



Ministério da Educação

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Criada pela Lei nº 10.435, de 24 de abril de 2002.

**Pró-Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia**

**GESTÃO INTEGRADA DE ENERGIA: ESTUDO DE CASO NAS
BANCADAS DO EXCEN E APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA E
SOCIEDADE**

ALEXANDRE DE OLIVEIRA LOPES

Itajubá, 13 de maio de 2011



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Criada pela Lei n º 10.435, de 24 de abril de 2002.

Pró-Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia

**GESTÃO INTEGRADA DE ENERGIA: ESTUDO DE CASO NAS
BANCADAS DO EXCEN E APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA E
SOCIEDADE**

ALEXANDRE DE OLIVERIA LOPES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Itajubá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Engenharia de Energia.

Área de concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Jamil Haddad

Itajubá, 13 de maio de 2011.

**GESTÃO INTEGRADA DE ENERGIA: ESTUDO DE CASO NAS
BANCADAS DO EXCEN E APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA E
SOCIEDADE**

ALEXANDRE DE OLIVEIRA LOPES

Dedico este trabalho, de modo especial, à médica Dr. Carmem Alice Coelho Rezende, que através de seu compromisso em prol da humanidade pode transformar a ciência em vida. Eu sou o maior exemplo de sua arte em curar as pessoas...

Itajubá, 13 de maio de 2011

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida, à Jesus Cristo pelo cuidar e ao Espírito Santo, pelos dons e o consolar.

Ao meu orientador Prof.Dr. Jamil Haddad, pela competência, dedicação, paciência, amizade e confiança na realização deste trabalho.

À equipe do EXCEN, que com grande competência e dedicação têm superado todos os desafios propostos. Fico orgulhoso em fazer parte desta equipe. Aos amigos que estiveram durante toda esta caminhada em especialmente aos amigos Marcos Dias, Kelly, Felício, Carlos Eduardo, Fran William, Greicy e Edson.

Aos colaboradores da UNIFEI que na grandeza de seu trabalho possibilitaram que a pesquisa acontecesse em especial à Cristina e Cynthia. Aos professores da UNIFEI pelos conhecimentos transmitidos ao longo de todos estes anos de estudos em especial ao Prof. Dr. Edson da Costa Bortoni, Prof. Dr. Augusto Nelson Carvalho Viana, Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho e Prof. Augusto Horta Nogueira, por me permitir olhar mais longe.

Aos familiares, em especial meus pais José Tali Lopes e Dalva Maria de Oliveira Lopes pela enorme contribuição na minha formação. Serei eternamente grato a vocês por tudo. A todos os meus sete irmãos; cada um contribuiu de uma forma. E ao eterno amigo e companheiro de sonho, meu avó, Sebastião da Silva Maia, que me despertou a curiosidade ainda na infância nas aulas aos domingos caminhando pelos campos, onde entre pegadas de animais e frutos silvestres aprendi a respeitar a natureza e a viver em harmonia com ela. Ele sempre dizia: “Siga o seu caminho como as águas dos riachos, nunca pare nas pedras, que elas sirvam para te impulsionar” Tião Maia (*in memoriam*).

A Elaine, que teve a paciência para aguardar este momento e o cumprimento de mais etapa em minha vida.

A todos os amigos e colegas que direta ou indiretamente contribuíram na elaboração deste trabalho. Aos meus grandes amigos Sergio Longhi e Fernando Brandini Blanco pelo apoio nas horas mais difíceis, pelos conselhos, e as palavras conscientes nos momentos confusos.

“Viva como se fosse morrer amanhã.
Aprenda como se fosse viver para
sempre.”

Mahatma Ghandi

RESUMO

A proposta do trabalho é propor um modelo de gestão integrada de energia, envolvendo neste contexto o estudo nas bancadas de eficiência energética desenvolvido no Centro de Excelência em Eficiência Energética – EXCEN, Itajubá. O novo modelo de gestão de energia prevê a inclusão do indicador de consumo de energia elétrica no programa de gestão ambiental e a implantação futura de um novo indicador de consumo gás. Desta forma, neste trabalho são apresentadas, respectivamente, as pesquisas realizadas em cada bancada, sendo elas: de bombeamento, sistemas motrizes, sistemas de ar comprimido e sistemas de ventilação e também uma breve descrição das bancadas, a sua composição física, o objetivo do estudo, desenvolvimento e conclusão. São abordados os temas de automação, aquisição de dados, sistema de supervisão e instrumentação. Encontram-se ainda a aplicação na indústria onde evidenciou em primeira instância a auditoria energética, com foco em energia elétrica, onde foram coletados dados sobre equipamentos, consumo e demanda dos setores que compunham a empresa. Com base nestes dados foram apresentados 13 medidas de otimização envolvendo consumo e demanda de energia e sempre com análise de viabilidade financeira. Foi descrita ainda a modalidade de Educação à Distância e os avanços acerca deste novo ambiente de aprendizagem sendo descrito as técnicas utilizadas na construção dos relatórios, tendo como objetivo a construção do conhecimento através da experimentação. Como ferramenta inovadora na modalidade EaD, desenvolveu-se a simulação real em ambiente virtual com técnicas atuais de educação e pedagogia para o aprendizado em ambientes virtuais, garantido assim um novo marco e também novos precedentes para o caráter integrador da educação a distância.

Palavras-chave: gestão integrada - eficiência energética – Simulação Real em EaD

ABSTRACT

The purpose of this work is to propose an integrated energy management model involving in this context the study in the workbenches developed at the Center of Excellence in Energy Efficiency – EXCEN, Itajubá. The new energy management model foresees the inclusion of the electrical energy consumption indicator on the environmental management program and gas implantation in the future. Thus, this work presents, respectively, the researches performed in each workbench. They are: pumping, motor systems, compressed air systems and ventilation systems and also a short description of the workbenches, its physical compound, the objective of the study and its conclusion. Automation, data acquisition, instrumentation and monitoring systems are approached. It's also possible to find usage in the industry in which, in first instance, the energy audit became evident, focusing on energy, where data on equipment, consumption and demand of the sectors that composed the company were collected. Based on these data 13 optimization measures involving consumption and energy demand were presented and always including financial viability analysis. The Distance Education mode was also described and the advances concerning this new learning environment being described the techniques used in reports building aiming the increase of knowledge through experimentation. As an innovative tool at distance education mode, the real situation was developed in a virtual environment with current educational and pedagogic techniques for e-learning, guaranteeing a new mark and new precedents for the integrating character of distance education.

Key words: integrated management – energy efficiency – workbenches

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELA.....	13
LISTA DE GRÁFICO.....	14
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS	15
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Eficiência Energética	16
1.2 Objetivos do Trabalho.....	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	17
1.3 Justificativas.....	17
1.4 Ambiente de Estudo e Desenvolvimento da Pesquisa	18
2 SISTEMAS DE BOMBEAMENTO	20
2.1 Objetivo	20
2.2 Desenvolvimento.....	20
2.2.1 Revisão Bibliográfica.....	20
2.2.2 Tipos de bombas e seus componentes principais.....	21
2.2.3 Problemas de instalação: cavitação.....	23
2.2.4 Critérios de escolha de bombas.....	24
2.2.5 Eficiência em Sistemas de Bombeamento	25
2.2.6 Descrição do Ensaio	26
2.3 Resultados	31
2.4 Conclusão sobre Sistemas de Bombeamento.....	33
3 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICO.....	34
3.1 Objetivo	35
3.2 Desenvolvimento.....	35
3.2.1 Revisão Bibliográfica.....	35
3.2.2 Princípio de funcionamento.....	36
3.2.3 Principais características técnicas	38
3.2.4 Aspectos construtivos.	38
3.2.5 Grandezas características.....	39

3.2.6 Aspectos importantes.....	43
3.2.7 Dados dos motores ensaiados.....	46
3.2.8 Ensaio dos motores.....	47
3.3 Análise Econômica.....	50
3.3.1 Escolha dentre os dois motores para uma nova instalação	50
3.3.2 Análise para a troca do motor de uma instalação já existente	53
3.4 Conclusão sobre Motores de Indução.....	56
4 SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO	58
4.1 Objetivo	58
4.2 Desenvolvimento.....	59
4.2.1 Considerações Teóricas.....	59
4.2.2 Classificação dos compressores.....	59
4.2.3 Componentes básicos.....	61
4.2.4 Princípio de funcionamento.....	63
4.2.5 Ciclo Termodinâmico.....	64
4.2.6 Aplicações do ar comprimido	66
4.2.7 Seleção e instalação eficiente do sistema.....	67
4.2.8 Diretrizes para melhoria de desempenho	68
4.3 Descrição do ensaio.....	68
4.3.1 Manipulação dos dados	70
4.3.2 Desenvolvimento dos dados	70
4.3.3 Valores calculados	74
4.3.4 Resultados dos ensaios	74
4.4 Diretrizes para melhoria de desempenho	74
4.5 Conclusões sobre Sistemas de Ar Comprimido	76
5 SISTEMAS DE VENTILAÇÃO	77
5.1 Objetivo	77
5.2 Desenvolvimento.....	77
5.2.1 Considerações teóricas.....	77
5.2.1.1 Ventiladores Centrífugos.....	77
5.2.1.2 Encoder.....	79
5.2.1.3 Tudo de Prandtl.....	80
5.3 Descrição do ensaio.....	81

5.3.1 Valores obtidos no ensaio	82
5.4 Análise do uso de válvula de controle de fluxo.....	83
5.5 Análise Econômica	84
5.6 Conclusão sobre Sistemas de Ventilação.....	87
6 EXECUÇÃO DO PROJETO DE ERRADICAÇÃO DO DESPERDÍCIO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	89
6.1 Informações sobre o Projeto Ambiental.....	90
6.1.1 Objetivo	90
6.1.2 Descrição sucinta do projeto	90
6.1.3 Súmula dos indicadores relacionados com os critérios de avaliação..	99
6.2 Sobre o Sistema de Gestão Ambiental, auditoria ambiental e/ou análise do ciclo de vida.....	103
6.3 Sobre a otimização do processo produtivo e das utilidades	103
6.4 Sobre o controle da poluição e a sua prevenção	103
6.5 Sobre os custos e benefícios obtidos	104
6.6 Sobre a comunicação e interação com a sociedade.....	105
6.6.1 Registros	107
7 A EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA	108
7.1 Contexto.....	109
7.2 Gestão Integrada de Energia: Estudo de caso nas bancadas do EXCEN e aplicação na indústria e sociedade	110
7.2.1 Metodologia de Pesquisa	111
7.2.2 Metodologia de Aplicação	112
CONCLUSÃO	114
REFERÊNCIA	117
ANEXO I -	119
ANEXO II -	124
ANEXO III -	130
ANEXO IV -	138
ANEXO V -	139

ANEXO VI - 140
ANEXO VII - 141
ANEXO VIII - 142
ANEXO IX - 143

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bomba centrífuga radial monobloco e monoestágio.....	21
Figura 2 – Bomba centrífuga radial com acoplamento e único estágio	22
Figura 3 – Bomba centrífuga radial de múltiplos estágios	22
Figura 4 – Bancada de ensaio	28
Figura 5 – Placa de orifícios	28
Figura 6 – Válvula de controle de vazão.....	29
Figura 7 – Conjunto motobomba	29
Figura 8 – Desenho esquemático da placa de orifício	30
Figura 9 – Nikola Tesla	35
Figura 10 – Disposição dos solenóides	36
Figura 11 – Modelo de campo girante	37
Figura 12 – Campo girante e gaiola.....	37
Figura 13 – Estator (esq.) e Rotor (dir.) de um MT	38
Figura 14 – Vista em corte de um MT.....	39
Figura 15 – Vista explodida de um MT	39
Figura 16 – Bancada de ensaios de motores elétricos	47
Figura 17 – Disposição de cilindros para compressores de êmbolo.....	61
Figura 18 – Componentes de compressores.....	62
Figura 19 – Compressor alternativo.....	63
Figura 20 – Etapas de funcionamento de um compressor.....	64
Figura 21 – Diagrama indicado Teórico.....	65
Figura 22 – Diagrama indicado p.V real	66
Figura 23 – Bancada de ensaio	69
Figura 24 – Diagrama da Bancada de Compressão.....	75
Figura 25 – Ventilador Centrífugo com Sistema Diretor na Entrada	78
Figura 26 – Esquema de Funcionamento de um Encoder.....	80
Figura 27 – Esquema de um tubo de Prandtl	81
Figura 28 – Medida 1	92
Figura 29 – Medida 2.....	92
Figura 30 – Medida 2.....	92
Figura 31 – Medida 3.....	93
Figura 32 – Medida 4.....	93
Figura 33 – Medida 5.....	94

Figura 34 – Medida 6	94
Figura 35 – Medida 7	94
Figura 36 – Medida 8	95
Figura 37 – Medida 9	95
Figura 38 – Medida 10	95
Figura 39 – Medida 10	95
Figura 40 – Medida 11	96
Figura 41 – Medida 12	96
Figura 42 – Medida 13	97
Figura 43 – Pessoas organizando as garrafas pet	98
Figura 44 – Entrega das placas de garrafas pet	98
Figura 45 – Placas de garrafas pet	99
Figura 46 – Placas de garrafas pet implantadas	99
Figura 47 – Comunicação proveniente de partes interessadas	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados do motor padrão e do motor de alto rendimento	46
Tabela 2 – Fator de potência e rendimento para diferentes condições de carga de motores padrão e de alto rendimento	47
Tabela 3 – Resultados do ensaio dos motores padrão e de alto rendimento	48
Tabela 4 – Análise econômica da troca de um motor padrão por um motor de alto rendimento.....	55
Tabela 5 – Média dos valores obtidos no ensaio (a).....	70
Tabela 6 – Média dos valores obtidos no ensaio (b).....	70
Tabela 7 – Grandezas obtidas da manipulação dos dados obtidos do ensaio	74
Tabela 8 – Valores obtidos com a válvula manual	82
Tabela 9 – Valores obtidos com o inversor de frequência	82
Tabela 10 – Vazões e Alturas de Energia para válvula Manual	84
Tabela 11 – Diagnóstico, Demanda e Consumo nas residências do grupo piloto	97
Tabela 12 – Controle de aumento da produção fabril X diminuição no consumo de energia utilizada	103
Tabela 13 – Mudanças de circunstância incluindo desenvolvimento em requisitos legais e outros relacionados aos aspectos ambientais.....	104
Tabela 14 – Payback das Medidas na área fabril	105

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico representativo das curvas da bomba e do sistema	32
Gráfico 2 – Exemplo de curvas características de um motor de 3 CV.....	43
Gráfico 3 – Comportamento da Potência elétrica	83
Gráfico 4 – Curva de funcionamento do Ventilador Delta VCD - 300	83
Gráfico 5 – Características do ventilador e do sistema	84
Gráfico 6 – Análise de sensibilidade.....	87
Gráfico 7 – Controle de Resíduo de Tecido.....	100
Gráfico 8 – Controle de Resíduo de Plástico.....	100
Gráfico 9 – Controle de Resíduo de Papel/ Papelão	101
Gráfico 10 – Controle de Resíduo de Orgânico.....	101
Gráfico 11 – Controle de Consumo de Energia	102
Gráfico 12 – Controle de Consumo de Água.....	102

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais

EaD – Educação à Distância

EAD – Ensino à Distância

EVO – Efficienty Valuation Organization

EXCEN – Centro de Excelência em Eficiência Energética

IDE – Indicador de Desempenho Energético

IPMVP – Protocolo Internacional de Medição e Verificação

ISEE – Instituto de Sistemas Elétricos e Energia

MIT – Motores de Indução Trifásico

PEE – Programa de eficiência Energética

Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

TIR – Taxa Interna de Retorno

UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

VPL – Valor Presente Líquido

C_R – Coeficiente de produção de resíduos

C_v – Cavalo-vapor

c_p – Coeficiente de potência

f_{ck} – Resistência característica do concreto à compressão

g – Aceleração da gravidade

ha – Hectare

H_B – Perda de carga

H_d - Queda de projeto

H_L – Queda líquida

N – Rotação

n_{qa} – Rotação específica

P_g – Potência gerada

Q – Vazão

V_i – Velocidade instantânea

V_n – Velocidade nominal

V_c – Velocidade de corte

1 INTRODUÇÃO

1.1 Eficiência Energética

Eficiência Energética é definida como uma atividade técnico-econômica que tem como objetivo, proporcionar o melhor consumo de energia, com redução de custos operacionais correlatos, minimizar contingenciamentos no suprimento desses insumos e também introduzir elementos e instrumentos necessários para o gerenciamento energético e hídrico da empresa ou empreendimento.

A Eficiência Energética também chega ao âmbito da educação, no momento em que elabora materiais educacionais avançados em eficiência energética; apresenta e utiliza ferramentas de ensino que visam desenvolver o conhecimento tanto de alunos de graduação como de pós-graduação, e também quando capacita profissionais atuantes em temas energéticos.

A Eficiência Energética abrange atividades que definem ações em alguns processos, visando minimizar de custos com consumo de insumos energéticos e hídricos, apresentando sugestões de viabilidade técnico-econômica de implantação, incluindo as especificações técnicas, equipamentos, materiais, serviços e as implantações propriamente ditas, além do gerenciamento do projeto e a gestão dos resultados após o término das intervenções.

Assim, qualquer empresa ou empreendimento pode ser beneficiado com projeto de eficiência energética, através de *retrofit* de ativos operacionais e instalações, e adequação de procedimentos.

Em suma, Eficiência Energética é um conjunto de medidas bem definidas que, quando implantadas, levam a uma redução, previamente determinada, dos custos de consumo de energia de uma empresa ou empreendimento, mantendo-se os níveis de produção e da qualidade do produto final.

1.2 Objetivos do Trabalho

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor um modelo de gestão integrada de energia onde estarão envolvidos: universidade, indústria e sociedade.

Tal modelo visa disseminar o conhecimento de domínio das universidades na indústria e sociedade por meio de um programa de abrangência ampla, utilizando as ferramentas de Ensino à Distância, EAD.

Para tanto, foram realizadas simulações nas bancadas do EXCEN, e seus resultados aplicados à indústria e sociedade, considerando simultaneamente os aspectos de redução de demanda e consumo energético, associados a melhoria na eficiência de sistemas existentes.

A estratégia a ser observada é a avaliação energética dos sistemas existentes e propor recomendações para a sua otimização e em seguida, através de indicadores de desempenho inserido em um programa de gestão ambiental, gerir o programa de otimização energética

1.2.2 Objetivos Específicos

Através de um programa de Educação a Distância, EaD, desenvolvido pela equipe do Centro de Excelência em Eficiência Energética, EXCEN, onde serão ministradas aulas virtuais sobre os diversos sistemas e as atividades prática, serão realizadas simulações reais, porém com acesso virtual.

Serão elaborados roteiros para as aulas práticas que conduzam os alunos a construir o conhecimento através da experimentação, discussão, métodos de medição e verificação. Ao final de cada etapa, deverá ser entregue um relatório apresentando a sintetização deste conhecimento.

E por fim, utilizar o resultado do Indicador de Desempenho Energético, IDE, para a verificação e tomada de decisões a cerca do programa de Otimização energética .

1.3 Justificativas

Este programa visa comunicar de forma clara, didática e resumida, à indústria e sociedade, os conhecimentos acerca de otimização energética. A EaD permite aumentar a área de abrangência e disseminação de conhecimentos minimizando os custos logísticos entre outros e flexibilizando o ensino quanto a temporalidade.

A simulação real em ambiente virtual permitirá ao aluno realizar simulações, mesmo a distância, vivenciando assim as proposta de otimização de cada sistema e através dos relatórios ele será instigado a construir o conhecimento.

Este trabalho visa também atender a uma solicitação da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL onde todos os novos projetos de Eficiência Energética implementados no âmbito do Programa de Eficiência Energética - PEE, devem comprovar os resultados baseando-se no Protocolo Internacional de Medição e Verificação - IPMVP, disponível no site da EVO - Efficiency Valuation Organization (<http://www.evo-wold.org>)

1.4 Ambiente de Estudo e Desenvolvimento da Pesquisa

A presente pesquisa foi realizada no Centro de Excelência em Eficiência Energética – EXCEN, que faz parte do Instituto de Sistemas Elétricos e Energia (ISEE), situado no Campus da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Após a etapa de estudos e conclusões dos experimentos no EXCEN ocorreu a aplicação prática na indústria, e em seguida foram envolvidos os colaboradores e a sociedade através de grupos multiplicadores.

Este trabalho está organizado em 8 capítulos. No Capítulo 1 foi feita uma apresentação geral sobre Eficiência Energética, sobre os objetivos e justificativas do trabalho e o ambiente onde foi desenvolvida a pesquisa.

No Capítulo 2 foram expostas as pesquisas desenvolvidas na bancadas de sistemas de bombeamento, o objetivo da simulação, o desenvolvimento e os resultados obtidos.

No Capítulo 3 encontram-se os resultados da simulação nas bancadas de motores de indução trifásico, assim como os objetivos das pesquisas e o desenvolvimento da mesma.

No Capítulo 4 são apresentados os objetivos, o desenvolvimento e os resultados obtidos a partir das simulações na bancada de sistemas de ar Comprimido.

No Capítulo 5 está o sistema de ventilação e seus respectivos objetivos, desenvolvimento e resultados obtidos.

Já o Capítulo 6 é destinado a descrição da execução do projeto de erradicação do desperdício e eficiência energética aplicados na indústria que serviu de cenário de aplicação.

Encontra-se ainda neste trabalho o Capítulo 7, reservado para a apresentação do EaD, sua contextualização e ferramentas utilizadas para a integração de universidade, indústria e sociedade.

Para finalizar o presente trabalho, são apresentados itens relevantes quanto a possibilidade de futuras melhorias e as conclusões sobre o assunto desenvolvido ao longo do trabalho.

2 SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

O uso irresponsável dos recursos naturais vem fazendo da espécie humana refém de seus próprios erros. Em particular, o abastecimento público de água, que até poucos anos era feito por meio de fontes limpas, captadas nas encostas e trazidas às comunidades pela ação da gravidade, atualmente depende, praticamente em sua totalidade, de bombeamento. O uso de bombas de água tornou-se indispensável e, como conseqüência, também o uso da energia elétrica para o acionamento dos motores que colocam as bombas em funcionamento.

A necessidade de novos métodos e tecnologias para prestação de serviços básicos, como a distribuição de água, tem trazido alguns agravantes do ponto de vista energético. A utilização desenfreada dos recursos energéticos resulta na escassez dos mesmos e para mitigar tais fatores negativos, a melhor ação a ser colocada em prática é o uso racional de energia.

A consciência ambiental é um fator importante, seja pela preservação de fontes de energia para futuras gerações ou pela redução dos custos de serviços, que, em última análise, serão sempre pagos pela sociedade. O desenvolvimento deverá ter uma vertente com foco na sustentabilidade.

Desta forma, pensando em ações que visem o melhoramento dos sistemas de bombeamento, foi executada a experiência descrita na sequência.

2.1 Objetivo

O objetivo do ensaio é simular, sob condições controladas, as variáveis ou condições de instalações das bombas, que resultem em um aumento da eficiência energética em sistema de bombeamento. Os resultados obtidos serão utilizados como sugestões para a melhoria do sistema de bombeamento.

2.2 Desenvolvimento

2.2.1 Revisão Bibliográfica

Em geral, atribui-se o termo bomba a todo equipamento capaz de transferir energia de determinada fonte para um líquido, de modo que esse líquido possa realizar determinado trabalho. No abastecimento público de água, esse trabalho corresponde ao deslocamento de um volume de água, através de uma tubulação, entre dois pontos.

2.2.2 Tipos de bombas e seus componentes principais

Basicamente, as bombas podem ser divididas em duas famílias:

- i. as bombas de deslocamento positivo (volumógenas);
- ii. as turbobombas, também conhecida como “rotodinâmicas”, “hidrodinâmicas” ou, simplesmente, “dinâmicas”.

No abastecimento de água, as bombas utilizadas são: as centrífugas, as mistas e as axiais.

Os principais componentes de uma bomba são: o rotor, a carcaça (ou voluta) e o difusor (partes fixas). A finalidade do rotor é transmitir energia cinética à massa líquida por meio de energia mecânica (rotação), possibilitando a conversão dessa energia em energia de pressão, por meio do difusor. Essas transformações se dão conforme o teorema de Bernoulli e a equação da continuidade que sendo o difusor, em geral, de seção crescente, proporciona o aumento da pressão na saída da carcaça.

Quando se bombeia água limpa, opta-se, normalmente, por uma bomba de rotor fechado, na qual existe um disco protetor, que ajuda no direcionamento do fluxo. Quando, ao contrário, bombeia-se água com partículas (areia ou outros sólidos em suspensão), é comum optar-se por bombas com rotores abertos e semi-abertos, de modo a que essas partículas não obstruam o fluxo.

A seguir apresentam-se os tipos de bombas mais utilizadas.

Bomba centrífuga radial monobloco e monoestágio

É um tipo de bomba em que o motor elétrico está acoplado, como um único bloco. Apresenta baixa potência para pequenas vazões.



Figura 1 – Bomba centrífuga radial monobloco e monoestágio

Fonte: IMBIL

Bomba centrífuga radial com acoplamento e único estágio

É provavelmente a bomba mais comum nos sistemas de abastecimento de água. Recalca, normalmente, vazões da ordem de 5 a 100 [l/s] e alturas manométricas totais que variam de 40 a quase 200 [m.c.a.], em casos extremos.



Figura 2 – Bomba centrífuga radial com acoplamento e único estágio

Fonte: IMBIL

Bomba centrífuga radial de múltiplos estágios

Essas bombas são recorridas quando se deseja recalcar grandes alturas de coluna de água. São como bombas em série, cuja vantagem principal é propiciar grandes pressões, porém separadas em estágios, evitando problemas de desgaste das peças de vedação (anéis, buchas, gaxetas, etc.). A figura a seguir é um exemplo de bomba centrífuga de múltiplos estágios.

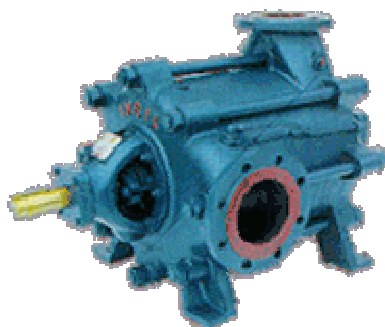


Figura 3 – Bomba centrífuga radial de múltiplos estágios

Fonte: IMBIL

Bombas submersas (poços)

Apresenta motor acoplado num único conjunto, porém com as características de trabalhar submerso no líquido a recalcar. É construída de modo a ter dimensões externas reduzidas, para que possa ser utilizada nos poços artesianos, cujo diâmetro é

da ordem de 150mm. A seleção do equipamento deve ser feita com base nas curvas de desempenho, de modo a escolher aquele com melhor rendimento total, quando a finalidade é a maior eficiência energética.

Bomba centrífuga radial de coluna

É uma bomba de eixo vertical, cujo motor, no entanto, trabalha a seco. Sua aplicação é enorme quando as condições de captação impediriam uma adequada altura de sucção, como em áreas inundáveis. A solução são essas bombas em que o motor está protegido acima da cota de inundação e a bomba não está obrigada a trabalhar com alturas de aspiração elevadas, em que o NPSH disponível seria baixo.

Bomba submersível

Esse tipo de equipamento, embora seja largamente utilizado em sistemas de abastecimento de água, nas captações de água bruta, destinam-se primordialmente a águas mais abrasivas, com maior quantidade de sólidos em suspensão, como esgotos, lamas de fundos de vala, caixas coletoras de esgoto em cota abaixo da rede pública, etc.

Bomba bipartida

É um equipamento, normalmente, de maior porte, destinado a bombeamentos de maiores vazões. Tem a vantagem de equilibrar melhor os empuxos, sendo esta, uma característica que interessa mais à equipe de manutenção.

2.2.3 Problemas de instalação: cavitação

A cavitação é um dos principais problemas que ocorre na instalação de bombeamento de água para abastecimento público, por afetar diretamente a eficiência energética do bombeamento.

Denomina-se cavitação a formação de “bolhas” de vapor no meio da massa líquida durante um escoamento, devido à ocorrência de pressões inferiores à pressão do vapor na temperatura do escoamento.

Estas “bolhas” ou “cavas”, daí o nome cavitação, implodem quando atingem um ponto de maior pressão ao longo do fluxo, causando desgaste do material de que é feita a peça, por onde está ocorrendo o escoamento, que, com o passar do tempo, acentuará o efeito de queda de rendimento, alternando as curvas características do

equipamento. Em se tratando de bombas, o efeito da cavitação é notado nos rotores, desde a entrada até os pontos na periferia, bem como, eventualmente, na própria voluta (carcaça da bomba).

Segundo a conceituação moderna do fenômeno da cavitação, admite-se que a água contendo impurezas é mais suscetível à sua ocorrência do que a água limpa, já que a ruptura está associada de forma mais intensa à resistência à tração, esta última, relacionada com a tensão superficial do líquido na temperatura do bombeamento.

Embora o assunto seja objeto de pesquisas constantes, continua sendo, de certa forma, um fenômeno não compreendido na totalidade, por se tratar de um efeito microscópico e de frequência elevada. As principais conseqüências da ocorrência da cavitação são: barulho, vibração excessiva do conjunto moto-bomba, alteração das curvas características e danificação do material. O barulho, a vibração em excesso e as demais conseqüências da cavitação têm relação direta com a eficiência energética.

A partir do conceito de NPSH (requerido e disponível), é possível equacionar o problema comparando os dois valores de NPSH. Simplificadamente basta que o NPSH disponível pela instalação seja superior ao NPSH requerido pela bomba para que o problema da cavitação não ocorra. Na prática, é costume optar por uma margem de segurança, pois os ensaios de laboratório são realmente difíceis. A norma brasileira NBR 12.214 (Projeto de um sistema de bombeamento de água pra abastecimento público) recomenda que o NPSH disponível calculado deva ser superior a 20% e no mínimo 0,50m o NPSH requerido pela bomba em todos os pontos de operação.

2.2.4 Critérios de escolha de bombas

Em primeiro lugar deve-se estar atento à finalidade do bombeamento. É necessário observar a qualidade da água que se quer recalcar. As alturas e vazões a bombear vão indicar o tipo de bomba a procurar nos catálogos dos diversos fabricantes. Por fim, as curvas características, observadas nos pontos de trabalho mais próximos possível daqueles de melhor rendimento, levarão à escolha do equipamento de maior eficiência energética disponível no mercado.

Outros fatores também precisam ser analisados pelo projetista, como dimensões do equipamento, tipo de entrada e saída para escolher o melhor arranjo da elevatória, o NPSH requerido pela bomba, o NPSH disponível na instalação e histórico de manutenção de equipamento semelhante.

Deve-se sempre procurar informações de outros usuários dos equipamentos em análise para obter dados de custo de manutenção. A composição de um quadro levando em conta o custo da aquisição do equipamento, seu rendimento hidráulico e, conseqüentemente, o custo com energia elétrica ao longo da sua vida útil naquele projeto, além dos custos de manutenção durante o período em estudo, é que levará à escolha do equipamento mais econômico.

Cada vez mais o uso de softwares de modelamento hidráulico, de sistemas de abastecimento de água, se torna a ferramenta indispensável do engenheiro ligado ao assunto. Nesses softwares, pode-se fazer o ensaio de várias alternativas e verificar aquela de melhor rendimento energético.

2.2.5 Eficiência em Sistemas de Bombeamento

Basicamente, são duas as formas de se otimizar o custo com o uso da energia elétrica no funcionamento dos motores que impulsionam as bombas que pressurizam os sistemas de abastecimento de água:

A primeira delas (i), direta, consiste em utilizar instalações adequadas do ponto de vista da hidráulica, isto é:

- utilizar tubulações com diâmetros que atendam as condições fluidodinâmicas;
- manter a tubulação em bom estado de conservação quanto à rugosidade interna;
- trabalhar com arranjos de concepção de projeto e de operação que sejam norteados pela melhor setorização das zonas de pressão, evitando-se o desperdício com altas pressões na rede, que, além de tudo, é um fator de indução de perdas hidráulicas reais e que se traduzem, em última análise, em ineficiência energética;
- variar a velocidade dos motores elétricos de modo a adequar o ponto de funcionamento da bomba ao seu máximo rendimento, conforme a demanda varie;
- escolher o conjunto moto-bomba com melhor rendimento para o ponto de trabalho desejado.

A segunda forma de se otimizar o custo com o uso da energia elétrica (ii), que não economiza propriamente energia em quantidade, mas em qualidade, consiste em evitar ou se reduzir o consumo energético nas horas de ponta, possibilitando à

concessionária um melhor equilíbrio do sistema e ao operador do serviço de abastecimento de água, uma economia de recursos financeiros, na medida em que as concessionárias incentivam esse procedimento por intermédio de sua estrutura tarifária diferenciada.

Em qualquer das situações abordadas anteriormente, uma análise da viabilidade econômica por meio do valor presente líquido (VPL), deve ser efetuada.

2.2.6 Descrição do Ensaio

Para a execução do ensaio, contou-se com uma bancada com os seguintes constituintes principais:

- motor elétrico de alto rendimento;
- bomba centrífuga;
- válvula controladora de vazão e
- placa de orifício.

Na sequência é possível analisar o detalhamento dos constituintes da bancada.

Motor elétrico de alto rendimento	
Tipo: Gaiola	Modelo: HD74675
Carcaça: 90S	Potência: 2,2kW ou 3CV
Rotação: 3440rpm	Fator de serviço: 1,15
Reg. Operação: S1	Max Temp Ambiente: 40°C
Rendimento: 85,1%	Fator de potência: 0,84
Conjugado Nominal (Cn): 0,62kgf.m	Conj. Rotor Bloqueado (Cp/Cn): 2,6
Momento de Inércia (J): 0,00205kg.m ²	Tempo Max com rotor bloqueado: 6s
Conjugado Máximo (Cmáx/Cn): 3,0	
Bomba centrífuga monoestágio	
Fabricante: Schneider Motobombas	Modelo: BC92SHB
Potência: 3CV	Diâmetro sucção: 1 ½"
Diâmetro recalque: 1 ¼"	Pressão máxima sem vazão: 43m.c.a.
Altura máxima de sucção: 8m.c.a.	Diâmetro do rotor: 150mm
Altura manométrica total: 20 a 38m.c.a.	Vazão para 0m.c.a.: 8,7 a 17,3 m ³ /h
Temp Max operação: 80°C	Rotação: 3450rpm

Aplicações: residências, chácaras, abastecimento predial, agricultura, indústrias.		
Válvula de controle de vazão		
Fabricante: FOX WALL	Modelo: 602IP	
Sinal de entrada: 4,20 mA cc	Sinal de saída: 12,30 mA cc	
Alimentação: 35psi (posicionador eletropneumático) Curso: 10,6mm		
Placa de orifício		
Fabricante: Digitrol	D: 26,64mm	B: 0,711
d = 18,96mm	Material: Aço INOX 316	

As figuras 4, 5, 6 e 7 apresentam os detalhes do banco de ensaios. Todos os dados técnicos e as curvas características da bomba estão disponíveis na página do fabricante.



Figura 4 – Bancada de ensaio



Figura 5 – Placa de orificios



Figura 6 – Válvula de controle de vazão



Figura 7 – Conjunto moto-bomba

À medida que a vazão de água, através da válvula, foi controlada, foram feitas as tomadas de dados para as condições de vazão nula (válvula totalmente fechada), vazão máxima (válvula totalmente aberta), e para uma vazão igual a $3\text{m}^3/\text{h}$.

No início do ensaio é recomendado partir o sistema com vazão zero. Na bancada em questão fecha-se a válvula manual localizada na tubulação de recalque da bomba. Com este procedimento evita-se a combinação do pico de partida do motor e da bomba, que representa alta demanda solicitada.

Os dados coletados estão apresentados no próximo item, bem como todas as análises e conclusões obtidas a partir dos mesmos, para o comportamento da bomba centrífuga ensaiada.

Para a medição da vazão volumétrica fez-se uso de um medidor de vazão do tipo placa de orifícios. Tal medidor de vazão é classificado como deprimogênio, pois promove a redução da seção transversal a fim de obter a vazão pela diferença de

pressão em dois pontos a montante e jusante da placa de orifício. Aplica-se então, a equação da conservação da massa e a equação de Bernoullie então se obtêm uma equação relacionando a vazão com a diferença de pressão. A sua estrutura resume-se a uma placa transversal ao escoamento, de pequena espessura, na qual foi usinado um furo cilíndrico. A variação na seção transversal do escoamento leva ao aumento da velocidade e à queda da pressão. Entretanto, como ocorre uma variação brusca da área é gerada uma grande turbulência que resulta em uma perda de carga, além de menor precisão na medição da pressão.

Através do exposto pode-se determinar o coeficiente de descarga (C_d) da placa de orifícios utilizada no ensaio, como segue.

Partiu-se das equações da continuidade e Bernoulli:

$$u_2 A_2 = u_3 A_3 \qquad \frac{u_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} = \frac{u_3^2}{2} + \frac{p_3}{\rho}$$



Figura 8 – Desenho esquemático da placa de orifício

Assim, temos:

$$Q_{placa} = \frac{C_d A_{placa} \sqrt{2(p_2 - p_3)}}{\sqrt{\left(1 - \frac{A_{placa}^2}{A_{tubo}^2}\right)}} \sqrt{\frac{2(p_2 - p_3)}{\rho}}$$

Onde C_d aparece como forma de correção à vazão real da placa, já que a placa não é ideal.

Logo, com os valores:

$$Q_{placa} = 6,1 \text{ m}^3/\text{h} = 1,6944 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_{placa} = 2,8234 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{tubo} = 5,5739 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$P_2 = 2,25 \text{ kgf/cm}^2$$

$$P_3 = 0,7 \text{ kgf/cm}^2$$

Fazendo-se as substituições necessárias, tem-se que o coeficiente de descarga da placa Cd próximo a 0,30.

2.3 Resultados

Como dito anteriormente, os valores obtidos para as três condições de vazão encontram-se abaixo e são de grande valia na determinação das curvas da bomba e do sistema.

Para a válvula fechada

$H_s = 4,6 \text{ kgf/cm}^2$ (Pressão de saída)

$P = 1,227 \text{ kW}$ (Potência elétrica do motor)

$H_e = 0,1 \text{ kgf/cm}^2$ (Pressão de entrada)

Para a válvula totalmente aberta

$H_m = 2,25 \text{ kgf/cm}^2$ (Pressão máxima)

$P = 1,795 \text{ kW}$

$Q_m = 6,1 \text{ m}^3/\text{h}$ (Vazão máxima)

$H_e = 0,7 \text{ kgf/cm}^2$ (Pressão de entrada)

Para a válvula parcialmente aberta

$H_s = 4,00 \text{ [kgf/cm}^2]$

$Q_m = 3,0 \text{ [m}^3/\text{h]}$ (Vazão máxima)

$P = 1,601 \text{ [kW]}$

$H_e = 0,2 \text{ [kgf/cm}^2]$

Com esses dados partiu-se para uma análise do comportamento da bomba, determinando, primeiramente, as equações e as curvas de funcionamento da bomba e do sistema.

$$H_B = \left(\frac{H_m - H_s}{Q_m^2} \right) Q^2 + H_s \quad (\text{Curva da bomba})$$

$$H_T = \left(\frac{H_m - H_e}{Q_m^2} \right) Q^2 + H_e \quad (\text{Curva do sistema})$$

$$H_B = -818489,6533.Q^2 + 4,6$$

$$H_T = 748830,9594.Q^2 + 0,1$$

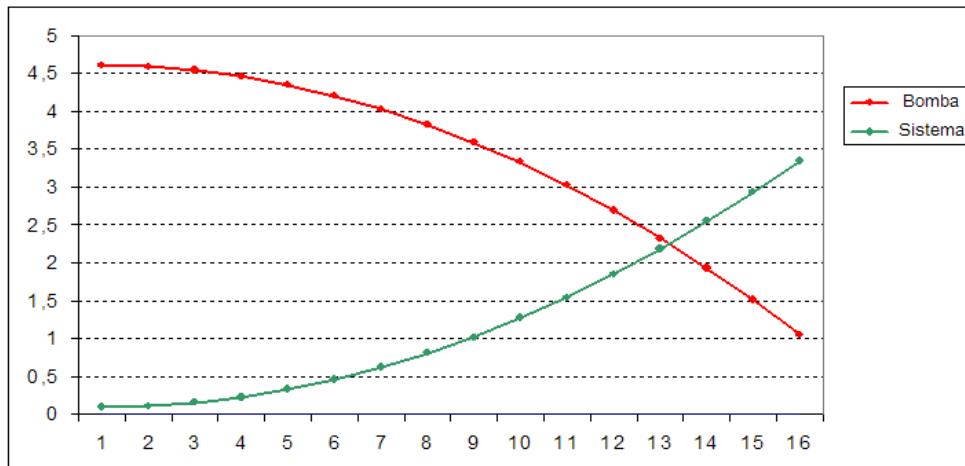


Gráfico 1 - Gráfico representativo das curvas da bomba e do sistema

O ponto de encontro das curvas representa o ponto de funcionamento, onde a vazão é máxima, representando a condição de válvula totalmente aberta.

A seguir é calculado a potência hidráulica e o rendimento da bomba.

$$Ph = \rho g H Q \quad \eta_s = Ph / Pel$$

Onde:

- Ph é a potência hidráulica da bomba;
- Pel é a potência elétrica fornecida ao motor e vale 1,795kW;
- ρ é a massa específica da água e vale 1000kg/m^3 (Utilizou-se este pois não foi medida a temperatura ambiente no momento do ensaio);
- g é a aceleração da gravidade que para Itajubá é de $9,785\text{m/s}^2$;
- H é a altura de energia de elevação da bomba e vale $2,25\text{kgf/cm}^2$ e é igual a 22,52m;
- Q é a vazão da bomba e vale $6,1\text{m}^3/\text{h}$ e é igual a $0,001694\text{m}^3/\text{s}$;
- η é o rendimento do sistema.

$$Ph = \rho g H Q = 1000 \times 9,785 \times 22,52 \times 0,001694 \quad Ph = 0,3733 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{Ph}{Pel} = \frac{0,3733}{1,795} \quad \eta = 20,80\%$$

2.4 Conclusão sobre Sistemas de Bombeamento

A seleção adequada das bombas de fluxo, escolhendo as de melhor rendimento, é o primeiro passo visando a minimizar o consumo de energia. Não basta somente a seleção criteriosa do equipamento para contribuir com a redução no consumo de energia, é necessária também, a correta instalação, operação e uma manutenção eficiente.

A utilização de inversores de frequência no controle da vazão é uma alternativa altamente eficiente em relação à utilização de válvulas, que inserem perdas na instalação de bombeamento.

No ensaio, o baixo rendimento encontrado, $\eta = 20,8\%$, se deve às perdas de carga na sucção, no circuito hidráulico, perda de carga na placa de orifício e tubulação,

É necessário observar a importância de se fechar a válvula de saída da bomba, impedindo a combinação do pico de partida do motor e da bomba, já que a existência de fluxo do fluido no sistema, no momento da partida, apresenta valores de potência relativamente altos para a condição de operação da bomba, bem como para a partida do motor elétrico, que requer uma quantidade superior de potência, em relação às condições de operação nominais.

Através do ensaio foi possível analisar o potencial de economia de energia em sistemas de bombeamento, controlando para isso, o dimensionamento correto do sistema, a operação nos níveis de maior rendimento, a instalação adequada ao projeto e uma manutenção controlada.

3 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

Os motores elétricos são as máquinas mais indicadas para a transformação de energia elétrica em mecânica, em termos industriais, para acionamento das mais variadas cargas, tais como bombas, compressores, sistemas de elevação de peso, entre outras. Existe uma ampla variedade de motores elétricos disponíveis comercialmente, os quais podem ser divididos em dois grupos, sendo os de corrente contínua (i) e os de corrente alternada (ii), e estes ainda podem ser classificados quanto ao sincronismo, sendo assim têm-se os síncronos e os assíncronos.

Os motores de indução, principalmente os trifásicos, são os mais utilizados na indústria e, dentre eles, o de rotor em gaiola, cujo campo de aplicação se estende praticamente a todo tipo de acionamento. Embora eles sejam máquinas intrinsecamente eficientes, estes se constituem como um grande potencial de conservação de energia. Isso é explicado pela grande quantidade de motores instalados, e a grande ocorrência de aplicações ineficientes dos mesmos, devido ao superdimensionamento. Ele representa cerca de 50% da energia consumida nas indústrias no país.

No Brasil, a quantidade de energia processada pelos motores de indução trifásicos é superior a 30% da energia elétrica total gerada, porém, o percentual realmente consumido por ele varia entre 20% e 5% da energia solicitada à rede elétrica, e o restante é transformado em energia mecânica. Esse percentual de perdas pode ser aumentado significativamente se o motor não estiver operando em condições favoráveis, podendo chegar a 40% de perdas. As principais causas de uso ineficiente de um motor elétrico são: superdimensionamento, reparo inadequado do motor, uso de motores de baixo rendimento, fator de potência baixo e acoplamento motor-carga de baixa eficiência.

Para atender às necessidades de correção de usos inadequados dos motores de indução trifásicos, foram feitos ensaios das condições de funcionamento dos mesmos, e propostas modificações no sistema de operação, desde uma pequena variação nas condições de operação até a substituição do motor. Assim, este capítulo apresenta um exemplo de teste de bancada de motores de indução trifásicos do tipo padrão e modelos de alto rendimento.

3.1 Objetivo

O objetivo da realização do ensaio em laboratório é simular variações de carga através do freio de Foucault e avaliar o resultado dessas nas variáveis elétricas e rendimento do motor. Os testes serão realizados em motores padrão e de alto rendimento e assim estabelecer uma relação entre os dados de placa do motor e o melhor ponto de operação também será estabelecido comparando o motor padrão e o motor de alto rendimento e por fim, apresentar os resultados obtidos com as devidas conclusões e as possíveis melhorias no Sistema Motriz.

3.2 Desenvolvimento

3.2.2 Princípio de funcionamento

Os Motores de Indução Trifásicos (MIT) são amplamente utilizados nas mais variadas aplicações em instalações industriais e comerciais. São adequados para cargas com velocidades constantes ou variáveis, ou ainda, com reversões e várias velocidades.

Existem muitos tipos disponíveis, os quais cobrem uma larga faixa de características e podem ser projetados para operar em várias fontes de alimentações com diferentes combinações de valores de número de fases, freqüências e tensões. Além de serem de construção simples ou robusta e exigirem manutenção reduzida.

O funcionamento dos motores de indução trifásicos se baseia no princípio do campo girante. Para melhor entendimento faz-se necessário o entendimento da formação do campo magnético, que faz a conversão de energia elétrica em mecânica. Assim, se a uma bobina for aplicada uma tensão alternada senoidal, irá circular por ela uma corrente igualmente senoidal.

Por outro lado, sabe-se que, pela lei de Ampère, a circulação de corrente por um enrolamento produz uma força magnetomotriz. Como a corrente é senoidal, o fluxo também o será, se usarem-se três solenóides dispostos espacialmente a 120° uns dos outros como na figura seguinte. E ao se efetuar a conexão trifásica das três bobinas e aplicando as tensões alternadas, ocorrerá a circulação de correntes defasadas em 120° , com cada uma produzindo um fluxo, resultando num fluxo resultante.



Figura 10 – Disposição dos solenóides

Sabendo-se que o campo girante ocupa uma posição distinta no espaço, a cada instante sua amplitude é constante e o lugar geométrico descrito pela resultante é a cada ciclo. Assim, tem-se o campo girante. Pode-se imaginar que o campo girante é equivalente àquele que existiria entre dois pólos que giram, como na figura a seguir.

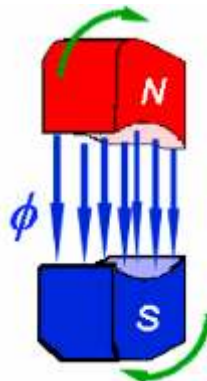


Figura 11 – Modelo de campo girante

Como visto, ao se fazer circular três correntes alternadas de mesma amplitude, porém defasadas de 120° pelas bobinas desses solenóides, se origina um campo girante. E este campo, ao cruzar as barras da gaiola, pela lei de Faraday, induz tensões e haverá circulação de corrente em cada uma das barras da gaiola, já que é um circuito fechado. Assim, a gaiola acompanha o movimento de atração dos pólos, conforme a próxima figura.

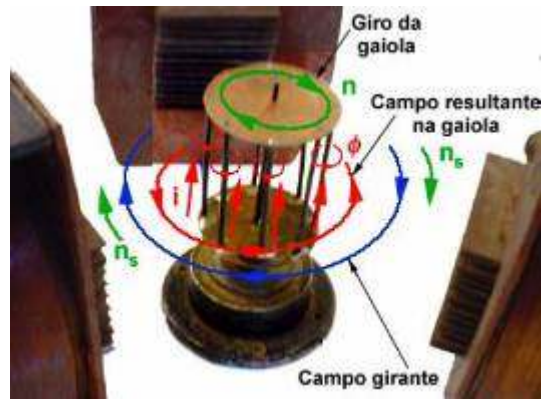


Figura 12 – Campo girante e gaiola

O motor de indução trifásico possui o mesmo princípio de funcionamento explicado anteriormente e, para tanto, possui duas partes básicas, o estator e o rotor. O estator que é a parte fixa mais externa da máquina, enquanto o rotor é a girante.

O estator possui três conjuntos de bobinas que permitem a criação do campo girante e a existência de um ou mais pares de pólos, o que define a velocidade síncrona. O rotor, por outro lado, possui uma gaiola (ou enrolamentos, dependendo do tipo) que permite a circulação de corrente e um núcleo de chapas magnéticas, o qual pode ser imantado. A figura seguinte apresenta exemplos de rotor e de estator.



Figura 13 – Estator (esq.) e Rotor (dir.) de um MIT

Fonte: WEG

Portanto, como o campo criado nas bobinas do estator está girando, o rotor acompanha seu movimento devido à indução de correntes nas barras e o surgimento de um campo resultante correspondente. Por isso, a máquina recebe o nome de motor de indução.

3.2.3 Principais características técnicas

Velocidade de sincronismo

A velocidade de sincronismo de um motor é nada mais que a velocidade de giro que o campo magnético gerado pelos enrolamentos de campo do motor é capaz de atingir. Alguns motores são capazes de desenvolver a velocidade síncrona de rotação, ou seja, seu eixo acompanha a velocidade de giro do campo do estator. Esses são chamados de motores síncronos, mas os encontrados no mercado, em sua maioria, são os motores assíncronos que apresentam velocidade de rotação inferior à desenvolvida pelo campo do estator.

Escorregamento

Nos motores assíncronos a velocidade do rotor é sempre inferior à sua velocidade de sincronismo. A diferença entre essas velocidades é conhecida como escorregamento ou deslizamento do motor. O escorregamento os motores de indução comumente encontrados no mercado, à plena carga, varia de 1% a 10%.

3.2.4 Aspectos construtivos

Os motores de indução trifásicos apresentam basicamente, duas partes principais: o rotor e o estator. O estator possui três conjuntos de bobinas que permitem a criação do campo girante e a existência de um ou mais pares de pólos, o que define a velocidade síncrona. O rotor possui uma gaiola (ou enrolamentos) que permite a circulação de corrente e um núcleo de chapas magnéticas. Nele será produzido o torque motor.

As figuras a seguir apresentam uma vista em corte de um motor de indução trifásico e a uma vista explodida de um MIT, respectivamente.

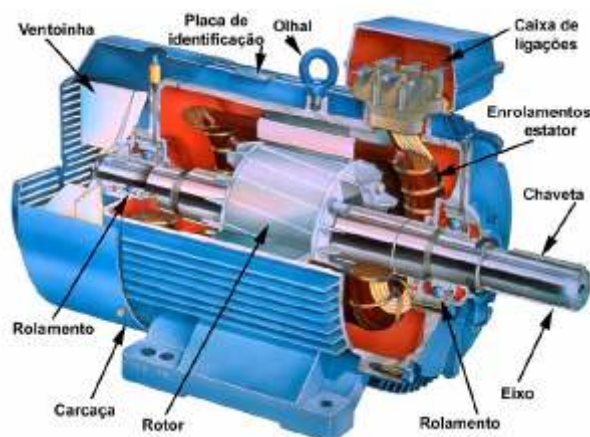


Figura 14 – Vista em corte de um MIT

Fonte: WEG

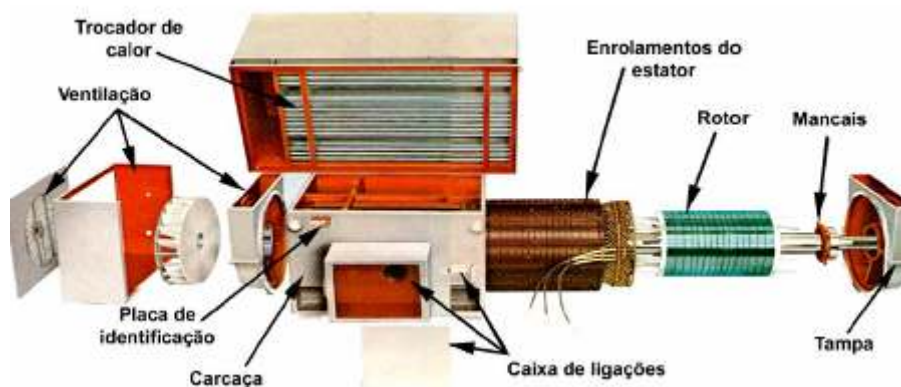


Figura 15 – Vista explodida de um MIT

Fonte:WEG

3.2.5 Grandezas características

Potência

O termo potência, por definição refere-se à relação entre a energia por unidade de tempo. Nas máquinas de indução trifásicas, chamadas MIT, a potência é apresentada de duas formas distintas, sendo a elétrica, aquela absorvida pelo motor da rede elétrica e a mecânica, aquela entregue pelo eixo do motor a carga. A relação entre elas indica a capacidade da MIT em transformar energia elétrica em mecânica, o rendimento do motor.

Tensões

A tensão é a diferença de potencial entre dois pontos distintos de energia. Nos MIT as tensões estão relacionadas aos fatores construtivos, às isolações. Quanto ao número de fases podem ser mono, bi e trifásica.

Velocidade

O termo velocidade ou rotação do motor se refere à rotação que o eixo desenvolve. Esta rotação está associada ao número de pólos do motor, à frequência e às características construtivas. Nos motores assíncronos a velocidade é sempre menor que a velocidade do campo girante, existindo assim uma variação em função do carregamento que resulta em um escorregamento. A velocidade ou rotação nominal é aquela em que o rotor gira quando se opera com potência, tensão e frequência nominais.

Sabe-se que, conhecendo-se a rotação e a frequência nominal, facilmente se determina a velocidade síncrona e o número de pólos. Como também, a rotação nominal pode ser desenvolvida a partir do escorregamento nominal.

Torque ou conjugado

O torque ou conjugado pode ser definido como o esforço necessário para acionar uma carga em movimento circular e pode ser calculado através dos valores da potência e da rotação.

Em relação ao conjugado na operação do motor, existem outras considerações, como o conjugado de partida do motor alimentado com tensão e frequência nominal, e o conjugado máximo, o qual é o maior conjugado desenvolvido com tensão nominal sem uma mudança abrupta de velocidade. Sabe-se ainda que o motor de indução apresenta torque nulo na velocidade síncrona, pois nesta condição não há indução de correntes no rotor.

Perdas

A conversão de energia elétrica em mecânica é acompanhada de inevitáveis perdas na forma de energia térmica, o que resulta em aquecimento de suas partes componentes. Nos MIT's, as perdas podem ser classificadas em: perdas por efeito Joule nos enrolamentos do estator; perdas no núcleo (histerese e Foucault); perdas por atrito e ventilação; e perdas adicionais. A soma dessas perdas são as perdas totais.

Potências elétricas

O alimentador deve fornecer para um motor em operação, tanto a potência necessária para suprir as perdas, quanto àquela que fornecerá ao eixo. Como o valor absorvido será transformado em calor ou trabalho, esta potência é chamada de ativa. Por outro lado, para se criar o campo girante, é necessário também, a absorção de potência, denominada reativa. A potência elétrica total ou aparente é, portanto, composta por essas duas parcelas.

Fator de potência

O fator de potência é a relação entre a potência ativa e a aparente.

Rendimento

O rendimento de um motor indica quanto de potência mecânica o motor disponibiliza no eixo, relativamente à potência elétrica ativa absorvida junto ao alimentador.

Corrente do estator

O termo corrente refere-se ao valor eficaz da corrente absorvida pelo estator para uma determinada situação operacional do motor. A corrente nominal, por outro lado, é aquela absorvida pelo estator junto ao alimentador quando o motor opera com potência, tensão e frequência nominais.

Quando o motor gira sem carga, a corrente absorvida junta à rede é a de rotor livre, também conhecida por corrente em vazio.

Fator de serviço

Chama-se fator de serviço ao multiplicador que, aplicado à potência nominal, indica a carga permissível que pode ser aplicada continuamente ao motor. Note-se que se trata de uma sobrecarga contínua, ou seja, de uma reserva de potência que dá ao motor uma capacidade de suportar o funcionamento em condições desfavoráveis. Geralmente fatores de serviço são especificados:

- Quando há problemas de espaço - um motor de determinada potência tem dimensões superiores ao do local da instalação, assim, utiliza-se um de menor potência com um fator de serviço adequado;
- Para permitir uma provável sobrecarga futura devido a mudanças no processo ou aumento da produção;
- Para permitir uma faixa de segurança da determinação tanto da potência como da proteção do motor;
- Para obter um aquecimento menor que o nominal do motor que opera a plena carga, aumentando o tempo de vida do motor.

A norma NBR 7094 fornece o fator de serviço em função da velocidade síncrona e da potência nominal.

Curvas características

O desempenho de um motor em operação pode ser aferido por suas curvas características, as quais apresentam o comportamento da rotação, rendimento, fator de

potência e corrente em função da potência disponibilizada no eixo. O gráfico 2, , exemplifica as curvas características para um motor de 3CV.

A consulta às curvas é simples, ou seja, tendo-se um valor de potência mecânica, algumas grandezas são obtidas diretamente, enquanto outras podem ser calculadas.

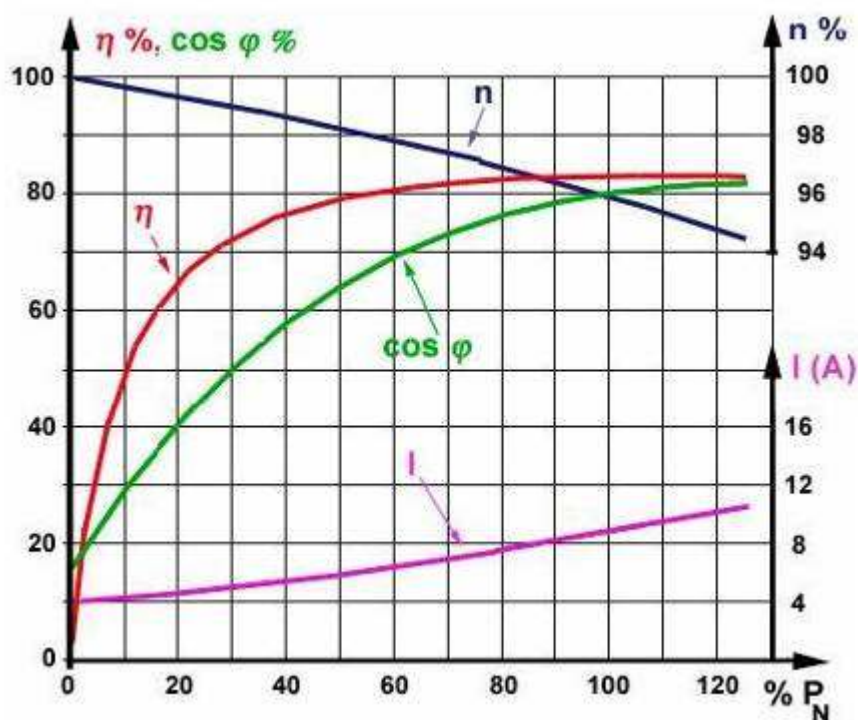


Gráfico 2 – Exemplo de curvas características de um motor de 3CV

Fonte:WEG

3.2.6 Aspectos importantes

No momento da compra de um novo motor, deve-se preocupar, não só com o custo de aquisição, mas também com o custo operacional. Além disso, o custo operacional pode ser reduzido, desde que se atente para alguns aspectos importantes, tais como: superdimensionamento, reparo inadequado do motor, motores de alto rendimento e acoplamento motor-carga. Tais aspectos estão explicados a seguir.

Sob carregamento

Uma das causas mais comuns de operação ineficiente dos motores elétricos é o superdimensionamento. Isso significa que a potência nominal do motor é bem

superior à potência solicitada pela carga a ser adicionada. Nessas condições, o motor não apresenta problemas para acionar a carga, contudo, o consumo de energia é maior do que se o motor tivesse uma potência adequada à carga acionada.

Ao contrário do subdimensionamento (sobrecarga), onde há um aquecimento repentino do motor, sendo rapidamente percebido, o superdimensionamento não traz nenhum incômodo direto ao usuário, o que faz com que ele se perpetue em suas instalações. Várias consequências desfavoráveis decorrem do superdimensionamento, destacando-se:

- Maior custo, volume e peso do motor;
- Redução do fator de potência, sendo necessária a instalação de dispositivos para sua correção;
- Redução do rendimento do motor;
- Maior corrente de partida, acarretando maior custo de instalação e proteção.

Deve-se ressaltar que, embora o superdimensionamento geralmente corresponda a uma redução do rendimento, cada situação deve ser analisada cuidadosamente. Em geral, para cargas entre 75 e 100% da nominal, o motor pode ser considerado bem dimensionado. Sabe-se que quanto menor o carregamento do motor, menor o seu rendimento e, conseqüentemente, maior será o consumo de energia.

Reparo inadequado do motor

A queima de um motor, em uso, provoca uma tomada de decisão: ou se compra um motor novo ou providencia-se o seu reparo. Esta decisão deve ser influenciada por: custo operacional do motor operando em relação ao motor novo; idade do motor; características elétricas ou mecânicas especiais; necessidade de ter o motor de volta em operação imediata.

Geralmente o reparo apresenta um menor custo inicial em relação à aquisição de um novo motor. Entretanto, o motor reparado pode apresentar uma queda do rendimento original. Se o reparo for a opção a ser adotada, é importante procurar uma empresa especializada para não causar danos ao funcionamento do mesmo.

Motores de alto rendimento

O motor de alto rendimento possui rendimento superior ao motor padrão e, conseqüentemente, perdas reduzidas. Isto é possível devido a mudanças no projeto, materiais e processos de fabricação de melhor qualidade.

O preço do motor de alto rendimento é superior ao motor da linha padrão, porém, o motor de alto rendimento consome menos energia para executar o mesmo trabalho realizado pelo padrão. Após algum tempo de operação, a economia obtida deverá compensar e até ultrapassar a diferença entre o seu preço e o do motor equivalente da linha padrão. A economia no consumo de energia e o tempo de retorno no investimento, ao se optar por um motor de alto rendimento ao invés de outro da linha padrão, são funções do seu rendimento, do tempo de operação, da potência solicitada pela carga, da tarifa de energia elétrica e dos seus preços iniciais.

Como resolução da portaria número 553 do ano de 2005, a partir de 8 de dezembro do ano de 2009, seguindo as tendências mundiais de eficiência energética, os motores elétricos terão seus níveis de rendimento aumentados, ou seja, serão comercializados apenas os motores de alto rendimento, saindo de linha os motores padrão. Além da fabricação, passará a ser proibida a importação de motores fora dos novos padrões de eficiência brasileiros, que elevam todos os motores para a categoria de alto rendimento.

O tempo de quatro anos, entre a aprovação da portaria, em 2005, e a proibição da fabricação, em 2009, foi dado para que as empresas pudessem se adaptar às alterações.

Acoplamento motor-carga

O acoplamento é o responsável pela transmissão da potência do motor para a carga. Existem vários tipos de acoplamentos, sendo que a sua definição depende, dentre outros fatores, da velocidade desejada, da potência a ser transferida, da posição relativa entre os eixos e das características da carga mecânica a ser acionada. Dependendo da forma adotada, o rendimento do acoplamento pode variar de 50 a 99%. Por conseguinte, ele pode ter uma influência no rendimento global até maior do que o próprio motor. Os principais tipos são: direto, polias e correias, caixa de engrenagens.

O alinhamento entre o eixo do motor e o da carga representa também uma perda de potência considerável, sendo alvo de estudos e periódicos. A perda de eficiência se dá devido à transmissão ineficiente. Para resolver este ensejo é necessário o alinhamento, utilizando diversas técnicas e recursos. A técnica mais usual é o alinhamento a laser, na qual, através de dispositivos, verifica-se as coordenada x-y da ponta dos dois eixos e através de laminas com dimensões padrão faz com que o centro dos planos x-y de cada ponta de eixo coincidam.

Há no mercado, uma solução, para alinhamento dos motores, que são as bases guiadas. Estas bases são compostas de um sistema de guias e uma plataforma. O motor é fixo na plataforma superior que possui um entalhe de meio círculo. A plataforma inferior é fixa a base e também possui um entalhe na forma de semicírculo. O elemento responsável pelo alinhamento é uma barra circular devidamente usinada e retificada. O conjunto, após montado, deverá ser alinhado a laser. Realizados as aferições ele poderá ser manuseado diversas vezes sem que perca o posicionamento, reduzindo assim os custos com alinhamento.

3.2.7 Dados dos motores ensaiados

Os dados dos dois motores ensaiados, motor padrão e motor de alto rendimento do fabricante WEG, encontram-se na tabela 1. Tais dados são dados de placa dos motores e dados obtidos do catálogo do fabricante.

TABELA 1 – Dados do motor padrão e do motor de alto rendimento.

Descrição/ Características	Motor Padrão	Motor Alto Rend.	Unidades
Tipo	Gaiola	Gaiola	-
Modelo	HM52299	HD74675	-
Carcaça	90S	90S	-
Potência	2,2/3	2,2/3	kW/CV
Rotação	3450	3440	rpm
Fator de serviço	1,15	1,15	-
Reg. operação	S1	S1	-
Máx. Temp. Ambiente	40	40	°C
Rendimento	81,6	85,1	%
Fator de potência	0,84	0,84	-
Conjugado Nominal (Cn)	0,62	0,62	kgf.m
Conj. Rotor Bloqueado (Cp/Cn)	3,0	2,6	-
Conjugado Máximo (Cmáx/Cn)	3,0	3,0	-
Momento de Inércia (J)	0,00205	0,00205	kg.m ²
Tempo Max com rotor bloqueado (s)	5	6	s

Ainda com auxílio do catálogo dos motores, fizeram-se os levantamentos de outros dados dos motores tratados, como o fator de potência (fp) e o rendimento (η) para as condições de 50, 75 e 100% de carga, conforme estão dispostos na tabela 2.

TABELA 2 – Fator de potência e rendimento para diferentes condições de carga de motores padrão e de alto rendimento.

Levantamento de dados em catálogo de motores						
	Rendimento (η)			Fator de potência (fp)		
Condição de carga (%)	50	75	100	50	75	100
M. Padrão	78,5	80,0	81,5	0,66	0,77	0,84
M. Alto rendimento	83,0	85,0	85,1	0,68	0,79	0,84

3.2.8 Ensaio dos motores

A bancada de ensaio conta basicamente com dois motores, uma base de alinhamento analisado e um dispositivo de aplicação e controle da carga aplicada ao eixo do motor. Contando também com o painel de controle das variáveis da aparelhagem e os componentes elétricos, e de uma interface com um computador que administra todo o sistema. Um detalhe da bancada está disposto na imagem da figura que se segue.



Figura 16 – Bancada de ensaio de motores elétricos

O ensaio foi feito submetendo o motor a três diferentes condições de carga, 50, 75 e 100% de sua carga máxima, respectivamente. E assim, foram coletados os dados referentes à potência ativa, à rotação, ao momento e ao fator de potência. Após ter sido feita tal seqüência para o motor padrão, trocou-se o motor para o de alto rendimento e repetiu-se o ensaio.

No ensaio, nota-se a diminuição da rotação com o aumento da carga, e sabe-se que isso ocorre devido ao escorregamento do motor. Para uma mesma carga, tem-se um consumo de potência elétrica inferior no motor de alto rendimento, comprovando sua eficiência. Deve-se ser levada em conta a perda de potência que se tem no acoplamento motor-carga e no alinhamento de tais componentes ao eixo do motor.

As diferenças dos valores da Tabela 3, em relação aos valores obtidos em catálogo são devidas às perdas inesperadas e às condições ambientais de realização do ensaio.

TABELA 3 – Resultados do ensaio dos motores padrão e de alto rendimento.

Coleta de dados na bancada de motores						
	Padrão			Alto rendimento		
Carga (%)	50	75	100	50	75	100

Potência (kW)	1,417	2,139	2,830	1,299	2,008	2,660
Rotação (rpm)	3408	3380	3338	3450	3377	3341
Momento (Nm)	3,00	4,60	6,19	2,98	4,58	6,12
Fator de potência	0,645	0,775	0,836	0,642	0,775	0,834
Rendimento	0,7558	0,7611	0,7647	0,8291	0,8068	0,8049
Pot. Mecânica (kW)	1,071	1,628	2,164	1,077	1,620	2,141

Para o preenchimento da linha de rendimento e de potência mecânica na Tabela 3, foram utilizadas as fórmulas a seguir.

$$P_{Mec} = \frac{2\pi}{60} \times M \times n \qquad M = \frac{60 \times P_{Mec}}{2\pi \times n}$$

$$\eta = \frac{P_{Mec}}{P_{ele}} \qquad P_{Mec} = P_{ele} \times \eta$$

Freio de Foucault

Uma atenção deve ser dada ao equipamento de simulação de carga, o freio de Foucault, e é melhor apresentado a seguir.

O freio de Foucault, ou freio eletrodinâmico, consiste em um freio de descida elétrico, formado por um rotor simples, um estator fixo, que possui duas bobinas e uma célula de carga. As bobinas excitadas eletricamente produzem um campo magnético que induz no rotor girante uma corrente que por sua vez provoca, eletrodinamicamente, o torque de frenagem. O torque de frenagem é controlado pelo CLP, que a partir de uma referência, ou valor desejado de torque, é feita uma comparação entre o valor medido pela célula de carga e a liberação de potência pelo relê de estado sólido. A variável medida pela célula é convertida, proporcionalmente em um sinal de 4 a 20 [mA] e convertido em informação digital pelo CLP através de um cartão analógico. Internamente o clp avalia a tendência de variação do torque levando em consideração a amplitude e o tempo e a liberação de potencia ao estator. A tendência da variável de entrada é analisada de três formas. A tendência proporcional, integral e derivativa com seus respectivos ganhos, deste método de análise, é descrita simplesmente pela sigla PID. O resultado desta análise é a liberação da potencia à bobina objetivando o controle do torque de frenagem no freio de foucault. Esta análise de variáveis de

entrada e alimentação de sinal de saída, chamamos de malha fechada, onde temos como sinal de entrada a medição de torque do freio e como saída temos o sinal de 4-20[mA] enviado ao relê de estado sólido controlando a potência entregue a bobina.

A grande eficiência e precisão deste tipo de frenagem se devem a uma malha fechada e o método de medição e correção serem dinâmicos. A sua construção não prevê contatos mecânico entre o disco girante e a bobinas, como por exemplo, contatos deslizantes, escovas, anéis coletores ou comutadores, pois o rotor não tem ligações mecânicas e, portanto, não proporciona desgaste mecânico.

Os enrolamentos do campo (estator) são fixos e recebem excitação em corrente contínua, criando-se um campo magnético estacionário, dentro do qual gira o rotor. De acordo com a intensidade da corrente, a carga será mais, ou menos freada. O freio de Foucault proporciona características excelentes na relação velocidade/carga, e substitui com vantagens o freio mecânico de descida. Seu funcionamento mais suave e preciso, proporciona anos de uso seguro, fácil e constante nas condições mais severas com cargas nominais sem provocar choques ou desgastes.

Características principais:

- Absorção de potência controlada;
- Alto torque em baixa velocidade;
- Nenhuma perda de eficiência devido a alterações de temperatura;
- Tempo de resposta rápido;
- Boa capacidade térmica;
- Operação em larga faixa de velocidade;
- Isento de desgastes e sem necessidade de ajustes;
- Ausência de escovas, anéis coletores ou comutadores;
- Mancais com rolamentos;
- Boa ventilação;
- Montagem por pés;
- Baixo momento de inércia.

3.3 Análise Econômica

Para a análise econômica, é necessário determinar o investimento necessário, a redução de gastos gerada e o tempo para o qual o investimento é válido. A seguir, estão descritos os modos como estes dados foram determinados, além da análise econômica por três diferentes métodos, considerando que uma nova instalação está

sendo feita e que se deve escolher entre os dois motores. Também há uma análise econômica considerando que a instalação já está em funcionamento com o motor padrão e que se deseja substituí-lo pelo de alto rendimento.

3.3.1 Escolha entre os dois motores para uma nova instalação

Tempo de Investimento

De acordo com a empresa fabricante dos motores, a WEG, a vida útil estimada de ambos é de 20 anos.

Redução de Gastos

O lucro (L) pode ser calculado pela economia anual gerada pela redução de consumo quando se utiliza um motor de alto rendimento. Para isto, foram levados em conta os seguintes dados:

- Tempo de utilização do motor (T_u): 40 horas por semana (horário comercial);
- Consumo do motor de alto rendimento a 75% de carga: 2,139 kW;
- Consumo do motor padrão a 75% de carga: 2,008 kW;
- Diferença de consumo entre o motor de alto rendimento e o motor padrão (ΔC): 0,131 kW;
- Período Seco, segundo a Cemig (PS): de Maio a Novembro – 30,5 semanas;
- Período Úmido, segundo a Cemig (PU): de Dezembro a Abril – 21,5 semanas;
- Classificação da empresa: Grupo A4, modalidade THS Verde;
- Tarifas: $T_{PS} = R\$ 0,17210$ e $T_{PU} = R\$ 0,15619$.

Assim:

$$L = \Delta C \times T_u \times (PS \times T_{PS} + PU \times T_{PU})$$

$$L = 0,131 \times 40 \times (30,5 \times 0,17210 + 21,5 \times 0,15619) = 45,10$$

Portanto, o lucro anual será de R\$ 45,10.

Investimento Necessário

Para calcular o investimento necessário, leva-se em conta a diferença de preço entre os motores:

- Preço do motor de alto rendimento (P_{ar}): R\$ 540,00*;
- Preço do motor padrão: (P_{mp}): R\$ 440,00*.

* Os preços expostos estão de acordo com a empresa representante da WEG no sul de Minas, alocada em Poços de Caldas – MG.

O investimento (I) será dado por:

$$I = P_{ar} - P_{mp} \quad I = 540 - 440 = 100$$

Assim, o investimento será de R\$ 100,00. Com base nestes dados, é possível realizar a análise econômica por três métodos:

Payback

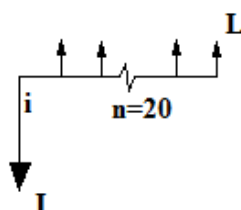
É o método mais simples de análise e consiste em calcular o tempo necessário para que se tenha o retorno do investimento feito. O método não leva em conta nenhuma taxa de juros.

$$Pb = \frac{I}{L} \quad Pb = \frac{100}{45,10} = 2,2$$

Assim, os lucros cobririam o investimento em aproximadamente dois anos e três meses. Salientando-se que esse tempo de retorno pode ser ainda bem menor, considerando o tempo de utilização do motor, aumentando o seu uso o retorno do investimento seria bem mais cedo.

Valor Presente Líquido (VPL)

Neste método, transferem-se todas as receitas geradas pelo investimento para a data presente, utilizando-se uma taxa de juros (i), chamada de taxa mínima de atratividade (TMA). A TMA utilizada varia de empresa para empresa e de investimento para investimento. Neste caso, será utilizada uma TMA de 16%. Para facilitar os cálculos, utiliza-se um fluxo de caixa.



$$VPL = L \times \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} - I$$

$$VPL = 45,1 \times \frac{(1+0,16)^{20} - 1}{(1+0,16)^{20} \times 0,16} - 100 = 167,39$$

Como foi demonstrado, o investimento tem VPL positivo de R\$ 167,39.

Taxa Interna de Retorno (TIR)

Este método calcula a taxa de juros para a qual o investimento seria pago pelos lucros no tempo determinado. Utiliza-se o mesmo método de cálculo do VPL, porém neste caso, o VPL é zero e deseja-se encontrar i . O fluxo de caixa também é o mesmo.

$$VPL = L \times \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} - I$$

$$0 = 45,1 \times \frac{(1+i)^{20} - 1}{(1+i)^{20} \times i} - 100$$

$$i = 0,45074$$

Portanto, a TIR é de 45,074%. Considerando que o investimento praticamente não tem riscos, a TIR encontrada é excelente. Nenhum outro investimento no mercado teria uma TIR próxima a essa.

3.3.2 Análise para a troca do motor de uma instalação já existente

Investimento Necessário

Neste caso, os lucros e o tempo de investimento seriam os mesmos, porém o investimento inicial seria diferente. Para calculá-lo, deve-se levar em conta que o motor em uso pode ser vendido, abatendo o preço da venda no investimento.

Outro fator que deve ser levado em conta é que a troca poderia ser feita ao fim da vida útil do motor atual. Deste modo, o valor desta troca também deve ser descontado do investimento. Porém, se o motor fosse substituído ao fim da vida útil, o período do investimento seria de 20 anos a partir da data da troca. Assim, para se

descontar o valor desta troca do valor do investimento, deve-se primeiro distribuir o valor da troca por seu próprio período de investimento, pelo método do valor anual (VA), e então descontar somente as parcelas que coincidam com o período de investimento caso a troca seja realizada agora.

Também se deve lembrar que só haveria lucro durante a vida útil do motor atual. Após este período o motor seria trocado de qualquer maneira e, portanto, a partir daí o lucro não pode ser levado em conta.

Assim, para se calcular o investimento, deve-se conhecer:

- Preço do motor de alto rendimento (P_{ar}): R\$ 540,00;
- Preço do motor padrão: (P_{mp}): R\$ 440,00;
- Depreciação de motores (d): 10% ao ano.
- Tempo de uso do motor instalado (t): de 1 a 19 anos.

Considerando a mesma TMA de 16%, o VA para a troca ao fim da vida útil é:

$$VA = P_{ar} \times \frac{(1+i)^n \times i}{(1+i)^n - 1}$$

$$VA = 540 \times \frac{(1+0,16)^{20} \times 0,16}{(1+0,16)^{20} - 1} = 91,08$$

Com base no tempo de uso do motor instalado, pode-se calcular o valor do investimento, já descontando o preço de venda e o valor das parcelas de VA coincidentes com o período de investimento. A seguir, serão demonstrados os cálculos considerando que o motor atual tenha apenas um ano de uso ($t = 1$).

$$I = P_{ar} - P_{mp} \times (1 - d \times t) - \frac{VA \times \frac{(1+i)^t - 1}{(1+i)^t \times i}}{(1+i)^{n-t}}$$

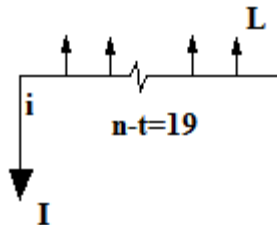
$$I = 540 - 440 \times (1 - 0,1 \times 1) - \frac{91,08 \times \frac{(1+0,16)^1 - 1}{(1+0,16)^1 \times 0,16}}{(1+0,16)^{20-1}} = 139,32$$

O investimento necessário seria de R\$ 139,32.

Payback

$$Pb = \frac{I}{L} \qquad Pb = \frac{139,32}{45,10} = 3,1$$

Assim, os lucros cobririam o investimento em aproximadamente três anos e um mês.

Valor Presente Líquido (VPL)

$$VPL = L \times \frac{(1+i)^{n-t} - 1}{(1+i)^{n-t} \times i} - I$$

$$VPL = 45,1 \times \frac{(1+0,16)^{19} - 1}{(1+0,16)^{19} \times 0,16} - 139,32 = 125,75$$

Como foi demonstrado, o investimento tem VPL positivo de R\$ 125,75.

Taxa Interna de Retorno (TIR)

$$VPL = L \times \frac{(1+i)^{n-t} - 1}{(1+i)^{n-t} \times i} - I \qquad 0 = 45,1 \times \frac{(1+i)^{19} - 1}{(1+i)^{19} \times i} - 139,32$$

$$i = 0,32211$$

Portanto, a TIR é de 32,211%.

Na Tabela 4, estão os resultados para as análises econômicas considerando o tempo de uso do motor padrão instalado entre dois e 19 anos.

TABELA 4 – Análise econômica da troca de um motor padrão por um de alto rendimento

t (anos)	Preço de venda (R\$)	Troca do motor ao final da vida útil (R\$)	Investimen to necessário (R\$)	Paybac k (anos)	VPL (R\$)	TIR (%)
2	352,00	10,11	177,89	3,9	84,49	24,9
3	308,00	16,41	215,59	4,8	43,67	20
4	264,00	23,71	252,29	5,6	3,36	16,3
5	220,00	32,19	287,81	6,4	-36,36	13,2
6	176,00	42,02	321,98	7,1	-75,40	10,6
7	132,00	53,42	354,58	7,9	-113,64	8,1
8	88,00	66,65	385,35	8,5	-150,96	5,7
9	44,00	81,99	414,01	9,2	-187,22	3,1
10	0,00	99,79	440,21	9,8	-222,23	0,4
11	0,00	120,43	419,57	9,3	-211,81	-0,7
12	0,00	144,38	395,62	8,8	-199,72	-2
13	0,00	172,17	367,83	8,2	-185,69	-3,7
14	0,00	204,39	335,61	7,4	-169,43	-5,8
15	0,00	241,78	298,22	6,6	-150,55	-8,6
16	0,00	285,14	254,86	5,7	-128,66	-12,6
17	0,00	335,44	204,56	4,5	-103,27	-18,1
18	0,00	393,79	146,21	3,2	-73,81	-26,9
19	0,00	461,48	78,52	1,7	-39,64	-42,6

Pela tabela, é possível perceber que a troca é viável se o motor padrão em uso tiver no máximo quatro anos de uso. Caso ele tenha mais tempo que isso, é mais interessante esperar que sua vida útil acabe. Mas também se deve lembrar que a tabela não leva em conta uma provável perda de rendimento do motor com o passar do tempo e que a TMA utilizada é alta. Com uma TMA de 8%, por exemplo, a troca do motor seria viável se o motor tivesse até oito anos de uso.

Outro fato que pode ser levado em conta é que o motor está sendo utilizado por apenas 40 horas semanais. Com o aumento do tempo de uso do motor, o investimento se torna cada vez mais atrativo.

3.4 Conclusão sobre Motores de Indução

Fazendo-se uma análise dos valores obtidos do ensaio e os calculados, como o rendimento, é possível notar o acréscimo do rendimento para os motores de alto rendimento em relação aos motores padrão. Para os de alto rendimento, o maior valor do rendimento é observado para a condição de menor carga, ou seja, 50%. Ao se aumentar a carga, em ambos os motores, nota-se uma queda na rotação, devido ao escorregamento.

Como dito, as diferenças dos valores de ensaio com os valores tabelados é devido às condições de ensaio, incluindo as perdas de acoplamento motor-carga, as condições ambientais, e os diferentes meios de tomada de dados em relação ao fabricante.

Ao se fazer a análise econômica notou-se a viabilidade que os motores de alto rendimento apresentam em relação aos motores padrão, tanto em um novo projeto que deve ser escolhido, ou na substituição do motor em uso. Os cálculos feitos apresentaram o tempo de retorno do investimento e a taxa interna de retorno, bem como um método de comparação entre duas situações, que é o valor presente líquido, VPL.

Como sabido, os motores sobrecarregados apresentam um alto potencial de economia de energia, já que a maioria dos motores em uso no país apresenta alguma condição de consumo indevido de energia. Portanto, um programa bem estruturado de eficiência é capaz de detectar tais tipos de falhas no sistema e produzido um retorno econômico considerável, bem como contribuir para a diminuição no consumo de energia de todo o país.

Vale também ressaltar a importante contribuição do governo e dos ministérios envolvidos na criação da portaria número 553 no ano de 2005, e que vigora a partir de 8 de dezembro do ano de 2009, na qual foram definidos os padrões dos motores nacionais ou importados ao mercado brasileiro. Isto representa um grande passo nos programas de melhoria no consumo de energia e fez o Brasil dar um passo a frente e mostrar ferramentas como as dos países desenvolvidos, na preocupação sobre o consumo de energia. Estas ações, conduzidas pelo governo, conduzem ao desenvolvimento sustentável para o nosso país.

4 SISTEMAS DE AR COMPRIMIDO

A energia elétrica, dentre as formas de energia secundária existentes no planeta, é a mais flexível, a mais eficiente, e a mais pura e de fácil transporte. Porém, como sua produção e regulação vão se tornando cada vez mais complexa e dispendiosa e a crescente demanda por mais energia é necessário que o usuário se conscientize da necessidade de utilizá-la da maneira mais eficiente possível, reduzindo ao máximo as perdas e os desperdícios. Neste contexto destaca-se a figura do Procel que vem motivando e disseminando de forma sólida e estratégica as ações e melhores práticas em eficiência energética. Seja através do selo, que condecora as empresas que mais evoluíram seus produtos no contexto de eficiência energética ou no fomento a pesquisa. As ações desta autarquia ficam explicitadas no site e nos *emails* sobre as ações, novas leis, novos programas, nos quais se percebe o nortear a este amplo desafio de relacionar o conhecimento à prática e disseminação. Anualmente são divulgados os resultados do programa e comprova-se a realização do ensejo. Dentre os custos que compõem o preço da energia, a transmissão representa uma boa parcela, daí a necessidade da geração distribuída e o incentivo a pequenos empreendimentos de geração que são os casos das PCH, pequenas centrais hidroelétricas, geração termoelétrica através de metano (CH₄), biomassa, entre elas o

bagaço de cana, sobras de madeira etc. A utilização do ar comprimido como insumo e vetor energético é larga e intensamente difundida nas indústrias. Atualmente, a produção desta utilidade é diretamente proporcional ao consumo de energia elétrica. Pode-se até dizer que o ar comprimido é o ar eletricamente capacitado a realizar trabalho, ou seja, perda de ar comprimido significa perda de energia elétrica.

Tendo em vista o contexto atual, deve-se buscar a otimização nas instalações, objetivando a eficiência energética tanto na geração quanto no tratamento, distribuição e consumo do ar comprimido.

4.1 Objetivo

O objetivo deste capítulo é apresentar análise dos dados obtidos e manipulados na bancada de sistemas de ar comprimido, de forma a obter as condições propícias de operação do compressor ensaiado. Também constarão neste capítulo as conclusões necessárias a respeito dos ensaios e também sobre o potencial de economia de energia nos sistemas de ar comprimido.

4.2 Desenvolvimento

4.2.1 Considerações teóricas

Os compressores são máquinas térmicas geradoras, destinadas a manter em determinado meio, uma pressão diferente da atmosférica. De outra forma, são máquinas que aumentam a pressão de um gás ou mistura de gases. No Brasil, o termo “compressor” aplica-se a todo o conjunto constituído por: equipamento de compressão, motor, reguladores, etc.

Um ventilador é um compressor, pois a pressão do ar descarregado é maior do que a do ar succionado e, pelo mesmo motivo, a bomba de vácuo também é um compressor, pois succiona de uma pressão bem abaixo da atmosférica e descarrega a uma pressão próxima a da atmosfera. O termo “sopradores” é usado com certa freqüência para designar as máquinas cujas características as colocam entre os ventiladores e os compressores.

Destaca-se ainda que no processo de compressão, por forçarem as moléculas do gás a se aproximarem uma das outras, os compressores consomem trabalho. Como conseqüência, o número de choques entre as moléculas também aumenta, elevando assim sua temperatura. O aumento da temperatura da descarga não depende apenas

da relação de compressão e temperatura de sucção, mas também da natureza do gás (Flôres, s/d).

4.2.2 Classificação dos compressores

Quanto ao princípio de concepção

São dois os princípios conceptivos no qual se fundamentam todas as espécies de compressores de uso industrial: volumétrico e dinâmico.

Nos *compressores volumétricos* ou de deslocamento positivo, a elevação de pressão é conseguida através da redução do volume ocupado pelo gás. Na operação dessas máquinas podem ser identificadas diversas fases, que constituem o ciclo de funcionamento. Certa quantidade de gás é admitida no interior de uma câmara de compressão, que então é cerrada e sofre redução de volume. Finalmente, a câmara é aberta e o gás 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.

Os *compressores dinâmicos* ou compressores de fluxo possuem dois órgãos principais: impelidor (i) e difusor (ii). O impelidor (i) é um órgão rotativo munido de pás que transfere ao gás a energia recebida de um acionador. Essa transferência de energia se faz, em parte, na forma cinética e em outra parte na forma de entalpia. Posteriormente, o escoamento estabelecido no impelidor é recebido por um órgão fixo denominado difusor (ii), cuja função é promover a transformação da energia cinética do gás em entalpia, com conseqüente ganho de pressão. Os compressores dinâmicos efetuam o processo de compressão de maneira contínua, e, portanto correspondem exatamente ao que se denomina, em termodinâmica, um volume de controle (Flôres, s/d).

Quanto à admissão de fluido

Quanto à admissão de fluido, os compressores podem ser classificados em relação ao pistão, sendo de simples efeito (i) (tronco – admissão de um lado do pistão) ou de duplo efeito (ii) (cruzeta – admissão dos dois lados do pistão). E podem ser classificados em relação ao fluxo, sendo de **fluxo simples** ou **fluxo duplo**.

Quanto ao número de cilindros

São divididos em compressores monocilíndricos (i) (apenas um cilindro) ou policilíndricos (ii) (mais de um cilindro).

Quanto ao número de estágios

São classificados como compressores de simples estágio (i) ou de múltiplos estágios (ii).

Quanto à disposição dos cilindros

De acordo com a disposição dos cilindros, podem-se ter várias configurações de compressores de êmbolo, conforme a figura seguinte:

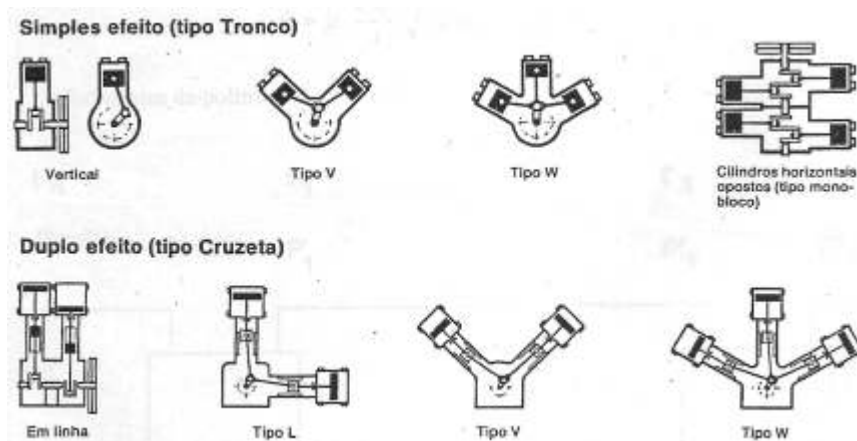


Figura 17 – Disposição de cilindros para compressores de êmbolo

Quanto às válvulas (pistão)

As válvulas nos compressores a pistão podem ser automáticas (i) ou comandadas (ii).

Quanto à refrigeração

A refrigeração dos compressores pode ser a ar (i), do tipo direta, com a existência de aletas no corpo do cilindro para aumentar a área de contato; como também pode ser a água (ii), com uma dupla parede formando uma cavidade de circulação de água nos cilindros.

Quanto à direção do escoamento no rotor (fluxo)

O escoamento no rotor de um compressor pode ser axial (i), com o fluxo paralelo ao eixo do rotor, e também pode ser radial (ii), caso em que o fluxo é perpendicular ao eixo do rotor.

4.2.3 Componentes básicos

Levando-se em conta o caso de compressores alternativos, por serem estes os mais intuitivos em estudos termodinâmicos, na próxima figura há um detalhamento dos principais componentes de um compressor a pistão alternativo de um cilindro e um estágio.

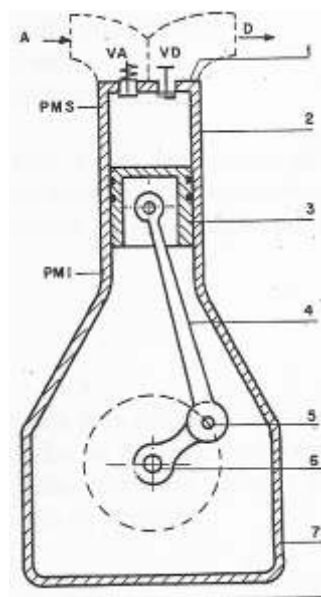


Figura 18 – Componentes de compressores

Abaixo estão os componentes de um compressor e suas principais funções:

1. **Cabeçote**, cuja função é fechar a parte superior do cilindro e suportar as válvulas;
2. **Cilindro**, que é o compartimento de compressão e serve de guia para o êmbolo;
3. **Êmbolo**, que tem a finalidade de comprimir o ar no interior do cilindro;
4. **Biela**, que tem por objetivo transmitir a força da árvore para o êmbolo e transformar o movimento angular em linear;
5. **Manivela**, que gira junto com a árvore e transmite movimento para a biela;
6. **Árvore de manivelas**, que transmite o torque proveniente de um meio externo, por exemplo, um motor, para o conjunto biela e manivela;

7. **Cárter**, que faz a cobertura da parte inferior do compressor e serve como reservatório de óleo para lubrificação.

VA – Válvula de admissão, a qual regula a entrada de fluido;

VD – Válvula de descarga, a qual regula a descarga do fluido;

PMI – Ponto morto inferior, que é o ponto mais baixo atingido pelo êmbolo;

PMS – Ponto morto superior, que é o ponto mais alto atingido pelo êmbolo.

4.2.4 Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento de um compressor alternativo de um estágio é descrito a seguir.

Esse tipo de máquina é utilizado em sistema biela-manivela para converter o movimento rotativo de um eixo no movimento translacional de um pistão ou êmbolo, como mostra a figura 19. Dessa maneira, a cada rotação do acionador, o pistão efetua um percurso de ida e outro de vinda na direção do cabeçote, estabelecendo um ciclo de operação.

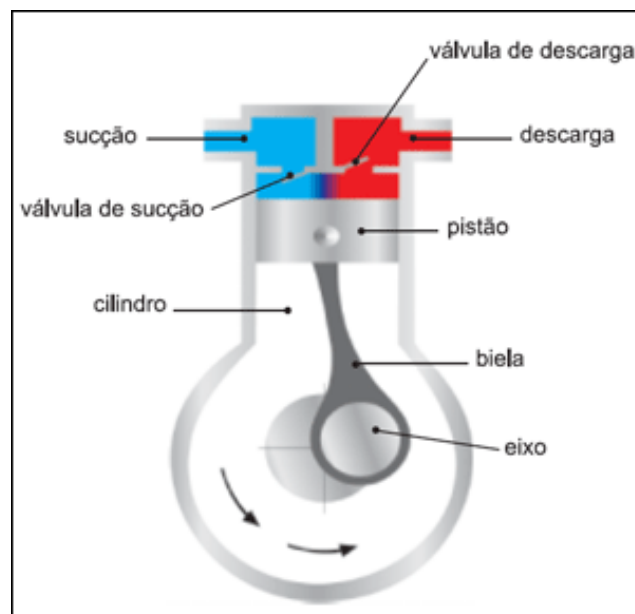


Figura 19 – Compressor alternativo

O funcionamento de um compressor alternativo está intimamente associado ao comportamento das válvulas. Elas possuem um elemento móvel denominado

obturador, que funciona como um diafragma, comparando as pressões interna e externa ao cilindro. O obturador da válvula de sucção se abre para dentro do cilindro quando a pressão na tubulação de sucção supera a pressão interna do cilindro, e se mantém fechado em caso contrário. O obturador da válvula de descarga se abre para fora do cilindro quando a pressão interna supera a pressão na tubulação de descarga, e se mantém fechado na situação inversa. Com isso, temos as etapas do ciclo de funcionamento do compressor mostradas na figura 20.

Na etapa de admissão, o pistão se movimenta em sentido contrário ao cabeçote, fazendo com que haja uma tendência de depressão no interior do cilindro que propicia a abertura da válvula de sucção e então o fluido é aspirado. Ao inverter-se o sentido de movimentação do pistão, a válvula de sucção se fecha e o gás é comprimido até que a pressão interna do cilindro seja suficiente para promover a abertura da válvula de descarga. Isso caracteriza a etapa de compressão. Quando a válvula de descarga se abre, a movimentação do pistão faz com que o gás seja expulso do interior do cilindro. Essa situação corresponde à etapa de descarga e dura até que o pistão encerre o seu movimento no sentido do cabeçote. Ocorre, porém, que nem todo o gás anteriormente comprimido é expulso do cilindro. A existência de um espaço morto ou volume morto, compreendido entre o cabeçote e o pistão no ponto final do deslocamento do pistão, faz com que a pressão no interior do cilindro não caia instantaneamente quando se inicia o curso de retorno. Nesse momento, a válvula de descarga se fecha, mas a de admissão só se abrirá quando a pressão interna cair o suficiente para permiti-lo. Essa etapa, em que as duas válvulas estão bloqueadas e o pistão se movimenta em sentido inverso ao do cabeçote, se denomina etapa de expansão, e precede a etapa de admissão de um novo ciclo.

Existem vários tipos de compressores, como por exemplo, os compressores Roots (lôbulos), compressores de palhetas, compressores de parafusos, compressores centrífugos (radiais), compressores axiais, entre outros. No caso, foi descrito apenas o compressor alternativo, objeto de interesse. (Flôres, s/d).

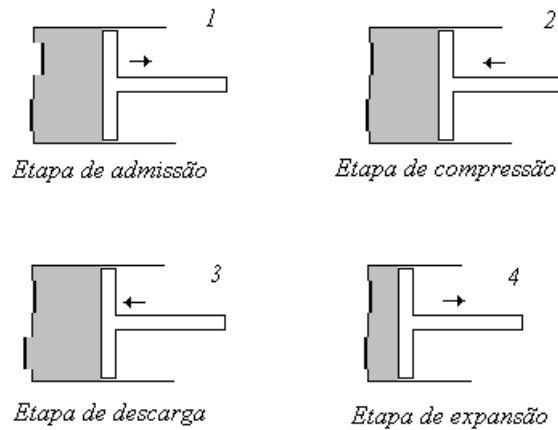


Figura 20 – Etapas de funcionamento de um compressor

4.2.5 Ciclo Termodinâmico

A seguir, a figura apresenta uma representação do ciclo teórico de um compressor a pistão de um estágio no diagrama p.V.

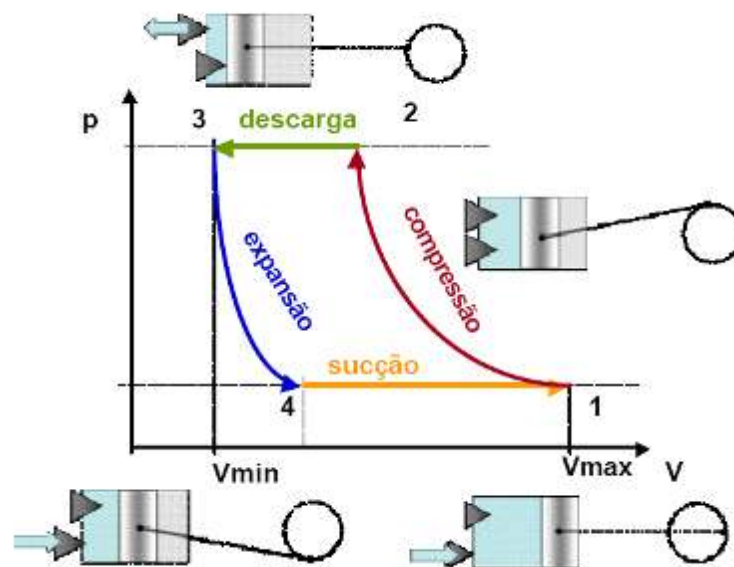


Figura 21 – Diagrama indicado teórico

O ponto 3 na figura corresponde ao momento em que o pistão se encontra no PMS. O volume mínimo, que corresponde a esta posição se denomina volume morto. Neste momento começa o movimento do pistão para baixo, no qual ocorre a expansão do próprio gás contido no volume morto, com a conseqüente queda de pressão. No ponto 4 se abre a válvula de admissão do gás, entrando uma nova carga; ao mesmo

tempo em que entra uma nova carga o pistão se desloca até o volume máximo, no ponto 1. Neste momento se fecha a válvula de admissão e começa a compressão da carga, processo que vai até o ponto 2. No ponto 2, abre-se a válvula de descarga, o pistão se desloca de 2 a 3, expulsando a carga do cilindro, da qual fica apenas uma pequena massa no volume morto do cilindro.

Os processos de expansão e compressão são idealmente isentrópicos, se não houver geração de irreversibilidade, nem perda de calor. Na prática, isto não acontece, sendo ambos politrópicos. O diagrama representado na próxima figura corresponde a um processo real de um compressor desconhecido, pois será usado apenas para observações.

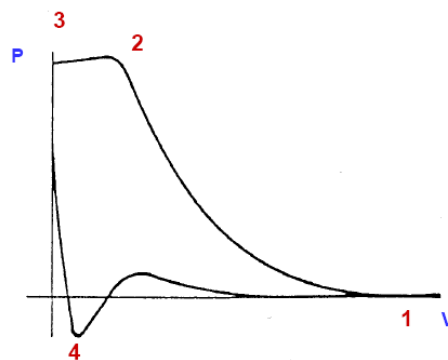


Figura 22 – Diagrama indicado p.V real

Como se pode observar, o diagrama real é bastante próximo do ideal, notadamente ele se afasta no ponto 4, onde a pressão dentro do cilindro cai um pouco abaixo da atmosférica no momento da sucção de nova carga, subindo logo depois um pouco acima. Na descarga, de 2 para 3, se observa uma leve queda na pressão. O máximo valor da pressão é obtido no ponto 2. O processo de compressão é politrópico, e o coeficiente politrópico pode ser obtido a partir da curva 1 – 2 (Flôres, s/d).

4.2.6 Aplicações do ar comprimido

O ar comprimido, ao longo tempo, tem sido usado para várias finalidades industriais, como no acionamento de ferramentas pneumáticas, no acionamento mecânico e no comando de válvulas em sistemas de controle.

O ar comprimido é largamente utilizado em quase todos os setores industriais. A seguir há uma relação de aplicações do ar comprimido.

- Puxar e grampear com ar comprimido;

- Transporte por ar comprimido;
- Sistemas de acionamento pneumático;
- Jateamento com ar comprimido;
- Operações com sopro de ar e jato de água;
- Operações de inspeção e teste;
- Controle de processos com ar comprimido;
- Aplicações especializadas: mineração, construção civil, indústria química, indústria da energia, saúde, artes e ofícios, processamento de madeira e papel, fundição e laminação de aço, agricultura, alimentos, indústria têxtil, transportes, etc.

4.2.7 Seleção e instalação eficiente do sistema

Várias decisões devem ser tomadas quanto à seleção de um sistema de ar comprimido, de modo a obter o melhor desempenho com a maior economia e se preparar para futuras ampliações. O espaço físico deverá ser estudado, já que a pressão de trabalho é um fator crítico, e a qualidade do ar deve merecer atenção.

Na fase de projeto ou ao estudar uma atualização do sistema de ar comprimido, sugere-se a adoção de alguns critérios para a seleção do novo sistema, sendo eles:

- Utilizar compressores com sistema de comando de carga múltiplo (100%, 75%, 50%), pois assim se adapta a diferentes vazões de consumo da fábrica sem a necessidade de jogar o excesso fora ou de aumentar a relação de compressão;
- Adotar compressores com mais de um estágio, pois, em média, um compressor de dois estágios consome 8% menos energia elétrica que o de um estágio. O rendimento é melhor devido ao resfriamento intermediário do ar;
- Usar motores elétricos de alto rendimento para o acionamento dos compressores. Já que a partir de 8 de dezembro deste ano de 2009, deverão ser produzidos e comercializados apenas os motores considerados de alto rendimento, contribuindo em muito para a economia de energia elétrica industrial;
- Dar preferência para acoplamento direto por engrenagens entre o compressor e o acionamento. Esse tipo de transmissão é 3% mais eficiente que a transmissão por polias e correias;

- Adotar secadores de ar, principalmente aqueles que produzem baixa perda de pressão e que permitem dar uma qualidade inquestionável ao ar comprimido, além de economia de manutenção e eliminação da maioria dos purgadores;
- Utilizar filtros coalescentes com baixa perda de carga;
- Usar compressores automatizados com microprocessador, controlador, seqüenciador incorporados, que eliminam perdas por falha humana e fornecem informações úteis para ações de efficientização;
- Planejar e projetar, sempre que possível, a tubulação principal de distribuição de ar comprimido em forma de anel;
- Implantar um programa preventivo de troca dos elementos de filtros do compressor e dos filtros coalescentes, evitando o aumento da perda de carga entre a geração e o consumo;
- Projetar a sala do compressor de modo a permitir que a temperatura de admissão do ar seja a mais fria possível, isenta de poeiras e outros produtos que possam contaminar o ar.

4.2.8 Diretrizes para melhoria de desempenho

Algumas medidas são necessárias para melhoria do desempenho do sistema. A seguir encontra-se um plano com oito passos para melhorar a performance de sistemas de ar comprimido, para orientação de empresas especializadas em redução de consumo energético no ar comprimido:

- Desenvolver um diagrama de blocos do sistema;
- Criar um perfil de pressões para o sistema: Determinar as necessidades reais da qualidade do ar e o tratamento apropriado; verificar se existe a possibilidade de reduzir a pressão nos pontos de consumo que necessitam de pressões mais altas; verificar se existe a possibilidade de reduzir o consumo nos pontos de maior consumo; e verificar se o uso do ar nos pontos de consumo está correto e se as aplicações são adequadas.
- Desenvolver um plano de manutenção para todo sistema de ar comprimido;
- Analisar o sistema de controle existente e verificar se é possível efetuar melhorias na estratégia de controle;
- Balancear a produção do ar com o consumo;
- Implementar estratégias para manter este balanço;

- Procurar a ajuda da gerência de produção da planta de produção: Criar metas para a tomada de decisão; desenvolver um plano de custo benefício dirigido à redução de custos de operação; relatar as ocorrências à gerência de forma eficiente; efetuar medições anteriores e posteriores às melhorias.
- Medir os parâmetros necessários: Vazão, pressão, temperatura, potência, energia consumida e custos reais.

4.3 Descrição do ensaio

Quando se adquire um equipamento novo, é necessário conferir se este se encontra no estado ideal de funcionamento. No caso de um compressor, o funcionamento é verificado por meio do ensaio de recepção de compressores. Neste ensaio, foram medidas algumas variáveis básicas de funcionamento do compressor, tais como pressões, temperaturas e potência consumida. Em seguida calculam-se outras variáveis, tais como rendimento, consumo específico, entre outras. Todas estas variáveis devem atender aos requisitos da instalação para a qual o compressor foi adquirido.

Neste ensaio, foram determinados oito valores de pressão, medidas no reservatório através do transmissor PT-05. O faixa de pressão foi de 1 à 4,5 kgf/cm² variando de 0,5 em 0,5. Para cada um destes valores de pressão, foram medidas a pressão e temperatura na admissão do compressor, após o primeiro estágio, na entrada e na saída do segundo estágio. As vazões são medidas na entrada e saída. Também são medidas a rotação do motor e as propriedades elétricas da bancada.

Os sensores foram ligado ao CLP da ATOS, onde os sinais são tratados e em seguida aquisitados pelo supervisor. Os intervalos de aquisição são de 1 segundo. Os dados são disponibilizados em uma tabela, para serem encontrando os valores médios para cada nível de pressão ajustado.



Figura 23 – Bancada de ensaio

4.3.1 Manipulação dos dados

TABELA 5 – Média dos valores obtidos no ensaio (a)

Pb	T0	f	PT-1	TT-1	PT-2	TT-2	PT-3	TT-3
mmHg	°C	%	Kgf/cm ²	°C	Kgf/cm ²	°C	Kgf/cm ²	°C
Barom.	Tem	Higrom	Transmissor de pressão	Pt-100	Transmissor de pressão	Pt-100	Transmissor de pressão	Pt-100
693,0	24,5	42,0	-0,451	22,72 3	1,260	144,2 47	1,177	83,109
693,0	24,5	42,0	0,437	23,03 5	1,411	151,2 63	1,216	89,079
693,0	24,5	42,0	-0,453	23,30 0	1,307	154,4 37	1,348	91,372
693,0	24,5	42,0	-0,506	23,73 9	1,467	158,5 78	1,403	94,486
693,0	24,5	42,0	-0,528	23,94 0	1,537	159,9 60	1,428	95,272
693,0	24,5	42,0	-0,432	24,12 8	1,544	162,1 78	1,371	96,200
693,0	24,5	42,0	-0,523	24,41 5	1,711	163,5 00	1,426	96,991

693,0	24,5	42,0	-0,545	24,75 0	1,644	164,6 08	1,468	97,458
-------	------	------	--------	------------	-------	-------------	-------	--------

TABELA 6 – Média dos valores obtidos no ensaio (b)

PT-4	TT-4	PT-5	TT-5	Pel	ηel	N (Rotação)
Kgf/cm²	°C	Kgf/cm²	°C	cv	%	Rpm
Transmissor de pressão	Pt-100	Transmissor de pressão	Pt-100	graf	Graf.	TAC
1,172	73,230	1,000	25			3494,492
1,756	83,315	1,500	25			3484,194
2,153	92,413	2,000	25			3475,200
2,833	107,086	2,500	25			3470,861
3,244	113,416	3,000	25			3474,772
3,834	123,638	3,500	25			3468,865
4,232	132,208	4,000	25			3467,547
4,790	139,976	4,500	25			3458,544

4.3.2 Desenvolvimento dos dados

A partir dos dados obtidos no ensaio foi possível calcular os valores para preencher a Tabela 3. A seguir, serão demonstrados os cálculos para a primeira linha da tabela.

Pressões absolutas

As pressões PT-1, PT-2, PT-3, PT-4 e PT-5 são relativas. Portanto, foi necessário somar a elas a pressão barométrica P_b , para obter valores absolutos. A seguir, tem-se o cálculo da pressão absoluta de PT-1.

$$1\text{mmHg} = 0,00135951 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

$$693 \text{ [mmHg]} = 0,942 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

$$PT-1 = PT-1 + P_b = -0,451 + 0,942 = 0,491 \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

Temperaturas

As temperaturas medidas estão em °C, e, portanto, devem ser transformadas para Kelvin. A seguir, tem-se o cálculo para TT-1.

$$TT-1 = TT-1 + 273,15 = 22,723 + 273,15 = 295,873 \text{ [K]}$$

Peso específico

Uma vez que o ar está sendo comprimido, seu peso específico muda a cada medição da bancada de ensaio. A seguir, será demonstrado o cálculo do peso específico na admissão do ar. A pressão utilizada deve ser absoluta, em Pa, e a temperatura em K.

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T}$$

$$\rho_0 = \frac{PT_0}{R \times TT_0}$$

$$\rho = \frac{0,942 \times 98066,5}{287 \times 297,65} = 1,082 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

Vazão mássica

Teoricamente, a vazão mássica se mantém constante durante a compressão. Na prática, há sempre algum vazamento que não pode ser evitado. Neste caso, a vazão será considerada constante e será calculada a partir da vazão volumétrica obtida na entrada de ar do sistema.

$$\dot{m} = \rho \times V \cdot \omega$$

$$\dot{m} = \rho_0 \times V \cdot \omega$$

$$\dot{m} = 1,082 \times 4,189 \times 10^{-3} = 7,239 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Índice da Politrópica

A compressão real realizada segundo uma politrópica. Portanto, a partir das temperaturas e pressões de entrada e saída de cada estágio, é possível calcular o Índice da Politrópica.

$$n = \frac{1}{1 + \frac{\ln(T_e / T_s)}{\ln(P_s / P_e)}}$$

$$n_1 = \frac{1}{1 + \frac{\ln(TT1 / TT2)}{\ln(PT2 / PT1)}}$$

$$n_2 = \frac{1}{1 + \frac{\ln(TT3 / TT4)}{\ln(PT4 / PT3)}}$$

$$n_1 = \frac{1}{1 + \frac{\ln(295,873 / 417,397)}{\ln(2,202 / 0,491)}}$$

$$n_2 = \frac{1}{1 + \frac{\ln(356,259 / 346,380)}{\ln(2,114 / 2,119)}}$$

$$n_1 = 1,258$$

$$n_2 = 1,143$$

Grau de fornecimento

O grau de fornecimento mostra uma relação entre o fluxo de massa real obtido no ensaio e o fluxo de massa teórico, calculado por meio do volume útil dos cilindros e da rotação.

$$\lambda = \frac{\dot{m}_{real}}{\dot{m}_{teórico}} = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot V_c \cdot n}$$

$$\lambda_1 = \frac{\dot{m}}{\rho_1 \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot C_1 \cdot n}$$

$$\lambda_2 = \frac{\dot{m}}{\rho_3 \cdot \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot C_2 \cdot n}$$

$$\lambda_1 = \frac{7,239 \times 10^{-3}}{0,567 \times \frac{\pi \times 0,1013^2}{4} \times 0,07 \times 3494,492} = 0,388$$

$$\lambda_2 = \frac{7,239 \times 10^{-3}}{2,033 \times \frac{\pi \times 0,0632^2}{4} \times 0,07 \times 3494,492} = 0,278$$

Calor Retirado no intercooler

O resfriamento no intercooler também segue uma politrópica. É possível calcular o índice desta politrópica e com ele, o calor retirado no intercooler.

$$n_{int} = \frac{1}{1 + \frac{\ln(TT2/TT3)}{\ln(PT3/PT2)}}$$

$$n_{int} = \frac{1}{1 + \frac{\ln(417,397/356,259)}{\ln(2,119/2,202)}}$$

$$n_{int} = -0,320$$

Calculado o índice, deve-se calcular o calor específico. Cv e K são constantes e valem, respectivamente, 747 e 1,4 .

$$Cn = Cv \times \frac{k-n}{1-n}$$

$$Cn = 747 \times \frac{1,4 + 0,320}{1 + 0,320}$$

$$Cn = 973,318 \left[\frac{J}{kg \times K} \right]$$

Então, pode-se calcular o calor retirado no intercooler pela seguinte expressão:

$$Q = \dot{m} \times C_n \times (TT3 - TT2)$$

$$Q = 7,239 \times 10^{-3} \times 973,318 \times (356,259 - 417,397)$$

$$Q = -430,760 [W]$$

4.3.3 Valores calculados

TABELA 7 – Grandezas obtidas da manipulação dos dados obtidos no ensaio.

Pem	Peixo	n1	n2	λ_1	λ_2	ce	$N_{intercooler}$	Cn	Qr	$\eta_{isto.}$	η_{global}
kW	kW	-	-	-	-	KW(m ³ /min)	-	J/kg.K	W	%	%
-	-	1,298	-0,092	0,388	0,278	-	-0,320	973,318	-430,760	-	-
-	-	1,305	0,933	0,367	0,270	-	-1,203	882,654	-384,139	-	-
-	-	1,316	1,010	0,336	0,227	-	0,102	1079,627	-421,439	-	-
-	-	1,281	1,076	0,349	0,207	-	-0,201	995,738	-365,135	-	-
-	-	1,267	1,092	0,340	0,189	-	-0,385	962,747	-329,916	-	-
-	-	1,317	1,647	0,259	0,182	-	-0,782	914,675	-298,611	-	-
-	-	1,262	1,132	0,299	0,169	-	-2,202	840,319	-261,976	-	-
-	-	1,259	1,143	0,306	0,161	-	-0,734	919,330	-279,690	-	-

4.3.4 Resultados dos ensaios

O consumo de potência elétrica do motor não foi medido durante os ensaios. Deste modo, não é possível calcular a potência de eixo que chega ao compressor, o consumo específico e os rendimentos.

Tendo conhecimento destes dados e também da potência de atrito do compressor, seria possível construir alguns gráficos e o diagrama de Sankey. Estas ferramentas ajudariam a compreender para onde a energia está indo e qual a influência de alguns fatores no aproveitamento energético.

4.4 Diretrizes para melhoria de desempenho

A seguir encontra-se um plano com oito passos para melhorar a performance de sistemas de ar comprimido, para orientação de empresas especializadas em redução de consumo energético no ar comprimido.

1. Desenvolver um diagrama de blocos do sistema;
2. Criar um perfil de pressões para o sistema: Pontos importantes: determinar as

necessidades reais da qualidade do ar e o tratamento apropriado; verificar se existe a possibilidade de reduzir a pressão nos pontos de consumo que necessitam de pressões mais altas; verificar se existe a possibilidade de reduzir o consumo nos pontos de maior consumo; e verificar se o uso do ar nos pontos de consumo está correto e se as aplicações são adequadas.

3. Desenvolver um plano de manutenção para todo sistema de ar comprimido;
4. Analisar o sistema de controle existente e verificar se é possível efetuar melhorias na estratégia de controle;
5. Balancear a produção do ar com o consumo;
6. Implementar estratégias para manter este balanço;
7. Procurar a ajuda da gerência de produção da planta de produção: Criar metas para a tomada de decisão; desenvolver um plano de custo benefício dirigindo a redução de custos de operação; relatar as ocorrências à gerência de forma eficiente; efetuar medições anteriores e posteriores às melhorias.
8. Medições de parâmetros necessários: Vazão, pressão, temperatura, potência, energia consumida e custos reais.

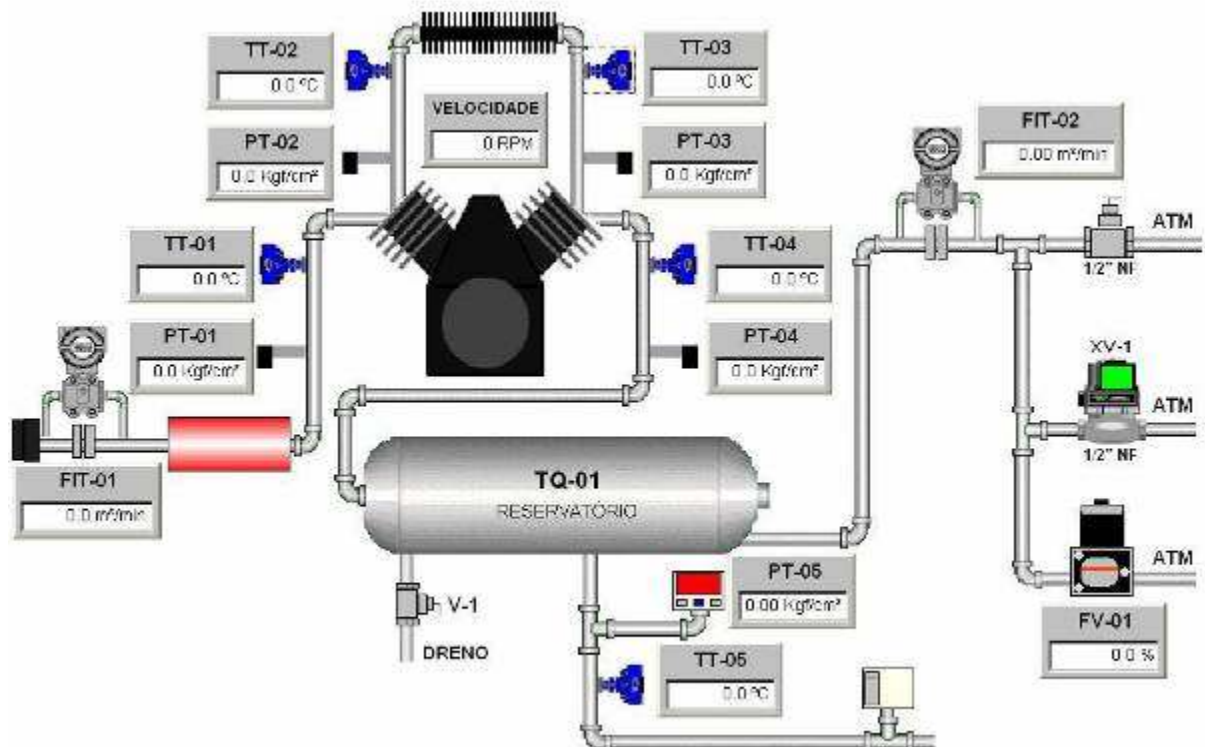


Figura 24 – Diagrama da Bancada de Compressões

Fonte: EXCEN

4.5 Conclusão sobre Sistemas de Ar Comprimido

De modo geral, o comportamento do compressor pode ser considerado satisfatório. Porém, algumas observações podem ser feitas. A pressão de entrada do primeiro estágio se mostrou muito baixa se comparada à pressão de admissão. Para todas as medições realizadas. Portanto, é provável que haja uma grande perda de carga nesta tubulação. Essa tubulação pode ser melhor projetada, de modo a reduzir esta perda de carga e aumentar o rendimento do compressor. Também se faz necessário que a temperatura do ar de admissão seja controlada, uma vez que esta tem grande influência no rendimento.

O compressor não deve trabalhar com pressões baixas no reservatório, como foi verificado para a primeira medição. Nestes casos, a pressão de saída do primeiro estágio é maior que a pressão do reservatório.

Assim, o segundo estágio não realiza compressão, pois a diferença de pressão mantém as válvulas de admissão e descarga abertas, e o ar passa direto para o reservatório. Além disso, há uma perda de carga no segundo estágio e ele consome energia.

O estudo do índice da politrópica no ensaio de compressores visa avaliar o comportamento do sistema de refrigeração. Quanto mais próximo de um, melhor é o sistema, pois a compressão se aproxima de uma isotérmica. Neste ensaio, os índices da politrópica médios para o primeiro e segundo estágios foram 1,288 e 1,148, respectivamente. O índice para o segundo estágio na primeira medição foi desconsiderado, uma vez que não houve compressão. Estes índices mostram que o sistema de refrigeração dos cilindros é eficiente.

Além dos ensaios realizados para verificar o comportamento do compressor, é sempre importante verificar o funcionamento das tubulações que levam o ar comprimido aos consumidores finais. É importante que estas tubulações tenham a menor quantidade possível de perdas de carga e vazamentos. Não adianta ter um ótimo sistema de compressão, se a energia gerada for perdida antes de chegar aos consumidores.

5 SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

As máquinas de fluxo constituem mecanismos transformadores de energia cujo princípio de funcionamento é baseado na mudança da quantidade de movimento do fluido operado por elas. Nas máquinas de fluxo centrifugas a potência de eixo recebida do motor é transformada em energia cinética no rotor e transferida ao fluido em forma de energia potencial.

Em alguns processos, deseja-se da máquina uma determinada vazão. A vazão fornecida pela máquina depende da rotação e também da carga imposta pelo sistema. Deste modo, para se obter uma determinada vazão, é muito comum aumentar a carga imposta pelo sistema por meio de válvulas de controle de fluxo. Estas válvulas geram uma perda de carga. Outra opção é alterar a rotação da máquina, porém esta é fornecida por um motor elétrico e é constante. A rotação do motor pode ser alterada por meio de um inversor de frequência. Deste modo pode-se obter diversas faixas de vazões sem impor perdas de carga ao sistema.

5.1 Objetivo

Neste capítulo serão descritos os resultados obtidos a partir do ensaio feito com um ventilador centrifugo obtendo as mesmas faixas de vazão, a princípio, por meio de uma válvula de controle de fluxo e, posteriormente, por meio de um inversor de frequência ligado ao motor elétrico. Também será apresentada a comparação dos valores de potência consumida pelo motor para os dois casos, e as respectivas conclusões.

5.2 Desenvolvimento

5.2.1 Considerações teóricas

5.2.1.1 Ventiladores Centrífgos

Ventiladores são dispositivos mecânicos usados para converter energia mecânica de rotação, aplicada em seu eixo, em energia de pressão do ar. Existem basicamente dois tipos de ventiladores: axiais (i) e radiais (centrífgos) (ii). Os ventiladores axiais (i) são utilizados quando se deseja maiores vazões e os centrífgos (ii), quando se deseja maiores pressões.

Existem três tipos básicos de ventiladores centrífugos: ventiladores com pás curvadas para frente (a), com pás retas (b) e com pás curvadas para trás (c). Os ventiladores com pás curvadas para frente (a) (no mesmo sentido da rotação) necessitam de pouco espaço, baixa velocidade periférica e são silenciosos. São utilizados quando a pressão estática necessária é baixa como de alguns sistemas de aquecimento, ar condicionado ou de renovação de ar. Não é recomendável utilizar este tipo de ventilador com ar empoeirado, visto que as partículas se aderem às pequenas pás curvadas e provocam o desequilíbrio do rotor.

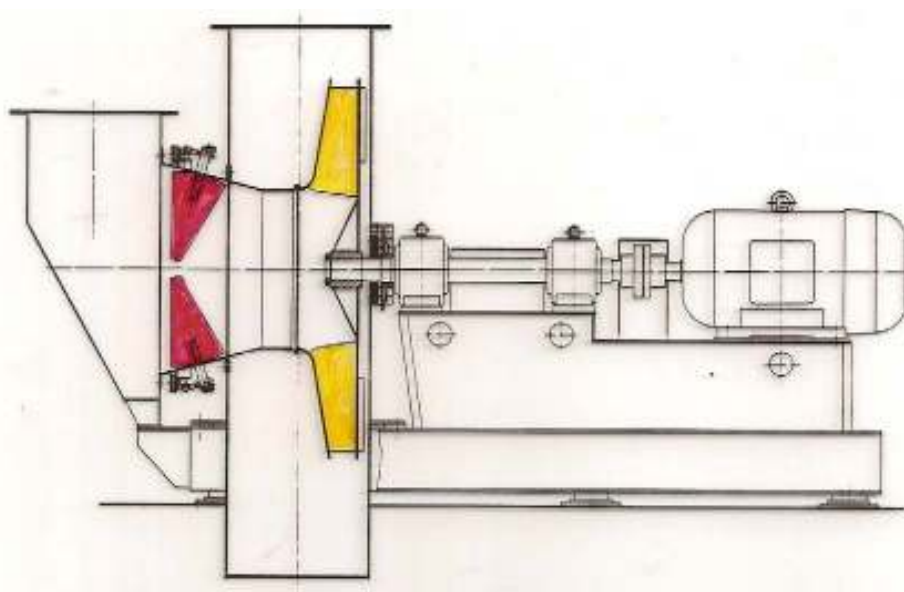


Figura 25: Ventilador Centrífugo com Sistema Diretor na Entrada

Nos ventiladores com as pás retas (b), a carcaça é desenhada de forma que a saída alcance velocidades de transporte de materiais. Existe uma grande variedade de desenhos de rotores que vão desde os de alta eficiência com pouco material até os de alta resistência ao impacto. A disposição radial das pás evita a acumulação de materiais sobre as mesmas. Este tipo de ventilador é comumente utilizado nas instalações de extração localizada, mas que o ar contaminado com partículas deve circular através do ventilador. Neste tipo de ventilador a velocidade periférica é média. São utilizados em muitos sistemas de extração localizada que veiculam ar sujo ou limpo.

Os ventiladores centrífugos de pás curvadas para trás (c) (inclinadas no sentido contrário ao de rotação) são os de maior velocidade periférica e de maior rendimento. A forma das pás condiciona acúmulo de materiais sobre as pás. Pás de espessura uniforme permitem o trabalho com ar ligeiramente sujo e úmido. Não deve ser aplicado

com ar contendo materiais sólidos. Pás com perfil aerodinâmico permitem maiores rendimentos e uma operação mais silenciosa.

Em geral, um ventilador centrífugo tem os seguintes componentes hidromecânicos:

1. **Voluta / Carcaça:** A finalidade principal da voluta é coletar o fluido proveniente do rotor e conduzi-lo de forma apropriada até o flange de saída. Dependendo de sua geometria, a voluta pode converter parte da energia cinética do fluido em energia de pressão. Sua secção pode ser circular, quadrada ou retangular. Alguns ventiladores apresentam uma caixa de entrada, com um sistema de aletas orientáveis.
2. **Rotor:** A finalidade principal do rotor é transformar energia mecânica proveniente do seu eixo em energia de pressão para o fluido. O rotor é constituído por um determinado número de pás, com curvatura adequada, fixadas ao disco interno e ao disco externo. Os rotores de ventiladores centrífugos podem ter ângulos de saída das pás menores, iguais ou maiores que 90° .
3. **Vedação:** Em alguns casos, o vazamento do fluido é proibitivo (gases tóxicos, inflamáveis, etc.). Neste caso, deve-se fazer a vedação por meio de selos mecânicos.

5.2.1.2 Encoder

Os encoders são transdutores de movimento capazes de converter movimentos lineares ou angulares em informações elétricas que podem ser transformadas em informações binárias e trabalhadas por um programa que converta as informações passadas em algo que possa ser entendido como distância, velocidade, etc.

Em outras palavras, o encoder é uma unidade de realimentação que informa sobre posições atuais de forma que possam ser comparadas com posições desejadas e para que seus movimentos possam ser planejados.

Os encoders possuem internamente um ou mais discos (máscaras) perfurados, que permitem, ou não, a passagem de um feixe de luz infravermelha, gerado por um emissor que se encontra de um dos lados do disco e captado por um receptor que se encontra do outro lado do disco, este, com o apoio de um circuito eletrônico gera um

pulso. Dessa forma a velocidade ou posicionamento é registrado contando-se o número de pulsos gerados.

A quantidade de pulsos em uma volta, nos encoders rotativos, demonstra a relação impulso/volta do mesmo. Quanto maior for esta relação maior a precisão obtida. Por exemplo, um encoder que gera 50 pulsos por volta teria a seguinte relação angular: $360^\circ/50 \text{ pulsos} = 1 \text{ pulso a cada } 7,2^\circ$.

Pode-se determinar o sentido da rotação utilizando duas fileiras de furos; uma defasada em 90 graus em relação à outra, sendo assim em um sentido a fileira mais próxima do centro estará adiantada em relação à outra e no sentido inverso ocorre também o inverso.

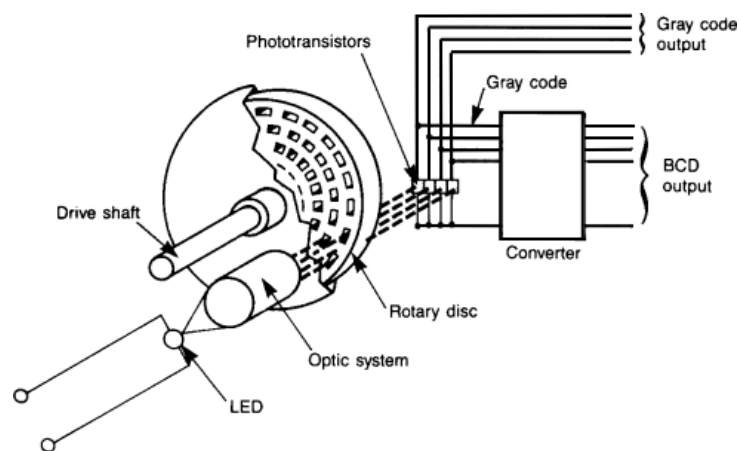


Figura 26: Esquema de Funcionamento de um Encoder

5.2.1.3 Tubo de Prandtl

O tubo de Pitot é um tubo aberto dirigido contra a corrente do fluido, tendo na outra extremidade, um manômetro que indica diretamente a pressão total. O tubo de Prandtl consta de um tubo de Pitot unido a outro que o envolve, e possui uma abertura que permite medir a pressão estática. Vêm acoplados na extremidade de um manômetro que indica a diferença entre ambos, ou seja, a pressão dinâmica.

Os conceitos básicos necessários para o entendimento e para o uso do tubo de Prandtl estão associados às pressões do escoamento. A pressão estática é a pressão que age da mesma forma em todas as direções e que é inerente à seção do escoamento para uma dada vazão. Sua tomada é feita de forma perpendicular ao escoamento, na lateral do tubo.

A pressão dinâmica é obtida convertendo-se a energia cinética em energia de pressão. Uma forma bastante simples de observarmos a pressão dinâmica é

colocarmos a palma da mão contra um jato d'água. Na palma da mão a velocidade é nula e a força sentida na mesma é originada pela conversão da energia cinética em energia de pressão, ou seja, pressão dinâmica.

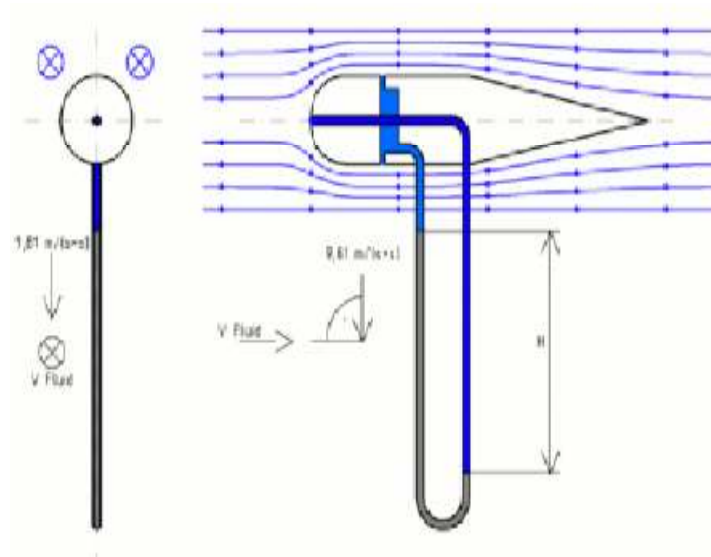


Figura 27: Esquema de um Tubo de Prandtl

Pelo mencionado anteriormente, pode-se concluir que é necessário posicionar o aparelho contra o escoamento, na tentativa de medir a pressão dinâmica, porém pelo próprio conceito de pressão estática, o que será medido é a pressão total (p_o), que representa a soma da pressão estática e pressão dinâmica.

Deste modo, basta subtrair a pressão estática da pressão total, para se obter a pressão dinâmica. Essa subtração é feita diretamente pelo manômetro em U, como mostrado na figura acima. A pressão dinâmica é função da diferença de coluna de líquido do manômetro.

5.3 Descrição do ensaio

A bancada de ensaio consiste de um ventilador centrífugo conectado a uma tubulação reta. O ventilador é acionado por um motor elétrico e seu eixo está conectado a um encoder, para que a rotação possa ser medida. O motor está ligado a um inversor de frequência, para que esta pudesse ser alterada quando necessário. Na tubulação há uma válvula de controle de fluxo, que permite variar a vazão. No final da tubulação há uma placa de orifício, pela qual a vazão pode ser medida. Também há

oito tubos de Prandtl, posicionados de maneira equidistante ao longo do diâmetro da tubulação. Por meio deles, é possível medir o perfil de velocidade do escoamento e analisar os efeitos da viscosidade.

Na primeira parte do ensaio, ligou-se o ventilador com a válvula totalmente fechada. A válvula foi sendo aberta gradualmente até atingir posições que gerassem as velocidades de escoamento de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 e 4,5 m/s. Para cada uma destas velocidades, foi medida a potência consumida pelo motor elétrico.

Na segunda parte, utilizou-se o inversor de frequência para variar a frequência da corrente que chegava ao motor. Como a rotação do motor é função da frequência, esta também variou. Com a variação da rotação do motor é possível variar a vazão do ventilador. Deste modo, alterou-se a frequência de modo a gerar velocidades de escoamento iguais as geradas na primeira parte. Para cada velocidade, mediu-se a potência consumida pelo motor.

5.3.1 Valores obtidos no ensaio

Tabela 8: Valores obtidos com a válvula manual

Velocidade do Fluxo	Potência Elétrica
m/s	kW
0,712	1,212
1,023	1,404
1,487	1,672
2,055	1,901
2,470	2,042
2,986	2,186
3,449	2,282
3,968	2,339
4,484	2,383

Tabela 9: Valores obtidos com o inversor de frequência

Velocidade do Fluxo	Potência Elétrica
m/s	kW
0,507	0,061
1,023	0,144
1,539	0,262
2,003	0,417
2,470	0,579
2,986	0,787
3,501	1,049
4,017	1,367
4,536	1,808

O gráfico a seguir apresenta uma comparação entre o consumo elétrico utilizando válvulas de controle de fluxo e inversores de frequência.

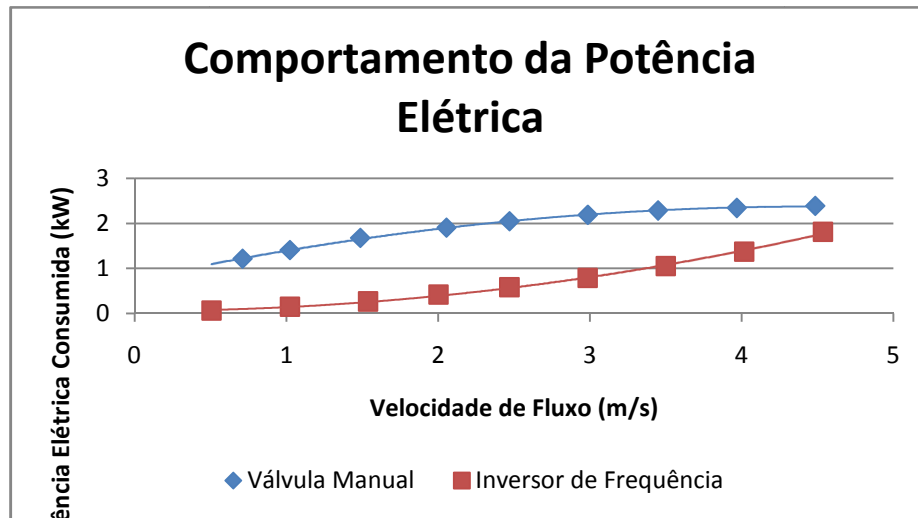


Gráfico 3 – Comportamento da Potência elétrica

5.4 Análise do uso de válvula de controle de fluxo

A partir dos dados obtidos no ensaio e da curva de funcionamento do ventilador, podem-se determinar as curvas do sistema para cada vazão, quando a válvula de controle é utilizada.

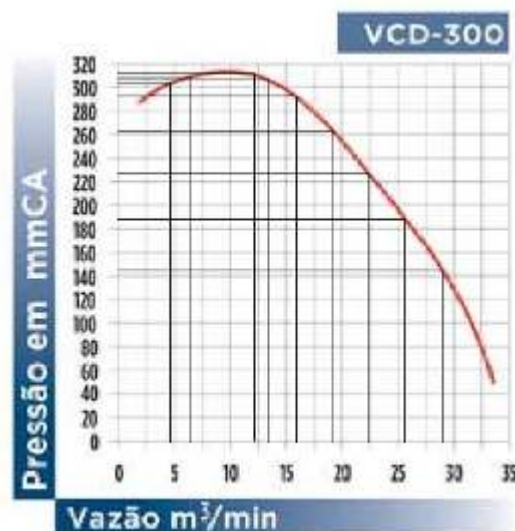


Gráfico 4: Curva de Funcionamento do Ventilador Deltra VCD-300

Fonte: Deltra Ltda

Por meio desta curva, foram obtidas as alturas de energia do ventilador para cada vazão. Os resultados estão na tabela a seguir:

Tabela 10: Vazões e Alturas de Energia para Válvula Manual

Velocidade do Fluxo	Vazão	Altura de Energia
m/s	m³/min	mmH₂O
0,507	4,593	305
1,023	6,600	310
1,539	9,593	312
2,003	13,257	307
2,470	15,935	292
2,986	19,263	264
3,501	22,250	228
4,017	25,599	189
4,536	28,927	145

Com base nestes dados, considerando que a altura de energia estática do sistema seja nula e que a altura de energia dinâmica é proporcional ao quadrado da vazão, pode-se criar um gráfico de funcionamento do ventilador em relação ao sistema.

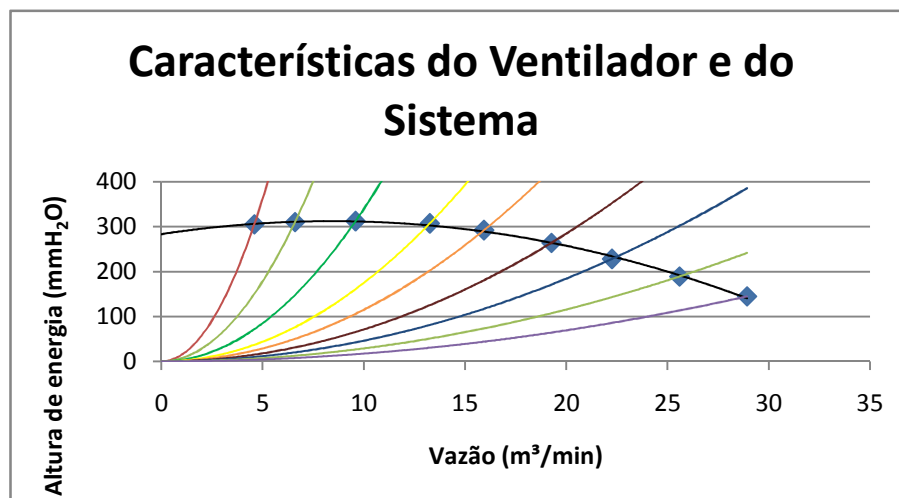


Gráfico 5 – Características do ventilador e do sistema

5.5 Análise Econômica

Para a análise econômica é necessário determinar o investimento necessário, a redução de gastos gerada e o tempo para o qual o investimento é válido. A seguir, estão descritos o modo como estes dados foram determinados, além da análise econômica por três diferentes métodos. Serão demonstrados os cálculos, considerando uma velocidade de fluxo de 0,5 m/s.

Tempo de Investimento

O tempo para o qual o investimento é válido é equivalente ao tempo de vida útil do inversor. Neste caso o tempo é de 10 anos.

Redução de Gastos

O lucro (L) pode ser calculado pela economia anual, gerada pela redução de consumo quando se utiliza inversor de frequência no lugar da válvula de controle de fluxo. Para isto, foram levados em conta os seguintes dados:

- Tempo de utilização do ventilador (T_u): 40 horas por semana (horário comercial).
- Consumo do motor para a válvula de controle: 1,212 kW
- Consumo do motor para o inversor de frequência: 0,061 kW
- Diferença de consumo entre o motor de alto rendimento e o motor padrão (ΔC): 1,151 kW
- Período Seco, segundo a Cemig (PS): de Maio a Novembro – 30,5 semanas
- Período Úmido, segundo a Cemig (PU): de Dezembro a Abril – 21,5 semanas
- Classificação da empresa: Grupo A4, modalidade THS Verde.
- Tarifas: $T_{PS} = R\$ 0,17210$ e $T_{PU} = R\$ 0,15619$

Assim:

$$L = \Delta C \times T_u \times (PS \times T_{PS} + PU \times T_{PU})$$

$$L = 1,151 \times 40 \times (30,5 \times 0,17210 + 21,5 \times 0,15619) = 396,27$$

Portanto, o lucro anual será de R\$ 396,27.

Investimento Necessário

O investimento (I) necessário é equivalente ao preço do inversor de frequência. Portanto o investimento será de R\$ 1600,00. Com base nestes dados, é possível realizar a análise econômica por três diferentes métodos:

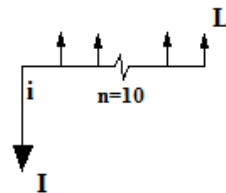
1. **Payback** - É o método mais simples de análise e consiste em calcular o tempo necessário para que o lucro cubra o investimento feito. O método não leva em conta nenhuma taxa de juros:

$$Pb = \frac{I}{L}$$

$$Pb = \frac{1600}{396,27} = 4,04$$

Assim, os lucros cobririam o investimento em aproximadamente 4 anos.

- 2. Valor Presente Líquido (VPL)** - Neste método transfere-se todas as receitas geradas pelo investimento para a data presente, utilizando-se uma taxa de juros (i), chamada de taxa mínima de atratividade (TMA). A TMA utilizada varia de empresa para empresa e de investimento para investimento. Neste caso, será utilizada uma TMA de 16%. Para facilitar os cálculos, utiliza-se um fluxo de caixa:



$$VPL = L \times \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} - I$$

$$VPL = 396,27 \times \frac{(1+0,16)^{10} - 1}{(1+0,16)^{10} \times 0,16} - 1600 = 315,28$$

Como foi demonstrado, o investimento tem VPL positivo de R\$ 315,28.

- 3. Taxa Interna de Retorno (TIR)** - Este método calcula a taxa de juros para a qual o investimento seria pago pelos lucros no tempo determinado. Utiliza-se o mesmo método de cálculo do VPL, porém neste caso, o VPL é zero e deseja-se encontrar i . O fluxo de caixa também é o mesmo:

$$VPL = L \times \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} - I$$

$$0 = 396,27 \times \frac{(1+i)^{10} - 1}{(1+i)^{10} \times i} - 1600$$

$$i = 0,2112$$

Portanto, a TIR é de 21,12%. Considerando que o investimento praticamente não tem riscos, a TIR encontrada é excelente. Nenhum outro investimento no mercado teria uma TIR próxima a essa.

Análise de Sensibilidade

O gráfico a seguir apresenta a sensibilidade dos investimentos de acordo com a velocidade do fluxo desejada. Com base nestes dados, é possível saber para quais faixas de vazão é vantajoso investir em um inversor de frequência.

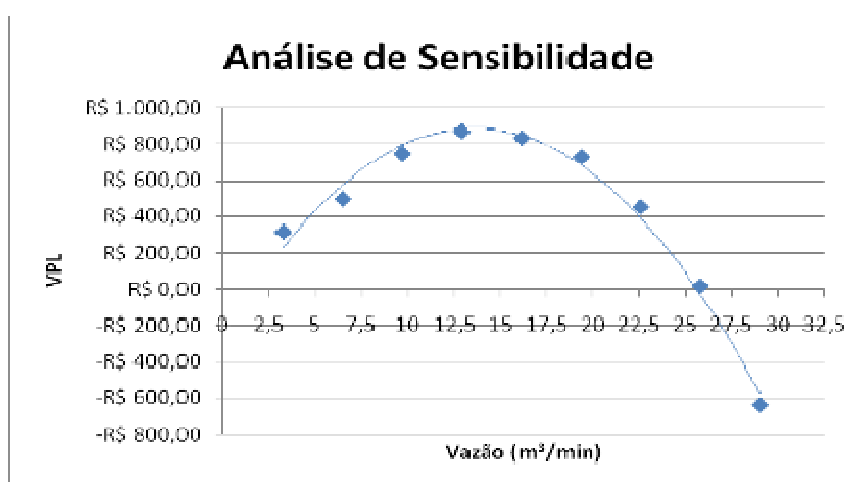


Gráfico 6 – Análise de sensibilidade

5.6 Conclusão sobre Sistemas de Ventilação

Analisando os dados obtidos no ensaio, é possível perceber a economia de energia gerada pelo uso do inversor de frequência para a variação da vazão de um ventilador centrífugo. É muito comum a utilização de válvulas estranguladoras de fluxo para realizar tal função, afinal, esta é a alternativa mais simples e barata. Porém, como demonstrado neste relatório, utilizar válvulas de controle de fluxo nada mais é do que impor perdas de energia ao sistema, ou seja, jogar energia fora.

Apesar do alto custo inicial, se comparado às válvulas, ficou provado a viabilidade do uso de inversores de frequência, uma vez que a economia de energia gerada compensa os gastos iniciais.

6 EXECUÇÃO DO PROJETO DE ERRADICAÇÃO DO DESPERDÍCIO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Neste capítulo será descrita a execução do projeto de erradicação do desperdício, que teve como fundamento os experimentos realizados nas bancadas do Centro de Excelência em Eficiência Energética – EXCEN. A partir dos resultados obtidos com os ensaios, optou-se por colocar em prática as ações de mitigação do desperdício e também ações para o uso eficiente de energia.

Para tanto, primeiramente foi necessário determinar onde seriam colocadas em práticas as ações de erradicação do desperdício e uso eficiente de energia. O lugar escolhido foi a empresa Johnson Controls do Brasil Automotive Ltda, alocada na Av. dos Alecrins, 999 – Distrito Industrial em Pouso Alegre.

A escolha da empresa mencionada deveu-se, principalmente, por conter os indicativos necessários para a aplicação do projeto. Foi necessário um levantamento de dados que especificassem o consumo e demanda de energia da empresa, para que, dessa forma, os resultados provenientes da aplicação do projeto resultassem não apenas em economia financeira, mas também para que despertasse a consciência ambiental dos colaboradores que dela fazem parte.

No quadro abaixo podem ser vistas as demais informações referente à empresa selecionada.

Dados Cadastrais

Razão Social: Johnson Controls do Brasil Automotive Ltda.

Ramo de Atividade: Fabricação de Artefatos Têxteis “Capas para banco de automóveis”

Categoria: Grande Empresa

Entidade Setorial a que se vincula: Empresa Automotiva

Nome do Presidente / Diretor: Sidnei Manzano

Número de Empregados: 640

Faturamento: R\$ 120.000.000,00

Endereço: Av. dos Alecrins, 999 – Distrito Industrial – Pouso Alegre – CEP – 37550-000

Responsável técnico pelas informações do projeto (nome e cargo):

Julio cunha (Supervisor Manutenção) – julio.c.cunha@jci.com

6.1 Informações sobre o Projeto Ambiental

6.1.1 Objetivo

O objetivo deste projeto foi desenvolver uma consciência ambiental de aproveitamento máximo dos recursos disponíveis na empresa, envolvendo todos os colaboradores e despertando neles o interesse pelas questões ambientais e de eficiência, a fim de que eles pudessem se tornar multiplicadores destas ações na sociedade e para a sociedade. A Johnson Controls tem como visão “Um mundo mais confortável, seguro e sustentável”, e reconhece e incentiva iniciativas e projetos voltados para este tema. Desta forma, como o objetivo principal do projeto era que as ações tomadas culminassem em resultados visíveis, teve-se a garantia de que qualquer ação tomada na empresa Johnson Controls, seria concluída com sucesso.

6.1.2 Descrição sucinta do projeto

A equipe envolvida no projeto em busca de erradicar o desperdício de recursos naturais, desenvolveu um trabalho buscando a eficiência na utilização dos recursos energéticos. Foram analisados o consumo e a demanda de energia, e os valores obtidos foram divididos entre os diversos setores. Após este minucioso estudo buscou-se as soluções mais eficientes.

No sistema iluminação foram buscados lâmpadas e reatores mais eficientes, que consumissem cerca da metade da energia que consomem os atuais. No restaurante da empresa foram integrados, ao sistema de aquecedor de água por placas solares, diversos equipamentos que necessitavam de aquecimento de água. O forno elétrico foi substituído por um novo conceito de forno, chamado forno combinado (calor e vapor). Durante o horário de pico, o fornecimento de energia passou a ser fornecido por dois geradores. No grupo gerador foi instalado um regulador eletrônico possibilitando a utilização de somente um gerador para fornecer a energia necessária para toda a fábrica.

Toda a tecnologia utilizada para melhorar a eficiência energética da planta fabril foi então aplicada, também, na casa dos colaboradores da empresa. Foi lançado o projeto de “Redução no Consumo de Energia” com a formação de um grupo piloto que utilizaria as mesmas ações eficientes em suas residências e teriam o consumo monitorado e avaliado. Foi proposto que cada colaborador utilizasse de maneira correta os eletrodomésticos, avaliando o consumo dos atuais aparelhos, observando a

etiquetagem de eficiência, o selo Procel, substituindo lâmpadas incandescentes por compactas. Em cada encontro com o grupo multiplicador era apresentada uma cartilha sobre a utilização eficiente de eletrodomésticos. As cartilhas foram cedidas pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) e nos encontros com as famílias era apresentado um estudo do consumo da residência e sugestões de economia possíveis e o retorno financeiro, se as ações fossem implantadas com seriedade. Para as famílias foram apresentados os seguintes temas:

- Potência versus consumo em eletrodomésticos;
- Consumo em geladeiras e selo Procel, retorno de investimento;
- Vícios do Consumo: geladeiras, ferros de passar roupas, iluminação e chuveiros;
- Aquecimento de água com placas solares: economia sustentável;
- Como montar seu próprio aquecedor;
- Aquecedor com garrafas PET e Boyler de Recicláveis;
- Auditoria de energia em residências;
- Trocas de lâmpadas incandescentes por compactas: retorno de investimento
- Troca de geladeiras e o selo Procel: retorno de investimento;

Também foi desenvolvido um projeto de aquecedor solar de baixo custo (modelo já existente no estado do Paraná). Os aquecedores solar, de baixo custo, foram feitos com garrafas pet e caixas de leite longa vida e instalados pelos próprios colaboradores em suas residências.

Após o estudo do consumo e demanda de energia na empresa gerou-se um relatório com sugestões de medidas a serem tomadas nas dependências da planta de Pouso Alegre para melhorar o consumo e demanda de energia.

As medidas tomadas estão discriminadas na sequência:



Figura 28



Figura 29



Figura 30

A medida 1 – Realizado a desativação de 240 refletores de 400 W, conforme figura ao lado, que se localizavam em áreas desativas e respeitando o nível de Iluminância definidos na norma vigente, NBR-5412/82, foi realizado a redistribuição de refletores nas áreas ativadas, ou funcionais. Isto ocorreu devido a modificações no *lay out* da fabrica, pela equipe de *Lean Manufacturing*, ou Produção Enxuta. O estudo luminotécnico dos refletores fabris indicou as principais áreas a serem modificadas sendo elas as áreas de almoxarifado, expedição e corredores. Também forma substituídas as lâmpadas de vapor metálico por lâmpadas compactas.

A medida 2 - Foram criados quadros de distribuição por setores, conforme figura ao lado, para realizar a Setorização. Assim possibilitou o desligamento das luminárias, quando as células estavam paradas (refeições, reuniões, eventos, etc.). A foto ao lado apresenta uma célula de manufatura, operando enquanto as outras estão paradas e com a iluminação desligadas, este fato ocorreu durante o horário de refeições. Esta atitude resultou no desligamento de duas horas por dia de toda a Iluminação fabril e de escritórios. No inicio foi preciso realizar palestras, envolver os funcionários, delegar responsabilidades e controlar. O resultado almejado foi alcançado rapidamente.



Figura 31

A medida 3 - Todas as lâmpadas fluorescentes instaladas na Planta (produção e escritório) foram substituídas por lâmpadas TL5 de alta pressão. Foi feita uma análise junto a Phillips e também um *benchmark* com outras fábricas da região para assegurar a viabilidade do projeto.



Figura 32

A medida 4 - O alto consumo e demanda do forno elétrico do restaurante associado às perdas térmicas fizeram com que a equipe buscasse alternativa para minimizar os custos e melhorar a eficiência deste processo. Após o diagnóstico energético, foi feita a troca dos fornos elétricos convencionais pelos fornos combinados. Foram minimizados os tempos de espera de aquecimento e de preparo dos alimentos para as refeições. O forno Utilizado foi de 11 GNs`. No estudo de viabilidade econômica avaliou-se a utilização de GLP em comparação com Energia elétrica. Os custos da energia elétrica estão divididos em duas parcelas, uma relacionada ao consumo e outra devido à demanda, como a empresa já possui toda a instalação necessária e um contrato de fornecimento de GLP com uma distribuidora os custos foram apenas de consumo, pois a demanda contratada de GPL atendia ao consumo do Forno.



Figura 33



Figura 34



Figura 35

A medida 5 - O banho-maria não era integrado ao sistema de aquecedor solar e constantemente apresentavam falhas técnicas. O time detectou a possibilidade de interligá-la ao sistema de aquecimento solar, visando reduzir os gastos com manutenção e consumo de energia elétrica. A potência instalada era cerca de 4 kW com 12 horas de funcionamento divididos em 3 intervalos.

A medida 6 - A máquina de lavar louças possui um aquecedor elétrico de água com a potência instalada de 18 [KW]. Durante o diagnóstico foram avaliados o consumo, a demanda e custos associados ao funcionamento. Como prognóstico a equipe interligou o sistema de aquecimento de água da máquina de lavar a rede de aquecimento de água solar e realizou uma reforma no equipamento. O resultado almejado foi alcançado sendo eles o aumento da segurança, redução no consumo e demanda de energia e aumento de confiabilidade do equipamento.

A medida 7 - O fogão da cozinha show possuía uma potência de 4000 w e o time detectou a possibilidade de modificá-lo para à gás.



Figura 36



Figura 37



Figura 38



Figura 39

A medida 8 - Os postes de iluminação externa possuíam lâmpadas de 250 W vapor metálico, sendo necessário um reator para o mesmo. O time detectou a possibilidade de troca das lâmpadas de 250 W por compactas de 45w

A medida 9 - Os motores das prensas Herman (30hp) e Bruno (25 hp) possuíam partida direta, ocasionando um pico elevado e os moldes que passam por ela têm um fluxo intermitente. Foi realizado um estudo para verificar o tempo em que ele fica ligado aguardando os moldes (DEI BOARD) e observou uma oportunidade de redução significativa no consumo. Foi necessário automatizar o início do ciclo e utilizar inversores.

A medida 10 - Os motores das cortadoras gerber (40 hp) possuíam partida direta, gerando pico elevado durante o início de cada enfiesto. As partidas/desligamentos são constantes devido à operação do equipamento. As partidas repetidas geram alto consumo e picos de demanda, prejudicando o fator de carga e demanda máxima contratada. Foram instalados inversores de frequência permitindo um controle da vazão sem a inserção de perdas através de um *damp*er comandado eletricamente. Conforme equações de Rateaux (Viana, A.N.C,1997), expressas em sua equação que a razão entre a rotação final e a inicial é igual a razão entre a vazão final e a inicial e também igual a razão entre a potência final e a inicial ao cubo, assim a vazão varia linearmente enquanto a potência exponencialmente.



Figura 40

A medida 11 - Os geradores possuíam um regulador de velocidade que ajustava a alimentação de combustível de acordo com a carga acoplada. Este ajuste se dava de forma mecânica e possuía um tempo de resposta considerável. O controlador de velocidade eletrônico avalia tendências de variação e efetua correções instantâneas (PID), evitando geração de harmônicas que dividem a potência transmitida pelo motor a Diesel. Este projeto possui ganhos diretos com as regulações, sendo eles, redução no consumo de combustível, aumento da eficiência do gerador e melhora na qualidade da energia elétrica fornecida, pois a planta fabril possui muitos equipamentos eletrônicos e servo AC e os transientes prejudicavam ou mesmo queimavam estes equipamentos. Foram percebidas reduções nos índices de queimas de tiristores e Blocos IGBT's e a regulação de frequência garante também menor consumo dos sistemas motrizes elétricos e maior eficiência do conjunto moto-gerador.



Figura 41

A medida 12 - A utilização de moto-gerador no horário de ponta reduzindo os custos energéticos, pois no horário de ponta tarifa azul paga-se cerca de 3,6 vezes mais caro a demanda e 1,5 o consumo (Site Cemig, acessado 01/5/2011).O estudo de viabilidade foi aceito satisfatoriamente.



Figura 42

A medida 13 - O projeto “Luz” nasceu da necessidade de inclusão dos funcionários da Johnson Controls às tecnologias aplicadas na empresa para a redução de custos com recursos energéticos. A equipe de profissionais envolvida neste projeto realizou um estudo detalhado do consumo e da demanda de energia elétrica nas residências dos funcionários membros do grupo piloto. A tabela X indica este resultado em função da demanda e do Consumo.

Tabela 11: Diagnóstico de Demanda e Consumo nas residências do grupo piloto.

	Demanda	Consumo
Total iluminação	10,19%	11,79%
Total Chuveiros	76,40%	50,52%
Geladeira	3,23%	21,33%
Televisão	2,55%	13,47%

A conclusão do estudo foi utilizada para a proposta do modelo de casa eficiente. No banheiro, para aquecer a água do chuveiro, foi utilizado um aquecedor solar de baixo custo confeccionado com materiais reciclados e um regulador eletrônico de potência do chuveiro e na iluminação, a troca das lâmpadas incandescentes por compactas. Foram estabelecidas parcerias e realizados treinamentos com os funcionários. As geladeiras por ser um produto de maior valor agregado algumas famílias tiveram que planejar a compra.

O aquecedor solar com garrafas pet foi confeccionado na empresa no horário de almoço. Conforme a foto abaixo os funcionários utilizavam um dispositivo para marcação das caixas de leite longa vida e uma máquina de corte para cortar as garrafas PET's.



Figura 43 – Pessoas organizando as garrafas pet

Os grupos organizaram as tarefas e conseguiram em um mês realizar a montagem dos conjuntos, finalizando assim uma das etapas do Projeto. A entrega dos aquecedores contou com a presença dos gerentes, líderes e coordenador fabril.



Figura 44 – Entrega das placas de garrafas pet



Figura 45 – Placas de garrafas pet

Após a entrega oficial das placas, iniciou-se o treinamento para instalação dos aquecedores nas residências. Nesta etapa foram realizadas palestras sobre segurança e avaliação das coordenadas das residências. Em seguida, no protótipo instalado, os colaboradores puderam realizar a montagem e tirar suas dúvidas sobre a montagem.



Figura 46 – Placas de garrafas pet implantadas

6.1.3 Súmula dos indicadores relacionados com os critérios de avaliação

O controle dos indicadores foi inserido no Sistema de Gestão da empresa e foi revisado periodicamente. Além da revisão, o controle dos indicadores também foi analisado juntamente com toda a administração (alta gerência). Os indicadores que estivessem acima das metas pré-estabelecidas, no plano gerencial, receberiam atenção especial na forma de ações para correção dos indicadores chave.

Também foi desenvolvido um trabalho de prevenção, no qual eram analisadas todas as tendências para estes mesmos indicadores e propostas ações preventivas. O objetivo destas ações é melhorar e garantir a gestão de indicadores, garantindo assim uma consistência de todo o processo de controle dos mesmos.

Controle de Resíduo de Tecidos

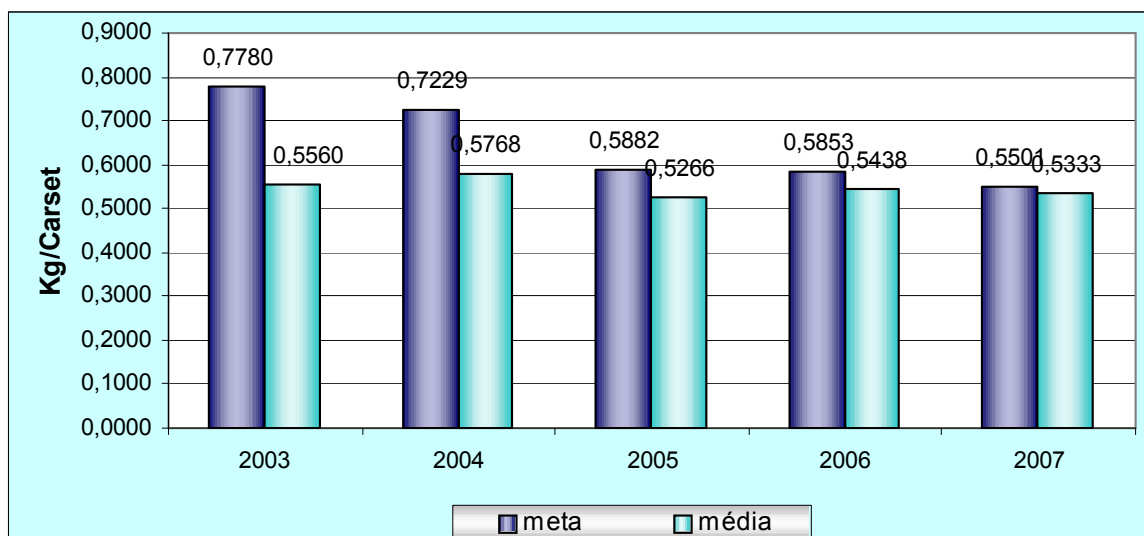


Gráfico 7 – Controle de Resíduo de Tecidos

Controle de Resíduo de Plásticos

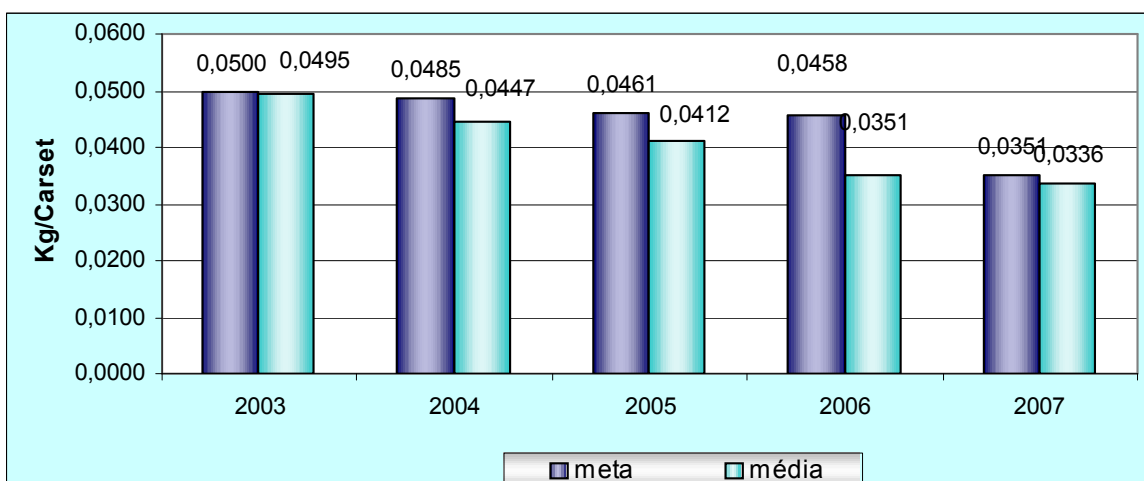
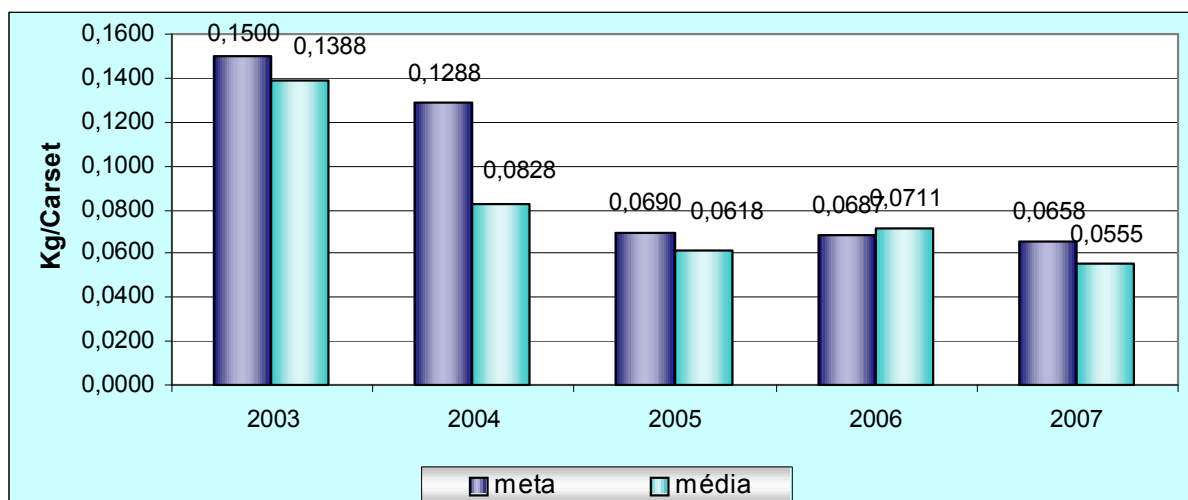
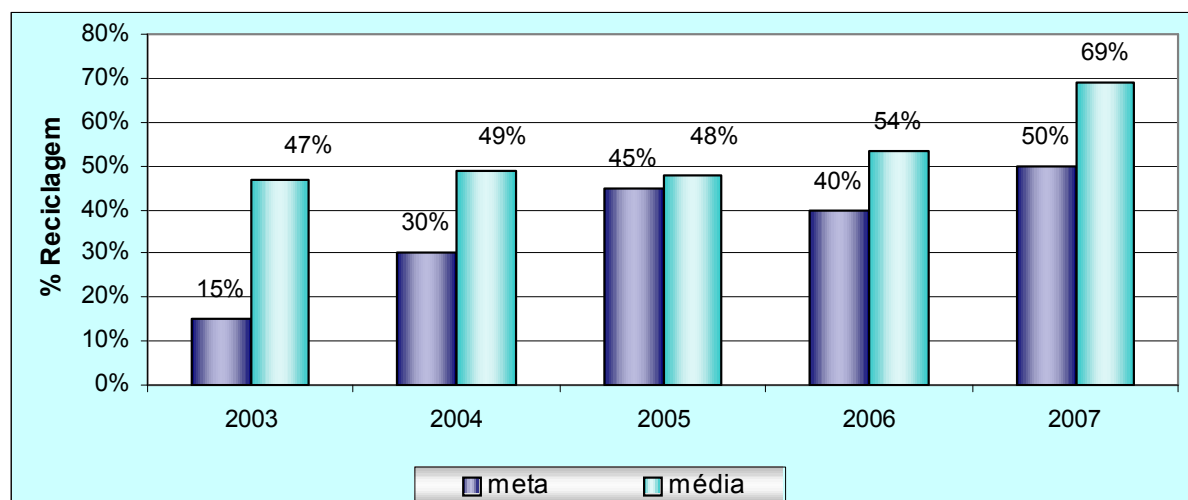


Gráfico 8 – Controle de Resíduo de Plásticos

Controle de Resíduo de Papel / Papelão

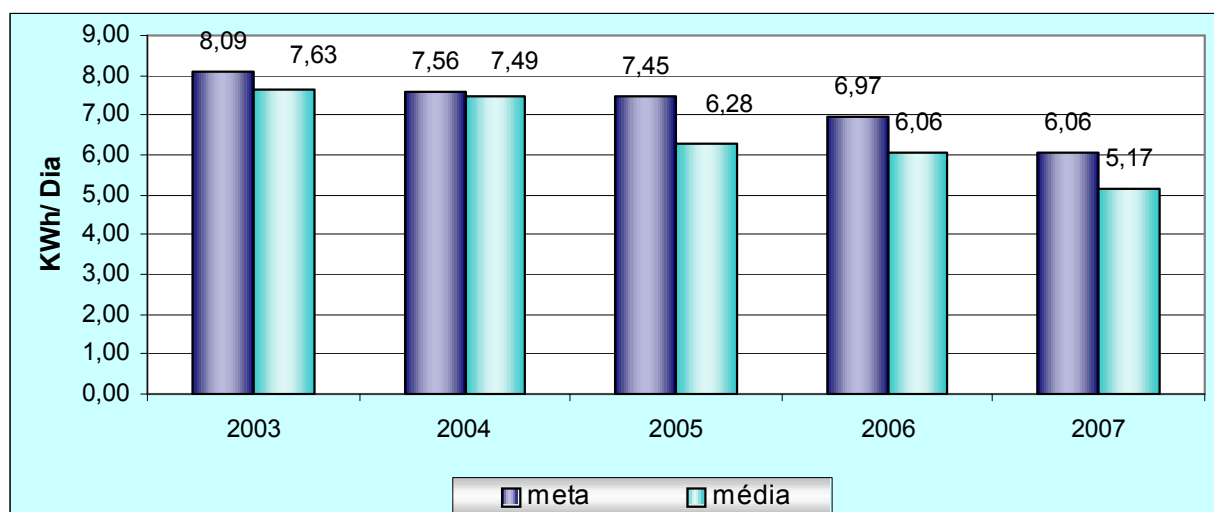


Controle de Resíduo de Orgânico

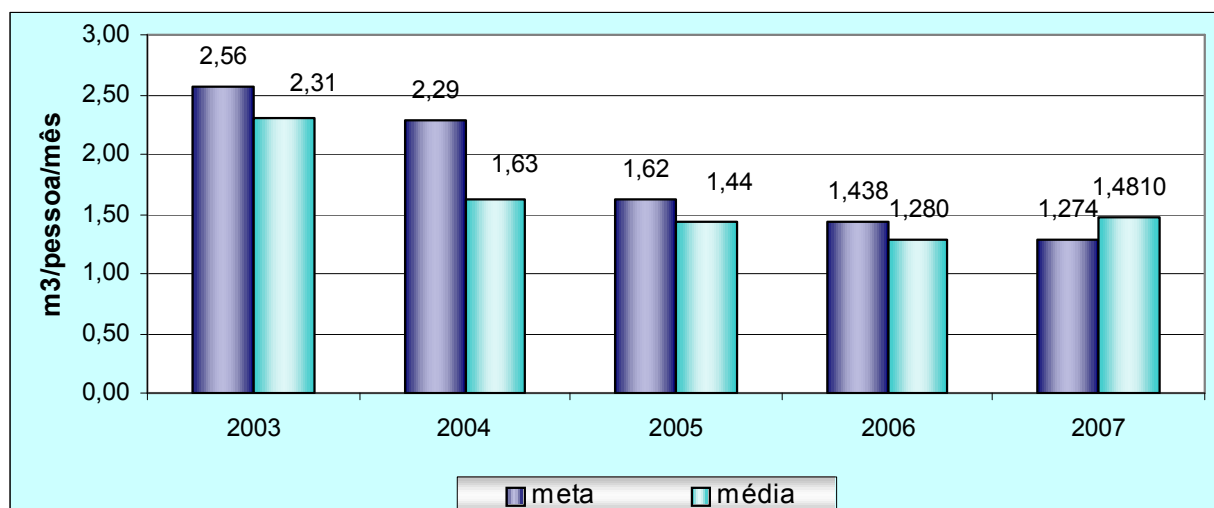


Gráficos 9 e 10 – Controle de Resíduo de Papel/ Papelão e Controle de Resíduo de Orgânico, respectivamente

Controle do Consumo de ENERGIA



Controle do Consumo de ÁGUA



Gráficos 11 e 12 – Controle de Consumo de Energia e Controle de Consumo de Água, respectivamente

A planilha abaixo mostra um controle específico onde é possível avaliar o aumento da produção fabril versus a diminuição no consumo de energia utilizado.

TABELA 12 - Controle de aumento da produção fabril X diminuição no consumo de energia utilizado

Meses	6	5	4	3	2	1	P R	1	2	3	4	5	6
Consumo de eletricidade (MWh) (ce)	149,4	144,0	154,8	145,8	149,0	154,8		180,0	162,0	171,2	145,8	129,6	151,2
Demanda máxima Medida na Ponta (kW)	396,0	414,0	414,0	378,0	396,0	396,0		396,0	360,0	360,0	342,0	306,0	378,0
Fator de Potência	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Fator de Carga	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
Produção Industrial (Pind)	68660	65942	57924	68328	62747	73768		64635	73798	74249	78381	88258	76380
Consumo Específico de Energia (CE-C/Pind)	0,0022	0,0022	0,0027	0,0021	0,0024	0,0021		0,0028	0,0022	0,0023	0,0019	0,0015	0,0020

6.2 Sobre o Sistema de Gestão Ambiental, auditoria ambiental e/ou análise do ciclo de vida

Os elementos centrais do Sistema de Gestão Ambiental (SGA) são utilizados para implementar, manter e garantir a melhoria contínuo do SGA. Estes elementos são classificados como: instalações da Johnson Controls; processos e pessoas; bem como fatores que podem ser influenciados como: lançamentos de novos produtos, planejamento de negócios, fornecedores, etc.

6.3 Sobre a otimização do processo produtivo e das utilidades

Esta prática pode ser observada na tabela de *scraps* do processo, que se segue.

6.4 Sobre o controle da poluição e a sua prevenção

Na tabela abaixo estão descritos os aspectos e impactos ambientais, detalhando cada um deles.

TABELA 13 – Mudanças de circunstância incluindo desenvolvimento em requisitos legais e outros relacionados aos aspectos ambientais

	Aspectos	Armazenamento/ tratamentos	Destino
1	RESÍDUOS DE COURO	Área de Scrap - Rack/prensa	Empresa Legalizada
2	RESÍDUOS DE TECIDOS	Área de Scrap - Rack/prensa	Empresa Legalizada
3	RESÍDUOS DE VINIL	Área de Scrap - Rack/prensa	Empresa Legalizada
4	ESPUMA	Área de Scrap - Rack/prensa	Empresa Legalizada
5	RESÍDUOS DE CARPETE	Área de Scrap - Rack/prensa	Empresa Legalizada
6	BATERIAS	AATRI	Empresa Legalizada
7	BORRAS DE COSTURA. (COST + ÓLEO)	AATRI	Empresa Legalizada
8	CARTUCHOS	Almoxarifado	Empresa Legalizada
9	PILHA	AATRI	Empresa Legalizada
10	CDS/DISQUETE	Sala de Sistemas	Empresa Legalizada
11	CHORUME	Rede de Esgoto	Empresa Legalizada
12	COMBUSTÍVEL (ÓLEO DIESEL, GASOLINA)	-	-
13	EPI'S USADAS	AATRI	Empresa Legalizada
14	FUMAÇA PRETA	-	-
15	CONSUMO DE GLP	-	-
16	LÂMPADAS USADAS	AATRI	Empresa Legalizada
17	LODO / TORTA	Caçamba própria/área externa	Empresa Legalizada
18	MADEIRA (PALLET'S/ DE BOARDS)	Caçamba de madeira/área externa	Empresa Legalizada
19	METAL (AGULHAS/FACAS/ARAMES/LATAS)	Caçamba de metal/área externa - lixos cor amarela espalhados pela fábrica Para agulhas, os funcionários da costura deverão devolver agulhas gastas para o líder que levará para a manutenção, onde há uma caixa de coleta de agulhas usadas.	Empresa Legalizada
20	ÓLEO COMESTÍVEL SATURADO	AATRI	Empresa Legalizada
21	GORDURA, CAIXA DE	-	Empresa Legalizada
22	ÓLEO LUBRIFICANTES E GRAXAS	AATRI	Empresa Legalizada
23	PAPEL / PAPELÃO	Rack/prensa- lixos cor azul espalhados pela fábrica	Empresa Legalizada
24	PLÁSTICO (SACOS/COPOS/RETENTORES LIMPOS)	Rack/prensa - lixos cor vermelha espalhados pela fábrica	Empresa Legalizada
25	RESÍDUO AMBULATORIAL	Freezer	Empresa Legalizada
26	RESÍDUOS ORGÂNICOS(RESTOS DE ALIMENTOS/GUARDANAPOS, PAPEIS HIGIENICOS, COPOS PLÁSTICOS SUJOS DE ALIMENTOS.	a)Restos de frutas/verduras/legumes - Composteira	a)Composto para jardim b)Aterro sanitário
27	RESÍDUOS DE ALVENARIA	Caçamba especial / área externa	Empresa Legalizada
28	RÚIDO	-	-
29	SOBRA DE COLA	AATRI	Empresa Legalizada
30	LIXO DE VARRICAÇÃO	Caçamba de orgânicos/varrição área externa	Aterro sanitário
31	CONSUMO DE ÁGUA / ESGOTO	E. T. E	Corpos D'água
32	CONSUMO DE ENERGIA	-	-
33	AR COMPRIMIDO	-	-
34	ÁGUA PLUVIAL	Caixa de Decantação	Corpos D'água
35	R22 e R12	-	-

6.5 Sobre os custos e benefícios obtidos

Na tabela abaixo pode ser analisado, de acordo com o início/fim, mês/ano, a energia economizada (MWh/ano, conforme modalidade), demanda evitada (kW) e indicadores de viabilidade econômico-financeira.

Tabela 14 : Payback das Medidas na área fabril .

MEDIDAS	PERÍODO DE IMPLANTAÇÃO		ENERGIA ECONOMIZADA (MWh / ano)	REDUÇÃO DE DEMANDA NA PONTA (kW)	CUSTO TOTAL (R\$)	INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA
	(mês / ano)					TEMPO DE RETORNO (Payback)
	INÍCIO	FIM				
Refletores Fabril	10/jun	12/jun	602	126	1400	0,01
Setorização das células	10/jun	12/jun	82	0	500	0,3
Substituição de lâmpadas HO por T15	10/jun	4/jul	407	77	38000	0,424
Substituição do forno elétrico por combinado	10/jun	3/jul	56	11	11000	0,89
Substituição do aquecimento elétrico de água do banho Maria por solar	10/jun	5/jul	19	4	350	0,08
Substituição do aquecimento de água maq. De lavar louças por solar	10/jun	5/jul	78	14	400	0,02
Substituição do fogão elétrico por fogão a gás	10/jun	5/jul	10	4	200	0,09
Substituição das lâmpadas vapor metálico dos postes por compactas	10/jun	1/jul	23	5	1000	0,2
Substituição e automação da partida das prensas Hidráulicas usando inversores de frequência	10/jun	6/jul	166	0	12500	0,34
Substituição da partida direta por inversores de frequência das cortadoras	10/jun	6/jul	99	0	12500	0,57
Substituição dos reguladores de velocidade mecânica por Eletrônicos	10/jun	5/jul	27,48	0	10600	0,18
Geração de energia utilizando moto gerador a diesel	10/jun	10/jun	298	414	5000	0,08
TOTAL			1737	542	93450	0,7

6.6 Sobre a comunicação e interação com a sociedade

A Johnson Controls estabelece um procedimento interno para receber, documentar e responder às comunicações com as partes interessadas. O objetivo desta comunicação é garantir a existência de um canal de comunicação interno e externo com partes interessadas, de modo que permita uma gestão de saúde, segurança e meio ambiente transparente.

Comunicação Interna

A comunicação com os colaboradores da Johnson Controls de Pouso Alegre visa acentuar a relação entre a empresa e colaboradores. Esta ação implica em um fluxo de informações através dos veículos disponíveis descritos a seguir:

- Treinamento e Conscientização;
- Quadros de Aviso;
- Correio Eletrônico;

- Comitê de Saúde, segurança e meio ambiente;
- CIPA- Comissão Interna de Prevenção de Acidentes;
- Telefone.

Comunicação Externa

A comunicação externa, com partes interessadas, é feita através de palestras em escolas da comunidade, associações amigos de bairro, informativo em jornais, *outdoor* na região e orientação interna para visitantes. A comunicação externa, com as partes interessadas, segue os seguintes parâmetros:

- O atendimento as partes interessadas é feita através da portaria, por carta, telefone e preenchimento do formulário disponível para o devido fim. Em dias úteis: encaminhar a parte interessada ao Gerente de Recursos Humanos, Analista de Comunicação da Planta e/ ou Representante Ambiental da Administração. A Portaria fica responsável por registrar, no formulário de partes interessadas, a natureza da comunicação recebida. Em caso de ausência dos responsáveis, a portaria encaminhará o registro de comunicação tão logo os responsáveis estejam presentes. Em finais de semana/ feriados: a portaria deve efetuar o preenchimento do registro de comunicação com partes interessadas e encaminhá-lo ao Gerente de Recursos Humanos, Analista de Comunicação da Planta e/ou Representante Ambiental da Administração no primeiro dia útil após o contato;
- Para solicitação de visitas, palestras ou atividades relacionadas à Conscientização Ambiental, o representante ambiental da Administração é responsável por assegurar que a solicitação seja registrada e respondida em um prazo máximo de 90 dias;
- Para atendimento das demais solicitações/ reclamações, o gerente de Recursos Humanos e ou representante ambiental da Administração, são responsáveis por assegurar que as mesmas sejam registradas e respondidas, num prazo máximo de 90 dias, buscando, quando necessário suporte técnico especializado.

6.6.1 Registros

Os controles de registro de comunicação com partes interessadas são arquivados no departamento de Recursos Humanos e atualizados mensalmente no gráfico de Comunicação com partes interessadas.

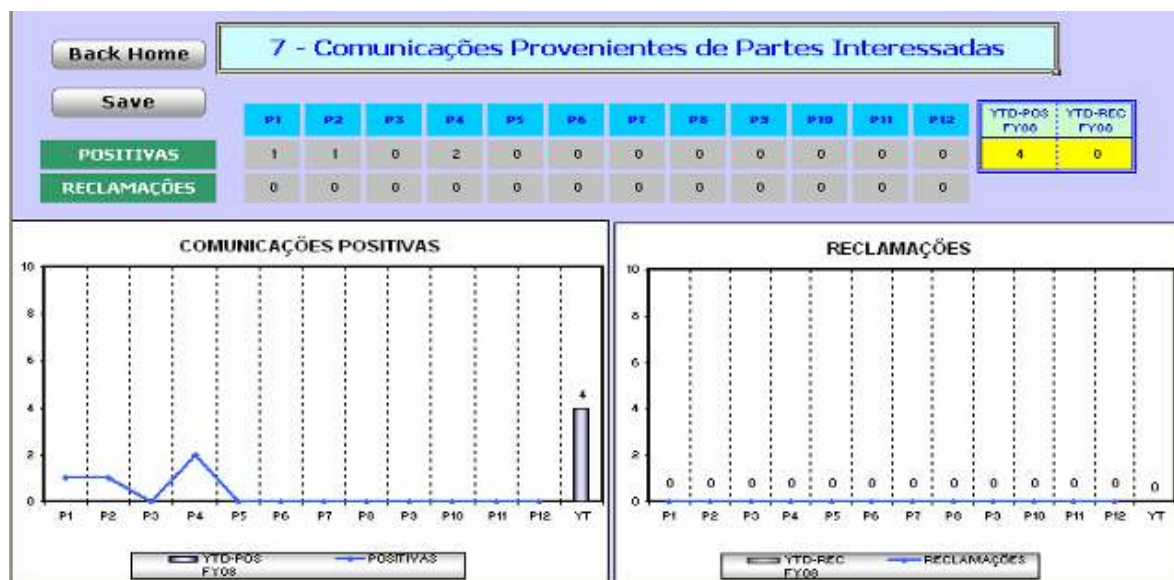


Figura 47 – Comunicação proveniente de partes interessadas

O grupo HSE&E é o grupo responsável por assegurar que todos os itens da Norma ISO 14001 estão sendo cumpridas. O grupo voluntário “Juntos Caminhando” é responsável pela divulgação externa da comunicação da empresa.

Em anexo encontram-se documentos referentes ao projeto desenvolvido e eventos realizados visando à redução do consumo de energia

7 A EDUCAÇÃO À DISTÂNCIA

Imbuídos pela necessidade de, constantemente, buscar novos métodos facilitadores para processos de ensino e aprendizagem, o homem vem desenvolvendo, a cada dia, novas ferramentas que apóiam e facilitam tal tarefa.

Sabe-se que através da Educação a Distância (EaD), novos métodos surgiram para que, ao invés de se transmitir os conhecimentos, o processo educacional possibilite que os alunos possam construir seus conhecimentos em comunidades de aprendizagem mediadas por professores. Métodos esses que possibilitam, não só os indivíduos que participavam ativamente da vida acadêmica a terem acesso a esse tipo de modalidade, mas também todos aqueles que ficam fora dela devido a diversas impossibilidades, tais como: dificuldade de deslocamento, responsabilidades familiares, tempo escasso e etc.

Estudos mostram que atualmente, no Brasil, uma das causas de exclusão social é a impossibilidade de formação profissional fora dos centros urbanos, e este fato vem de encontro com a verdadeira função da educação que é ser inclusiva, com qualidade e presente ao longo de toda a vida do indivíduo.

A Educação a Distância é uma alternativa que vem ganhando espaço e mostrando ser um valioso meio de diminuir as distâncias geográfica, social e econômica através da educação da população. Segundo Neves (2002), a EaD é parte de um amplo e contínuo processo de mudança que inclui não só a democratização do acesso a níveis crescentes de escolaridade e atualização permanente, como também, a adoção de novos paradigmas educacionais.

Definir EaD não é uma tarefa fácil, já que nesta área vem ocorrendo uma crescente evolução. Essa evolução acontece no que diz respeito à intervenção comunicativa professor-aluno, às técnicas e metodologias voltadas para a criação e melhoria dos cursos e, principalmente, no que diz respeito ao uso das tecnologias. Tendo em vista o rápido avanço tecnológico, muitas instituições estão buscando integrar suas práticas tradicionais com o novo modelo educacional.

O desenvolvimento de cursos à distância exige grandes mudanças no modelo didático-pedagógico vigente e várias questões associadas a esse novo tipo de modalidade ainda se encontram em aberto. Essa modalidade abrange, entre outras questões, as estratégias de apresentação do conteúdo, as questões de avaliação da qualidade dos cursos e também os recursos a serem utilizados.

Ainda que a modalidade utilizada, na aplicação de um curso, seja o ensino convencional, aquele que segue padrões pedagógicos tradicionais, a internet oferece um grande acervo de informações que enriquecem o ambiente de aprendizado. Entretanto, analisando os cursos disponíveis na internet, percebe-se que eles não exploram todas as possibilidades de comunicação e interação, pois a maioria dos cursos oferecidos reproduz a estrutura e o projeto gráfico de textos impressos (Alves & Santos, 2001).

7.1 Contexto

A Educação à Distância apresenta-se como uma valiosa alternativa ou como um adicional aos atuais métodos de educação, capaz de sanar alguns tipos de necessidades para aqueles que se encontram impossibilitados de participar das atividades educacionais existentes. Segundo Santos (2000), a EaD contribui para:

- i. ampliar a oferta de programas adequados às necessidades atuais;
- ii. envolver a partilha de experiências a partir de métodos e formatos de trabalhos mais abertos;
- iii. formar grande número de indivíduos a baixo custo;
- iv. compatibilizar a aprendizagem com uma atividade profissional e/ou com a vida familiar;
- v. realizar cursos não existentes na área de residência;
- vi. utilizar tecnologias de informação e comunicação que permitam trabalhar com grande quantidade de informação e com rapidez;
- vii. obter economia significativa de tempo e de deslocamento.

Esse tipo de modalidade também implica a utilização de tecnologias modernas, onde a rentabilidade do tempo assume um papel cada vez mais importante. Nessa esfera é possível observar a crescente procura por atividades de educação e formação mais individualizada capaz de proporcionar ao aluno a possibilidade de escolha do melhor modo de aprendizagem, a que melhor se adapta ao seu estilo ou dentro das suas possibilidades.

Essa modalidade de estudo vem se consolidando e cada vez mais se firmando como processo educacional no qual a maior parte da comunicação é feita através de recursos tecnológicos que possibilitam superar a distância física. Com a evolução dos modelos de EaD ao longo dos tempos, as tecnologias de execução dos cursos

passaram a utilizar, cada vez mais, os recursos disponíveis de tecnologia de informática e comunicação.

Para que um curso seja desenvolvido a distância, são necessários modelos, especificações e métodos que sistematizem o seu processo de desenvolvimento. Os projetos de aplicações hipermídia apresentam requisitos próprios, tais como (Garzotto et al., 2004; Hardman et al., 1993a; Nanard & Nanard, 1995):

- i. gerenciar um grande volume de informações;
- ii. combinar a navegação controlada pelo usuário com a própria natureza das informações multimídia;
- iii. capturar e organizar a estrutura do domínio de informação, para torná-la clara e acessível aos usuários;
- iv. criar diferentes versões a partir de uma única especificação ou projeto; e
- v. estabelecer abordagens sistemáticas para que sejam definidas a estrutura organizacional e a semântica de navegação de hiperdocumentos.

Um modelo bem estruturado de Ambiente Virtual de Aprendizagem, com especificações rigorosas e precisas, contribui para que os processos de acompanhamento da evolução dos alunos e processos de avaliação, citados como fatores problemáticos associados ao uso de sistemas no contexto do EAD, sejam realmente eficientes e contribuintes na formação de conhecimentos dos alunos.

7.2 Gestão Integrada de Energia: Estudo de caso nas bancadas do EXCEN e aplicação na indústria e sociedade

Os estudos a serem desenvolvidos nas bancadas de ensaio do EXCEN – Centro de Excelência em Eficiência Energética, alocado na Universidade Federal de Itajubá, têm como objetivo propor um modelo de Gestão Integrada de Energia, que envolve além dos alunos da universidade, colaboradores de indústrias e também, cidadãos da sociedade em geral, que tenham interesse no assunto, utilizando ferramentas de EaD.

Para tanto, serão realizadas simulações nas bancadas do EXCEN e seus resultados serão aplicados à indústria e na sociedade, considerando, simultaneamente, os aspectos de redução de demanda e consumo energético associados à melhoria na eficiência de sistemas existentes.

A estratégia utilizada para execução dos ensaios nas bancadas foi a avaliação energética dos sistemas existentes e na sequência, a sugestão de otimização dos sistemas por meio de indicadores de desempenho, inseridos em um programa de gestão ambiental.

Os ensaios a serem realizados nas bancadas do EXCEN, serão aplicados aos alunos que participarem de cursos desenvolvidos e ministrados pela equipe de Educação à Distância, do EXCEN, utilizando uma plataforma específica para este fim. A plataforma utilizada pelo EXCEN para ministrar seus cursos é a Plataforma *Adobe Connect*, que permite a realização de simulações reais com a possibilidade de acesso remoto, controlado, virtualmente, pelos alunos.

Para as aulas práticas, utilizando as bancadas, serão elaborados roteiros que conduzirão os alunos a construir o conhecimento através de experimentação, discussão e métodos de medição e verificação. Cada aluno, ao final das aulas práticas, deverá apresentar um relatório que sintetize as informações obtidas por meio da plataforma. Os resultados do Indicador de Desempenho Energético, IDE, serão utilizados para a verificação e tomada de decisão a cerca do programa de Otimização Energética e também no Programa de Gestão Ambiental.

O programa de Gestão Integrada de energia visa comunicar de forma clara, didática e resumida, à indústria e à sociedade, os conhecimentos acerca de otimização energética. A EaD permite aumentar a área de abrangência e disseminação, minimizando os custos logísticos, flexibilizando o processo de ensino e aprendizagem quanto a temporalidade entre outros fatores.

A simulação real em ambiente virtual permitirá ao aluno realizar simulações mesmo a distância, vivenciando, assim, as proposta de otimização de cada sistema.

Os estudos a serem desenvolvidos nas bancadas de ensaio do EXCEN atendem a uma solicitação da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, na qual todos os novos projetos de Eficiência Energética, implementados no âmbito do Programa de Eficiência Energética – PEE, devem comprovar os resultados baseando-se no Protocolo Internacional de Medição e Verificação – IPMVP, disponível no site da EVO – Efficiency Valuation Organization.

7.2.1 Metodologia de Pesquisa

A pesquisa é um tipo de ação social com base empírica, concebida e realizada a partir do anseio de conceber uma resolução de um problema, na maioria das vezes,

coletivo e na qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema, estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo.

A metodologia de pesquisa a ser adotada é a Pesquisa de Ação e o critério de coleta e análise de dados será o quali-quantitativo.

Etapas da pesquisa podem ser observadas abaixo:

- Definir local da pesquisa – Fase exploratória
- Identificar tema da pesquisa e de um problema no seu contexto particular
- Definir critério de representatividade
- Estabelecer as técnicas e instrumentos
- Efetuar coleta de dados
- Identificar a necessidade de mudanças e a direção que esta pode tomar
- Elaborar plano de ação
- Definir procedimento para análise de dados
- Gerar possíveis soluções e critério de aprendizagem
- Mover o ciclo até esgotar o problema

Esta pesquisa visa sanar dificuldade da sociedade em gerir os recursos energéticos disponíveis e ter acesso ao conhecimento necessário à gestão; integrar os princípios do desenvolvimento sustentável nas políticas e programas públicos e reverter a perda de recursos ambientais e também gerir a energia, integrando-a com a sociedade, com foco na difusão de conhecimentos, a fim de manter e aumentar a capacidade competitiva numa cadeia de suprimentos combativa.

Para que isso seja possível, será desenvolvido um modelo de gestão de suprimentos de insumos produtivos indiretos, orientado para o resultado, fortalecendo a relação universidade, indústria e sociedade.

Todas estas ações só serão possíveis por meio da difusão de um modelo metodológico rigoroso, e por meio de avaliações de efeitos observados na indústria e na sociedade.

7.2.2 Metodologia de Aplicação

A Metodologia de Aplicação da pesquisa se dará da seguinte forma.

- Será concluído o projeto das bancadas, realizando simulações das variáveis e analisando os resultados. Os estudos realizados no livro de eficiência energética (Fupai-2006) serão replicado.
- Serão desenvolvidas atividades práticas que conduzam o aluno a construção do conhecimento. As atividades práticas, ou simplesmente roteiros, permitem ao aluno vivenciar situações práticas de forma induzida, levantar dados, e através da confecção do relatório sintetizar estas informações.
- Para a modalidade de Educação a Distância, os roteiros serão alterados pela equipe de EaD, objetivando as especificidades do novo ambiente de aprendizagem. Porém será mantida a metodologia de síntese do conhecimento por meio de relatórios postados ao final da atividade.
- Serão aplicados na indústria os modelos replicados no laboratório do EXCEN, nas bancadas de Sistemas de Bombeamento, Ventiladores e Compressores.
- Serão realizadas análises de retorno de investimento. Ao final da implantação evidenciar os resultados.
- Criar uma política de envolvimento dos funcionários, denominados colaboradores, através de grupos multiplicadores. Nesta etapa toda a tecnologia aplicada à indústria será utilizada para otimização de recursos naturais que é garantia de sustentabilidade.
- Serão realizadas palestras para as famílias com o objetivo de desenvolver a consciência ambiental. Após a inscrição no Projeto de Eficientização, chamado LUZ, será realizada uma auditoria nas residências com o objetivo de levantar o perfil de demanda e consumo para, desta forma, propor soluções e implementá-las

CONCLUSÃO

No presente estudo foram abordados os principais sistemas de conversão de energia na indústria e sociedade. Dentre estes, selecionou-se para estudo na plantas industriais os sistema de bombeamento, sistema motrizes, sistema de compressão e na sociedade, em especial, nas residências, foram estudados os hábitos de consumo, os sistemas de refrigeração, de iluminação e de aquecimento.

Objetivando a eficiência energética dos sistemas de conversão estudados foi levantado as principais variáveis a serem simuladas levando em consideração as especificidades de cada sistema. Sempre avaliando a eficiência energética, analisando a energia solicitada, ou consumida pela energia convertida, ou fornecida. As bancadas permitiram simular as principais variável e analisá-las objetivando a melhora na eficiência energética.

Sobre o contexto de disseminação do conhecimento de propriedade das universidades, que são financiadas pela sociedade e regulado pelo estado, foi abordado a educação, na modalidade EaD, como forma de inclusão e redução de custos com locomoção, estada, material impresso entre outros custos.

Como ferramenta inovadora na modalidade EaD, desenvolveu-se a simulação real em ambiente virtual com técnicas atuais de educação e pedagogia para o aprendizado em ambientes virtuais, garantido assim um novo marco e também novos precedentes para o caráter integrador da Educação à Distância, permitindo assim um novo canal de comunicação entre a universidade e a sociedade. A automação foi o ferramental para integrar ao ambiente virtual os dados e informações dos sistemas de conversão, passando pela área da instrumentação, informática, mecânica e elétrica. A simulação real em ambiente virtual permite ao aluno vivenciar as experiências, antes limitadas, à laboratórios reais em um ambiente virtual controlado. A inclusão das engenharias aos cursos de EaD possuem limitações legais e de classes. Cabe aqui uma reflexão sobre o caráter integrador desta modalidade indo de encontro às necessidade do novo cenário de desenvolvimento do Brasil e da necessidade de novos engenheiros. A principal dificuldade apresentada é o caráter prático necessário a construção do conhecimento do novo engenheiro, concretizado pro meio das atividades práticas realizadas em laboratórios nas bancadas reais. Com o intento será possível simular a distância condições reais de diversos sistemas.

O desenvolvimento de critérios, rotinas e técnicas permitiram aprimorar o método de pesquisa. O critério de coleta e análise de dados na primeira etapa dos

estudos foi qualitativo, as variáveis analisadas nesta etapa levaram em consideração os estudos realizados pela equipe da Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (FUPAI/MG) e a coleta ocorreu durante o *startup* das bancadas, nas quais foram sendo realizadas adequações e modificações. E após a conclusão do projeto foram avaliadas as características didáticas sobre a ótica de eficiência energética. A primeira etapa ocorreu no Centro de Excelência em Eficiência Energética (EXCEN). A metodologia de pesquisa na primeira etapa foi a modalidade de pesquisa ação. Para efetivação das práticas simuladas em laboratório foi realizada a pesquisa na modalidade de estudo de caso na indústria e na sociedade e o critério de coleta e análise de dados é o quali-quantitativo.

Para o desenvolvimento dos roteiros e das aulas práticas foi necessário compreender as técnicas atuais de ensino, aplicando a pedagogia relacional e a metodologia dialética, propiciando ao aluno as informações necessárias para a construção dos conhecimentos após as experiências práticas.

Na indústria, para a disseminação dos conceitos de eficiência energética, a maior apropriação do conhecimento ocorreu nas equipes de manutenção, assim recomenda-se que elas devem estar envolvidas nos Projetos de Eficiência Energéticas (PEE), pois estarão em contato direto com os equipamentos, procedimentos e as linhas de produção. Estas equipes devem receber treinamento acerca de eficiência energética, de sistemas de bombeamento, de compressão, de ventilação, de refrigeração, motrizes entre outros, sempre levando em conta o perfil deste egresso.

O conhecimento aplicado em locais onde será útil implica na efetivação da prática da educação, transformando informações em conhecimento, conforme João Amos Comenius (1592-1670) afirmava que “o professor deveria ensinar ao aluno somente aquilo que ele realmente precisava aprender” daí a necessidade de compreender o perfil do egresso. Diz ainda “O ensino deveria ser direto, partindo do geral para o específico”. O professor, segundo Comenius, “deveria fazer referência à natureza e às suas causas, para que o conhecimento pudesse ser aplicado na vida diária”. A pedagogia de Comenius é referenciada por pensadores atualíssimos como Paulo Freire, Piaget, Vygotsky, Montessori, Emília Ferreiro, Perrenoud, Rubem Alves, Libâneo, Pedro Demo, Saviani e tantos outros luminares da modernidade e da contemporaneidade da educação.

Através de parcerias entre associações de classe como, por exemplo, Fiemg, Fiesp entre outras, deve-se desenvolver programas de incentivo e reconhecimento das

melhores práticas levando em consideração a micro região de abrangência da instituição, até mesmo instituições estaduais, através de iniciativas como condecorações, premiações por destaque, que levem em consideração ações de envolvimento de funcionários, das comunidades e trabalhos voluntários. Este tipo de atitude pode ser observado no “Prêmio Mineiro de Conservação e Uso Racional da Energia”, ou simplesmente PMCE, que é uma iniciativa da Cemig, Gasmig, Fiemg.

O Estado deverá articular, fomentar e motivar políticas públicas voltadas ao incentivo da indústria a incorporar em seus objetivos ambientais os indicadores de energia, conforme previsto na ISO 14031/2004, que trata das diretrizes para a avaliação do desempenho (performance) ambiental e na ISO 14032/1999, que trata de exemplos de avaliação do desempenho ambiental. Dentro deste contexto, ainda incentivar a incorporação de seus colaboradores aos programas de gestão ambiental e recursos naturais. Motivar o contato da sociedade e da indústria a fim de propiciar o desenvolvimento social, levando em consideração o caráter de responsabilidade social alinhado aos indicadores de desenvolvimento da região, previsto no atlas de desenvolvimento humano do Brasil.

Quanto à responsabilidade social busca-se o atendimento dos objetivos para o desenvolvimento do milênio, centralizados no programa das Nações Unidas para o desenvolvimento (PNUD), em seus apoiadores e no Conselho Internacional para as Iniciativas Ambientais Locais, ICLEI (International Council for Local Environmental Initiatives), alinhados ao Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da União Internacional das Autoridades Locais (IULA). A inclusão dos colaboradores da indústria, e da sociedade onde a indústria está inserida, remete as políticas supracitadas e como tal necessita de direcionamentos de recursos e incentivos, pois atendendo a um novo conceito de trabalho em células menores tem-se um maior resultado, porém sempre associados a cerca das federações, conselhos de classe, etc.

Quanto aos aspectos legais no Brasil, os instrumentos legais que tratam da Eficiência Energética são a lei 10.295/2001 (LEI ORDINÁRIA) de 17/10/2001, que dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia e dá outras providências e o Decreto Federal 4059/2001 de 19/12/2001 que regulamentada a lei acima citada, os quais definem claramente sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia e dá outras providências.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, A.T. L. Motores elétricos – Máquinas elétricas para automação. Itajubá: UNIFEI, Agosto de 2004.

Benedict, R. P. Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurements; 1984; 3rd Edition; John Wiley & Sons; New York.

CUNHA, L. Revista O setor elétrico. Edição: setembro de 2009. Disponível em: <<http://www.osetoelettrico.com.br/ose/index.php?page=site.ViewMateria&ided=14&idmateria=68>> Acesso em: 10 Novembro 2009.

FLÔRES, L. F.V. Sistemas Térmicos I. Apostila. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. MG. (s/d)

IMBIL – Soluções em bombeamento. Disponível em: <<http://www.imbil.com.br/Imbil/Portugues/lisProdutos.php>> Acesso em: 25 Novembro 2009;

KOSOW, I. L. Máquinas elétricas e transformadores. 14ª edição. São Paulo: Editora Globo, 2000.

KRAUSE, C. B. et al. Manual de prédios eficientes em energia elétrica. Rio de Janeiro: IBAM/ELETROBRÁS/PROCEL, 2002.

Livro técnico PROCEL. Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

Livro técnico: PROCEL. Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

Oliveira, W. Apostila: Máquinas de Fluxo; Capítulos 1, 2, 3 e 9;

SANTOS, A. H. M. et al. Conservação de Energia - Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos. 3ª Ed. Itajubá: 2001.

SANTOS, A. H. M. et al. Eficiência energética – Teoria e prática. Primeira edição. Itajubá: 2007.

SCHNEIDER Motobombas. Disponível em: < <http://www.schneider.ind.br/>> Acesso em: 25 Novembro 2009.

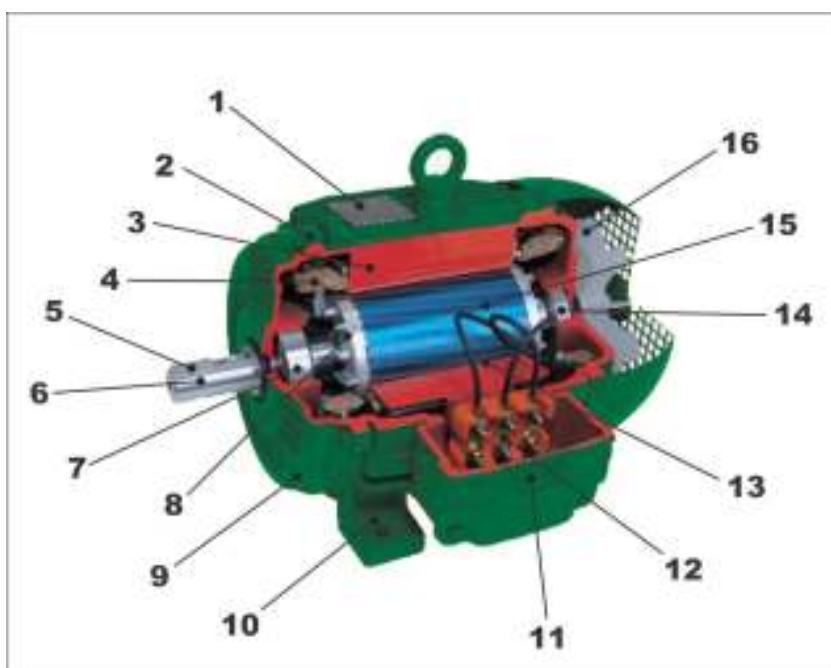
VIANA A. N. C. Análise de Bombas Centrífugas Operando com Velocidade Variável - III Congresso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica - Habana/Cuba - Septiembre - 1997.

WEG. Catálogos de produtos. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Motores/Motores-Eletricos-Industriais>> Acesso em: 7 Novembro 2009;

ANEXO I**Roteiro de Aula Prática****Motores Elétricos**

Identificando as partes de um motor.

Coloque o nome das partes do motor conforme indicação:



Nº	Nome	Nº	Nome
1		9	
2		10	
3		11	
4		12	
5		13	
6		14	
7		15	
8		16	

Simulação de carregamento em laboratório.

Complete a tabela a seguir com os valores nominais do motor.

Valores Nominais	
Potência: P_N (CV)	

Tensão: U_N (V)	
Corrente: I_N (A)	
Velocidade de Rotação: n_N (rpm)	
Velocidade de rotação síncrona (rpm)	3600

Com o motor alimentado diretamente da rede, variando a condição de carga através do freio de Foucault. Complete a tabela a seguir com os dados levantados no experimento.

	Corrente de trabalho: I_t (A)	Rotação de trabalho: n_t (rpm)
1ª Condição		
2ª Condição		
3ª Condição		

A corrente em vazio será: $I_0 =$ _____

Através das fórmulas, Calcule o fator de carregamento.

$$F_C = \frac{\eta_t}{\eta_N} \times \frac{(\eta_S - \eta_t)}{(\eta_S - \eta_N)} \quad F_C = \frac{(2I_t - I_0)}{(2I_N - I_0)}$$

	Pela corrente	Pela rotação
1ª Condição		
2ª Condição		
3ª Condição		

Repita o item anterior para os seguintes valores:

Valores Nominais

Potência	22 kW
Tensão	220 V
Corrente	72 A
Velocidade de Rotação	1730 rpm
Velocidade de rotação síncrona	1800 rpm

	Corrente (A)	Velocidade de Rotação (rpm)
1ª Condição	50,1	1760
2ª Condição	58,3	1750
3ª Condição	62,1	1744
4ª Condição	74,7	1726

QUESTÕES

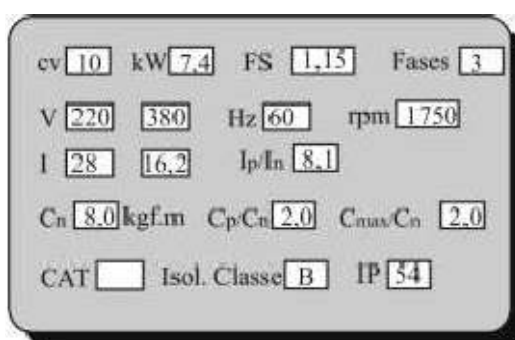
1) Através do fator de carregamento dos dois motores vistos, faça uma análise crítica quanto ao dimensionamento destes motores.

2) Considerando a 1ª Condição do primeiro motor, sem considerar a corrente de partida, se fôssemos trocar por outro motor, qual potência deveria ter o motor?

3) O que acontece se o tempo de partida for maior que o tempo de rotor bloqueado? Qual é a solução neste caso?

4) Por que motivo um motor de indução não consegue atingir a velocidade síncrona?

5) O motor cuja placa de identificação é mostrada abaixo queimou e precisa ser trocado com urgência:



Como responsável pela instalação você vai até ao depósito e encontra os seguintes motores:

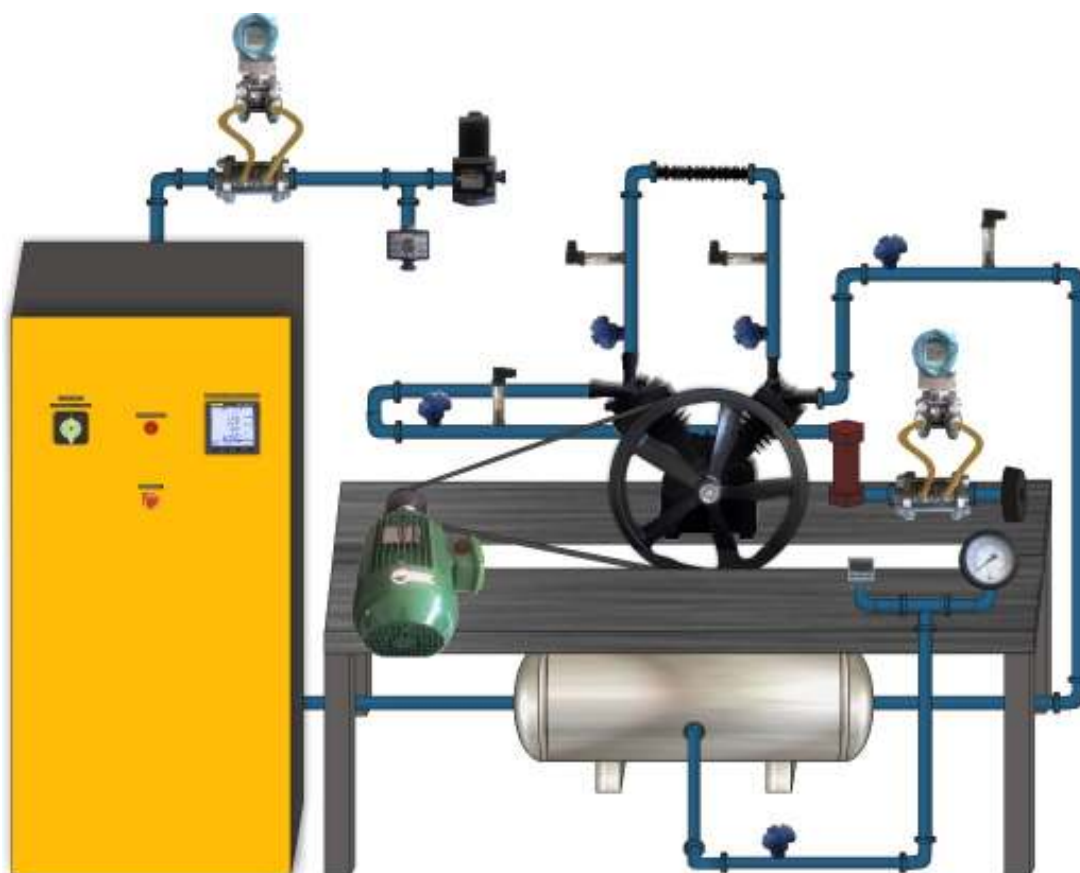
- **MOTOR 1:** 10 cv, FS = 1,15, 9 pontas (220 -440 V), 1750 rpm;
- **MOTOR 2:** 12,5 cv, FS = 1,0, 12 pontas (220-380-440-760 V), 3520 rpm, trifásico;
- **MOTOR 3:** 7,5 cv, FS = 1,25, 6 pontas (220-380 V), 1750 rpm, trifásico;
- **MOTOR 4:** 10 cv, FS = 1,0, 110-220 V, monofásico.

Considerando que a tensão da rede local é 380/220 V, 60 Hz, qual o motor mais adequado para substituir aquele que queimou? Por quê? Indique, caso seja necessário, as razões de o motor não servir.

6) Motores de alto rendimento são aqueles projetados para, fornecendo a mesma potência útil que outros tipos de motores, consumirem menos energia elétrica da rede (maior rendimento). Cite três características deste motor que favorece este rendimento.

ANEXO II**Roteiro de Aula Prática****Ar Comprimido**

Esquema da Bancada



Dados do Motor

Potência Elétrica	Tensão	Corrente nominal	Rendimento	Rotação Nominal
5 CV	220 V	13 A	85,60%	3485 rpm

Dados do compressor a vazio

Potência Elétrica	Corrente	Rendimento	Rotação
0,58 CV	4,5 A	72%	666 rpm

Dados do Ensaio

Temperatura, pressão ambiente e umidade relativa do ar:

$T_{amb.}$	$p_{amb.}$	$\gamma_{amb.}$

Tabela com os dados medidos no ensaio.

p [bar]	P_{el} [CV]	η_{el} [%]	$m_{circulante}$ [g/s]	p_1 [bar]	T_1 [°C]	p_2 [bar]	T_2 [°C]	p_3 [bar]	T_3 [°C]	p_4 [bar]	T_4 [°C]
1,0	1,70	82	4,42								
1,5	1,75	82	4,31								
2,0	1,80	84	4,14								
2,5	1,85	84	3,91								
3,0	1,94	85	3,8								
3,5	2,03	85	3,69								
4,0	2,12	86	3,58								
4,5	2,31	86	3,47								
5,0	2,50	87	3,37								

Sendo:

p_1	Pressão de entrada do 1° estágio
p_2	Pressão de saída do 1° estágio
p_3	Pressão de entrada do 2° estágio
p_4	Pressão de saída do 2° estágio

T_1	Temperatura de entrada do 1° estágio
T_2	Temperatura de saída do 1° estágio
T_3	Temperatura de entrada do 2° estágio
T_4	Temperatura de saída do 2° estágio

Perdas por atrito

$$P_{atrito} = P_{ele\ comp.} \cdot \eta_{ele\ comp.} \cdot \eta_{trans.} \quad (1)$$

Sendo:

$P_{ele\ comp.}$ = Potência Elétrica do compressor a vazio.

$\eta_{elecomp.}$ = Rendimento elétrico do compressor a vazio.

$$\eta_{trans.} = 98\%$$

Potência do Eixo

$$P_{eixo} = P_{el} \cdot \eta_{el} \cdot \eta_{trans.} \quad (2)$$

Rendimento Mecânico

$$\eta_{mec.} = \frac{(1 - P_{atrito})}{P_{eixo}} \quad (3)$$

Rendimento isentrópico

$$\eta_{is} = m_{circulante} \cdot R \cdot T_1 \cdot \frac{\ln(p / p_{amb.})}{P_{eixo}} \quad (4)$$

Onde:

$$R = 287 \text{ J / Kg K}$$

$$p = p_4 + p_{amb.}$$

p_4 = Pressão de saída do 2° estágio.

Lembre-se: as temperaturas usadas no cálculo devem ser absolutas (Kelvin).

Calor Perdido entre os estágios (no resfriador intermediário)

$$Q = m_{circulante} \cdot C_p \cdot (T_2 - T_3) \quad (5)$$

$$C_p = 0,241 \text{ kcal / kg } ^\circ\text{C}$$

Consumo Específico

$$Cons.esp. = \frac{P_{ele} \cdot \rho_{desc.}}{m_{circulante}} \quad (6)$$

$$\rho_{desc.} = \frac{(p_4 + p_{amb.})}{R \cdot T_4} \quad (7)$$

Rendimento Global

$$\eta_{global} = m_{circulante} \cdot C_p \cdot (T_4 - T_1) \quad (8)$$

Após os cálculos complete a seguinte tabela:

p [bar]	η_{is}	η_{mec}	Q [cal/s]	C_e [kW/(m ³ /m)]	η_{global}
1,0					
1,5					
2,0					
2,5					
3,0					
3,5					
4,0					
4,5					
5,0					

Coefficientes das curvas politrópicas

Na avaliação dos coeficientes das curvas politrópicas quanto mais próximo de **1** melhor é o resfriamento da máquina.

$$n_1 = \frac{1}{\left[\ln(T_1 / T_2) / \ln\left((p_2 + p_{amb}) / (p_1 + p_{amb}) \right) \right] + 1} \quad (9)$$

$$n_2 = \frac{1}{\left[\ln(T_3 / T_4) / \ln\left((p_4 + p_{amb}) / (p_3 + p_{amb}) \right) \right] + 1} \quad (10)$$

Sendo:

n_1 = coeficiente da curva politrópica do 1° estágio.

n_2 = coeficiente da curva politrópica do 2° estágio.

Monte uma tabela que contenha os coeficientes das curvas politrópicas e faça uma análise crítica dos dados obtidos.

p [bar]	n_1	n_2
1,0		
1,5		
2,0		
2,5		
3,0		
3,5		
4,0		
4,5		
5,0		

ANEXO III**Roteiro de Aula Prática****Bombas**

1 - Levantar dados de placa das bombas:



Figura 1 - Foto da bomba em corte

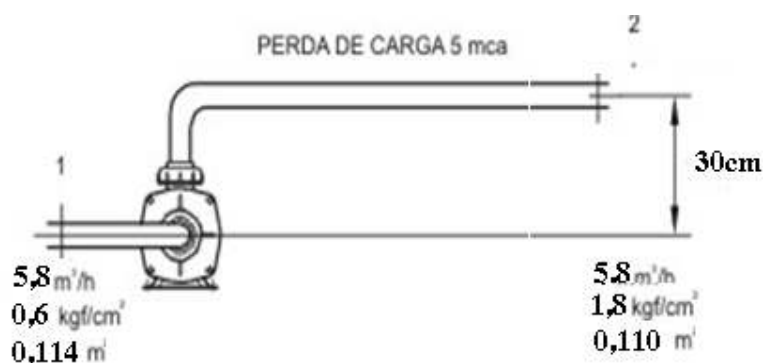
Placa da Bomba:

SCHNEIDER MOTOBOMBAS					
BC - 92SHB 3CVMANC60HZ					
LIMITES	ALTURA (m c.a.)	VAZAO (m ³ /h)	PROF. INJ. (M)	ALTURA MAX. (m c.a.)	NUMERO DE SERIE
MIN	20	8,7			61.10.13453.0003
MAX	38	17,3		43	RPM: 3450
BOCAIS (BSP) SUCCAO: 1 1/2 RECALQUE: 1 1/4 RETORNO:					
C.N.P.J. 84.685.106/0001 - 66 - JOINVILLE/SC - MADE IN BRAZIL					
OBRIGATORIO ATERRAR MOTOR ELETRICO					

	Descrição	Valor	Unidade
Limites de Operação	Altura máx.		
	Altura mín.		
	Vazão máx.		
	Vazão mín.		
	Altura Máx (shut off)		
	Sucção:		-
	Recalque:		-

Rotação:		
Diâmetro do rotor:		

2- Utilizando a figura abaixo, calcular a altura total de elevação da bomba da estação de bombeamento de água.



Dados:

Massa específica da água: $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

Peso específico: $\gamma = 10\,000 \text{ N/m}^3$

Aceleração da gravidade: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Utilize Bernoulli,

$$H = H_2 - H_1 \quad (11)$$

$$H = \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} + Z \quad (12)$$

Onde:

$\frac{p}{\rho \cdot g}$ é a altura de pressão;

$\frac{v^2}{2 \cdot g}$ é a altura dinâmica;

Z é a altura Piezométrica.

$$v = \frac{4.Q}{\pi.D^2} \quad (13)$$

Onde:

Q é a vazão em m^3/s e D é o diâmetro do tubo.

Com os dados calculados complete as tabelas abaixo, a unidade é [m] metros:

Ponto 1	Valor
Altura de Pressão	
Altura	
Altura Dinâmica	
Soma H_1	

Ponto 2	Valor
Altura de Pressão	
Altura	
Altura Dinâmica	
Soma H_2	

Depois de calculado $H_2 - H_1$ some 5m devido à perda de carga:

$$H = \underline{\hspace{2cm}}$$

Calcule a potência hidráulica para esta condição de bombeamento:

$$P_{hid} = \rho.g.Q.H [W] \quad (14)$$

3 - Atividade em laboratório

Com a válvula da saída da Bomba fechada, o sistema é ligado e com os dados de leitura, completamos a tabela:

Descrição	Valor	Unidade
Vazão	0	m ³ /h
Pressão de sucção		
Pressão de recalque		
Diferença de cota	1,0	m
Potência Elétrica (P1)		
Fator de potência		-

Vamos agora abrir a válvula da saída e completar a seguinte tabela:

Descrição	Valor	Unidade
Vazão		
Pressão de sucção		
Pressão de recalque		
Diferença de cota	1,0	m
Potência Elétrica (P2)		
Fator de potência		-

Para a nossa bancada:

$$H = \frac{P_{\text{recalque}} - P_{\text{sucção}}}{\gamma}$$

Deve-se tomar cuidado com as conversões de unidades.

Calcule a Potência hidráulica conforme fórmula dada anteriormente (4).

Verifique o rendimento do sistema de bombeamento através da equação:

$$\eta[\%] = \frac{P_{hid}}{P_{elétrica P2}} \times 100\%$$

(15)

QUESTÕES

1) Na partida de uma bomba axial, deve-se partir com a válvula na saída:

- a) aberto 50%.
- b) Vazão máxima, potência mínima.
- c) Vazão máxima, potência máxima.
- d) Vazão mínima, potência máxima.
- e) Vazão mínima, potência mínima.

Justifique sua resposta.

2) Uma bomba centrífuga possui 3 estágios e tem as seguintes características:

$$Q = 0,33[\text{m}^3/\text{s}];$$

$$H = 100[\text{m}];$$

$$\eta_t = 60[\%];$$

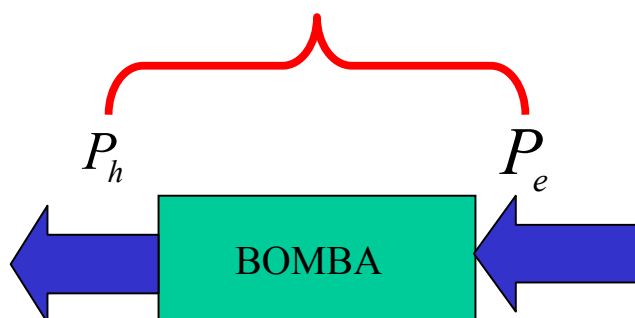
$$\rho = 103[\text{kg}/\text{m}^3]$$

Qual é sua potência efetiva (eixo)?

Dados:

$$\eta_t = \frac{P_h}{P_e}$$

$$P_e[\text{kW}] = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot 10^{-3}}{\eta_t}$$

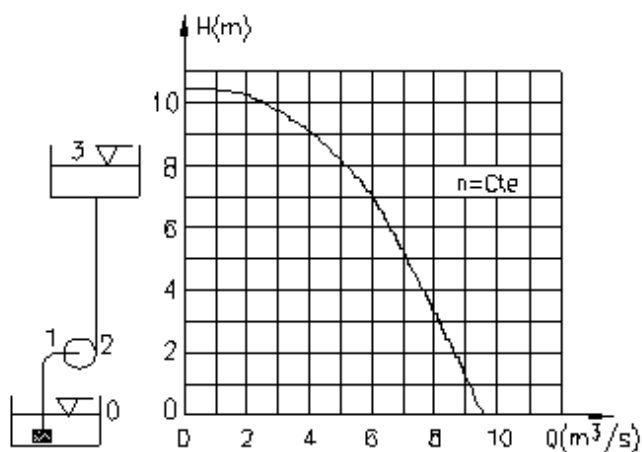


3) Qual deve ser a Potência Elétrica fornecida ao motor para que este sistema tenha o mesmo rendimento do obtido em laboratório?

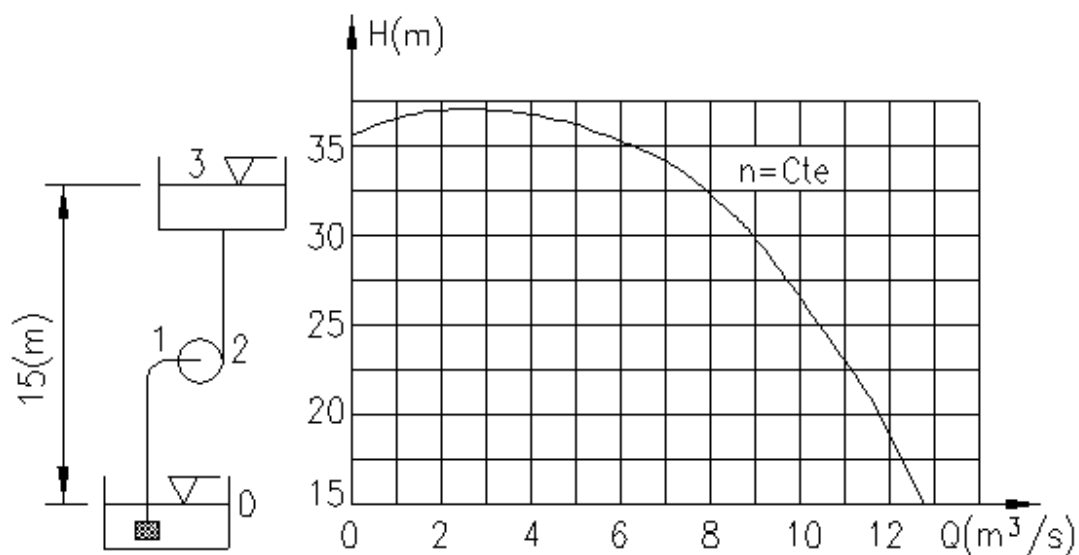
4) Encontrar o ponto de funcionamento para a bomba esquematizada abaixo:

$$H = H_0 + \frac{p_r - p_s}{\rho \cdot g} + \frac{v_r^2 - v_s^2}{2g} + H_p$$

$$H_{p_{0 \rightarrow 1}} = H_{p_{2 \rightarrow 3}} = 1[\text{m}]$$



5) Encontrar o ponto de funcionamento para a bomba esquematizada abaixo:



$$H_{p_{0 \rightarrow 1}} + H_{p_{2 \rightarrow 3}} = 15[m]$$

ANEXO IV

Sustentabilidade. É isso que nós fazemos aqui!

Todos os membros do time do projeto foram responsáveis por trazer garrafas de plástico e caixas de leite e construir o seu próprio Aquecedor



Poka Yoke criado para facilitar o

ANEXO V

Sustentabilidade. É isso que nós fazemos aqui!



**Project completed
successfully!**



Johnson Controls
March 2008



ANEXO VI



NSF International Strategic Registrations, Ltd.

A Subsidiary of NSF International
789 North Dixboro Road, Ann Arbor, Michigan 48105
(888) NSF-9000



Certificate of Registration

This certifies that the Quality Management System of
Johnson Controls - do Brasil Automotive, LTDA

Av. Dox Alecrins 999 - Distrito Industrial
Pouso Alegre, MG, 37550-000 Brazil

has been assessed by NSF-ISR and found to be in conformance to the following standard(s):

ISO/TS 16949:2002

Having been audited in accordance with the "Rules for the registration scheme for ISO/TS 16949:2002 2nd Edition"

Scope of Registration:

Manufacturing of complete automotive seat cover assembly and wiring.

Exclusions:

Supplier Code(s): Ford-N/A / GM-N/A / DaimlerChrysler-N/A/1

Industrial Classification:

IAF: 22, 17
SIC: 3714, 37
NACE: DM 34, DJ 28.7
IATF Certificate Number: 0040637
Certificate Number: 61532-TS5
Certificate Issue Date: 12/11/2006
Company Initial Date: 06/27/2002
Registration Date: 12/11/2006
Expiration Date*: 12/10/2009




Christian B. Lupo
Christian B. Lupo, General Manager
NSF-ISR, Ltd.



Authorized Registration and/or Assistance Mark

This certificate is the property of NSF-ISR and shall be returned upon request. *Company is subject for compliance at regular intervals. To verify registration visit (888) NSF-9000 or visit our web site at www.nsf-intl.com

ANEXO VII

	
NSF International Strategic Registrations	
Management Systems Registration	
789 North Dixboro Road, Ann Arbor, Michigan 48105 (888) NSF-9000	
<i>Certificate of Registration</i>	
This certifies that the Environmental Management System of	
Johnson Controls - do Brasil Automotivo, LTDA	
Av. dos Alecrins No. 999 Distrito Industrial Pouso Alegre, MG, 37550-000 Brazil	
has been assessed by NSF-ISR and found to be in conformance to the following standard(s):	
ISO 14001:2004	
Scope of Registration:	
Complete automotive seat cover assembly and wiring as part of the design system and in accordance with the facility's EMS.	
Industrial Classification:	
IAF: _____ SIC: 3086 NACE: _____	
Certificate Number: 61537-ES Certificate Issue Date: 12-Apr-2007 Company Initial Date: 14-Mar-2001 Registration Date: 06-Apr-2007 Expiration Date*: 05-Apr-2010	
	
Authorized Registration under Administration: Marka	
This certificate is the property of NSF-ISR and must be returned upon request. *Company is advised for compliance of regular intervals. For yearly registration visit (888) NSF-9000 or visit our website at www.nsf-iso.org	
 Christian B. Lupo, General Manager NSF-ISR, Ltd.	

ANEXO VIII



O Sistema Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais-Fiemg, a Companhia Energética de Minas Gerais-Cemig, a Companhia de Gás de Minas Gerais-Gasmig e a Efficientia conferem à

Johnson Controls do Brasil Automotive Ltda

o Prêmio Mineiro de Conservação e Uso Racional de Energia - PMCE 2007, na modalidade

Energia Elétrica

Belo Horizonte, 30 de outubro de 2007

Djalma Bastos de Moraes
Diretor Presidente - CEMIG

Robson Braga de Andrade
Presidente - FIEGAS



ANEXO IX



