

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS-MG

ENGENHARIA MECÂNICA

DIOGO ARANHA RIBEIRO

Biblioteca Monsenhor Domingos Prado Fonseca
N. Class. M 621.5
Cutter B484c
Ano/Ed. 2010

**COMPRESSOR ELETRICO DE PARAFUSO OPERANDO COM INVERSOR DE
FREQUÊNCIA - CPVS**

**Varginha - MG
2010**

DIOGO ARANHA RIBEIRO

**COMPRESSOR ELETRICO DE PARAFUSO OPERANDO COM INVEROSOR DE
FREQUÊNCIA - CPVS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Mecânica do Centro Universitário do Sul de
Minas – UNIS/MG como pré-requisito para
a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico,
sob a orientação do Prof. Alexandre de
Oliveira Lopes.

**Varginha MG
2010**

DIOGO ARANHA RIBEIRO

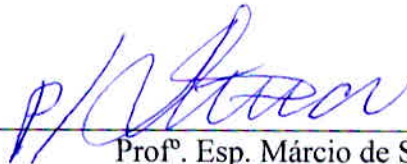
**SISTEMA DE BIBLIOTECAS
FEPESMIG**

BIBLIOTECA MONSENHOR DOMINGOS PRADO FONSECA

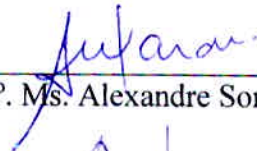
**COMPRESSOR ELETRICO DE PARAFUSO OPERANDO COM INVERSOR DE
FREQUÊNCIA - CPVS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico pela banca Examinadora composta pelos membros: Prof. Esp. Márcio de Santana, Prof. Ms. Alexandre Soriano e Prof. Esp. Alexandre de Oliveira Lopes.

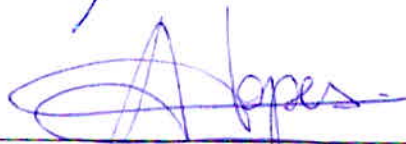
Avaliado em: 25 / 11 / 2010



Prof. Esp. Márcio de Santana



Prof. Ms. Alexandre Soriano



Prof. Esp. Alexandre de Oliveira Lopes

OBS.:

Dedico este trabalho a todos que acreditaram em meu potencial, aos professores e colegas de classe e em especial a minha família e minha namorada por todo o apoio dado no decorrer do curso.

“Porque melhor é a Sabedoria do que jóias, e tudo que se deseja nada se pode comparar a ela”. Provérbios 8:11

RESUMO

Atualmente o compressor de parafuso representa cerca de 50% de todos os compressores produzidos no mercado, possui larga aplicação na indústria alimentícia, de bebidas, farmacêutica, química e têxtil. O presente trabalho realiza um estudo da eficiência energética de um compressor parafuso em um sistema de ar comprimido com a utilização de um inversor de frequência, pois uma das maiores vantagens dos compressores de parafuso é a possibilidade de operar em cargas parciais variáveis de 10 até 100% da capacidade total da máquina. Isto se traduz num consumo menor de energia, apresentando também um menor desgaste em seus componentes mecânicos, gerando redução de custos com manutenção. Desta forma, podemos concluir que o compressor de parafuso se torna uma excelente alternativa quando comparado aos demais compressores existentes no mercado.

Palavras-Chave: Sistema de Ar Comprimido, Compressor Parafuso, Acionamento à Velocidade Variável (CPVS)

ABSTRACT

Currently, the screw compressor is about 50% of all compressors produced in the market, has wide application in food, beverage, pharmaceutical, chemical and textile industries. This paper makes a study of energy efficiency of a screw compressor in a compressed air system using a frequency inverter, because one of the greatest advantages of screw compressors is the ability to operate at partial loads varying from 10 to 100 % of total capacity of the machine. This translates into a lower power, also with less wear on mechanical components, leading to reduced maintenance costs. Thus, we conclude that the screw compressor becomes an excellent alternative when compared to other compressors on the market

Keywords: Compressed Air System, Compressor Bolt, the Drive Variable Speed (CPVS)

LISTA DE FIGURAS

Figura 01– Classificação dos Compressores Clássicos.....	18
Figura 02 – Compressor de Pistão.....	19
Figura 03 – Compressores de Palheta.....	20
Figura 04 – Compressores de Lóbulo.....	20
Figura 05 – Compressores Axiais.....	21
Figura 06 – Compressores Rotativos.....	21
Figura 07 – Compressor Parafuso.....	22
Figura 08 – Fusos do Compressor Parafuso.....	22
Figura 09 – VI do Compressor de Parafuso.....	23
Figura 10 – Filtro Compressor de Parafuso.....	24
Figura 11 – Compressor de Parafuso.....	25
Figura 12 – Esquema Elétrico de um Inversor de Frequência.....	26
Figura 13 – Inversor de Frequência.....	27
Figura 14 – Diagrama de Blocos com Inversor de Frequência.....	28
Figura 15 – Chaveamento com Inversor de Frequência.....	28
Figura 16 – Sistema de Compressão Simples.....	33
Figura 17 – Sistema de Compressão com Válvula de Estrangulamento.....	34
Figura 18 – Sistema de Compressão Simples Liga /Desl.....	34
Figura 19 – Sistema de Compressão Simples com Controlo Dual.....	35
Figura 20 – Sistema de Controle de Funcionamento CPVS.....	38
Figura 21 – Sistema de Compressão Simples com Controle CPVS.....	38
Figura 22 – Esquema de Ligação de Inversor de Frequência com CLP e Computador.....	39
Figura 23 – Gráfico de Demanda de Ar Comprido x Tempo A.....	40
Figura 24 – Gráfico de Demanda de Ar Comprimido x Tempo B.....	40
Figura 25 – Compressão Simples com Controle CPVS.....	41
Figura 26 – Sistema de Compressão Simples com Controle CPVS e CLP.....	41
Figura 27 – Diagrama de Partida MIT Estrela Triangulo.....	42
Figura 28 – Diagrama de um Compressor com Controle CPVS.....	43
Figura 29 – Compressor Híbrido Nirvana.....	44
Figura 30 – Motor Híbrido.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação de um Compressor de Parafuso Comum e com Inversor de Frequência.....	45
Tabela 2: Consumo de Energia Compressor CPVS.....	46
Tabela 3: Comparação de custo compressor CPVS em relação aos Compressores Convencionais.....	47
Tabela 4: Vantagens do Compressor de Parafuso em relação aos Compressores Convencionais.....	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução do Consumo de Eletricidade por Setor da Economia.....	15
Gráfico 2: Consumo de Eletricidade por Segmentos da Indústria.....	16

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ONU – Organizações das Nações Unidas.....	16
IPCC – Painel Internacional Sobre Mudanças Climáticas.....	16
CC – Corrente Contínua.....	26
CA – Corrente Alternada.....	26
In – Polegada.....	29
CPVS – Compressor de Parafuso com Velocidade Variável.....	31
MIT – Motor de Indução Trifásico.....	34
AVV – Acionamento com Velocidade Variável.....	36
IEE – Institute of Electrical and Electronics Engineering.....	36
CBEE – Congresso Brasileiro Eficiência Energética.....	37
CLP – Controle Lógico Programável.....	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1. ESTUDO DA NECESSIDADE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	15
2.3 COMPRESSORES.....	17
2.3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS COMPRESSORES QUANTO A SUA APLICAÇÃO.....	17
2.3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS COMPRESSORES QUANTO AO PRINCÍPIO CONSTRUTIVO.....	18
2.3.3 CLASSIFICAÇÃO DOS COMPRESSORES CLÁSSICOS.....	18
2.4 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO.....	19
2.4.1 COMPRESSORES ALTERNATIVOS A PISTÃO.....	19
2.4.2 COMPRESSORES DE PALHETAS.....	19
2.4.3 COMPRESSOR DE LÓBULOS.....	20
2.4.4 COMPRESSORES AXIAIS.....	21
2.4.5 COMPRESSORES CENTRÍFUGOS.....	21
2.4.6 COMPRESSORES DE PARAFUSO.....	22
2.4.6.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	22
2.5 COMPONENTES DE UM COMPRESSOR DE PARAFUSO.....	23
2.5.1 SEPARADOR DE ÓLEO.....	23
2.5.2 FILTRO DE ÓLEO.....	24
2.5.3 BOMBA DE ÓLEO.....	24
2.5.4 RESFRIADOR DE ÓLEO.....	24
2.6 SISTEMA DE CONTROLE DE CAPACIDADE.....	25
2.7 INVERSOR DE FREQUÊNCIA.....	26
2.8 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO INVERSOR DE FREQUENCIA.....	29
2.8.1 ELIMINAÇÃO DOS IMPACTOS ELÉTRICOS PARA A REDE.....	29
2.8.2 ELIMINAÇÃO DOS IMPACTOS MECÂNICOS.....	29
2.8.3 ECONOMIA DE ENERGIA.....	29
2.8.4 AUTOMAÇÃO DO SISTEMA.....	30
2.8.5 PADRONIZAÇÃO.....	30
2.8.6 CONFORTO.....	30
2.8.7 CUIDADOS NO DIMENSIONAMENTO.....	30
2.9 SISTEMA DE CONTROLE DE CARGA EM COMPRESSORES CONVECIONAIS SEM USO DE TECNOLOIGA DE VELOCIDADE VARIÁVEL (CPVS).....	31
2.9.1 SISTEMA DE COMPRESSÃO SIMPLES SEM CONTROLE DE CARGA.....	31
2.9.2 CONTROLES CLÁSSICOS.....	32
2.9.3 CONCEITO DE CONTROLE CONTÍNUO.....	32
2.9.4 CONTROLE POR ESTRANGULAMENTO NA SUCCÇÃO.....	33
2.9.5 CONCEITO DE CONTROLE POR DEGRAUS.....	33
2.9.6 CONTROLE LIGA/DESLIGA (ON/OFF).....	34
2.9.7 CONTROLE DUPLO (DUAL) OU CARGA/ALÍVIO.....	35

2.10 COMPRESSOR DE PARAFUSO COM INVERSOR DE FREQUENCIA (CPVS).....	36
2.10.1 INTRODUÇÃO.....	36
2.10.2 TECNOLOIGA CPVS.....	37
2.11 COMPRESSOR DE PARAFUSO COM INVERSOR DE FREQUENCIA E MOTOR HIBRIDO.....	43
2.11 VANTAGENS DO COMPRESSOR DE PARAFUSO COM SISTEMA CPVS EM RELAÇÃO AOS TRADICIONAIS.....	45
3. CONCLUSÕES.....	49
4. REFERÊNCIAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o ar comprimido é empregado em quase todos os setores da indústria, encontrando aplicações nas mais diversas tarefas. Por esta razão os equipamentos que produzem, distribuem e utilizam o ar comprimido representam uma parcela significativa no consumo de energia elétrica no processo de produção. Diversos estudos apontam que processos ineficientes levam o sistema de ar comprimido se tornar um dos grandes fatores que acarretam maior perda de energia nas empresas. Mas, em contra partida existe meios que auxiliam na economia de energia, o intuito deste trabalho é abordar o aumento de eficiência energética e conseqüentemente a redução dos custos gerados na produção de ar comprimido através da utilização de um compressor elétrico de parafuso com inversor de frequência.

Conservar a energia utilizada, buscar maior eficiência nas instalações e sustentabilidade econômica de projetos são temas fortemente relacionados às preocupações do futuro ambiental. Em um planeta que, na última década passou por mudanças notórias na sua estrutura climática e em seus aspectos sociais, o uso racional, eficiente e sustentável da energia é parte fundamental e integrante do conjunto de prioridades das principais nações.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ESTUDO DA NECESSIDADE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O principal objetivo deste trabalho é relatar como o inversor de frequência em um compressor de parafuso pode auxiliar nos esforços para economizar significativamente a energia elétrica consumida na indústria quando utilizado na faixa adequada, tornando-se de grande importância para eficiência energética. Conforme gráfico abaixo podemos verificar como a evolução do consumo de energia elétrica no Brasil cresceu nos últimos anos. Analisando com maior critério, pode se observar que o setor industrial tem cooperado grandemente para elevar o consumo de energia elétrica no país.

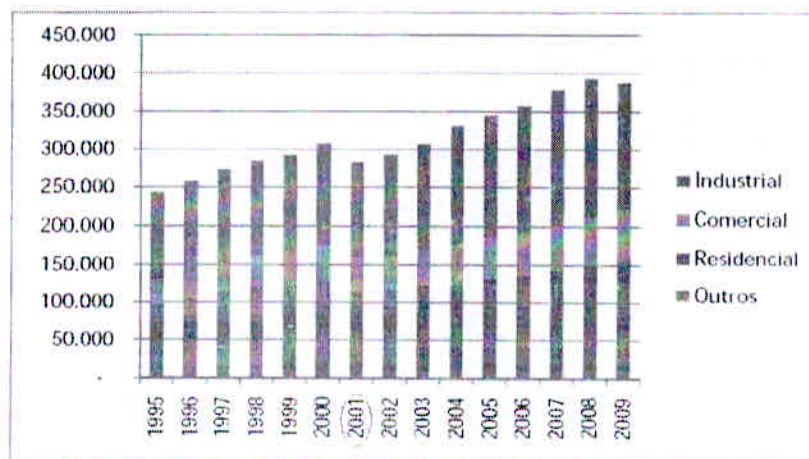


Gráfico 1: Evolução do Consumo de Eletricidade por Setor da Economia
Fonte: ONS

Diante do exposto, verificamos que os compressores sejam de refrigeração ou de ar possuem uma participação significativa no consumo de energia elétrica na indústria, o que tem influenciado o consumo elevado referente à força motriz.

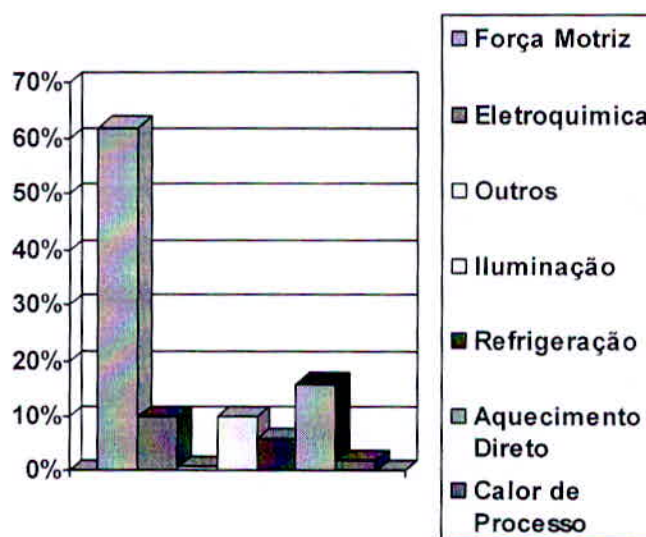


Gráfico 2: Consumo de Eletricidade por Segmentos da Indústria
Fonte: BEU 2005

Para contribuir com uma melhor eficiência energética, o inversor de frequência em compressores surge como opção simples e eficiente para uma maior economia de energia elétrica no setor industrial. A eficiência energética nos dias atuais é de fundamental importância para a economia mundial, contribuindo para evitar um racionamento de energia elétrica e até mesmo “apagões” como o ocorrido no ano de 2001 no Brasil, e ainda combater o aquecimento global que é sem dúvida um dos maiores problemas deste século.

De acordo com o relatório da Organização das Nações Unidas (ONU) divulgado na Tailândia, em 2007, o Brasil precisa fazer três ações para conter o aquecimento global:

- acabar com os desmatamentos ilegais,
- investir em energias limpas com fontes eólicas e solares,
- aplicar técnicas para reduzir o desperdício de eletricidade, a chamada eficiência energética, reduzindo o consumo de energia com medidas de uso racional.

O consumidor tem o duplo benefício, preserva a o meio ambiente de forma mais imediata e economiza dinheiro.

Outra estimativa publicada no jornal Gazeta Mercantil em 2008, é de que o índice de perdas elétricas no Brasil seja de 16% , em contra partida, este numero não passa de 6,5% na Europa e de 8% nos Estados Unidos (ProcelInfo, 2008). O próprio relatório do IPCC- *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas) - dedica um capítulo inteiro a eficiência energética e aponta esta medida como a forma mais barata de conter o consumo desnecessário de energia elétrica, além disso, o relatório acrescenta que caso for adotadas praticas de eficiência em novas construções, pode se reduzir às emissões de gases que causam efeito estufa em ate 30% , além de melhorar a qualidade do ar, o bem estar social e garantir a segurança energética.

Somente com medidas de eficiência energética seria possível reduzir em cerca de 20% o consumo de energia elétrica no Brasil, além de diminuir as emissões de CO₂ em 10% (IPCC-Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas, 2007) o Brasil é um país tropical e por esse motivo tanto a ventilação quanto o condicionamento de ar são muito utilizados, seja indústria ou em residências tanto para conforto térmico, aumento da produtividade ou para a limpeza do ar.

2.3 COMPRESSORES

Os ventiladores, sopradores, compressores e os turbocompressores são os equipamentos que pertencem à classe de máquinas geradoras de fluxo com escoamento compressível. Essas máquinas podem ser de fluxo contínuo, turbo compressões ou intermitentes como os compressores alternativos. Compressores são máquinas utilizados para proporcionar a elevação de pressão de um gás ou escoamento gasoso.

2.3.1 Classificação dos Compressores Quanto a Sua Aplicação

As características físicas dos compressores podem variar profundamente em função dos tipos de aplicações a que se destinam. Desta forma convém distinguir:

- compressores de ar para serviços ordinários
- compressores de ar para serviços industriais
- compressores de ar para serviços especiais

Os compressores de ar para serviços ordinários são equipamentos de pequeno porte, fabricados em série visando o baixo custo, os compressores de ar para serviços industriais são equipamentos encarregados pelo suprimento de ar comprimido em unidades industriais, devem possuir elevada confiabilidade. Já os compressores especiais são aqueles destinados a operar em processos industriais de refrigeração, serviços de vácuos etc.

2.3.2 Classificação dos Compressores Quanto ao Princípio Construtivo

Dois são os princípios construtivos no qual se fundamentam todos os compressores de uso industrial

- Volumétrico
- Dinâmico

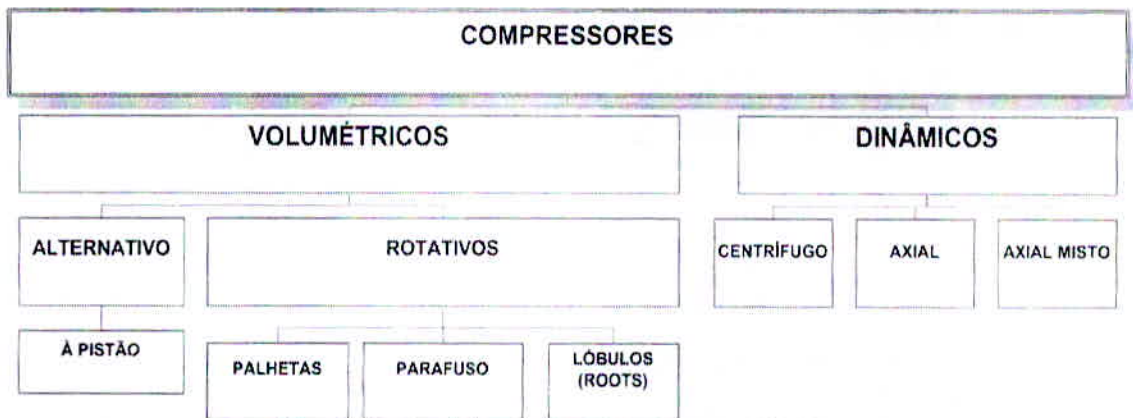


Figura 01: Classificação dos Compressores Clássicos

Fonte: Estudo de Eficiência de um Compressor de Parafuso em um Sistema de Ar Comprimido, Brandão (2008, p.2)

2.3.3 Classificação dos Compressores Clássicos

Nos compressores volumétricos o deslocamento positivo a compressão do ar é feita através da diminuição de um volume que é ocupado pelo gás, essa operação é feita de forma intermitente em que podem ser identificadas diversas etapas em um ciclo que repete continuamente. Já nos compressores dinâmicos, também denominados de turbo compressores, possuem dois elementos principais: rotor e difusor.

A transferência de energia se dá em parte na forma de velocidade e em forma de pressão e temperatura.

2.4 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMENTO

2.4.1 Compressores Alternativos a Pistão:

Este tipo de compressor se constitui de um cilindro com um pistão móvel no seu interior, o pistão esta conectado a um sistema biela e eixo de manivelas. Este sistema transforma o movimento rotativo do eixo em movimento alternado do pistão que percorre um caminho de ida e volta dentro do cilindro

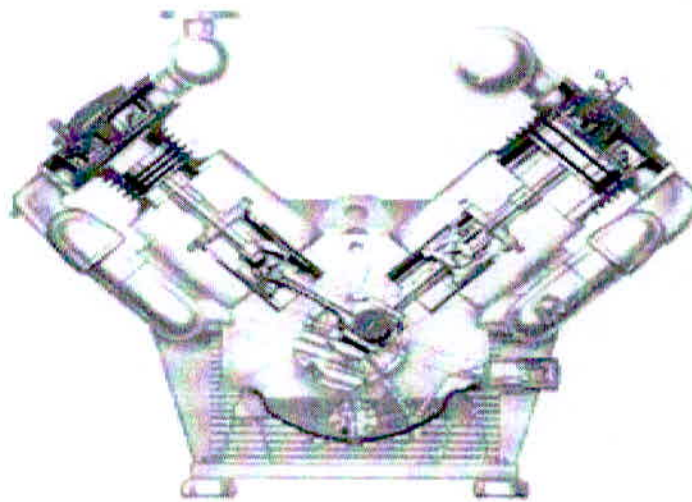


Figura 02. Compressor de pistão.

Fonte: CompAir

2.4.2 Compressores de Palhetas:

O compressor de palheta possui um rotor colocado excentricamente em relação a uma carcaça, esse rotor é provido de rasgos no sentido radial que se estendem por todo o seu comprimento, nesses rasgos são inseridos as palhetas retangulares. Quando o rotor está em rotação, as palhetas são forçadas para fora pela ação da força centrífuga que fica sempre em contato com a carcaça fazendo a vedação. O fluido de trabalho entra pela a abertura de sucção e ocupa espaços definidos entre as palhetas, o gás descarregado pela abertura de saída no momento da admissão e da descarga, define uma relação de compressão interna que é fixa para cada máquina.

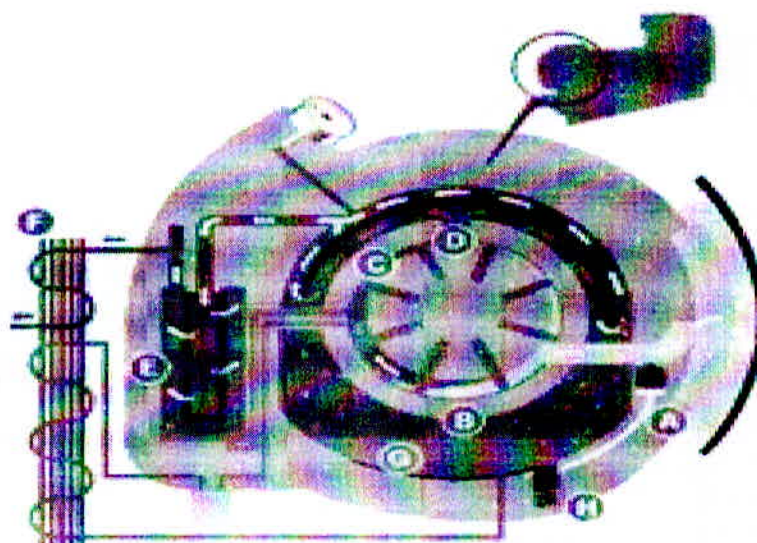


Figura 03. Compressor de palhetas.

Fonte: Siscat

2.4.3 Compressor de Lóbulos:

Esse compressor possui dois rotores que giram em sentido contrário, mantendo uma folga muito pequena no ponto de tangência entre si com relação à carcaça. O gás penetra pela abertura de sucção e ocupa a câmara de compressão sendo conduzido até a abertura de descarga pelos rotores. Embora sendo classificado como volumétrico, não possui compressão interna.



Figura 04. Compressor de lóbulos.

Fonte: Carros HSW

2.4.4 Compressores Axiais:

São usados principalmente para grandes vazões, são dotados de um rotor com palhetas dispostas em série na periferia. Estas palhetas são intercaladas por palhetas semelhantes, fixas ao longo da carcaça. Cada conjunto de palhetas móvel e fixa forma um conjunto de compressão, como a variação de pressão por estágio é pequena os compressores axiais normalmente são de vários estágios.

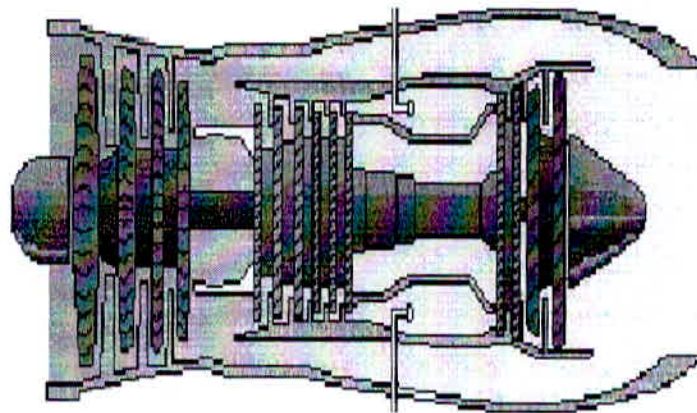


Figura 05. Compressor Axial.
Fonte: ADL Gatch

2.4.5 Compressores centrífugos:

O princípio de funcionamento deste tipo de compressor é semelhante aquele das bombas centrífugas, o gás é aspirado pelo centro de um rotor radial e descarregado na periferia do mesmo, cada conjunto de rotor e difusor forma um estágio, são usados múltiplos estágios para maiores elevações de pressão.

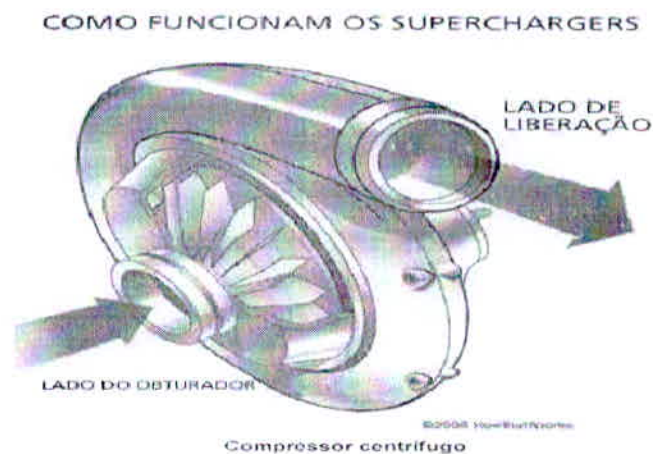


Figura 06. Compressor Rotativo.
Fonte: Driftbrazil

2.4.6 Compressores de parafuso:

2.4.6.1 Princípio de funcionamento

Compressor parafuso consiste de dois fusos, um macho e outro fêmea. Um destes fusos é acionado pelo motor e o "engrenamento" dos dois faz com que haja uma rotação.

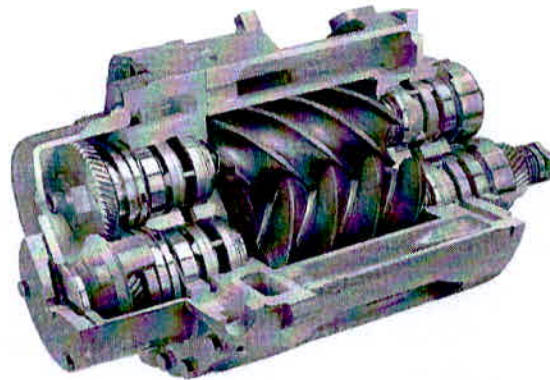


Figura 07: Compressor de Parafuso

Fonte: Airbomm

Os dois fusos estão montados dentro de uma carcaça e apoiados em mancais de rolamentos. Uma vez aspirado para dentro do compressor o gás será comprimido pelo movimento dos dois fusos até atingir a descarga. Ao longo deste percurso a pressão subirá e conseqüentemente o diferencial de pressão do fluido refrigerante.

Como o gás é comprimido existe uma relação entre seu volume na sucção e na descarga. Esta relação chama-se V_i , e varia conforme o regime de operação (ou seja, suas pressões de sucção e descarga).

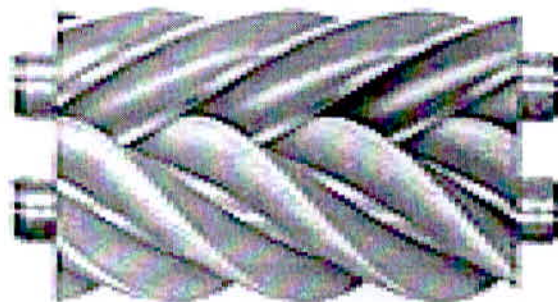


Figura 08: Fusos do Compressor Parafuso

Fonte: Chicago Pneumática

A aplicação do Vi incorreto pode criar uma condição desfavorável para operação do Compressor, ocasionando vibração ou consumo excessivo de corrente (nos casos mais críticos) com relação ao Vi existem três tipos de compressores parafuso:

- Compressor de Parafuso com Vi fixo
(já vêm de fábrica com Vi para o regime a ser aplicado)

- Compressor de Parafuso com Vi variável
(possibilita a aplicação em vários regimes permitindo a regulagem manual do Vi)

- Compressor de Parafuso com Vi automático
(similar ao Vi variável, porém com mudança deste automático).

A relação de Vi, construtivamente, se traduz na relação de áreas de sucção e descarga.

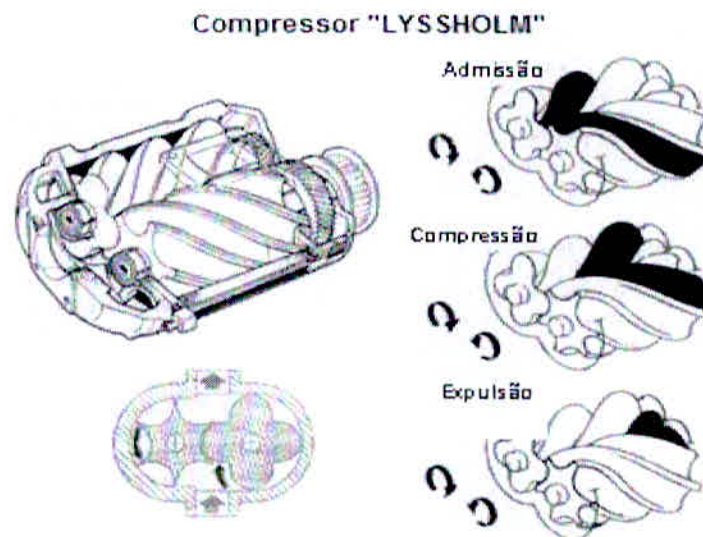


Figura 09: Vi de Compressores Parafuso

Fonte: Givmarinha

2.5 COMPONENTES DE UM COMPRESSOR DE PARAFUSO

2.5.1 Separador de Óleo

A maioria dos compressores de refrigeração possui lubrificação por injeção de óleo, portanto, é necessário fazer a separação do óleo e do fluido refrigerante que são descarregados

no compressor de parafuso, à separação se dá em dois estágios, o primeiro é mecânico e o segundo através de um filtro, tipo coalescer ou demister.

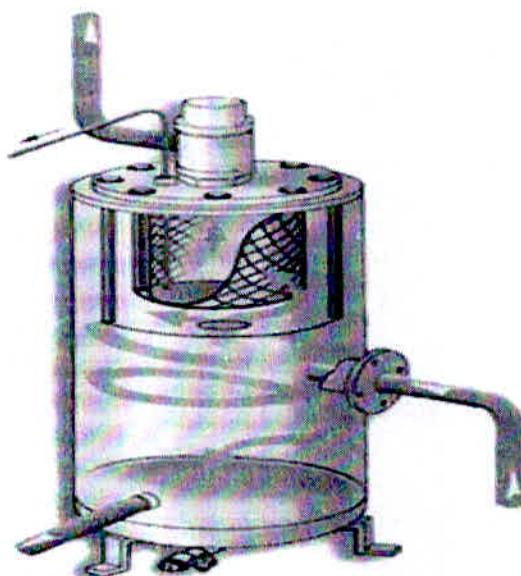


Figura 10: separador de óleo

Fonte: Chicago Pneumática

2.5.2 Filtro de Óleo

Separa eventuais impurezas do óleo que irá lubrificar partes móveis do compressor, como rolamentos, mancais, selo e fusos, entre outras.

2.5.3 Bomba de Óleo

Trata-se de uma bomba do tipo de engrenagem, que bombeia o óleo a ser injetado no compressor, normalmente a pressão de óleo do compressor deve ser de 3 a 1 bar mais alta que a pressão de descarga.

2.5.4 Resfriador de Óleo

No caso dos compressores de parafusos o reservatório de óleo se encontra na descarga do Compressor, de forma que é necessário retirar o excesso de calor que o óleo adquiriu ao ser comprimido junto do gás. Existem três tipos de sistema para se resfriar óleo, que são:

- Resfriador de óleo a água – trata-se de um trocador de calor (Casco-Tubo ou placas) no qual o óleo é resfriado por água de torre,
- Termo sifão – utiliza-se o próprio fluido refrigerante líquido para resfriar o óleo, através de um trocador de calor (seria um “evaporador” com óleo),
- Injeção de líquido – trata-se de um sistema que permite que o fluido refrigerante líquido seja injetado na própria descarga do compressor. O líquido evapora resfriando o gás descarregado e o óleo, que ainda não foi separado.

2.6 SISTEMA DE CONTROLE DE CAPACIDADE

Talvez uma das maiores vantagens dos compressores parafusos seja a possibilidade de operar em cargas parciais variáveis de 10 até 100% da capacidade total da máquina. Isto se traduz num consumo menor de energia.

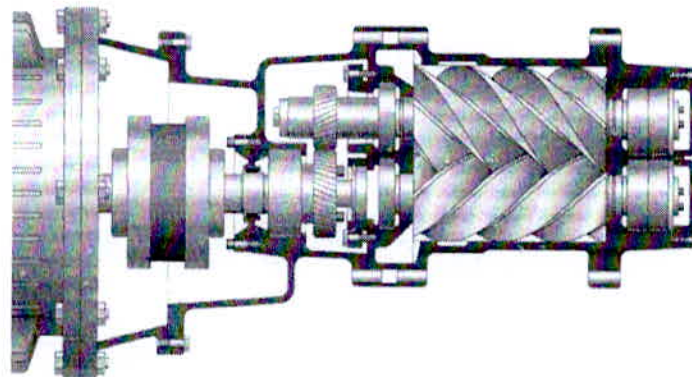


Figura 11: Compressor Parafuso

Fonte: Chicago Pneumática

Os compressores parafuso têm se tornado uma excelente alternativa quando comparados aos compressores de pistão. Muitas vezes, interessados em produtos de alta tecnologia, os usuários acabam adquirindo um compressor parafuso, porém, a escolha correta vai depender muito da capacidade do sistema, tipo de carga térmica, regime de operação, custos de operação e manutenção, entre outros fatores.

De uma maneira geral o compressor de parafuso é uma excelente alternativa para instalações de grande porte, e também de médio porte. Mas um comparativo é sempre uma boa ferramenta de decisão na compra de um novo equipamento.

2.7 INVERSOR DE FREQUÊNCIA:

São dispositivos eletrônicos que convertem a tensão da rede alternada (CA), em tensão contínua (CC) de amplitude e frequência constantes, e finalmente converte esta última, numa tensão de amplitude e frequência variáveis (CA).

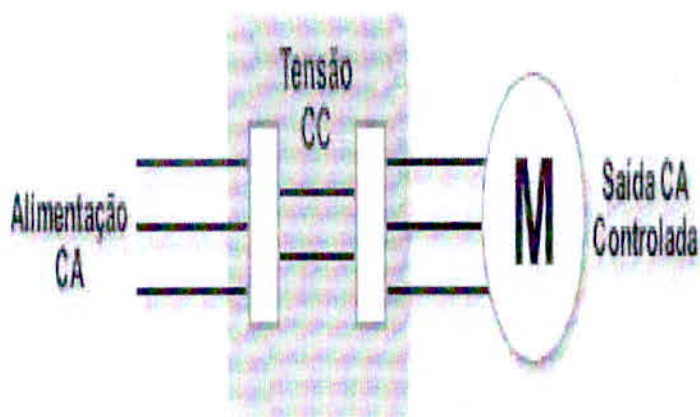


Figura 12. Esquema elétrico de um inversor de frequência.

Fonte: Airbomm Tecnologia

Os inversores de frequência fazem parte dos dispositivos de controle que compõem o acionamento eletrônico, são equipamentos para o controle de parâmetros dos motores de indução trifásicos; tais como velocidade, torque, corrente etc., gerando uma economia de energia sem prejudicar a qualidade final do sistema. A eletrônica de potência vem com o passar do tempo tornando mais fácil e mais barato o acionamento de motores. Com isso, sistemas que antes usavam motores de corrente contínua, pela facilidade de controle, hoje podem usar motores de corrente alternada de indução graças aos inversores de frequência.

Em paralelo com o avanço da tecnologia, a microeletrônica, através de microprocessadores e microcontroladores, têm auxiliado muito o acionamento de máquinas de corrente alternada, em particular os inversores de frequência com funções mais complexas. Os inversores de frequência podem substituir com grandes vantagens os sistemas de controle de fluxo e outros tipos de acionamento, como de sistema de partida estrela e triângulo.

A grande vantagem de utilização de inversores de frequência é que além de gerar economia de energia também reduz o custo de instalação do sistema, os inversores variam as velocidades dos motores de acordo com a maior necessidade de vazão, pressão ou temperatura de cada equipamento que esteja sendo controlado, ao diminuir a velocidade de rotação dos motores, os inversores proporcionam grande economia de energia comparada com

os sistemas atuais, como válvulas de controles onde a vazão era reduzida, porém, o motor continua girando, proporcionando grande perda de energia elétrica.

Os inversores de frequência de última geração, não somente controlam a velocidade do eixo de motores elétricos trifásicos de corrente alternada, como também, controlam outros parâmetros inerentes ao motor elétrico, sendo que um deles é o torque. Esses equipamentos costumam também atuar como dispositivos de proteção para os mais variados problemas de rede elétrica que se pode ocorrer, como desbalanceamento entre fases, sobrecarga, queda de tensão, etc. Outra vantagem que se pode obter utilizando inversores de frequência é a possibilidade de redução dos custos de manutenção. Os inversores possibilitam que os motores sejam acionados suavemente sem trancos.



Figura 13: Inversor de Frequência

Fonte: Simens

Com isso, o inversor de frequência reduz a quebra de elementos de transmissão como correntes e rodas dentadas, ocorrências freqüentes em virtude do esforço adicional provocado pelos motores com partida direta. Os Inversores de Frequência existem tanto em indústrias de processo quanto em manufaturas, tais como linhas de montagem, automobilísticas, bebidas, alimentícias, papel e celulose e petroquímicas. Existem várias empresas que fabricam inversores de frequências, apresentando características e funcionamento semelhantes, mas que podem variar de acordo com a faixa de atuação, tanto da frequência quanto da potência.

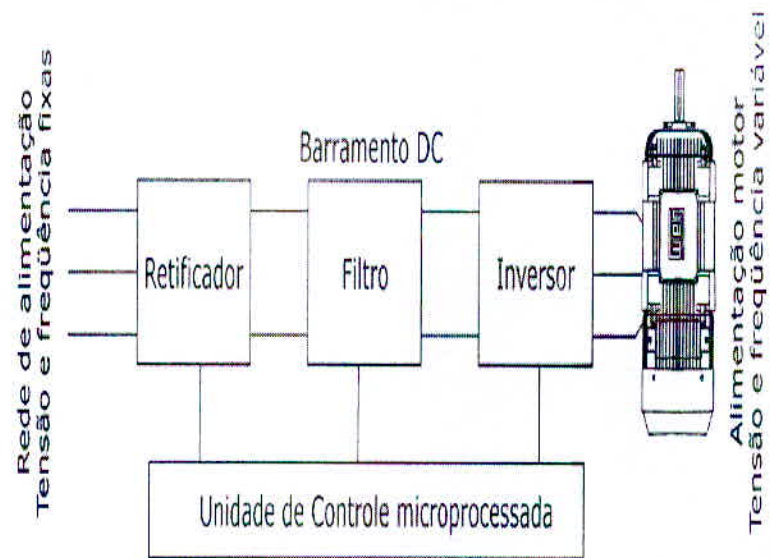


Figura 14: Diagrama de Blocos com Inversor de frequência

Fonte: Guia de Inversores de Frequência Weg

O diagrama de blocos da figura acima mostra as partes componentes deste dispositivo, o retificador da figura gera uma tensão contínua que é posteriormente filtrada e introduzida no bloco seguinte, chamado inversor. O inversor é composto por seis chaves implementadas numa configuração como mostra a figura abaixo:

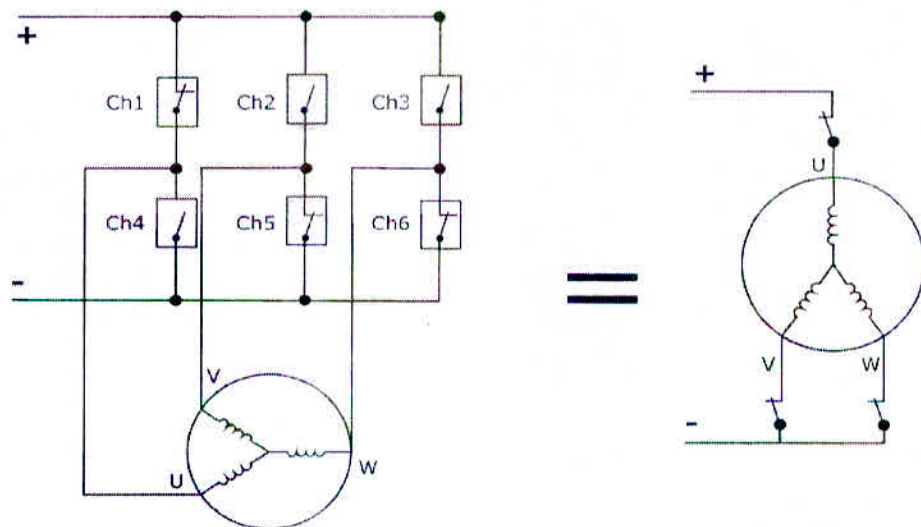


Figura 15: Chaveamento do Inversor de Frequência

Fonte: Guia de Inversores de Frequência Weg

2.8 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DO INVERSOR DE FREQUENCIA

Podemos avaliar as vantagens da utilização do inversor de frequência sob os seguintes aspectos:

2.8.1 Eliminação dos Impactos Elétricos Para a Rede

Com o inversor de frequência, pelo fato de se manter o fluxo constante no motor (variar frequência e tensão), consegue-se manter o torque nominal do motor em toda faixa de rotação, partindo com a corrente de entrada do inversor da ordem ou menor que a corrente nominal do motor. Desta forma, com o inversor de frequência é possível partir cargas pesadas, com torque elevado do motor, com reflexo para a rede da ordem da corrente nominal, eliminando as elevadas correntes de partidas diretas do motor (da ordem de $7 \times I_n$), ou mesmo se comparado com os motores de anéis (rotor bobinado). O inversor de frequência elimina esses efeitos que causam afundamentos de tensão, necessidade de sobre dimensionamento dos dispositivos de comando, cabos e transformador, desligamento indesejável, etc.

2.8.2 Eliminação dos Impactos Mecânicos

O inversor de frequência permite a programação de rampas de aceleração e desaceleração suaves, fornecendo ainda torque elevado, eliminando os choques mecânicos durante as partidas, trocas de velocidade e paradas suaves.

Desta forma reduzem-se drasticamente as paradas para manutenção ou substituição de peças com desgastes e folgas mecânicas, quebra de acoplamento, mancais, bem como maior facilidade e precisão de produção de ar comprimido.

Todos os ajustes são parametrizáveis, podendo ser facilmente alterados conforme a necessidade (rampas de aceleração, desaceleração, velocidades, etc.).

2.8.3 Economia de Energia

Uma vez que a potência do motor (kW) fica “modulada” pela carga elevada e pela velocidade de trabalho, passando a consumir apenas o que o processo requer, eliminando os

desperdícios (baixos rendimentos, desperdício e dissipação de calor nos acionamentos com motores de anéis, etc.), o consumo de energia é reduzido.

2.8.4 Automação do Sistema

O inversor de frequência possibilita a automação do sistema, permitindo a comunicação através de redes field bus, trocando informações com um sistema superior, permitindo melhor administração do processo através da monitoração, emissão de relatórios, etc.

Facilidade de adaptação de sistema de rádio remoto via botoeiras ou joystick.

2.8.5 Padronização

Possibilidade de utilização de motores de indução convencionais, facilitando a padronização de motores da planta, bem como facilitando a manutenção ou aquisição para reposição.

2.8.6 Conforto

Redução do ruído de chaveamento dos contadores e eldros, ruídos e vibrações mecânicas, melhorando o conforto, a segurança e a produtividade do operador, bem como do pessoal de área.

2.8.7 Cuidados no Dimensionamento

Para a grande maioria das cargas (bombas, ventiladores, compressores, etc.) o dimensionamento do inversor de frequência é feito através da corrente nominal do motor elétrico, usando um inversor com corrente nominal igual ou imediatamente superior (para condições ambientais: temperatura até 40 °C e altitude até 1000 m).

Este dimensionamento ainda prevê sobrecargas de 150% durante 60 seg. a cada 10 min para cargas com “conjugado constante”, ou 120% durante 60 seg. a cada 10 min. para cargas com “conjugado variável”.

Desta forma, na grande maioria das vezes, para o correto dimensionamento do inversor, deve-se levar em consideração o ciclo de operação do equipamento, no pior caso, para um período de 10 minutos, calculando-se o valor eficaz da corrente para este período.

2.9 SISTEMA DE CONTROLE DE CARGA EM COMPRESSORES CONVECCIONAIS SEM USO DE TECNOLOGIA DE VELOCIDADE VARIÁVEL (CPVS)

Analisando as ações anteriores que se aproximam do tema, é observado que um estudo de eficiência energética no acionamento de um compressor parafuso em um sistema de compressão de ar se faz necessário. Avaliando a viabilidade da proposta, observa-se que os estudos que envolvem o tema são variados e a realização de um estudo de eficiência energética seria viável mediante algumas considerações.

Inicialmente, Brandão (2008, p.34) apud Almeida (2005) diz que "[...] que a partir da comparação entre o controle liga/desliga e/ou alívio/carga, e o método AVV, é possível comprovar a eficiência entre os acionamentos de um compressor, também é possível variar a pressão de trabalho e a temperatura de admissão, realizando um estudo de eficiência energética completo, tanto no quesito acionamento mais eficiente, quanto nas influências dessas variáveis termodinâmicas no rendimento energético da máquina. "

Na seqüência desse trabalho serão apresentados sistemas de controle de carga de um compressor sem alteração na velocidade de acionamento, suas vantagens e desvantagens. O sistema de Controle de carga no compressor é o controle da vazão mássica do compressor, e o impacto desse controle nas pressões de admissão e trabalho. Inicialmente, será comentado o sistema de compressão simples, os controles clássicos e por fim as técnicas de controle mais modernas com uso do inversor de frequência (CPVS) que é o principal foco deste trabalho.

2.9.1 Sistema de Compressão Simples sem Controle de Carga

Brandão (2008, p.26) apud (RODRIGUES, 1991) diz que [...] "O sistema de compressão simples, apresentado na figura abaixo é composto por um reservatório de entrada e um reservatório de saída, que representa vazões não pulsadas, ou apenas a normalização da vazão. As vazões de entrada ($e m i$) e saída (s

m) sempre procuram entrar em equilíbrio com a vazão que passa pelo compressor m_c i.”

Em seqüência serão apresentados alguns recursos para a variação de pressão dos compressores.

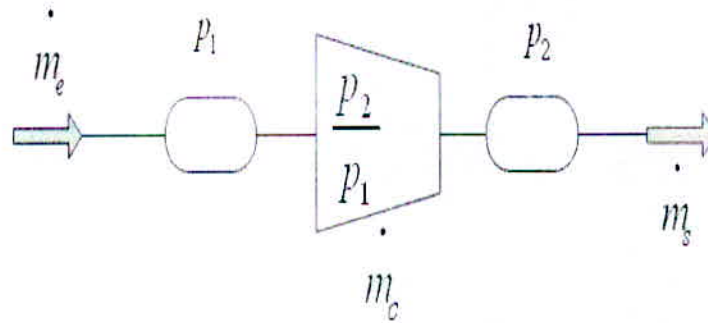


Figura 16: Sistema de Compressão Simples

Fonte: Estudo de Eficiência de um Compressor de Parafuso em um Sistema de Ar Comprimido
Brandão (2008, p.26)

2.9.2 Controles Clássicos

Os controles clássicos são utilizados desde o princípio da utilização dos compressores, em meados da década de 30, segundo Rollins (1989), sabendo da característica de conjugado médio constante durante o ciclo de compressão dos compressores volumétricos, pode-se verificar que esse conjugado médio é proporcional ao trabalho por massa e pressão de trabalho. Os controles clássicos trabalhavam com essa característica, variação do conjugado externo sobre o motor elétrico, e conseqüentemente, apresentando uma pequena variação na potência consumida pelo mesmo. Nos controles clássicos não havia preocupação com conservação e uso eficiente de energia.

2.9.3 Conceito de Controle Contínuo

O controle contínuo é o típico controlador proporcional-integral que mediante a variação da vazão consumida pelo uso final, atua na variação da vazão do compressor, buscando manter a pressão de trabalho no mesmo valor de referência. O tipo clássico de controle contínuo é apresentado a seguir.

2.9.4 Controle por Estrangulamento na Sucção

O controle por estrangulamento na sucção, visa com o aumento ou diminuição da vazão mássica de demanda, ou saída, regular a vazão mássica do compressor a partir da abertura da válvula de estrangulamento na tubulação de admissão de ar do compressor. Brandão (2008, p.28) apud (RODRIGUES, 1991).

Esse controle é frágil e suscetível às falhas mecânicas da válvula de estrangulamento. A figura 17 apresenta um esquema simples do sistema de compressão com a válvula de estrangulamento na tubulação de admissão

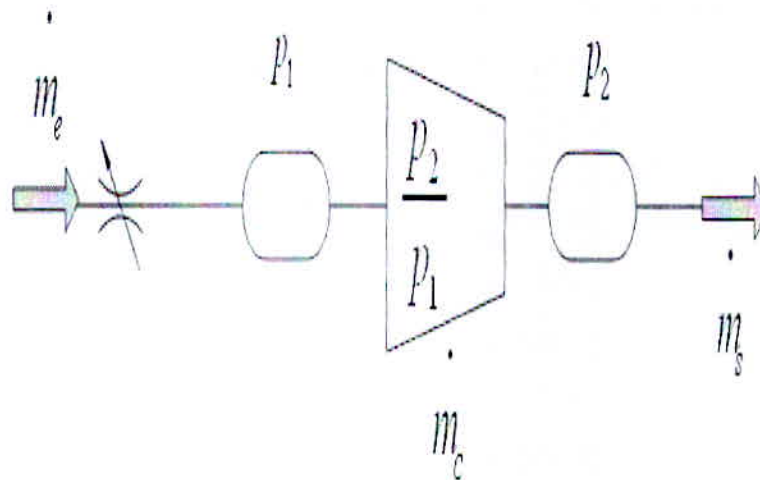


Figura 17: Sistema de Compressão Simples com Válvula de Admissão ou Estrangulamento

Fonte: Estudo de Eficiência de um Compressor de Parafuso em um Sistema de Ar Comprimido

Brandão (2008, p.2)

2.9.5 Conceito de controle por degraus

Nesse conceito de controle, a mudança drástica da vazão consumida, como degrau negativo ou positivo, ocasiona uma variação da pressão de trabalho, visto que não há um controle na vazão do compressor. Assim, o compressor funciona dentro de uma faixa de pressão de trabalho. O tipo clássico de controle com conceito por degraus é apresentado a seguir.

2.9.6 Controle liga/desliga (on/off)

De acordo com (RODRIGUES, 1991) controle liga/desliga conforme figura abaixo é mais robusto e possível de limitar a faixa de pressão de trabalho, o que minimiza as perdas de fluxo, dando um melhor controle da energia consumida pelo MIT - Motor de Indução Trifásico e melhor utilização do reservatório de ar no projeto do sistema de compressão, sendo o tamanho deste, importante para o dimensionamento do compressor. Este sistema é usado em compressores de pequena potência nominal como os compressores de refrigeração e pequenos compressores ordinários de ar.

É perceptível que este sistema de controle só interfere em um aspecto de operação do MIT: sua partida.

Assim, o sistema mostra limitação para motores com grandes tempos de partida, consequentemente, maior consumo de energia elétrica na partida, que é o momento mais crítico. Sobre o processo de partida e desligamento do motor, segue uma descrição. O pressostato abre o circuito elétrico de alimentação do motor de indução trifásico (MIT) quando este atinge a pressão máxima de trabalho, desligando o motor e o processo de compressão, ao ser atingida a pressão de trabalho mínima o pressostato fecha o circuito elétrico e o motor faz uma nova partida, reiniciando o processo de compressão.

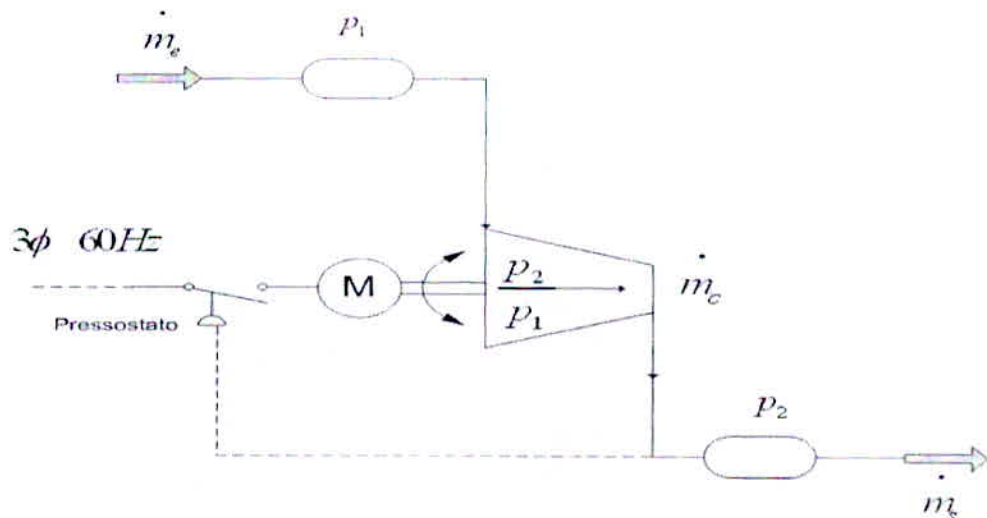


Figura 18: Sistema de Compressão Simples com Liga /Desliga

Fonte: Estudo de Eficiência de um Compressor de Parafuso em um Sistema de Ar Comprimido

Brandão (2008, p.30)

2.9.7 Controle Duplo (dual) ou Carga/Alívio

O controle duplo ou dual é uma forma de controle que visa atender um problema do controle liga/desliga nos compressores de deslocamento positivo. Como este compressor sempre está no processo de acionar o motor e desligar, o momento do acionamento é crítico para o MIT e principalmente em motores de potência nominal alta, isto porque, há um grande consumo de energia na partida do MIT, e este tempo de partida é função do conjugado externo sobre o motor na partida. Este controle também é conhecido como controle combinado, visto que mescla as duas técnicas apresentadas anteriormente (RODRIGUES, 1991).

A figura 19 apresenta o esquema de compressão simples com o controle “dual”.

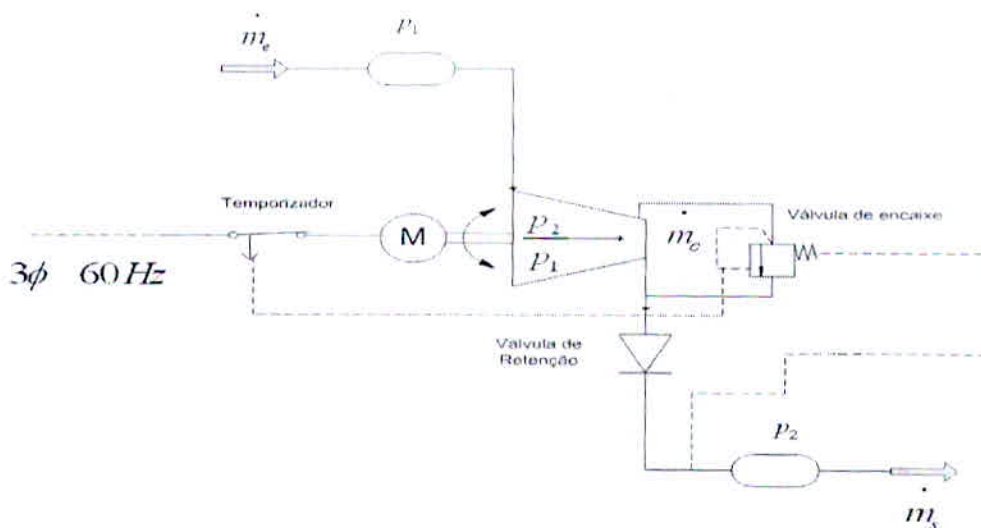


Figura 19: Sistema de Compressão Simples com Controle “Dual”

Fonte: Estudo de Eficiência de um Compressor de Parafuso em um Sistema de Ar Comprimido
Brandão (2008, p.33)

Ainda se pode verificar que o período de liga/desliga será função da vazão de saída e, portanto da demanda do sistema. Na vazão máxima ofertada pelo compressor, o compressor não manterá o ciclo, mantendo a pressão de trabalho constante.

Pensando em evitar as partidas repetitivas do MIT, é adicionada uma válvula de encaixe na câmara de compressão. Brandão (2008, p.33) apud (AGUIAR, 2007) diz que.

“[...] O pressostato que desligava o motor ao atingir a pressão de trabalho máxima, no controle liga/desliga, aciona agora a válvula de encaixe deixando o MIT trabalhando em vazio, movimentando os rotores do

compressor parafuso, mais sem gerar trabalho útil, devido à falta de selagem na câmara de compressão. É importante salientar a importância da válvula de retenção após a saída do compressor, o que evita o refluxo de ar comprimido pela abertura da válvula ”.

O controle “dual” conecta um temporizador com o acionamento da válvula de encaixe, onde após determinado tempo, caso o compressor não volte a entrar em processo de compressão, o motor é desligado. (AGUIAR, 2007)

O processo funciona como proteção para não deixar o compressor ligado por muito tempo. Pode-se observar com essa medida, que o controle liga/desliga é um caso específico do controle “dual”, visto que o tempo de atraso do temporizador é variável para uma faixa de 0 a 60 minutos, ou mais, dependendo da especificação do temporizador. O controle dual com tempo de atraso de 10 segundos é similar ao controle liga/desliga.

2.10 COMPRESSOR DE PARAFUSO COM INVERSOR DE FREQUENCIA (CPVS)

2.10.1 Introdução

Segundo os métodos de controle de carga apresentados anteriormente, verifica-se que os processos de controle somente se preocupavam com o controle de produção de ar comprimido, mas não atentavam para a variação de velocidade. Segundo (ALMEIDA, 2005) é possível obter ganhos energéticos na variação de velocidade para níveis diferenciados de pressão, e, portanto há possibilidade de ganho energético maior no controle de velocidade do compressor que nos controles clássicos. Sabendo que a vazão mássica é proporcional a velocidade do motor de indução trifásico MIT, é possível afirmar que o controle de velocidade tem impacto direto sobre a operação do compressor de ar. Brandão (2008, p34) apud (AGUIAR, 2007; RODRIGUES, 1991).

Na década de 90, precisamente em 1997, a Rockwell Automation e a PanCanadian Petroleum, por intermédio de Perrin (1997) na 44ª Conferência Anual da Indústria Química e Petroleira do “Institute of Electrical and Electronics Engineering” (IEEE), estudou o uso do acionamento à velocidade variável (AVV) em um compressor alternativo acionado por um MIT. Neste trabalho são colocados todos os aspectos operacionais da máquina, inclusive de construção, e os efeitos do uso do acionamento à velocidade variável (AVV) sobre o

acoplamento e pistões, a partir das curvas de conjugado externo pulsante sobre a máquina com a alimentação de corrente pulsante do Inversor.

O estudo contemplou inclusive uma análise de vibrações sobre a máquina com o uso do AVV, foram realizados testes de campo e foram realizadas considerações acerca do AVV em compressores alternativos. Ainda foram apresentadas melhorias no projeto de operação do compressor com o novo acionamento e até no projeto do MIT. Em 2003, 17º Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia elétrica pôde-se verificar dois artigos científicos, onde o primeiro apresentava aspectos teóricos de projeto e operação com resultados coletados na prática e a influência do uso do acionamento à velocidade variável (AVV) no sistema de distribuição de energia. Foi apresentada uma metodologia para análise do desempenho de compressores industriais alternativos segundo Brandão (2008, p.7) apud (HADDAD, 2003). Já Cavalcanti (2003) apresentou mais uma metodologia, desta vez voltada para o caso descrito pela Eletrobrás em 2001. Uma sumarização da metodologia adotada no caso “Daimlerchrysler”.

Em 2007, Aguiar apresenta, no 2º Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. (CBEE), um estudo que apresenta o potencial de economia de energia na operação de um sistema de compressão de ar, com o compressor parafuso, usando a técnica de variação de velocidade adequada à aplicação. No artigo são apresentados aspectos teóricos sobre o sistema de compressão com compressor parafuso, além de que apresenta o tipo de carga associada aos sistemas de compressão e ar.

2.10.2 Tecnologia CPVS

Analisaremos agora especificamente a utilização do compressor de parafuso com inversor de frequência, suas vantagens em relação aos modos de operação abordados nos tópicos acima, bem como seu custo benéfico, melhorias e eficiências deste equipamento.

A tecnologia CPVS tem como objetivo a automatização de um compressor elétrico tipo parafuso com a aplicação de um inversor de frequência em seu modo de operação, modulando sua velocidade de acordo com a demanda de consumo de ar comprimido de uma empresa.

O uso do inversor de frequência faz com que haja variação de velocidade do motor e, conseqüentemente, um controle especial da vazão do compressor em função das vazões de entrada e saída além da pressão de trabalho, figura 20 ilustra o uso de um compressor com inversor de frequência.

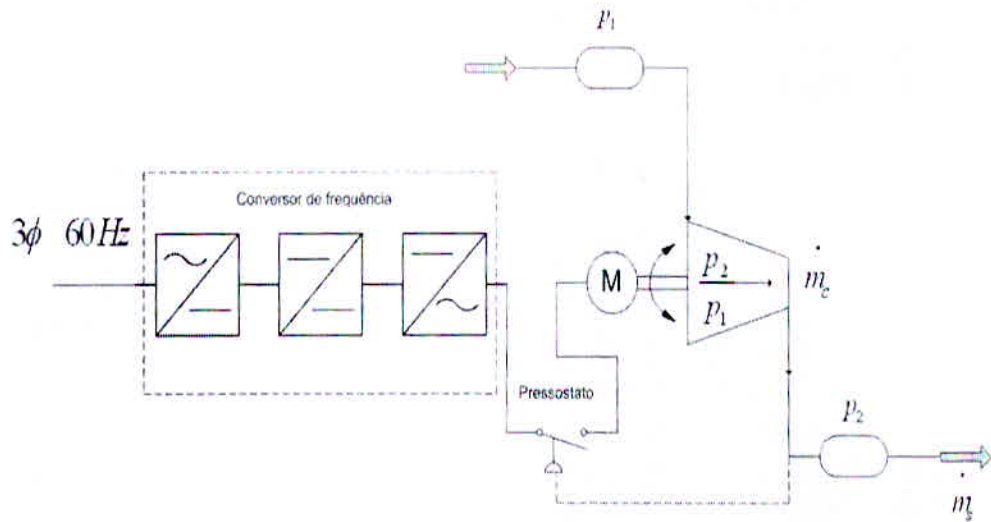


Figura 20 – Sistema de Compressão Simples com Controle CPVS

Fonte: Estudo de Eficiência de um Compressor de Parafuso em um Sistema de Ar Comprimido
Brandão (2008, p.35)

Neste modo de operação, o compressor com o uso do inversor de frequência, o pressostato (sensor de pressão) assume uma função de proteção com relação ao projeto eficiente do sistema, é possível verificar que com o uso do inversor na variação de velocidade poderá ser alcançada uma condição ideal de trabalho sem alterar as características de trabalho do compressor, uma redução da faixa de variação entre a pressão máxima e mínima de trabalho. É observado também qualidade do sistema automatizado para uso eficiente de energia, observam-se ainda a importância do sensor de vazão de ar e sua interligação com a unidade de controle lógico e programável, CLP, e o inversor de frequência.

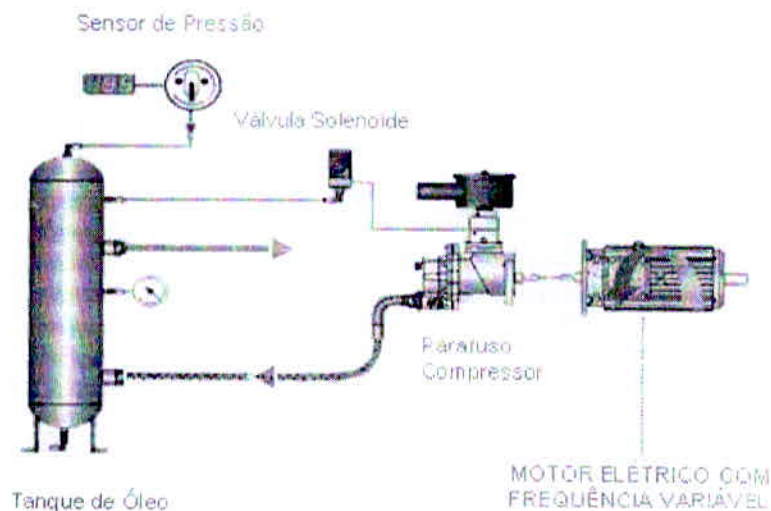


Figura 21 – Sistema de Compressão Simples com Controle CPVS

Fonte: Chicago Pneumatic

Nesse processo pode ser observada a facilidade de operação do compressor através da comunicação do inversor de frequência com o comando lógico programável CLP e posteriormente com o compressor, através de dados da demanda de ar comprimido consumido pela empresa em cada momento e do período de produção, poderá ser feita uma programação que atenda a demanda de ar sem desperdício, esta programação será inserida no comando do CLP via teclado ou através do auxílio de um computador, esta programação passará a controlar todo funcionamento do compressor conforme figura 22.

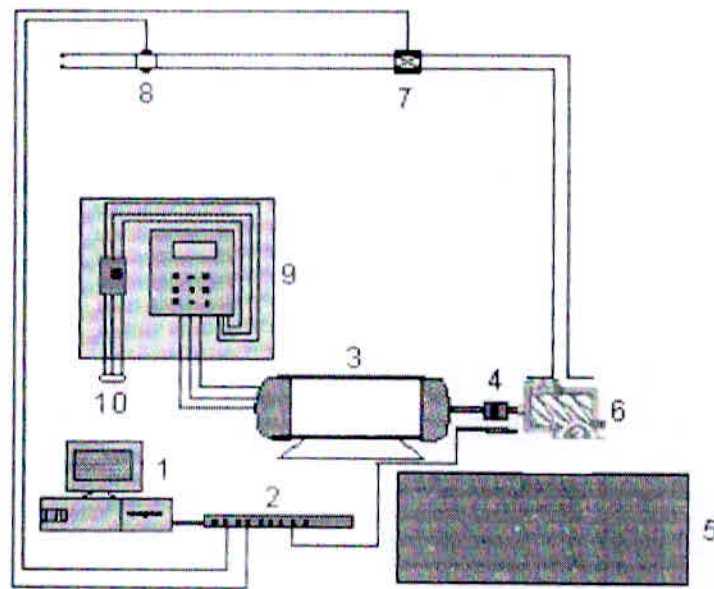


Figura 22: Esquema de ligação Inversor com CLP e Computador

Fonte: Givmarinha

Importante destacar que o uso de programação pré definida só poderá ser usada mediante a padronização da produção em relação ao consumo de ar, pois qualquer alteração na demanda de ar não será compensada pelo inversor uma vez que ela esta pré programada através do CLP.

Outra maneira eficiente de modular à produção de ar comprimido é o uso de um sensor de pressão que é instalado no tanque de armazenamento de ar comprimido ou na tubulação do mesmo, este sensor de pressão assume a parte mais importante do funcionamento do compressor, é ele que fornece todos os dados de consumo de ar comprimido da empresa em cada momento da produção. O sensor de pressão acusará a queda de pressão do sistema, enviando dados para o CLP e posteriormente para o compressor que

estará aumentando a rotação em caso de queda de pressão ou diminuindo a rotação com o aumento da pressão do sistema, modulando de acordo com a demanda de ar da empresa.

Em contra partida se faz necessário que o conjunto de tubulações e válvulas do sistema esteja em ótimas qualidades sem apresentar vazamentos de ar, pois um vazamento de ar no sistema será captado pelo sensor de pressão, que estará indicando para o CLP uma perda de pressão no sistema que será compensado pelo compressor.

Os gráficos abaixo representam duas situações bem distintas, a primeira demonstra a produção de ar comprimido de uma empresa sem controle da demanda, flutuante durante varias vezes ao dia e seu custo de produção.

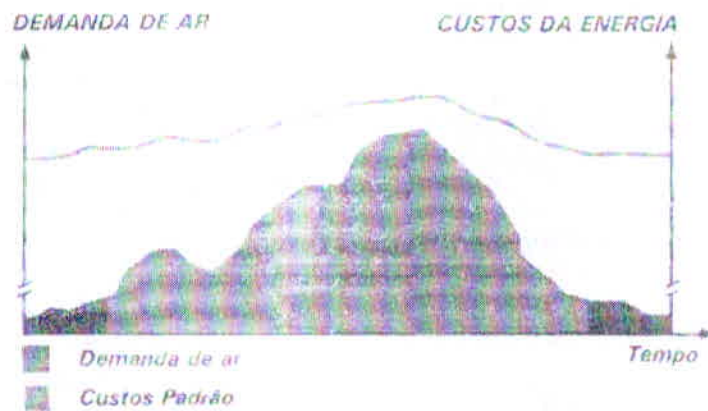


Figura 23: Gráfico de Demanda de Ar Comprimido por Tempo

Fonte: Chicago Pneumatic

O segundo gráfico apresenta uma produção de ar comprimido de acordo com a demanda sem desperdício de demanda flutuante durante o período de produção da empresa, acarretando em grande economia de energia.

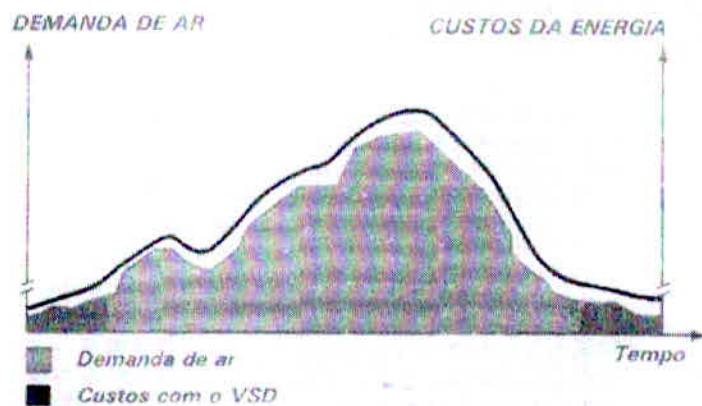


Figura 24: Gráfico de Demanda de Ar Comprimido por Tempo

Fonte: Chicago Pneumatic

Outra grande vantagem do inversor de frequência é a possibilidade de monitoramento remoto de todas as operações do compressor através do CLP, tais como temperatura, vazão, consumo de energia elétrica, paradas para manutenção, mensurar tempo de substituição de peças através do ciclo de trabalho do compressor, e facilidade no plano de manutenção do equipamento.

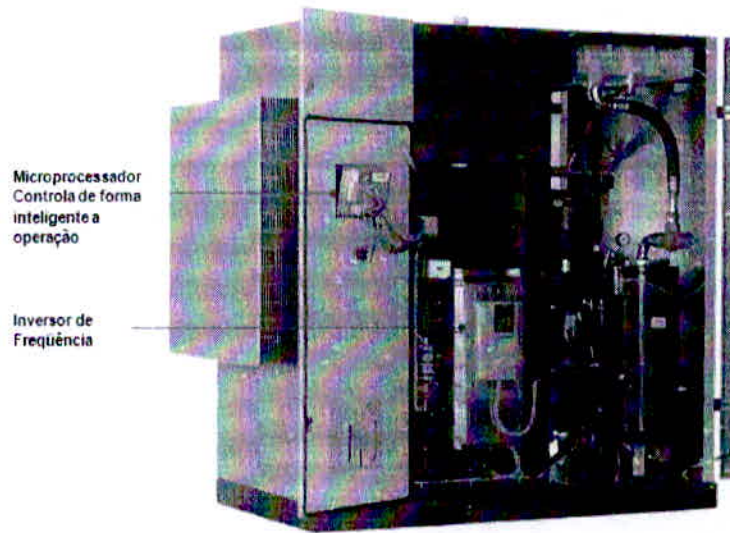


Figura 25 - Compressão Simples com Controle CPVS

Fonte: Chicago Pneumatic

A figura 26 apresenta o diagrama de funcionamento de um compressor de parafuso com inversor de frequência e conjunto com CLP.

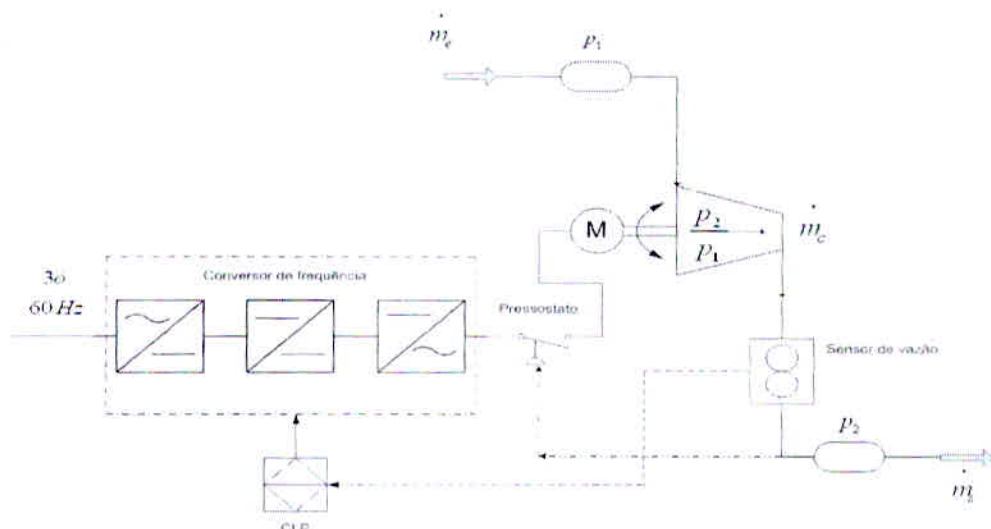


Figura 26: – Sistema de Compressão Simples com Controle CPVS e Interligação entre CLP e Sensor de Vazão
Fonte: Fonte: Estudo de Eficiência de um Compressor de Parafuso em um Sistema de Ar Comprimido Brandão (2008, p.35)

Já na operação dos compressores convencionais o sistema de operação baseava-se nos sistemas de ligação estrela triângulo devido ao aumento da corrente nominal do motor que é de 5 a 6 vezes no momento da partida do MIT, este tipo de partida só pode ser usado em motores que possuem ligação em dupla (por exemplo 3 x 380 V e 3 x 220 V). A menor tensão deverá ser igual à tensão de rede e a outra 1,73 vezes maior. Esta partida é implementada com dois contadores como mostra a figura 27.

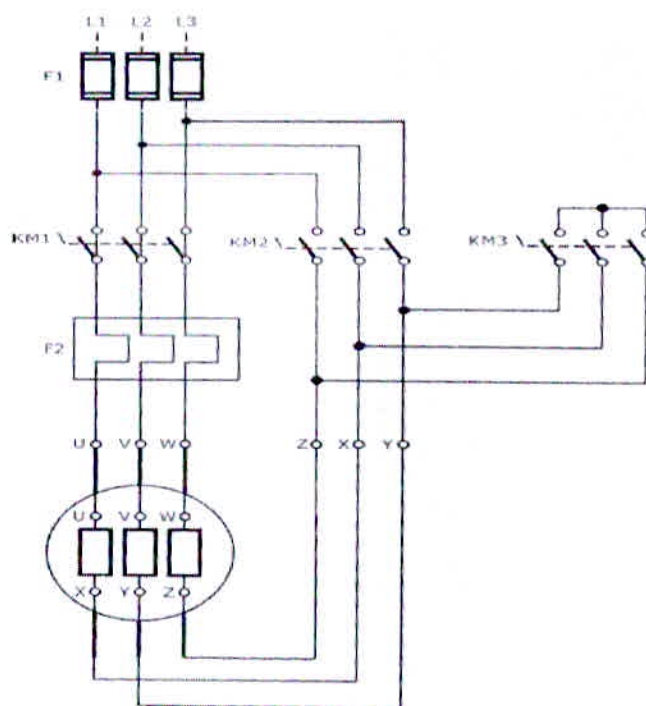


Figura 27: Partida Estrela Triângulo

Fonte: Guia de Compressores Weg p.39

Na partida o motor é ligado na conexão de maior tensão, isso possibilita uma redução de até 1/3 da corrente de partida do motor, como mostra a figura acima, este tipo de ligação somente auxilia na partida e não evita o desgaste do compressor.

Minimizando em partes a perda de energia consumida pelo compressor, mas nada comparado com o inversor de frequência.

O diagrama abaixo ilustra do sistema de compressão de ar comprimido automatizado Com inversor de frequência que se difere muito como mostrado na figura 28.

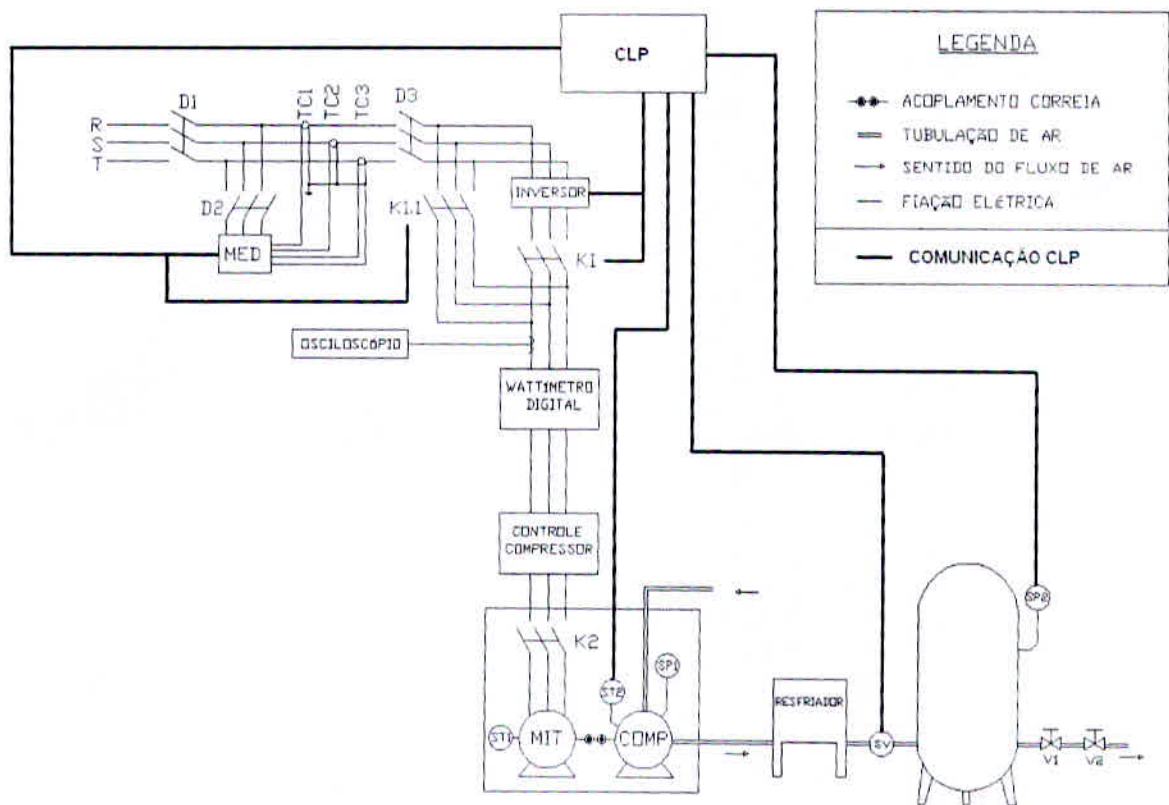


Figura 28 – Diagrama de um Sistema de Compressão

Fonte: Fonte: Estudo de Eficiência de um Compressor de Parafuso em um Sistema de Ar Comprimido Brandão (2008, p.3)

2.11 COMPRESSOR DE PARAFUSO COM INVERSOR DE FREQUÊNCIA E MOTOR HÍBRIDO

Este modelo de compressor combinado com inversor de frequência em um motor híbrido se destaca em relação aos demais por não possuir rolamentos em seu motor elétrico.

Ingersoll-Rand diz que (2009, p.3) " [...] compressor de parafuso com motor híbrido de magneto permanente se difere dos outros modelos, pois na possui rolamento em seu motor elétrico que é acoplado diretamente no a unidade compressora, representa um avanço incomparável em tecnologia de compressores. "O NIRVANA tem o menor número de peças rotativas se comparado com qualquer outro de sua classe, esta característica combinada com o motor híbrido de magneto Permanente, torna o Nirvana o compressor mais confiável do mercado e com tecnologia sem igual."

Uma das grandes vantagens deste modelo de compressor de parafuso com inversor de frequência e a eliminação de partes moveis como polias, acoplamentos, engrenagens, correias e selos de vedação entre eixo e motor evitando assim qualquer tipo de desalinhamento do sistema.

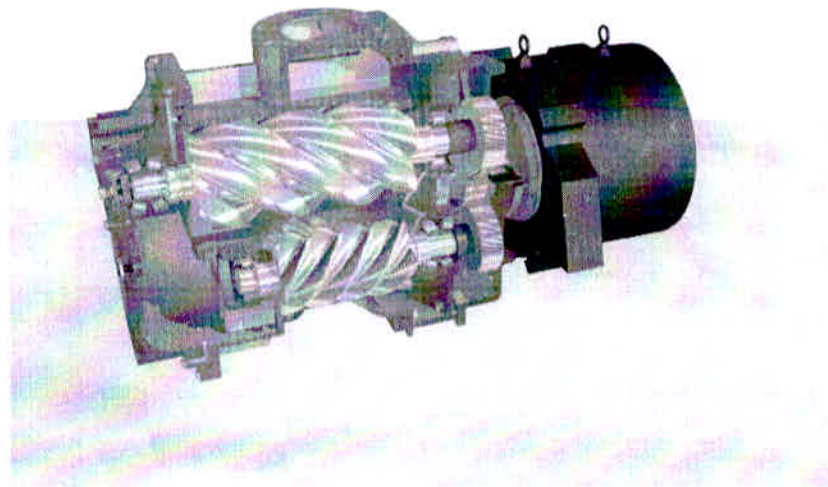


Figura 29: Compressor de Parafuso Híbrido Nirvana
Fonte: Ingersoll-Rand

O motor HPM tem como características principais a eficiência mínima de 95% (Eficiência Premium), ilimitado número de partidas, sem rolamentos e sem necessidade de manutenção. O estator tem bobinas montadas separadamente em cada um dos oito pólos salientes. Os pólos salientes maximizam o fluxo magnético produzido pelas bobinas permitindo que o estator tenha dimensões menores, e em caso de curto elétrico a reposição é rápida e fácil.

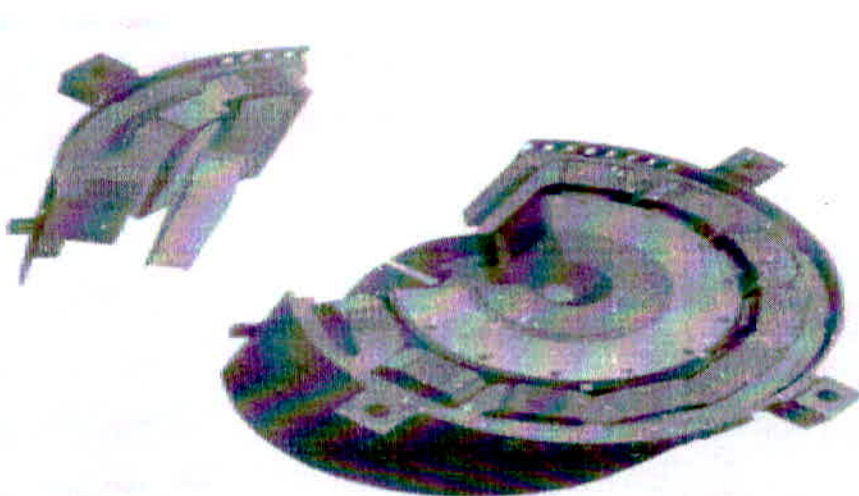


Figura 30: Motor Híbrido de Magneto
Fonte: Ingersoll-Rand

Uma das grandes vantagens deste tipo de compressor é a facilidade de manutenção, tanto da unidade compressora quanto do seu motor elétrico, devido o seu estator possuir um sistema de bobinas montadas separadamente facilitando sua substituição, o compressor híbrido Nirvana surge entre os compressores de parafuso com inversor de frequência como tecnologia de ponta e alta eficiência de produção sem desperdício.

2.12 VANTAGENS DOS COMPRESSORES DE PARAFUSO COM SISTEMA CPVS EM RELAÇÃO AOS TRADICIONAIS

Mediante dados fornecidos pela fabricante de compressores Chicago Pneumatic, sobre o consumo de energia elétrica entre um compressor convencional e um compressor com CPVS, foi feita uma comparação sobre os ganhos de consumo do compressor durante um período de trabalho de 24 horas por dia em 300 dias no ano conforme tabelas abaixo:

Cliente : *****

Demanda de ar média: 2.100 l/s

Pressão de Trabalho: 7 bar

Tipo do Compressor: CPC 40/8 (capacidade de 4.900 l/s)

Reservatório: 1000 litros + 440 litros na rede

Trabalhando 24 horas por 300 dias/ano

Compressor	CPVS 40	CPC 40
Pressão Máxima	8 Bar	8 Bar
Energia de Carga	30Kw	31kw
Energia de alivio	8,37 kW	Não
Tempo de carga	4 min	Continuo 43%
Tempo de alivio	6 min	Não
Trabalho	24hs / 30 dias ao ano	24hs / 30 dias ao ano
Energia utilizada/Ano	126,989 kWh	95,97 6kWh
O compressor de parafuso com CPVS apresentou uma economia de 24,4%		

Tabela 1: Comparação de um Compressor de Parafuso Comum e com Inversor de Frequência
Fonte: O Autor

O Compressor de parafuso com inversor apresentou uma economia de 24,4% de economia de energia elétrica em relação ao compressor convencional com as mesmas condições de trabalho.

O compressor convencional trabalha com uma pressão de rede de 7 bar o mesmo valor de um compressor com CPVS, mas a pressão do compressor convencional varia entre mínima de 7 bar e máxima de 8 bar de pressão, aumentando seu consumo de energia, pois o compressor fica em modulação entre estes dois valores de pressão. Já no compressor com CPVS é feita análise de qual valor de pressão de trabalho mais se adequa entre a pressão máxima e mínima para que não haja modulação, diminuindo assim o consumo de energia elétrica.

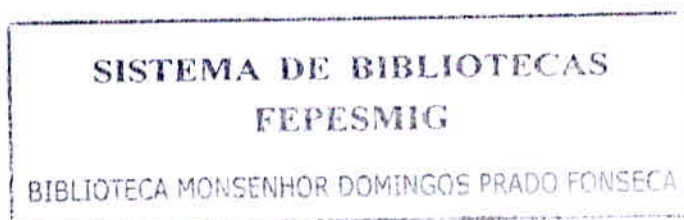
O compressor com CPVS em seu modo de operação trabalha com 4,9 % de energia de segurança, o que equivale a 0,7 bar, devido a sua rotação que varia de acordo com a demanda de ar. Mediante dados da tabela nº 2 o consumo de energia do compressor com CPVS é 95,976kWh x 4,9 % da energia de segurança do compressor, pois este valor de 4,9 % de energia de segurança não é consumida pelo compressor. Serve somente como parâmetro do fator de potência do compressor, por este motivo este valor é abatido do consumo real que passa a ser de 91,273kWh conforme tabela abaixo.

1 bar	7 % energia de segurança
0,7 bar	4,9 % energia de segurança
4,9 % x 95,976 kWh	91,273 kWh

Tabela 2: Consumo de Energia Compressor CPVS
Fonte: O Autor

O consumo de energia elétrica do compressor parafuso com CPVS mostrou uma economia de 28,1% retirando os 4,9 % de energia de segurança que não era consumido pelo compressor.

O custo de um kWh é de R\$0,35 multiplicado pelo consumo de 91,273kWh o custo ficou em R\$31.945,55, gerando uma economia de R\$12.500,60 em relação ao compressor convencional onde o consumo foi de 126,989kWh multiplicado pelo custo R\$0,35 apresentou um gasto de R\$44.446,25.



Compressores	Consumo	Total
CPVS	91,273kWh x R\$ 0,35	R\$ 31.945,55
Convencional	126,989kWh x R\$ 0,35	R\$ 44.446,25
	Economia CPVS	R\$ 12.500,60

Tabela 3: Comparação de custo compressor CPVS em relação aos Compressores Convencionais
Fonte: O Autor

O compressor CPC 40 convencional custa em média R\$ 30.000,00, o compressor com CPVS tem o custo médio de 45.000,00, ou seja, excedendo R\$ 15.000,00. Analisando as informações coletadas podemos afirmar que o custo benefício ao adquirir um Compressor com CPVS é muito mais vantajoso, pois a economia gerada tem retorno do investimento em um período menor de um ano e dois meses, lembrando ainda que o mesmo possui um custo de manutenção menor. Falando em eficiência energética que é o foco deste estudo, a economia de energia gerada por um compressor com CPVS é de até 35% contribuído assim por um uso racional de energia elétrica.

Comparação de Compressores com CPVS X Compressores Convencionais		
Descrição	CPVS	Convencionais
● Detecção de queda de pressão no separador de óleo	Sim	Não
● Limite de número de partidas do motor	Sim	Não
● Proteção contra partida abaixo da pressão (configuração de pressão mínima)	Sim	Não
● Proteção contra pressão no recipiente de óleo	Sim	Não
● Limite para alta temperatura de óleo	Sim	Não
● Proteção contra partida em baixas temperaturas	Sim	Não
● Teste de entrada / saída	Sim	Não
● Histórico de 5 falhas	Sim	Não
● Prevenção de relevamento após longo tempo desligado	Sim	Não
● Controle de partida com rampa de aceleração	Sim	Não
● Modulação de Velocidade	Sim	Não
● Controle de produção de ar sem perdas	Sim	Não
● Controle de temperatura	Sim	Não
● Monitoramento de funcionamento remoto	Sim	Não
● Sistema de lubrificação automatizado	Sim	Não
● Monitoramento de defeitos via CLP	Sim	Não
● Baixo custo de operação	Sim	Não
● Fator de potência (cós ϕ) controlado	Sim	Não

Tabela 4: Vantagens do Compressor de Parafuso em relação aos Compressores Convencionais
Fonte: O Autor

3. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como propósito apresentar um estudo de eficiência energética de um compressor elétrico tipo parafuso com inversor de frequência, suas vantagens e desvantagens em relação aos compressores convencionais, sua aplicação e sistema de funcionamento. Com as análises efetuadas, pode se fazer as seguintes conclusões: o compressor de parafuso com inversor de frequência possui controle de partida com rampa de aceleração sem perda de energia em relação aos compressores convencionais, que utilizam sistema estrela triângulo em sua partida, que chega 5 a 6 vezes maior do que na operação normal; o compressor de parafuso com inversor de frequência possui sensor de pressão, que assume papel de grande importância no sistema de operação, pois é o indicador de produção do compressor, indicando a quantidade de ar que será produzida em cada momento sem desperdício; permite monitoramento remoto via CLP, possibilitando que seja feita uma programação de produção do compressor via computador, e também indicação de prováveis defeitos do sistema, verificação de temperatura de acionamento e sistema de lubrificação; o compressor de parafuso com inversor de frequência possui fator de potência controlado, evitando o risco de multa pelas concessionárias de energia elétrica.

Mediante a tais comparações é comprovado que o compressor de parafuso com inversor de frequência surge como melhor alternativa na utilização de sistemas de compressão de ar quando comparado aos compressores convencionais, apresentando economia de até 35% de energia elétrica, sendo que 75% do custo total do compressor é com eletricidade, acima de custos como manutenção, instalação e investimento.

Perante a tais constatações fica comprovado a importância de estudos para eficiência energética nas indústrias, o inversor de frequência surge como opção viável na busca de economia no consumo de energia elétrica. Consequentemente a indústria ganha com redução de custos, pois há consumo racional de energia, e, principalmente sem desperdícios, assim os recursos ambientais também são preservados.

4. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

ATLAS COPCO COMPRESSORES - Fabricante de compressores disponível em:
< www.mktproject.com.br/blogar/geral/04/ > acesso em: < 5 de junho 2010 >

ATLAS COPCO – Fabricantes de compressores disponíveis em:
< <http://www.mktproject.com.br/blogar/geral/11/> > acesso em <13 abril 2010 >

AIR BOMM Tecnologia - Consultoria e venda de equipamentos CP disponível em:
< http://www.airbomm.com.br/website/exibe_txt.asp > acesso em <10 abril 2010 >

BALANÇO ENERGÉTICO ÚTIL. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2005.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2006.

BRANDAO, P.B Estudo de eficiência de Acionamento de um Compressor Parafuso em Sistema de Ar Fortaleza fevereiro 2008. Dissertação realizada na Universidade Federal do Ceara como requisito para obtenção do título de Mestre.

CABANA ENGENHARIA – Consultoria d e projetos. Disponível em:
<<http://www.cabano.com.br/compressores.htm>> acesso em: <25 maio 2010>

CHICAGO PNEUMATIC – Fabricante de compressores disponível em:
< www.chicagopneumatic.com.br/Images/Compressores > acesso em < 22 abril 2010 >

HowStuff Works Brasil – Funcionamento de compressores disponível em :
< carros.Hsw.uol.com.br/supercompressores1.htm > acessado em : <12 junho 2010 >

INGERSOLL RAND Industrial Technologies - Fabricante de Compressores disponível em:
< <http://www.ingersollrand.com.br/compressores> > Acesso em <12 outubro 2010 >

MASCHERONI, Engo. José M. Mascheroni. Guia de Aplicação de Inversores de Frequência WEG. Santa Catarina 3ª ed.cap. n 3 pg. 37 a 39 ,cap. 7 pg. 159 a 61

MECATRONICA ATUAL: Automação em máquinas disponível em:

<<http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/217> > acesso em: <25 maio 2010 >

MOREIRA, R.S. Comparação da Viabilidade Técnica-Econômica em Condicionamento de Ar: Compressor a Pistão versus Compressor Rotativo de Velocidade Variável. Guaratinguetá 2009. Dissertação realizada na Universidade Estadual Paulistas com requisito para a obtenção do título de Mestre

NOGUEIRA, Fabio José Horta. Compressores e Ar Comprimido In: Conservação de Energia – Eficiência Energética. Itajubá. 3a ed. 2006. Cap. n 12. Pg. 439 a 473

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. **Geração de Energia**. Disponível em:

<[HTTP://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx](http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx) >. Acesso em: ago 2010

RECONSUL REFRIGERAÇÃO: Funcionamento de um compressor de parafuso disponível em: <<http://www.recomprefrigeracao.com.br/funcionamentoparafuso.htm> > acesso em: <12 maio em 2010 >

RESENHA MENSAL DO MERCADO DE ENEGIA ELETRICA. EPE: Empresa de Pesquisa Energética 2010.