USP. São Paulo: USP. 2002.

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, **Notas explicativas para formação dos trabalhos acadêmicos**, Curitiba, 2017. Disponível em <http://portal.utfpr.edu.br/cursos/coordenacoes/stricto-sensu/ppg-ect-pg/documentos/formularios/mestrado/modelos/modelo-para-formatacao.pdf/view>. Acesso em 25/01/2018.

APÊNDICE A – Equipamentos de Sistemas de Ar Comprimido

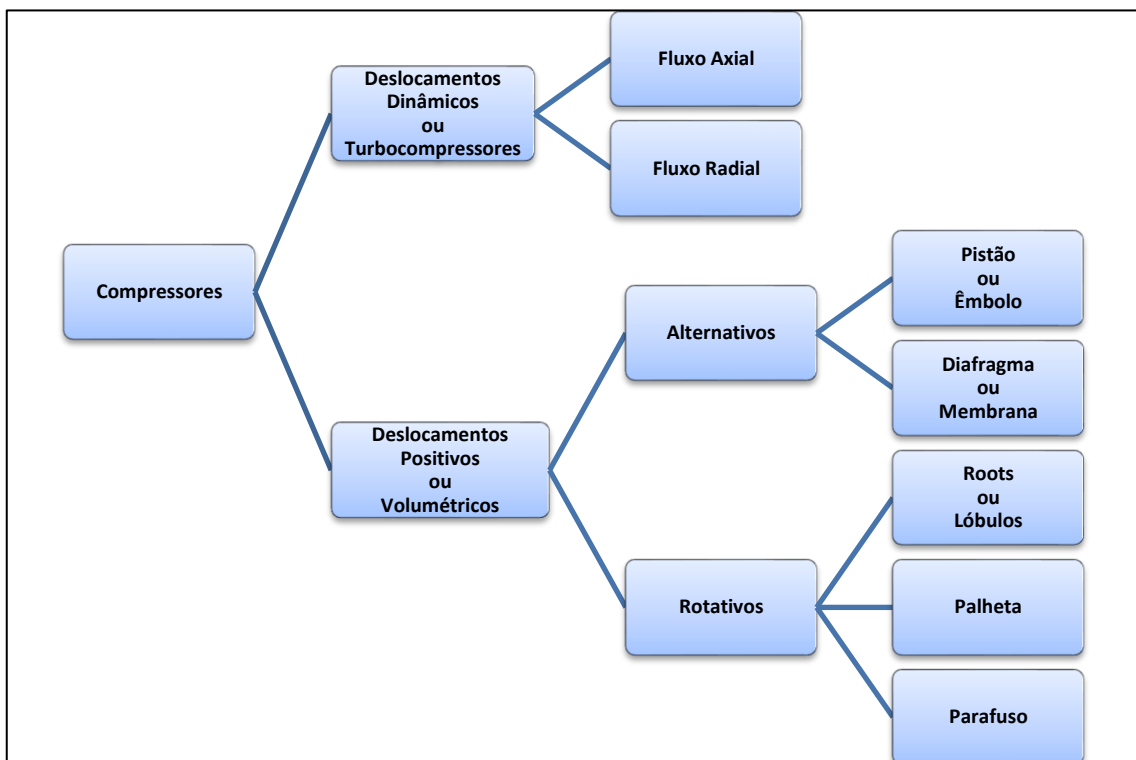
COMPRESSORES

Compressores são máquinas destinadas a elevar a pressão de um certo volume de ar, admitido nas condições atmosféricas, até uma determinada pressão, exigida na execução dos trabalhos realizados pelo ar comprimido (PARKER, 2007).

Os compressores se classificam basicamente em compressores de deslocamentos dinâmicos e em compressores de deslocamentos positivos.

A Figura 1A mostra esta classificação, bem como suas subclassificações.

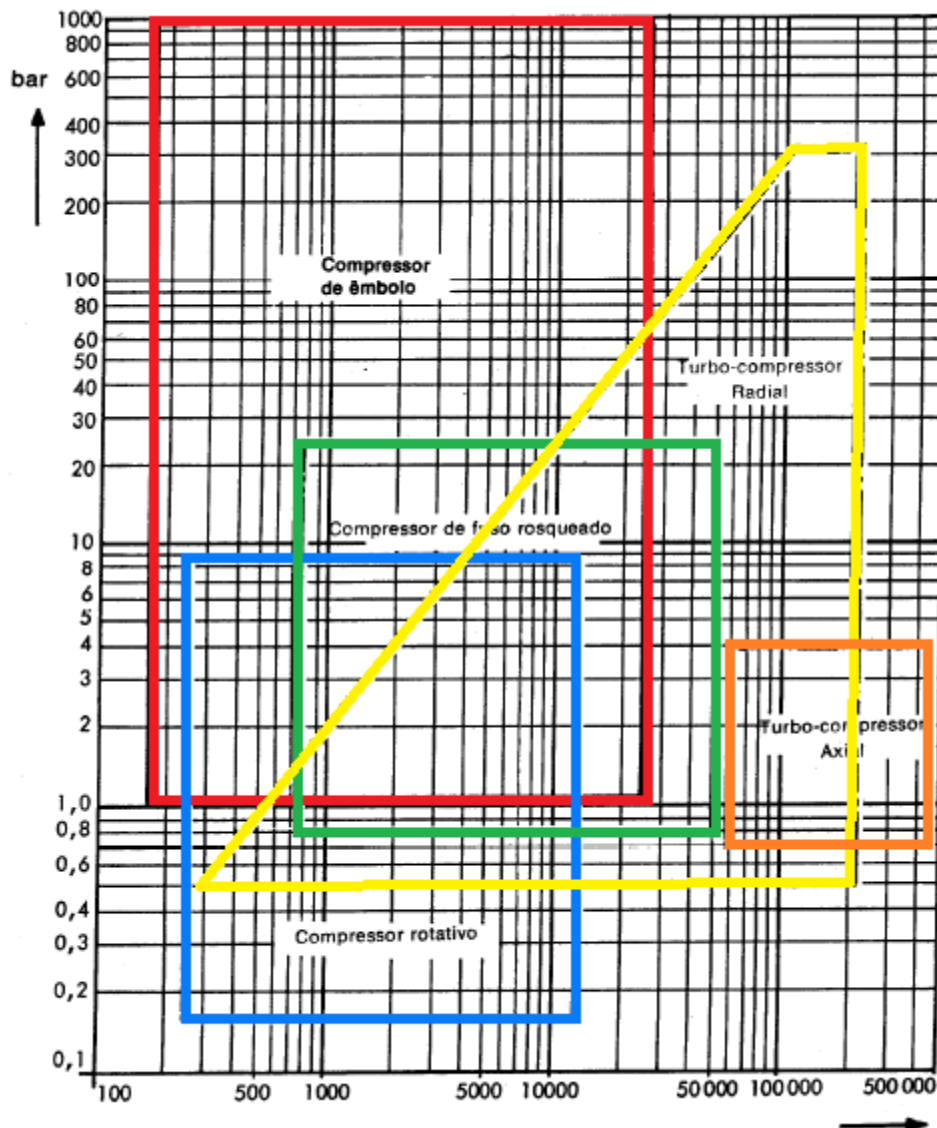
Figura 1A – Classificação dos compressores



Fonte: Autoria Própria – Com auxílio do software Excel 2007 V. 12.0

A região de atuação de cada compressor, correlacionando a pressão em função da vazão de operação, é apresentada no gráfico 1A.

Gráfico 1A – Região de atuação dos compressores correlacionando Pressão X Vazão



Fonte: (SILVA, 2002)

Compressores de Deslocamentos Dinâmicos

Os compressores dinâmicos também são chamados de turbocompressores.

São indicados para aplicações que necessitem de pressões baixas e vazões elevadas.

A elevação da pressão é obtida por meio de conversão de energia cinética em energia de pressão, durante a passagem do ar através do compressor. O ar admitido é colocado em contato com impulsores (rotor laminado) dotados de alta velocidade. Este ar é acelerado, atingindo velocidades elevadas e conseqüentemente os impulsores transmitem energia cinética ao ar. Posteriormente, seu escoamento é

retardado por meio de difusores, obrigando a uma elevação na pressão (PARKER, 2007).

Classificados como compressores de deslocamento dinâmico, estão os compressores dinâmicos de fluxo axial, também conhecido como turbos compressores axiais, e os compressores de deslocamento radial, também conhecidos como turbos compressores radiais.

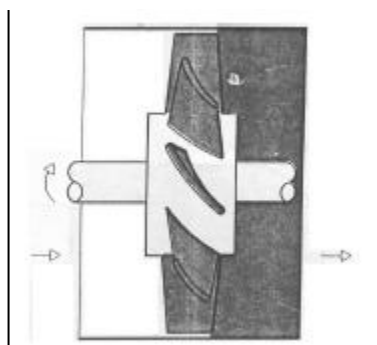
As principais características desses compressores são:

- Produção uniforme do ar comprimido;
- Produzem o ar isento de óleo;
- São sensíveis as variações de carga e tensões;
- Produzem altas vazões.

Compressores Dinâmicos de Fluxo Axial

Conforme PROCEL (2005), nos compressores axiais (Figura 2A), o ar que será comprimido segue uma trajetória axial ao passar pelas pás fixadas em um rotor (pás móveis). Sua trajetória é orientada por pás fixas presas na carcaça. O ar é acelerado nas pás móveis e desacelerado nas pás fixas. Devido ao formato e disposição das pás, a energia cinética fornecida ao ar pelas pás móveis vai se transformando em energia de pressão ao longo da trajetória do ar pelo compressor nas pás fixas. A força de empuxo axial gerada é contraposta pelo uso de rolamentos de encosto axiais. A vazão de ar normal obtida nestes compressores é bastante alta, porém as pressões efetivas obtidas são limitadas.

Figura 2A – Compressor Axial

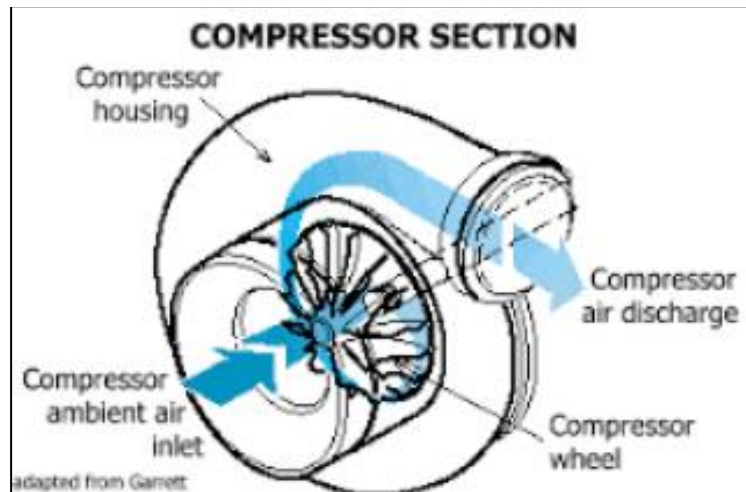


Fonte: (SILVA, 2002)

Compressores Dinâmicos de Fluxo Radial

Nestes compressores, o ar é admitido no sentido axial no interior do rotor, sendo depois dirigido verticalmente, ao eixo por meio da força centrífuga gerada pela rotação do rotor e pela forma das pás, onde o ar é acelerado, conforme pode ser visto na Figura 3A. Na saída do compressor existe uma roda de pás fixas, denominada difusor, onde a energia cedida ao ar, na forma de energia cinética, será transformada em energia de pressão. Se o compressor possuir mais de um rotor, ele é denominado multiestágio (ou turbo compressor), podendo atingir a pressões acima de 25 bar. Operam com rotações entre 15.000 a 100.000 RPM. Possuem resfriamento de ar entre os estágios, o que aumenta bastante o rendimento. O eixo que suporta os rotores é montado em rolamentos de esferas ou de cilindros (PROCEL, 2005).

Figura 3A – Compressor Radial



Fonte: <http://www.stealth316.com/2-3s-compflowmaps.htm>

Acesso em 11/11/2017

Compressores de Deslocamentos Positivos

Conhecidos também como compressores volumétricos, trabalham com ajuda de rotação (classificados como rotativos), assim como do movimento alternado do pistão (classificados como alternativos).

Nesses compressores, a elevação de pressão é conseguida através da redução do volume ocupado pelo ar. Na operação dessas máquinas podem ser identificadas diversas fases, que constituem o ciclo de funcionamento: inicialmente,

certa quantidade de ar é admitida no interior de uma câmara de compressão, que então é fechada e sofre redução de volume.

Finalmente, a câmara é aberta e o ar liberado para consumo. Trata-se, pois, de um processo intermitente, no qual a compressão propriamente dita é efetuada em sistema fechado, isto é, sem qualquer contato com a sucção e a descarga.

Conforme iremos constatar logo adiante, pode haver algumas diferenças entre os ciclos de funcionamento, em função das características específicas de cada um.

Classificados como compressores alternativos têm:

- Compressores de Pistão;
- Compressores de Diafragma;

Já entre os compressores rotativos pode-se destacar:

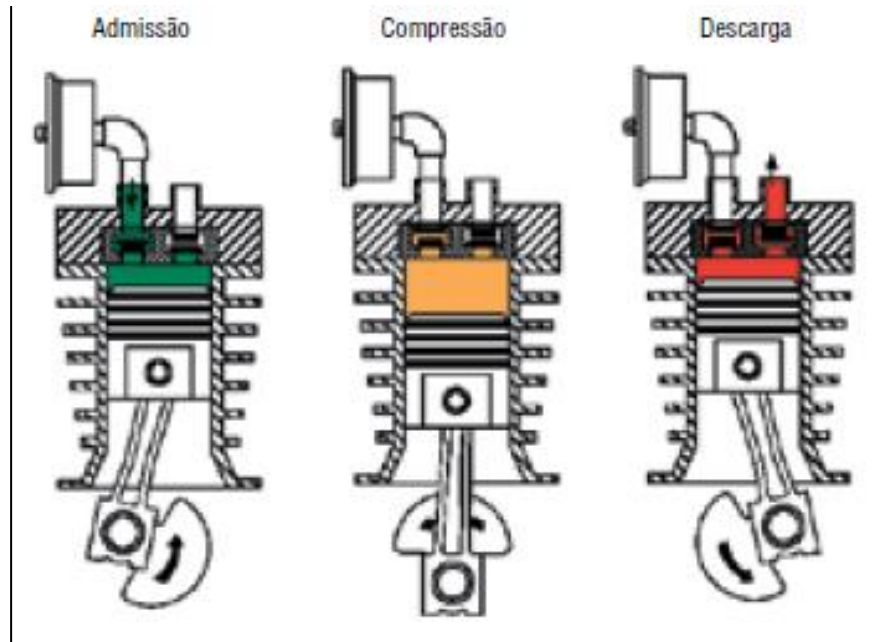
- Compressores Roots;
- Compressores Palhetas;
- Compressores Parafusos.

As características comuns de compressores do tipo deslocamento positivo ou volumétrico são suas pequenas capacidades volumétricas e fornecimento de altas pressões (BOSCH, 2008).

Compressores de Pistão

Compressor de pistão ou compressor de êmbolo consiste num mecanismo biela-manivela (igual ao motor de um automóvel), acionado por um motor elétrico ou de combustão, como mostrado na Figura 4A.

Figura 4A – Compressor de pistão de simples efeito – Ciclo de trabalho



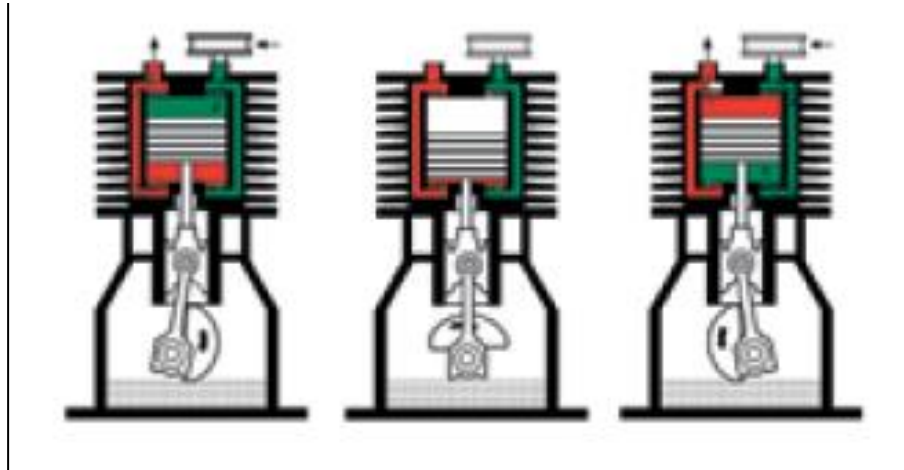
Fonte: (PARKER, 2007)

Nesse compressor, o pistão aspira o ar através da válvula de aspiração e o comprime no curso de compressão, até atingir a pressão desejada quando abre a válvula de pressão. São os mais usados ("compressor do dentista"), pois tem uma larga faixa de operação como mostrado no gráfico 1A.

São econômicos na faixa de pressão de 8 a 10 bar. Quando a razão de compressão necessária é muito alta ocorrem perdas térmicas muito altas, e nesse caso deve-se usar a versão multiestágio (ver Figura 5A), em que a cada estágio ocorre um aumento da pressão, melhorando-se o rendimento. Em torno de cada pistão existem aletas para a dissipação do calor gerado na compressão. Em alguns casos é necessário um sistema de refrigeração à água.

Esse compressor apresenta como desvantagem a geração de oscilações de pressão, além de um fluxo de ar pulsante (SILVA, 2002).

Figura 5A – Compressor de pistão de duplo efeito – Ciclo de trabalho



Fonte: (PARKER, 2007)

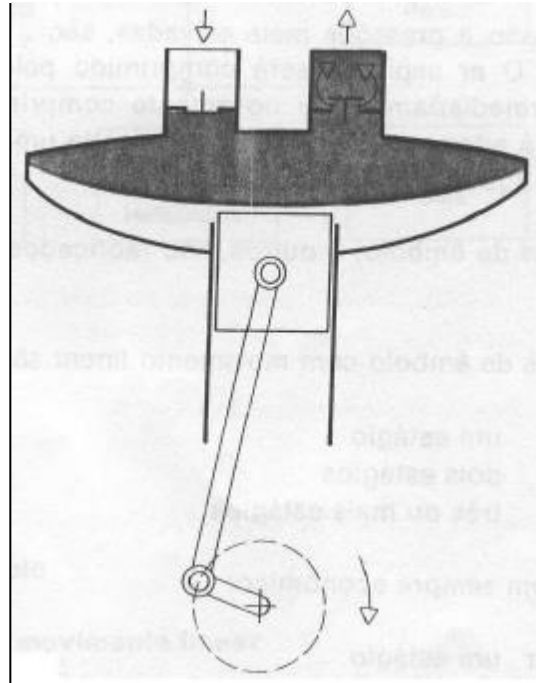
Compressores de Diafragma

Compressores de diafragma, também conhecidos como compressores de membrana, são compressores de deslocamento oscilante (Figura 6A). Usam eixos de ligação e diafragmas elásticos para compressão. Isolam o ar a ser comprimido das peças do compressor evitando resíduos de óleo. É muito utilizado nas indústrias alimentícia, farmacêutica e na pulverização de tintas.

Ao contrário dos compressores de pistão, cujo pistão move-se de um lado para outro entre duas posições, o compressor de diafragma é induzido a mover-se em oscilações não lineares. O diafragma é fixo por sua extremidade e é movimentado pelo eixo de ligação. O comprimento deste depende da deformação do diafragma.

Dentro das características deste tipo de compressor está o movimento curto do diafragma, possuir cilindro de grande diâmetro, serem econômicos no caso de pequenos volumes de fornecimento e baixas pressões, e serem muito utilizados também na geração de vácuo (BOSCH, 2008).

Figura 6A– Compressor de Diafragma

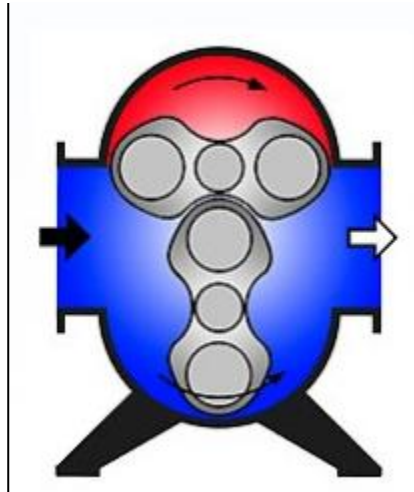


Fonte: (SILVA, 2002)

Compressores Roots

Esse compressor possui dois rotores que giram em sentido contrário, conforme pode ser visto na Figura 7A, mantendo uma folga muito pequena no ponto de tangência entre si e com relação à carcaça. O ar penetra pela abertura de sucção e ocupa a câmara de compressão, sendo conduzido até a abertura de descarga pelos rotores. Os compressores Roots, também chamados de compressores de lóbulos, embora sendo classificado como volumétrico, não possui compressão interna. Os rotores apenas deslocam o ar de uma região de baixa pressão para uma região de alta pressão. Conhecida originalmente como soprador “Roots”, é um exemplo típico do que se pode caracterizar como um soprador, uma vez que é oferecida para elevações muito pequenas de pressão. Raramente empregado com fins industriais, esse equipamento é, no entanto, de baixo custo e pode suportar longa duração de funcionamento sem cuidados de manutenção. Suas principais características são a ausência de pistão rotativo, não necessita de lubrificação, ar é isento de óleo, porém sensível com pó e areia (BOSCH, 2008).

Figura 7A– Compressor Root



Fonte: <https://is.gd/lhZKT4> - Acesso em 18/11/2017

Compressores de Palhetas

Trata-se de um rotor que gira no interior de uma carcaça, acionado por um motor elétrico ou de combustão. O rotor está excêntrico a carcaça e apresenta palhetas ao seu redor que podem deslizar em guias como mostrado na Figura 8A.

Figura 8A– Compressor de Palhetas



Fonte: <https://pt.slideshare.net/EltonRicardo/aula-01-historico-pneumatica>
(Pag. 26) Acesso em 18/11/2017

Note que o volume de ar aspirado é ligeiramente comprimido ao longo do percurso do rotor. Desta forma, o fluxo gerado é pouco pulsante, mas opera em faixas

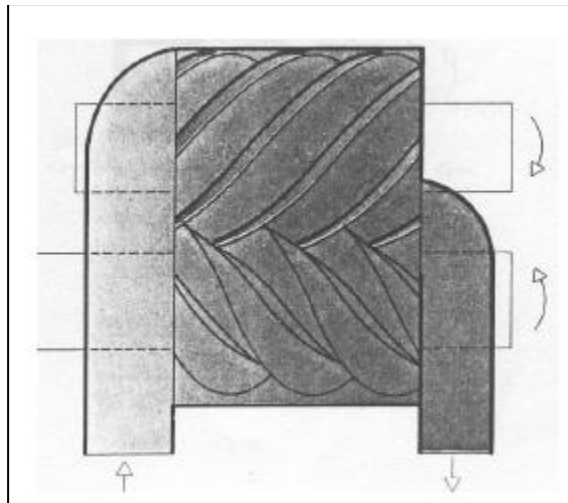
de pressão menores do que a do compressor de pistão. A lubrificação é feita por injeção de óleo (SILVA, 2002).

Compressores Parafuso

Segundo PROCEL (2005), os compressores de parafuso são do tipo volumétrico rotativo. Foram desenvolvidos durante os anos 30, quando se necessitou de compressores que produzissem altas vazões e que mantivessem o comportamento estável quando houvesse variação de carga.

Este compressor é dotado de uma carcaça onde giram dois rotores helicoidais em sentidos opostos. Um dos rotores possui lóbulos convexos, o outro uma depressão côncava e são denominados, respectivamente, rotor macho e rotor fêmea (Figura 9A).

Figura 9A – Compressor Parafuso



Fonte: (SILVA, 2002)

Os rotores são sincronizados por meio de engrenagens, entretanto existem fabricantes que fazem com que um rotor acione o outro por contato direto. O processo mais comum é acionar o rotor macho, obtendo-se uma velocidade menor do rotor fêmea. Estes rotores revolvem-se numa carcaça cuja superfície interna consiste de dois cilindros ligados como um "oito".

Nas extremidades da câmara existem aberturas para admissão e descarga do ar. O ar à pressão atmosférica ocupa espaço entre os rotores e, conforme eles giram, o volume compreendido entre os mesmos é isolado da admissão. Em seguida, começa a decrescer, dando início à compressão. Esta prossegue até uma posição tal que a descarga é descoberta e o ar é descarregado continuamente, livre de pulsações.

No tubo de descarga existe uma válvula de retenção, para evitar que a pressão faça o compressor trabalhar como motor durante os períodos em que estiver parado (PARKER, 2007).

Segundo ainda PROCEL (2005), existem compressores de parafuso isento de óleo e compressores de parafuso com injeção de óleo.

Os isentos de óleo são construídos de forma que os rotores e o ar não entrem em contato com o óleo lubrificante, pois nesses tipos dispensa-se a lubrificação. Os eixos dos rotores são sustentados por rolamentos montados externamente ao interior da carcaça. Nos anos 60, foram introduzidos os compressores de parafusos de roscas assimétricas, que aumentaram sobremaneira a eficiência de compressão, pois houve uma redução drástica nas perdas por vazamentos internos entre as roscas helicoidais simétricas.

Já os com injeção de óleo são utilizados quando se deseja pressões muito elevadas, para isto é necessário que os parafusos sejam lubrificados, primeiro, para garantir o funcionamento em regime de trabalho pesado e, principalmente, para ajudar a refrigeração da máquina.

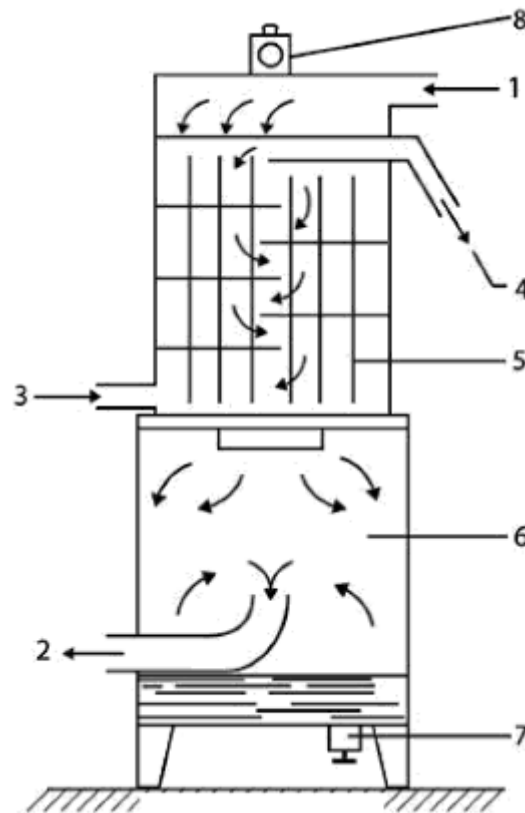
RESFRIAMENTO

O resfriamento do ar comprimido é realizado durante o processo de compressão, por meio de serpentinas estrategicamente montadas entre os estágios do compressor.

Uma hélice localizada no volante do cabeçote do compressor sopra as serpentinas, esfriando o ar.

Nos casos de temperaturas extremamente altas, provocadas pela compressão de grandes volumes de ar, em regime contínuo, é utilizado um resfriador a água montado na saída do compressor.

Figura 10A – Resfriador a água



Fonte: (MOREIRA, 2012)

A Figura 10A mostra o princípio de funcionamento de um resfriador à água, onde o ar comprimido quente entra no resfriador, proveniente do compressor (1), saindo já resfriado (2). Mostra ainda a entrada (3) e saída (4) da água de refrigeração na serpentina (5). É mostrado ainda o vaso separador de água condensada (6), o purgador automático de saída de água condensada (7) e a válvula de segurança (8).

Outro tipo de resfriador a água, montado geralmente entre o compressor e o reservatório de armazenamento de ar comprimido, é o resfriador posterior também conhecido como Aftercooler (MOREIRA, 2012).

FILTRAGEM

Pela definição da Norma ISO-8573, filtro é um aparato para separar os contaminantes presentes em fluido. O filtro de ar comprimido aparece geralmente em

três posições diferentes: antes e depois do secador de ar comprimido e também junto ao ponto de uso.

A função do filtro instalado antes do secador (pré-filtro) é separar o restante da contaminação sólida e líquida (~30%), não totalmente eliminada pelo separador de condensados do resfriador posterior, protegendo os trocadores de calor do secador contra o excesso de óleo oriundo do compressor de ar, o que poderia impregná-los, prejudicando sua eficiência de troca térmica.

O excesso de condensado no secador também reduz sua capacidade de resfriamento do ar comprimido, pois se consome energia para resfriar um condensado que já poderia ter sido eliminado do sistema.

No caso de sistemas dotados de secadores por adsorção, o pré-filtro deverá garantir que nenhuma quantidade de contaminação líquida, inclusive os aerossóis de água e óleo, atinja o material adsorvedor, obstruindo seus poros e impedindo a sua reativação. O filtro instalado após o secador (pós-filtro) deve ser responsável pela eliminação da umidade residual (~30%) não removida pelo separador mecânico de condensados do secador por refrigeração, além da contenção dos sólidos não retidos no pré-filtro.

A capacidade do pós-filtro é efetuar a eliminação de qualquer umidade residual seriamente afetada pela temperatura do ar comprimido na saída do secador. Na verdade, em qualquer secador por refrigeração, o ar comprimido sofre um reaquecimento antes de voltar à tubulação. Esse reaquecimento é intencional (economiza energia e evita que a tubulação fique gelada), mas provoca a completa reevaporação da umidade residual que não foi removida pelo separador de condensados. No estado gasoso, essa umidade não pode ser eliminada pelo pós-filtro. Na prática, o pós-filtro instalado após o secador por refrigeração retém apenas partículas sólidas. No caso de sistemas dotados de secadores por adsorção, o pós-filtro destina-se apenas à retenção das partículas sólidas produzidas pela abrasão do material adsorvedor (PARKER, 2007).

SECAGEM

O ar passa por um processo de secagem com o objetivo de retirar a umidade presente no ar.

Existem vários tipos de processos de secagem de ar comprimido. Os mais comuns na indústria são a secagem por absorção, adsorção e por resfriamento.

Secagem por Absorção

Na secagem por absorção, o vapor de água é eliminado por uma reação química com um agente dessecativo higroscópico (que identifica a umidade do ar). Como a capacidade de absorção do agente dessecativo diminui com o tempo, ele tem que ser renovado periodicamente.

Há diferenças entre os três tipos de dessecativos. Os dessecativos solúveis liquidificam com absorção progressiva. Os dessecativos sólidos e líquidos reagem com o vapor de água sem mudar o efeito de ação.

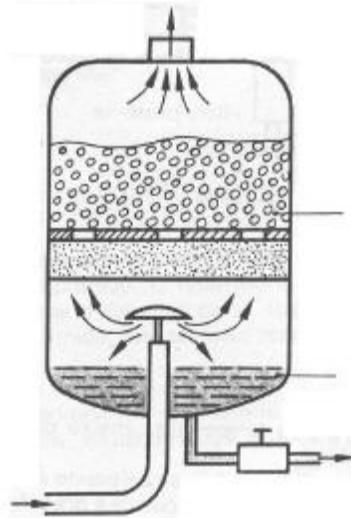
Tem em seu princípio de funcionamento, o ar comprimido fluindo de cima para baixo através de uma camada de agente dessecativo. Por esse meio, uma parte do vapor de água é carregada pelo dessecativo. Um conversor escoo o vapor de água condensado para um reservatório no chão, dessa forma, a pressão do ponto de vapor cai de 8 a 12%.

Este tipo de secagem tem como características: baixas temperaturas de entrada, alto efeito corrosivo do agente, o ar comprimido seco pode levar o agente dessecativo para o interior do sistema de fornecimento de ar, causando corrosão considerável e, não há necessidade de nenhum abastecimento externo de energia (BOSCH, 2008).

Segundo Silva (2002), O secador por absorção separa ao mesmo tempo vapor e partículas de óleo, porém grandes quantidades de óleo atrapalham o funcionamento do secador. Devido a isto, é usual antepor um filtro fino ao secador.

É o método mais barato entre os demais, porém o que retira menor quantidade de água.

A Figura 11A ilustra um sistema de secagem por absorção.

Figura 11A – Secagem por absorção

Fonte: (SILVA, 2002)

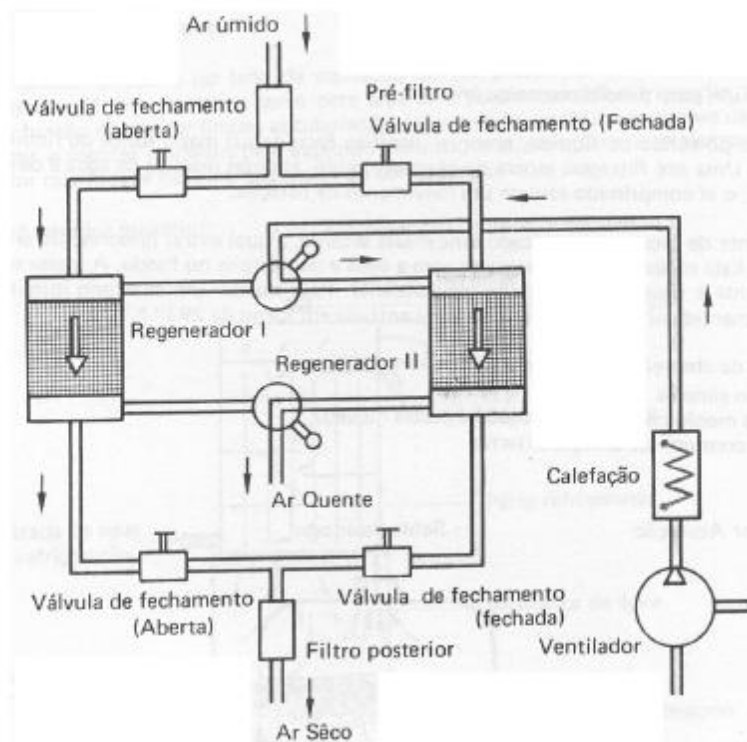
Secagem por Adsorção

Opera através de substâncias secadoras que por vias físicas (efeito capilar) adsorvem (adsorver - admitir uma substância à superfície da outra) o vapor d'água do ar, as quais podem ser regeneradas através de ar quente. Assim os sistemas de adsorção possuem um sistema de circulação de ar quente em paralelo para realizar a limpeza do elemento secador como mostrado na Figura 12A. Devem ser usados dois secadores em paralelo, pois enquanto um está sendo limpo o outro pode ser usado.

Em geral, o elemento secador é um material granulado com arestas ou formato esférico. A substância usada é o dióxido de silício, mais conhecido como "Sílica gel".

É um sistema mais caro em relação aos demais, mas o que é capaz de retirar a maior quantidade de umidade (SILVA, 2002).

Figura 12A – Secagem por adsorção



Fonte: (SILVA, 2002)

Secagem por Resfriamento

O secador por refrigeração opera resfriando o ar comprimido até temperaturas próximas a 0 °C, quando é possível obter-se a máxima condensação dos vapores de água e óleo (sem o risco de congelamento).

No ponto mais frio do sistema, é importante uma eficiente separação dos condensados formados, evitando sua reentrada no fluxo de ar comprimido.

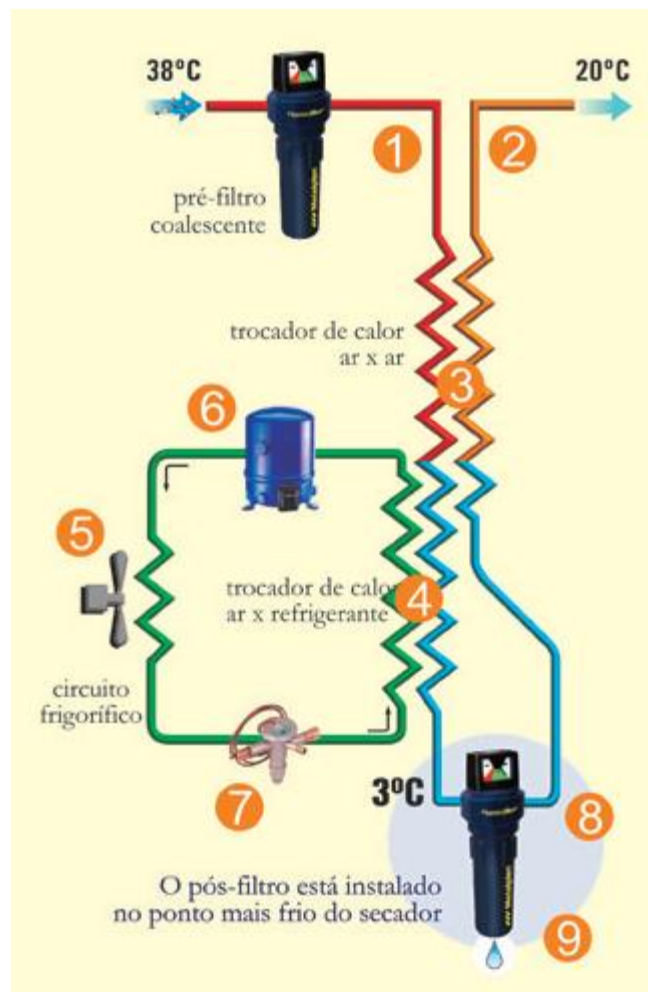
Depois de removido o condensado, a maioria dos secadores por refrigeração reaquece o ar comprimido (através do recuperador de calor, que reaproveita o calor do próprio ar comprimido na entrada do secador), devolvendo-o ao sistema numa condição mais adequada ao uso.

Ao entrar no secador, é recomendado que o ar comprimido esteja numa temperatura próxima à ambiente, permitindo uma redução no consumo de energia do equipamento.

Se o secador for resfriado a ar, deve-se ter um cuidado especial com a temperatura ambiente onde será instalado (METALPLAN, 2017).

Em termos construtivos, um secador de ar por refrigeração possui uma entrada (1) e uma saída (2), ainda é composto do recuperador de calor (3), evaporador (4), condensador (5), compressor (6), circuito frigorífico (7), separador de condensado/filtros coalescente (8), purgador automático (9), painel elétrico e outros itens, podendo ser resfriado pelo ar ambiente ou por água, conforme pode ser visto na Figura 13A.

Figura 13A – Secador por Refrigeração



Fonte: (METALPLAN, 2017)

ARMAZENAMENTO

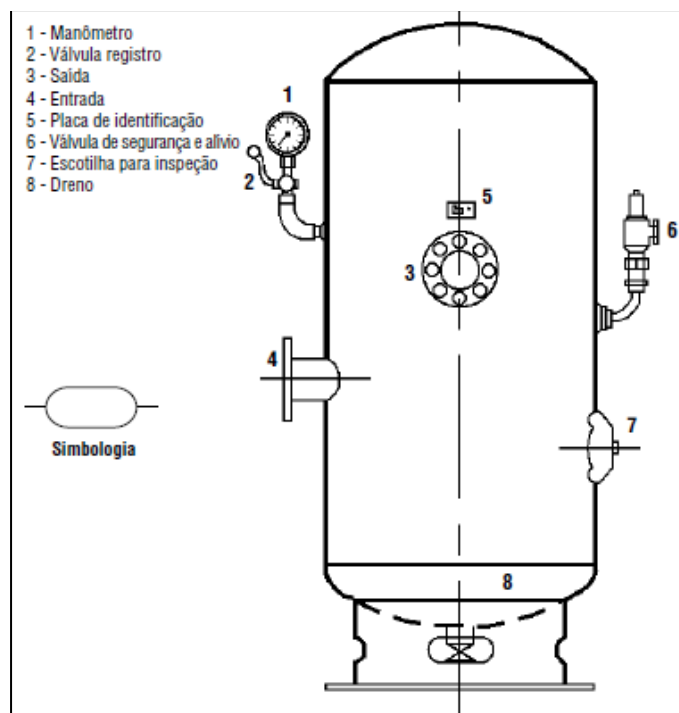
Um elemento importante utilizado em sistemas de ar comprimido são os reservatórios de ar comprimido, que possuem como principal função equilibrar e armazenar a pressão entre os compressores e o sistema de consumo.

Conforme PROCEL (2005), as necessidades instantâneas de ar comprimido da instalação são cobertas pelo reservatório, que, enquanto está cedendo ar para a instalação, permite que o compressor permaneça desligado ou funcione de modo contínuo, sem quedas bruscas de pressão.

A armazenagem compensa as flutuações no consumo e atende aos picos de consumo. Como o motor elétrico é desligado poucas vezes, o seu desgaste é reduzido. Em algumas instalações, vários reservatórios podem ser necessários. Instalações de grande porte configuram casos em que se empregam vários reservatórios.

A Figura 14A apresenta um reservatório de ar comprimido com seus principais componentes.

Figura 14A – Reservatório de Ar Comprimido (vertical)



Fonte: (PARKER, 2007)

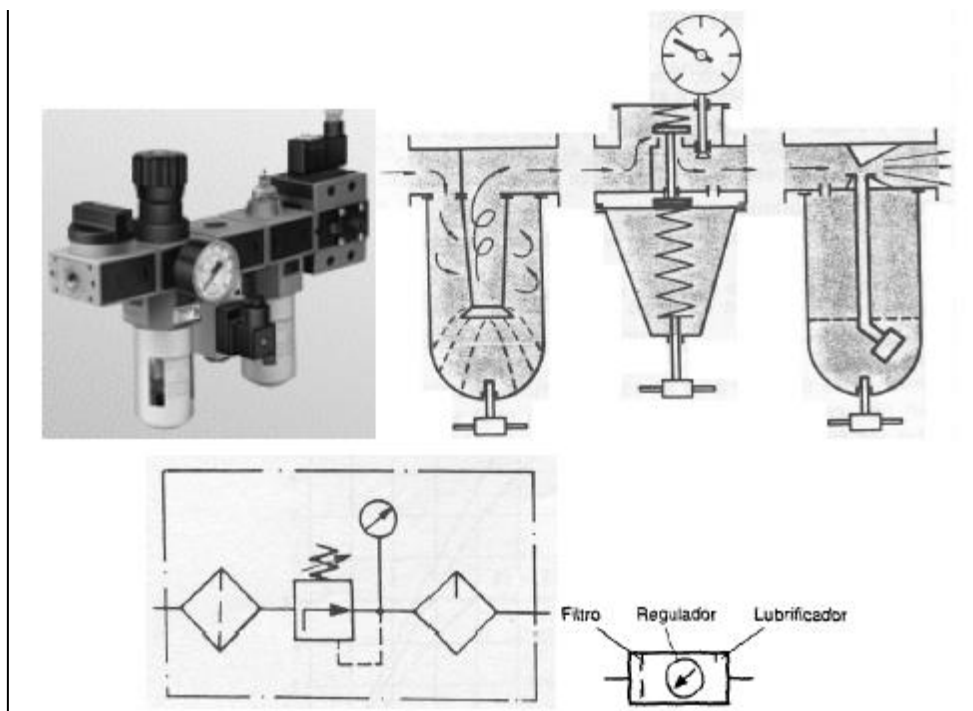
Os reservatórios de ar comprimido, em sua grande maioria são fabricados em aço carbono ou aço inox, e podem ser construídos verticalmente ou

horizontalmente, possuem flanges de entrada (4) e saída (3) de ar, manômetro (1) que informa a pressão interna do reservatório, válvula de segurança e alívio (6) que é uma exigência legal, atuando caso a pressão no reservatório alcance valores acima de 10% da pressão máxima de operação do reservatório, além de possuir na parte inferior do reservatório um dreno (8) para retirada do condensado precipitado.

TRATAMENTO DO AR COMPRIMIDO

Antes de entrar em cada máquina pneumática o ar passa por uma unidade de tratamento como mostrado na Figura 15A, composta por um filtro, uma válvula reguladora de pressão e um lubrificador. Essa unidade tem por objetivo ajustar as características do ar de forma específica para cada máquina (SILVA, 2002).

Figura 15A – Circuito típico do tratamento de ar comprimido



Fonte: (SILVA, 2002)

Filtro

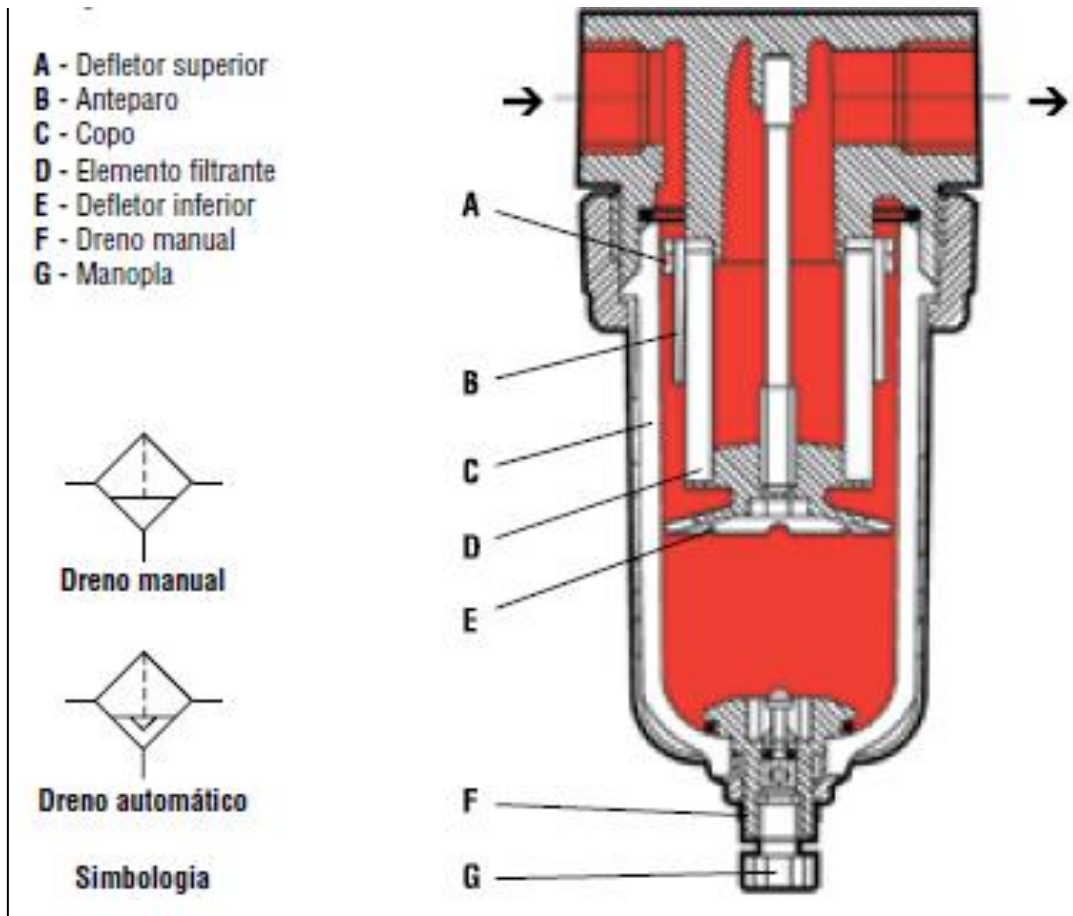
Os sistemas pneumáticos são sistemas abertos: o ar, após ser utilizado, é exaurido para a atmosfera, enquanto que a alimentação aspira ar livre constantemente. Este ar, por sua vez, está sujeito à contaminação, umidade e às impurezas procedentes da rede de distribuição.

A maioria destas impurezas é retida, porém partículas pequenas ficam suspensas e são arrastadas pelo fluxo de ar comprimido, agindo como abrasivos nas partes móveis dos elementos pneumáticos.

Os filtros são dispositivos capazes de reter as impurezas suspensas no fluxo de ar, e em suprimir ainda mais a umidade presente neste ar.

Conforme Figura 16A, o ar comprimido entra pelo orifício no corpo do filtro e flui através do defletor superior (A) causando uma ação de turbilhonamento no ar comprimido. A umidade e as partículas sólidas contidas no ar são jogadas contra a parede do copo (C) devido a uma ação centrífuga do ar comprimido turbilhonado pelo defletor. Tanto a umidade quanto as partículas sólidas escorrem pela parede do copo devido à força da gravidade. O anteparo (B) assegura que a ação de turbilhonamento ocorra sem que o ar passe diretamente através do elemento filtrante. O defletor inferior (E) separa a umidade e as partículas sólidas depositadas no fundo do copo, evitando assim a reentrada das mesmas no sistema de ar comprimido. Depois que a umidade e as maiores partículas sólidas foram removidas pelo processo de turbilhonamento, o ar comprimido flui através do elemento filtrante (D), onde as menores partículas são retidas. O ar então retorna para o sistema, deixando a umidade e as partículas sólidas contidas no fundo do copo, que deve ser drenado antes que o nível atinja a altura onde possam retornar para o fluxo de ar. Esta drenagem pode ser executada por um dreno manual (F), o qual é acionado por uma manopla (G) girando no sentido anti-horário, ou por um dreno automático, que libera o líquido assim que ele atinja um nível pré-determinado (PARKER, 2007).

Figura 16A – Partes de um filtro de tratamento de ar comprimido

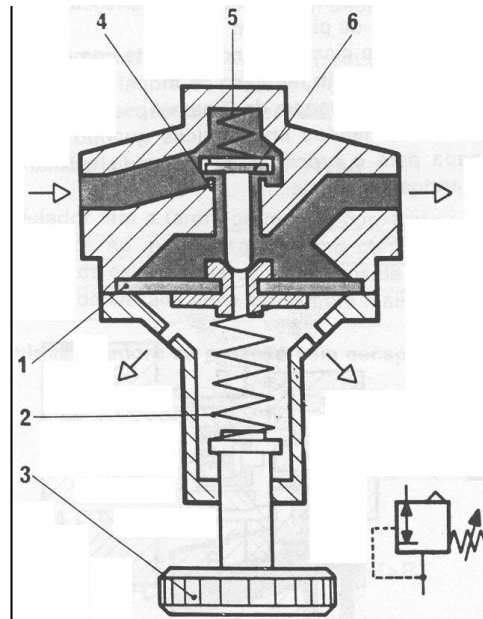


Fonte: (PARKER, 2007)

Válvula Reguladora de Pressão

Tem a função de manter constante a pressão no equipamento. Ela somente funciona quando a pressão a ser regulada (pressão secundária) for inferior que a pressão de alimentação da rede (pressão primária). Assim essa válvula pode reduzir a pressão, mas jamais aumentá-la. A Figura 17A mostra uma válvula de segurança juntamente com o seu símbolo.

Figura 17A – Válvula Reguladora de Pressão



Fonte: (SILVA, 2002)

O seu funcionamento ocorre da seguinte forma: Se a pressão secundária diminuir em relação a um valor especificado, a mola 2 empurra o êmbolo 6 que abre a comunicação com a pressão primária. Se a pressão secundária aumenta, em relação a um valor especificado (por exemplo, devido a um excesso de carga no atuador) então a membrana 1 é atuada pressionando a mola 2 e o êmbolo 6 fecha a comunicação até que a pressão secundária diminua. Se a pressão secundária aumentar demais, então além de ocorrer a situação anterior, a membrana 1 se separa do êmbolo 6, abrindo a comunicação com os furos de exaustão, ocorrendo o escape de ar, o que reduz a pressão secundária. O parafuso 3 permite regular a rigidez da mola 2 e, portanto a pressão secundária. Logicamente essa válvula gera uma oscilação de pressão na sua saída (pressão secundária), no entanto tanto menor será essa oscilação quanto melhor forem dimensionados os componentes da válvula (SILVA, 2002).

Lubrificador

Conforme PARKER (2007) Os sistemas pneumáticos e seus componentes são constituídos de partes possuidoras de movimentos relativos, estando, portanto, sujeitos a desgastes mútuos, e conseqüente inutilização.

Para diminuir os efeitos desgastantes e as forças de atrito, a fim de facilitar os movimentos, os equipamentos devem ser lubrificados convenientemente, por meio do ar comprimido.

Lubrificação do ar comprimido é a mescla deste com uma quantidade de óleo lubrificante, utilizada para a lubrificação de partes mecânicas internas móveis que estão em contato direto com o ar.

Essa lubrificação deve ser efetuada de uma forma controlada e adequada, a fim de não causar obstáculos na passagem de ar, problemas nas guarnições, etc.

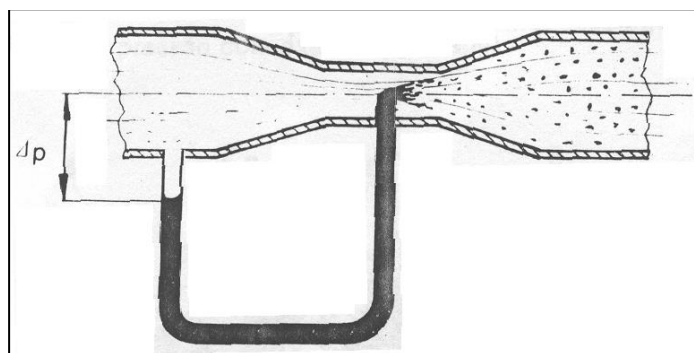
Além disso, esse lubrificante deve chegar a todos os componentes, mesmo que as linhas tenham circuitos sinuosos.

Isso é conseguido desde que as partículas de óleo permaneçam em suspensão no fluxo, ou seja, não se depositem ao longo das paredes da linha.

O meio mais prático de efetuar este tipo de lubrificação é através do lubrificador.

A alimentação do óleo é feita pelo princípio de Venturi que é ilustrado na Figura 18A.

Figura 18A – Princípio de Venturi

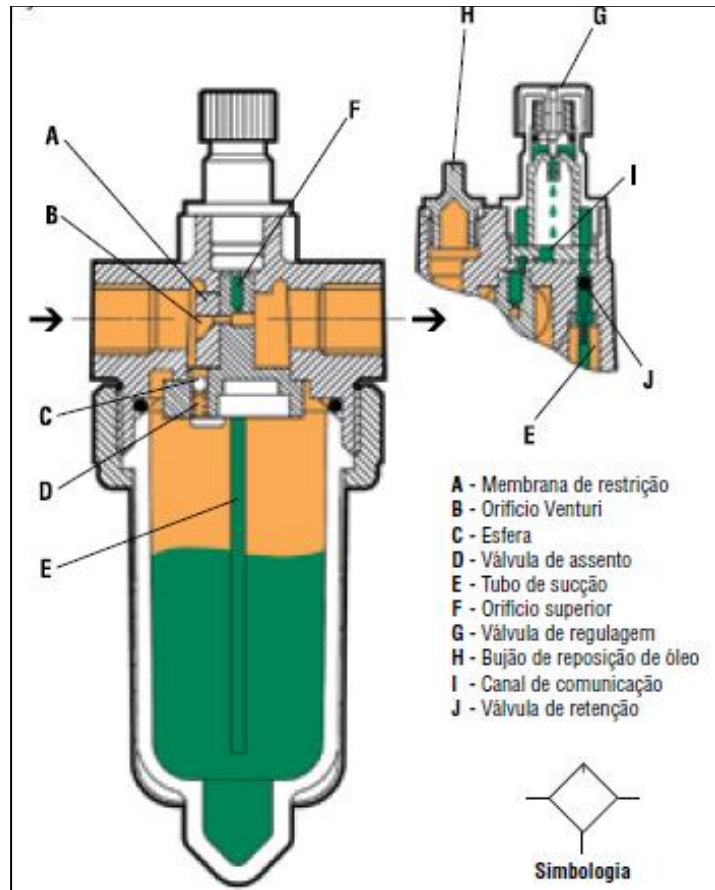


Fonte: (SILVA, 2002)

Essencialmente quando o fluxo de ar passa por uma seção de menor área, a sua velocidade aumenta e a sua pressão diminui, e, portanto o óleo contido no tubo

é pulverizado no ar. A Figura 19A ilustra um lubrificador e seu símbolo. O nível do óleo deve ser verificado periodicamente e a sua dosagem controlada (SILVA, 2002).

Figura 19A – Lubrificador



Fonte: (PARKER, 2007)

ANEXO A – Certificado de calibração do medidor Embrasul

EMBRASUL EMBRASUL INDÚSTRIA ELETRÔNICA LTDA
RELATÓRIO DE LIBERAÇÃO E CALIBRAÇÃO

Equipamento:	RI/000	Sensor de corrente:	TT2000/240mas
Número de Série:	96001044	Escala de corrente:	10 a 3000A
Responsável:	Cicero	Memória de Massa:	256 MB
		Data da calibração:	22/05/2017
Alimentação:	ok	Alimentação pela Medição:	ok
Controle das Funções:	ok	Funções de Parametrização:	ok
Comunicação:	ok	Inspeção Visual:	ok

Fabricante: EMBRASUL Modelo: HET904 SERIAL 7906225 BASEADO EM METRO CERTIFICADO B0110367

CALIBRAÇÃO

Preço: Ok Verificar: Fora da padrão

TENSÃO															
FASE A				FASE B				FASE C				NEUTRO			
UMP	UST	EMP	INCE	UMP	UST	EMP	INCE	UMP	UST	EMP	INCE	UMP	UST	EMP	INCE
80,33	80,32	0,40	0,09	80,33	80,32	0,40	0,09	80,33	80,3	0,42	0,07	45,30	45,38	0,33	0,01
150,67	150,68	0,75	0,01	150,67	150,7	0,75	0,01	150,67	150,69	0,75	0,02				
220,48	220,48	1,10	0,00	220,48	220,5	1,10	0,00	220,48	220,52	1,10	0,04				
Classe de Exatidão de Tensão															
0,5% - 30 a 200 V															
CORRENTE															
FASE A				FASE B				FASE C				NEUTRO			
UMP	UST	EMP	INCE	UMP	UST	EMP	INCE	UMP	UST	EMP	INCE	UMP	UST	EMP	INCE
50,93	50,92	0,25	0,01	50,93	50,93	0,25	0,00	50,93	50,93	0,25	0,00	50,93	50,91	0,25	0,02
106,2	106,2	0,53	0,00	106,2	106,2	0,53	0,00	106,2	106,2	0,53	0,00				
Classe de Exatidão para Corrente															
0,5% + 1% do sensor entre 5% e 100% da Escala de Corrente															
FATOR DE POTÊNCIA															
FASE A 150 V - 50 A				FASE B 150 V - 50 A				FASE C 150 V - 50 A				LEGENDA			
UMP	UST	EMP	INCE	UMP	UST	EMP	INCE	UMP	UST	EMP	INCE	UMP: Unidade de Medida Padrão			
0,612	0,612	0,003	0,000	0,612	0,612	0,003	0,000	0,612	0,612	0,003	0,000	UST: Unidade Senso Tensão			
FASE A 220 V - 500 A				FASE B 220 V - 500 A				FASE C 220 V - 500 A				EMP: erro Máximo Permitido			
UMP	UST	EMP	INCE	UMP	UST	EMP	INCE	UMP	UST	EMP	INCE	INCE: Anomalia Registrada			
0,620	0,620	0,003	0,000	0,620	0,621	0,003	0,000	0,620	0,620	0,003	0,000				
Classe de Exatidão para FP															
0,5% - entre 30 a 300 V - entre 5% e 100% da Escala de Corrente															

CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Temperatura (°C) **20,0°**

Umidade Relativa de Ar (%) **54,00**

Este equipamento foi aprovado, apresentando resultados satisfatórios em todos os testes. Ao instalar, verifique cuidadosamente se as ligações estão de acordo com as especificações apresentadas no manual de instruções. Recomendamos que a cada 12 meses seja feita uma calibração revisada no equipamento para evitar qualquer imprecisão nas medições decorrente ao tempo de uso.

Se houver dúvidas ou mais informações do produto, entre em contato pela Fone: (51) 3358-4000.


RESPONSÁVEL

ANEXO B – Instrução normativa Receita Federal

PARTE DA INSTRUÇÃO NORMATIVA RFB Nº 1700, DE 14 DE MARÇO DE 2017.
(Publicado(a) no DOU de 16/03/2017, seção 1, página 23)

Referência NCM	Bens	Prazo de vida útil (anos)
9026	INSTRUMENTOS E APARELHOS PARA MEDIDA OU CONTROLE DA VAZÃO (CAUDAL), DO NÍVEL, DA PRESSÃO OU DE OUTRAS CARACTERÍSTICAS VARIÁVEIS DOS LÍQUIDOS OU GASES [POR EXEMPLO: MEDIDORES DE VAZÃO (CAUDAL), INDICADORES DE NÍVEL, MANÔMETROS, CONTADORES DE CALOR], EXCETO OS INSTRUMENTOS E APARELHOS DAS POSIÇÕES 9014, 9015, 9028 OU 9032	10

Fonte: <https://is.gd/LUNu3g> – Acessado em 31/12/17

ANEXO C – Datasheet dos principais componentes do sistema



Шаровой кран с пневмоприводом

FNVB

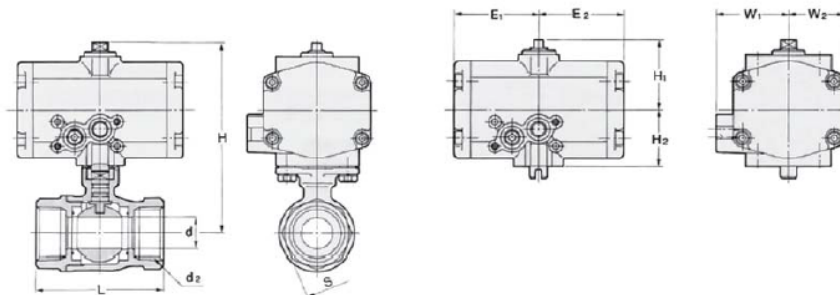
Комбинация шарового крана с пневматическим реечным поворотным приводом двустороннего действия
Возможность установки позиционера, концевого выключателя, датчиков конечного положения



Технические характеристики

Номер для заказа	FNVB-04X0	FNVB-10X0	FNVB-12X0	FNVB-14X0	FNVB-20X0
Шаровой кран					
Присоединительная резьба	1/2"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
Условный проход (мм)	10	20	25	32	40
Расход (Cv)	5,6	27	45	85	120
Рабочая среда	Сжатый воздух, вода, масло, неагрессивные жидкости				
Мак давление среды (МПа)	0,98				
Диапазон рабочих температур (°C)	-20 ~ + 60				
Применяемые материалы	Корпус - бронза, шар - хромированная бронза, седло шара - PTFE, уплотнение вала - FPM				
Пневмопривод					
Рабочая среда	Сжатый воздух				
Стандартное рабочее давление (МПа)	0,4				
Диапазон рабочих давлений (МПа)	0,4 ~ 0,7				
Испытательное давление (МПа)	0,98				
Угол поворота	90° (+5° ~ 0°)				
Время поворота (с)	< 1				
Крутящий момент (Нм, при 0,4 МПа)	3,9		8,5		
Диапазон рабочих температур (°C)	-20 ~ + 60				
Присоединительная резьба	Rc 1/8				

Размеры



Номер для заказа	d2	d	H	L	S	E1	E2	W1	W2	H1	H2
FNVB-04X0	Rc1/2"	10	93,5	65	28	43	43	34,5	26	31,5	34
FNVB-10X0	Rc1"	20	101,5	79	41	51,4	51,4	44	33,5	42,5	42
FNVB-12X0	Rc1 1/4"	25	124,5	86	50						
FNVB-14X0	Rc1 1/2"	32	137,5	96	56						
FNVB-20X0	Rc2"	40	144,5	109	68						

NAMUR Interface 5 Port Solenoid Valve Series **VFN2000N**

The interface surface complies with NAMUR.

- Can be directly installed on the industrial valve actuator that complies with NAMUR.



How to Order

VFN2 1 20 N - 5 D Z - 02 F -

Solenoid

1	Single solenoid
2	Double solenoid

Voltage

1	100 VAC, 50/60 Hz
2	200 VAC, 50/60 Hz
3	110 to 120 VAC, 50/60 Hz
4	220 VAC, 50/60 Hz
5	24 VDC
6	12 VDC
7	240 VAC, 50/60 Hz

For other rated voltages, please contact SMC.

NAMUR Interface

Electrical entry

G	Grommet
E	Grommet terminal
T	Conduit terminal
D	DIN terminal
DO	DIN terminal (Without connector)
Y ^{Note)}	DIN terminal
YO ^{Note)}	DIN terminal (Without connector)

Note) Conforming to DIN 43650, Form B

Thread type

Nil	Rc (PT)
F	G (PF)
N	NPT

Manual override

Nil	Non-locking push type (Flush)
A	Non-locking push type (Extended)
B	Locking type (Tool required)

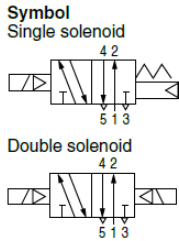
Light/Surge voltage suppressor

Nil	None
Z	With light/surge voltage suppressor
S ^{Note)}	With surge voltage suppressor

Note) Available for grommet type only.

CE marking

Nil	—
Q	CE marked product



Specifications

Valve specifications	Fluid	Air, Inert gas		
	Max. operating pressure	0.9 MPa (130 psi)		
	Min. operating pressure	0.15 MPa (22 psi)		
	Ambient and fluid temperature	-10 to +60°C ^{Note 1)}		
	Lubrication	Not required ^{Note 2)}		
	Pilot valve manual override	Non-locking push type (Flush)		
	Enclosure	Dustproof		
	Port size	1/4		
	Cv factor (Effective area)	Refer to "Flow-rate Characteristics" table below.		
	Weight	Refer to "Weight" table below.		
Other	Cylinder ports should be NAMUR hole pattern.			
Electrical specifications	Coil rated voltage	12, 24 VDC, 100, 110 to 120, 200, 220, 240 VAC (50/60 Hz)		
	Allowable voltage fluctuation	-15 to +10% of rated voltage		
	Coil insulation type	Class B or equivalent		
	Apparent power AC (Power consumption)	Inrush	5.0 VA/60 Hz, 5.6 VA/50 Hz	
		Holding	2.3 VA (1.5 W)/60 Hz, 3.4 VA (2.1 W) 9/50 Hz	
	Power consumption DC	1.8 W		
Electrical entry	Grommet, Grommet terminal, Conduit terminal, DIN terminal			

Note 1) Use dry-air at low temperature.
Note 2) Use turbine oil No.1 (ISO VG32), if lubricated.

Flow-rate Characteristics

		Flow-rate characteristics					
		1→4/2 (P→A/B)			4/2→5/3 (A/B→EA/EB)		
		C	b	Cv	C	b	Cv
2-position	Single solenoid	3.48	0.25	0.85	4.57	0.17	1.06
	Double solenoid	3.48	0.25	0.85	4.57	0.17	1.06

Weight

Model	Weight (g)
VFN2120N-5D-02F	260
VFN2220N-5D-02F	400

2-Color Display High-Precision Digital Pressure Switch

Series ZSE30A(F)/ISE30A



How to Order

Rated pressure range

ISE30A	-0.1 to 1 MPa
--------	---------------

For positive pressure ISE30A - 01 - N - M

For vacuum/compound pressure ZSE30A - 01 - N - M

Rated pressure range

ZSE30A	0 to -101 kPa
ZSE30AF	-100 to 100 kPa

Output

N	NPN open collector 1 output
P	PNP open collector 1 output
A	NPN open collector 2 outputs
B	PNP open collector 2 outputs
C*	NPN open collector 1 output + Analog voltage output
D*	NPN open collector 1 output + Analog current output
E*	PNP open collector 1 output + Analog voltage output
F*	PNP open collector 1 output + Analog current output

* Made to Order

Made to Order (P.12)

X510	For M12 4-pin pre-wired connector
------	-----------------------------------

Available only for output "A" or "B".

Option 3

Symbol	Operating manual Booklet	Calibration certificate
NII	○	—
Y	—	—
K	○	○
T	—	○

Piping

Code	Description	Type
01	R1/8 (M5 female threaded)	Straight type
N01*	NPT1/8 (M5 female threaded)	
C4H	One-touch fitting ø4 mm, ø5/32 inch	Elbow type
C6H	One-touch fitting ø6 mm	
N7H	One-touch fitting ø1/4 inch	
C4L	One-touch fitting ø4 mm, ø5/32 inch	
C6L	One-touch fitting ø6 mm	
N7L	One-touch fitting ø1/4 inch	

* Made to Order

Option 2

Code	Description
NII	None
A1	Bracket A
A2	Bracket B
A3	Bracket C
B	Panel mount adapter
D	Panel mount adapter + Front protection cover

Option 1

Code	Description
NII	Without lead wire
L	Lead wire with connector (Lead wire length 2 m) ^{Note}
G	Lead wire with connector (Lead wire length 2 m) ^{Note} With connector cover

Display unit

Code	Description
NII	With unit display ^{Note 1)} switching function
M	Fixed SI unit ^{Note 2)}
P*	With unit display ^{Note 1)} switching function (Initial value psi)

* Made to Order

Note 1) Under the New Measurement Law, sales of switches with the unit switching function have not been allowed for use in Japan.

Note 2) Fixed unit kPa, MPa

Note) For output types N and P, the number of core of lead wires will be 3, and for other types, it will be 4.



Series ZSE30A(F)/ISE30A

Specifications

Model	ZSE30A (Vacuum pressure)	ZSE30AF (Compound pressure)	ISE30A (Positive pressure)
Rated pressure range	0.0 to -101.0 kPa	-100.0 to 100.0 kPa	-0.100 to 1.000 MPa
Set pressure range	10.0 to -105.0 kPa	-105.0 to 105.0 kPa	-0.105 to 1.050 MPa
Withstand pressure	500 kPa	500 kPa	1.5 MPa
Minimum unit setting	0.1 kPa	0.1 kPa	0.001 MPa
Applicable fluid	Air, Non-corrosive gas, Non-flammable gas		
Power supply voltage	12 to 24 VDC $\pm 10\%$, Ripple (p-p) 10% or less (with power supply polarity protection)		
Current consumption	40 mA or less		
Switch output	NPN or PNP open collector 1 output, NPN or PNP open collector 2 outputs (selectable)		
Maximum load current Maximum applied voltage Residual voltage Response time Short circuit protection	80 mA		
	28 V (at NPN output)		
	1 V or less (with load current of 80 mA)		
	2.5 ms or less (with anti-chattering function: 20, 100, 500, 1000, 2000 ms)		
	Yes		
Repeatability	$\pm 0.2\%$ F.S. ± 1 digit		
Hysteresis	Hysteresis mode	Variable (0 or above) ^{Note 1)}	
	Window comparator mode		
Analog output	^{Note 2)} Voltage output Linearity Output impedance	1 to 5V $\pm 2.5\%$ F.S.	
		0.6 to 5 V $\pm 2.5\%$ F.S.	
	^{Note 3)} Current output Linearity Load impedance	4 to 20 mA $\pm 2.5\%$ F.S.	
		$\pm 1\%$ F.S. or less	
		Maximum load impedance: Power supply voltage 12 V: 300 Ω , Power supply voltage 24 V: 600 Ω Minimum load impedance: 50 Ω	
Display	4-digit, 7-segment, 2-color LCD (Red/Green)		
Display accuracy	$\pm 2\%$ F.S. ± 1 digit (Ambient temperature of 25 $\pm 3^\circ\text{C}$)		
Indicator light	Lights up when switch output is turned ON. OUT1: Green, OUT2: Red		
Environment resistance	Enclosure	IP40	
	Operating temperature range	Operating: 0 to 50 $^\circ\text{C}$, Stored: -10 to 60 $^\circ\text{C}$ (No freezing or condensation)	
	Operating humidity range	Operating/Stored: 35 to 85% RH (No condensation)	
	Withstand voltage	1000 VAC for 1 minute between live parts and case	
	Insulation resistance	50 M Ω or more between live parts and case (at 500 VDC Mega)	
	Vibration resistance	10 to 150 Hz at whichever is smaller of 1.5 mm amplitude or 20 m/s ² acceleration, in X, Y, Z directions, for 2 hours each (Non-energized)	
Impact resistance	100 m/s ² in X, Y, Z directions, 3 times each (Non-energized)		
Temperature characteristics	$\pm 2\%$ F.S. (Based on 25 $^\circ\text{C}$)		
Lead wire	Oilproof heavy-duty vinyl cable, 3 cores $\phi 3.5$, 2 m 4 cores Conductor area: 0.15 mm ² (AWG26), Insulator O.D.: 1.0 mm		
Standards	CE Marking, UL/CSA, RoHS compliance		

Note 1) If applied pressure fluctuates near the set value, set the hysteresis above the fluctuation range to prevent chattering.

Note 2) When analog voltage output is selected, analog current output cannot be used together.

Note 3) When analog current output is selected, analog voltage output cannot be used together.

Piping Specifications

Model	01	N01	C4H	C6H	N7H	C4L	C6L	N7L
Port size	R1/8 M5 x 0.8	NPT1/8 M5 x 0.8	—	—	—	—	—	—
	One-touch fitting, Straight type	—	$\phi 4$ mm $\phi 5/32$ inch	$\phi 6$ mm	$\phi 1/4$ inch	—	—	—
	One-touch fitting, Elbow type	—	—	—	—	$\phi 4$ mm $\phi 5/32$ inch	$\phi 6$ mm	$\phi 1/4$ inch
Wetted parts material	Sensor pressure receiving area		Sensor pressure receiving area: Silicon					
	Piping port		PBT, POM, Stainless steel 304, C3604 (electroless nickel plated) O-ring: NBR					
Weight	Including lead wire with connector (3 cores, 2 m)	81 g	70 g	71 g	73 g	75 g	73 g	75 g
	Including lead wire with connector (4 cores, 2 m)	85 g	74 g	75 g	77 g	79 g	77 g	79 g
	Excluding lead wire with connector	43 g	32 g	33 g	35 g	37 g	35 g	37 g

Optional Part No.

When optional parts are required separately, use the following part numbers to place an order.

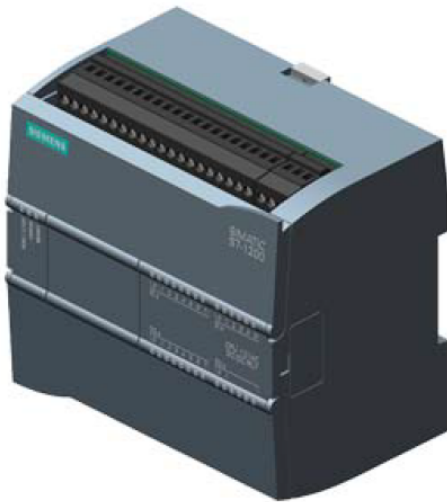
Part no.	Option	Note	Part no.	Option	Note
ZS-38-A1	Bracket A	Mounting screw (with 2 pcs. of M3 x 5L)	ZS-38-4G	Lead wire with connector (with connector cover)	4 cores, for 2 outputs, 2 m
ZS-38-A2	Bracket B	Mounting screw (with 2 pcs. of M3 x 5L)	ZS-38-5L	Lead wire with a connector for copying	3 cores, copy function, 1 m
ZS-38-A3	Bracket C	Mounting screw (with 2 pcs. of M3 x 5L)	ZS-38-U	Lead wire unit with a connector for copying	Copy function (up to 10 slaves)
ZS-27-C	Panel mount adapter	Mounting screw (with 2 pcs. of M3 x 8L)	ZS-38-C4H	One-touch fittings $\phi 4$ mm straight	O-ring, one-touch clip included
ZS-27-D	Panel mount adapter + Front protection cover	Mounting screw (with 2 pcs. of M3 x 8L)	ZS-38-C6H	One-touch fittings $\phi 6$ mm straight	O-ring, one-touch clip included
ZS-27-01	Front protection cover		ZS-38-N7H	One-touch fittings $\phi 1/4$ inch straight	O-ring, one-touch clip included
ZS-38-3L	Lead wire with connector	3 cores, for 1 output, 2 m	ZS-38-C4L	One-touch fittings $\phi 4$ mm elbow	O-ring, one-touch clip included
ZS-38-4L	Lead wire with connector	4 cores, for 2 outputs, 2 m	ZS-38-C6L	One-touch fittings $\phi 6$ mm elbow	O-ring, one-touch clip included
ZS-38-3G	Lead wire with connector (with connector cover)	3 cores, for 1 output, 2 m	ZS-38-N7L	One-touch fittings $\phi 1/4$ inch elbow	O-ring, one-touch clip included

SIEMENS

Data sheet

6ES7214-1HG40-0XB0

SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, compact CPU, DC/DC/relay,
onboard I/O: 14 DI 24 V DC; 10 DO relay 2 A; 2 AI 0-10 V DC, Power
supply: DC 20.4-28.8V DC, Program/data memory 100 KB



General information	
Product type designation	CPU 1214C DC/DC/relay
Firmware version	V4.2
Engineering with	
<ul style="list-style-type: none"> Programming package 	STEP 7 V14 or higher
Supply voltage	
Rated value (DC)	
<ul style="list-style-type: none"> 24 V DC 	Yes
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Load voltage L+	
<ul style="list-style-type: none"> Rated value (DC) permissible range, lower limit (DC) permissible range, upper limit (DC) 	24 V 20.4 V 28.8 V
Input current	
Current consumption (rated value)	500 mA; CPU only
Current consumption, max.	1 500 mA; CPU with all expansion modules

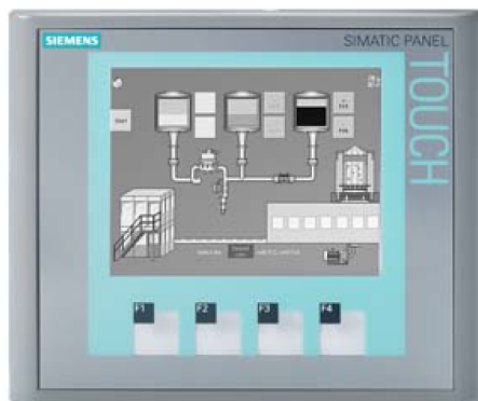
Inrush current, max.	12 A; at 28.8 V
I^2t	0.8 A ² ·s
Output current	
for backplane bus (5 V DC), max.	1 600 mA; Max. 5 V DC for SM and CM
Encoder supply	
24 V encoder supply	
• 24 V	L+ minus 4 V DC min.
Power loss	
Power loss, typ.	12 W
Memory	
Work memory	
• integrated	100 kbyte
• expandable	No
Load memory	
• integrated	4 Mbyte
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	with SIMATIC memory card
Backup	
• present	Yes
• maintenance-free	Yes
• without battery	Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	0.08 µs; / instruction
for word operations, typ.	1.7 µs; / instruction
for floating point arithmetic, typ.	2.3 µs; / instruction
CPU-blocks	
Number of blocks (total)	DBs, FCs, FBs, counters and timers. The maximum number of addressable blocks ranges from 1 to 65535. There is no restriction, the entire working memory can be used
OB	
• Number, max.	Limited only by RAM for code
Data areas and their retentivity	
Retentive data area (incl. timers, counters, flags), max.	10 kbyte
Flag	
• Number, max.	8 kbyte; Size of bit memory address area
Local data	
• per priority class, max.	16 kbyte; Priority class 1 (program cycle): 16 KB, priority class 2 to 26: 6 KB

SIEMENS

Data sheet

6AV6647-0AA11-3AX0

SIMATIC HMI KTP400 Basic mono PN, Basic Panel, Key/touch operation, 4" STN display, 4 gray levels, PROFINET interface, configurable as of WinCC flexible 2008 SP2 Compact/ WinCC Basic V10.5/ STEP 7 Basic V10.5, contains open-source software, which is provided free of charge see enclosed CD



General information	
Product type designation	KTP400 Basic mono PN
Display	
Design of display	STN
Screen diagonal	3.8 in
Display width	76.8 mm
Display height	57.6 mm
Number of colors	4; Grayscale
Resolution (pixels)	
• Horizontal image resolution	320 Pixel
• Vertical image resolution	240 Pixel
Backlighting	
• MTBF backlighting (at 25 °C)	30 000 h
• Backlight dimmable	No
Control elements	
Keyboard fonts	
• Function keys	
— Number of function keys	4

• Keys with LED	No
• System keys	No
• Numeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
• alphanumeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
Touch operation	
• Design as touch screen	Yes
Installation type/mounting	
Mounting position	vertical
Mounting in portrait format possible	Yes
Mounting in landscape format possible	Yes
maximum permissible angle of inclination without external ventilation	35°
Supply voltage	
Type of supply voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
Current consumption (rated value)	0.1 A
Starting current inrush I ² t	0.5 A ² ·s
Power	
Active power input, typ.	3 W
Processor	
Processor type	RISC 32-bit
Memory	
Flash	Yes
RAM	Yes
Memory available for user data	1 Mbyte
Type of output	
Acoustics	
• Buzzer	Yes
• Speaker	No
Time of day	
Clock	
• Hardware clock (real-time)	No
• Software clock	Yes
• retentive	No
• synchronizable	Yes