

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL

METODOLOGIA DE REALIZAÇÃO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Eng. Edson Szyszka
Eng. Marcio Americo

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

Praia do Flamento, 66 – Bloco A – 14º andar
Flamengo – Rio de Janeiro – 22210-030
Caixa Postal 1639 – Tel: 21 2514 5151
www.eletronbras.com

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

Praia do Flamento, 66 – Bloco A – 3º e 4º andares
Flamengo – Rio de Janeiro – 22210-030
www.eletronbras.com/procel
procel@eletronbras.com
Ligação gratuita 0800 560 506

PROCEL INDÚSTRIA – EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL

Praia do Flamento, 66 – Bloco A – 4º andar
Flamengo – Rio de Janeiro – 22210-030
www.eletronbras.com/procel
procel@eletronbras.com
Ligação gratuita 0800 560 506
Fax: 21 2514 5553

Trabalho elaborado no âmbito do PROCEL INDÚSTRIA

Metodologia de Realização de Diagnóstico Energético – Rio de Janeiro, dezembro/2004

1. Edson Szyszka 2. Marcio Americo

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – é proibida a reprodução total ou parcial de qualquer forma ou por qualquer meio. A violação dos direitos de autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 PLANEJAMENTO DA ATUAÇÃO DO CONSULTOR	3
2.1 - Tarefas do Consultor em Eficiência Energética	3
2.1.1 - Organizar o roteiro inicial	3
2.1.2 - Realizar a coleta de dados e diagnóstico energético	3
2.1.3 - Emitir relatório de planejamento	4
2.1.4 - Implementar as medidas de economia de energia	4
2.2 - Metas do Consultor em Eficiência Energética	4
2.2.1 - Estabelecer uma relação de colaboração com o cliente	4
2.2.2 - Focar as causas	4
2.2.3 - Discorrer com liberdade sobre os problemas técnicos e de relacionamento	4
2.3 - Formas de atuação do Consultor em Eficiência Energética	5
2.4 - Exemplos de parceria entre o Consultor e o Cliente	6
2.5 - Escolha da logística	9
3 ANÁLISE TÉCNICA DOS EQUIPAMENTOS	11
3.1 - Eficiência de motores elétricos	11
3.2 - Custos associados aos motores elétricos	12
3.3 - Superdimensionamento	13
3.3.1 - Causas do superdimensionamento	14
3.3.2 - Conseqüências do superdimensionamento	14
3.3.3 - Efeitos do dimensionamento inadequado	15
3.4 - Reparo inadequado do motor	16
3.5 - Motores de Alto Rendimento	18
3.6 - Acoplamento Motor-Carga	19
3.6.1 - Acoplamento direto	19
3.6.2 - Polias e correias	19
3.6.3 - Caixas de engrenagens	20

4 AQUISIÇÃO DE DADOS	21
4.1 - Levantamento de dados em motores elétricos	21
4.1.1 - Levantamento por amostragem	21
4.1.2 - Levantamento por dados de placa	21
4.1.3 - Levantamento detalhado	22
4.2 - Dados relevantes a serem levantados	22
4.2.1 - Horas de funcionamento	22
4.2.2 - Dados de placa	23
4.2.3 - Dados construtivos	25
4.2.4 - Dados da carga acionada	26
4.2.5 - Medições elétricas e mecânicas	27
4.2.6 - Monitoração contínua de máquinas	29
5 DIAGNÓSTICO E CONCLUSÕES	31
5.1 - Generalidades	31
5.2 - Análise dos dados	31
5.3 - Programa computacional BDMotor	32
5.4 - Comparação direta com dados dos fabricantes	32
5.5 - Aplicações	34
5.5.1 - Exemplo 1	34
5.5.2 - Exemplo 2	38
5.5.3 - Exemplo 3	38
5.6 - Relatório técnico-econômico	39
5.6.1 - Resumo gerencial	40
5.6.2 - Introdução	40
5.6.3 - Metodologia utilizada	40
5.6.4 - Análise técnica e econômica	43
5.6.5 - Conclusões	44
6 EXERCÍCIO RESOLVIDO	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

Quando um profissional em eficiência energética está tecnicamente pronto para colocar em prática todo o seu conhecimento, principalmente em uma planta industrial, alguns pontos importantes devem ser considerados, desde o seu comportamento pessoal até os detalhes de apresentação do seu relatório final.

Esta apostila tem como objetivo apresentar todos os principais aspectos na realização de um diagnóstico energético completo.

2 PLANEJAMENTO DA ATUAÇÃO DO CONSULTOR

2.1 Tarefas do Consultor em Eficiência Energética

2.1.1 Organizar o roteiro inicial

- » fazer contato com o cliente;
- » agendar visita à planta;
- » conhecer as expectativas do cliente;
- » analisar suas próprias expectativas preliminares;
- » preparar primeira reunião;
- » apresentar expectativas do consultor;
- » explicar forma de trabalho.

2.1.2 Realizar a coleta de dados e o diagnóstico energético

- » negociar e definir quem vai ser envolvido;
- » apresentar os métodos que serão usados;
- » escolher os tipos de dados que serão analisados;

» prever o tempo que vai durar esta etapa.

2.1.3 Emitir relatório de planejamento

» condensar a grande quantidade de dados a um conjunto gerenciável;

» fazer um planejamento em parceria com o cliente.

2.1.4 Implementar as medidas de economia de energia

» definir os papéis do consultor e do cliente na implementação.

2.2 Metas do Consultor em Eficiência Energética

2.2.1 Estabelecer uma relação de colaboração com o cliente

» usar de forma mais eficaz possível seu próprio pessoal e os cedidos pelo cliente;

» se o consultor fala em colaborar sobre algum ponto específico, ele tem de colaborar para não confundir o cliente.

2.2.2 Focar as causas

» analisar não só a eficiência de um equipamento, mas também sua correta especificação;

» treinar os gerentes e supervisores em conceitos de EE.

2.2.3 Discorrer com liberdade sobre os problemas técnicos e de relacionamento

» o consultor pode falar sobre o processo com mais liberdade que os gerentes;

» pode fazer relações entre fases do processo, pois não está disputando “espaço” na empresa.

2.3 Formas de atuação do Consultor em Eficiência Energética

O objetivo principal do consultor em EE é desenvolver o comprometimento do cliente com os trabalhos, diagnósticos e implementações recomendadas no seu relatório final.

Neste relacionamento é preciso definir se o papel do consultor será de mão-de-obra ou de colaborador do cliente.

Quanto à colaboração do cliente, é preciso estabelecer que ela é necessária em áreas em que não é envolvida a especialização do consultor em EE. Nas outras áreas, a atuação é do consultor.

Seguem abaixo, na tabela 2.1, alguns exemplos de ações em que é desejada a colaboração do cliente e de áreas específicas que envolvem especialização em que as ações são de responsabilidade do consultor em EE.

Tabela 2.1 – Ações do consultor em EE

Ações com colaboração do cliente	Ações específicas do consultor em EE
Análise das sugestões e desejos do cliente.	Projeto de um novo acionamento dos equipamentos.
Planejar como informar a organização sobre o estudo de EE.	Projetos de treinamento.
Decisão sobre quem envolver na coleta de dados.	Elaboração de planilhas técnicas e de avaliação econômica.
Gerar o tipo correto de dados (dados de produção).	Medição de novos dados e verificação dos já existentes.
Interpretar os resultados do relatório de EE.	Realizar simulações técnicas e elaborar o escopo do relatório final (incluindo resumo gerencial).
Decidir como fazer implementação.	Elaborar a estratégia de substituições e fazer análise de custos.

2.4 Exemplos de parceria entre o Consultor e o Cliente

Os “casos” a seguir são exemplos de parcerias produtivas entre o consultor em EE e o cliente, de forma que haja um equilíbrio de 50% entre as partes.

» Caso I – Problema já analisado pelo cliente

Consultor EE	O senhor já fez alguma análise de problemas de EE na sua planta?
Cliente	O sistema de bombeamento dos 20 poços artesianos por ar-comprimado é um grande problema que temos. Você precisa verificar outras opções.
Consultor EE	Vou verificar. Acho também que deveríamos considerar o sistema de resfriamento de água e insuflamento de ar das unidades da fiação, especialmente da unidade III.
Comentário	Não cabe apenas ao cliente fazer a declaração do problema. O consultor deve já no estágio inicial sentir-se livre para acrescentar os seus 50%.

» Caso II – Decisão sobre contratações de um serviço

Cliente	Ok, vamos em frente com o serviço de EE. Gostaríamos de ter todas as medidas de payback menor que oito meses implementadas em 30 dias.
Consultor EE	Colher os dados, monitorar os processos e analisar as opções técnicas e econômicas é um trabalho árduo. Temos várias simulações que precisam ser realizadas. Se sua meta é de apenas 30 dias, acho melhor reavaliar se podemos lhe atender.
Comentário	A verdade é a essência deste trabalho. O cliente acha que a decisão de ir em frente depende só dele. Questionando a decisão do cliente, o consultor está agindo como parceiro. A intenção não é dizer não ao cliente, mas tomar a decisão em conjunto.

» Caso III – Decisão sobre áreas ou problemas a serem estudados

Consultor EE	Vamos começar segunda-feira. Queremos verificar os registros das medições existentes e fazer uma série de perguntas sobre os processos de produção aos operadores. Ajudaria muito se o senhor e seus supervisores nos indicassem os registros mais importantes relativos aos processos, e que perguntas gostaríamos que seus operadores respondessem.
Comentário	É necessária somente uma simples pergunta para envolver o cliente na decisão dos dados de processo que devem ser adotados. Quase nunca esta pergunta é feita.

» Caso IV – Decisão sobre quem será envolvido no projeto

Consultor EE	Para que possamos trabalhar com eficiência, precisaria que um profissional da área de manutenção nos acompanhasse durante todo o período de medições e que o supervisor de produção de cada unidade disponibilizasse um período de 8 horas para que melhor entendêssemos cada etapa do processo. Estaremos totalmente a cargo do projeto, mas estas pessoas do seu grupo vão ajudar imensamente no projeto.
Comentário	Mesmo que possamos fazer tudo sozinhos, o engajamento de pessoas da organização promove o comprometimento e a eventual implementação das medidas propostas.

Consultor EE	Gostaria que seus supervisores me fornecessem seus dados de consumo e de perdas nos processos, além de sugestões de melhoria de EE em suas áreas.
Comentário	<p>Envolve os seguintes riscos:</p> <p>a) As pessoas podem omitir informações que as comprometam.</p> <p>b) Alguns dados podem ser distorcidos.</p> <p>Se o consultor tiver experiência, vale a pena correr este risco, pois estará envolvendo pessoas chaves no projeto. De qualquer forma, o consultor terá seus próprios dados para saber o que de fato acontece.</p>

Consultor	Vou precisar que você passe um dia comigo analisando os dados medidos e os resultados das nossas análises técnicas e econômicas, observando as implicações que o nosso relatório final pode acarretar.
Comentário	O uso dos conhecimentos de chão de fábrica do cliente na análise dos dados obtidos e na elaboração das frases e da escolha da linguagem correta na elaboração do relatório final tem um impacto surpreendente na avaliação do projeto pelos outros gerentes da organização, e é fator decisivo na implementação das medidas de EE.

Consultor EE	Nesta reunião apresentaremos nosso relatório de análise de EE e o Senhor Nelson, gerente de produção, vai relatar os consumos específicos de energia que monitoramos em cada unidade de produção.
Comentário	Neste caso, o gerente de produção pode falar de todas as áreas como um todo; se cada supervisor falar da sua, eles ficarão na defensiva.

Consultor EE	Sabemos que a obtenção de alguns índices de EE demanda um tempo considerável. Na sua opinião, o que seria recomendável para conseguirmos estas informações com maior facilidade?
Comentário	A obtenção de índices de EE em uma planta industrial pode ser um sério obstáculo. Mesmo que o cliente não possa ajudar muito, é importante que ele se esforce para lidar com esta questão.

2.5 Escolha da logística

Nesta etapa, onde deve ser negociada uma sala temporária para o consultor e sua equipe usarem como base durante a realização dos serviços de coleta de dados, é importante observar alguns pontos básicos, tais como:

- » a área escolhida em conjunto com o cliente deverá ser fechada e possuir uma mesa para reuniões de trabalho da equipe, com tamanho suficiente para a análise dos layouts, plantas e diagramas das diversas unidades da fábrica;
- » o consultor deverá ter acesso aos arquivos técnicos da planta;
- » a sala escolhida deverá ter um armário com chave para a guarda de sensores e instrumentos de medição e monitoração da equipe de coleta de dados, bem como dos EPI da equipe;
- » devem ser fornecidos crachás temporários à equipe que facilitem o acesso à planta durante a realização dos trabalhos;
- » obter, se possível, permissão para uso do restaurante da fábrica;
- » se houver programa de treinamento admissional na fábrica que inclua tópicos de segurança, verificar a possibilidade de participação da equipe;
- » estabelecer condições de transporte com o cliente, se a unidade for de difícil acesso;
- » obter informações sobre os procedimentos de entrada e saída de instrumentos e equipamentos, bem como de desenhos e diagramas da planta.

3 ANÁLISE TÉCNICA DOS EQUIPAMENTOS

3.1 Eficiência de motores elétricos

O motor elétrico de indução trifásico do tipo gaiola de esquilo é o mais importante uso final de energia elétrica no país. No Brasil, a quantidade de energia por ele processada é superior a 30% da energia elétrica total gerada. Diante disso, qualquer iniciativa que se desenvolva para aumentar o rendimento destes equipamentos trará grande economia para o país.

Na realidade, o motor elétrico não consome toda essa energia. O motor funciona basicamente como um “transdutor de energia”, convertendo energia elétrica em energia mecânica. O consumo real de um motor é relativo apenas às suas perdas internas. O percentual realmente consumido pelo motor varia entre 20% a 5% da energia solicitada à rede elétrica. O restante é transformado em energia mecânica. Esse percentual de perdas pode ser aumentado significativamente se o motor não estiver operando em condições favoráveis. Nesses casos, o percentual de perdas pode chegar a 40%. São justamente essas características desfavoráveis de operação do motor e suas soluções que serão apresentadas neste manual.

Podemos em um primeiro momento destacar as quatro principais causas do uso ineficiente de um motor elétrico:

- » **superdimensionamento;**
- » **reparo inadequado do motor;**
- » **uso de motores de baixo rendimento;**
- » **acoplamento motor-carga de baixa eficiência.**

Existem ainda algumas condições de contorno que podem levar a uma operação ineficiente do conjunto motor-carga. Um exemplo típico é o uso de métodos dissipativos no controle da velocidade do motor, ou ainda, no controle da variável de saída do conjunto motor-carga (vazão, pressão, etc.). Todos esses casos serão abordados neste manual.

Dentro de um diagnóstico energético, grande parte do tempo é dedicada aos motores elétricos, em primeiro lugar, devido a sua importância no consumo global da planta industrial, e em segundo lugar, pela grande quantidade de unidades instaladas.

3.2 Custos associados aos motores elétricos

Quando falamos em motores elétricos, devemos ressaltar os seus custos associados. Nesse caso, existem basicamente dois tipos que devem ser considerados:

» **Custo de Aquisição** - refere-se ao preço de compra do motor no mercado. Esse valor pode variar devido principalmente ao tipo de motor (padrão ou alto rendimento).

» **Custo Operacional** - este custo leva em consideração o valor pago durante todo o seu tempo de funcionamento. Engloba principalmente o custo da energia elétrica consumida durante a sua jornada.

Muitas pessoas pensam que o principal custo do motor diz respeito à sua aquisição. Existem muitos casos em que o motor a ser comprado é selecionado apenas pelo custo de aquisição. Devemos ressaltar que, na maioria dos casos, o custo operacional do motor chega a 100 vezes o seu custo de aquisição.

A figura 3.1 mostra a relação entre o Custo Operacional e o Custo de Aquisição para quatro potências distintas.

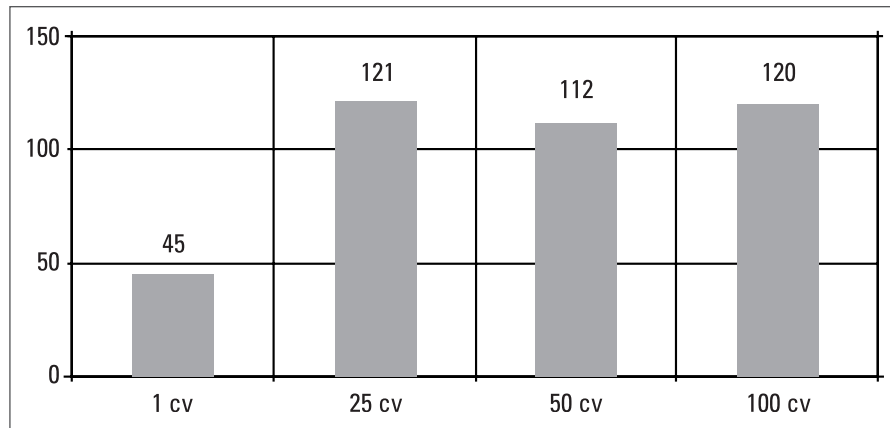


Figura 3.1 – Relação entre o custo operacional e o custo de aquisição

O motor de 100 cv, por exemplo, operando 4000 h/ano, com uma vida útil de 15 anos e uma tarifa média de R\$ 60/MWh, apresenta os seguintes custos:

» **Custo de Aquisição - R\$ 2.387,00**

» **Custo Operacional - R\$ 286.440,00**

Todo esse cenário nos mostra que deve existir uma preocupação no ato da compra de um novo motor, não só com o custo de aquisição, mas também com o custo de operação.

Além disso, esse custo operacional pode ser reduzido levando-se em conta alguns aspectos importantes, descritos nos itens a seguir.

3.3 Superdimensionamento

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 mecânica.

3.3.1 Causas do superdimensionamento

As causas mais freqüentes do superdimensionamento são:

- » desconhecimento das características da própria carga;
- » desconhecimento de métodos para um dimensionamento mais adequado;
- » aplicação de sucessivos fatores de segurança nas várias etapas de um projeto;
- » expectativa de futuro aumento de carga;
- » a não especificação de motores com fator de serviço maior do que 1,0 que podem atender cargas que apresentam picos esporádicos;
- » permissão de margem de segurança para a operação de processos vitais;
- » as equipes de manutenção substituírem um motor danificado por outro de potência maior, quando falta no estoque um sobressalente de potência adequada;
- » redução da produção por retração do mercado consumidor.

3.3.2 Conseqüências do superdimensionamento

Várias conseqüências desfavoráveis decorrem do superdimensionamento dos motores de indução, dentre as quais destacamos:

- » maior custo, volume e peso do motor;

» redução do fator de potência, provocando a necessidade de instalação de mais equipamentos para a sua correção;

» redução do rendimento do motor, embora muitos motores apresentem seu rendimento máximo a aproximadamente 75% da sua carga nominal;

» maior corrente de partida, acarretando maior custo da instalação e proteção.

3.3.3 Efeitos do dimensionamento inadequado

A figura 3.2 mostra o comportamento do rendimento e do fator de potência de um motor de indução em função do seu carregamento.

Devemos ressaltar que embora o superdimensionamento geralmente corresponda a uma redução de rendimento, cada caso deve ser analisado cuidadosamente, pois em alguns casos o superdimensionamento não é um problema grave. Em geral, para cargas entre 75 e 100% da nominal, o motor pode ser considerado bem dimensionado.

Por outro lado, o subdimensionamento também é um problema que apresenta as mesmas conseqüências de uma operação em sobrecarga, acarretando sobreaquecimento, que provoca redução da vida útil, com possíveis perdas de produção. No entanto, esta situação é, via de regra, prontamente percebida e, conseqüentemente, corrigida.

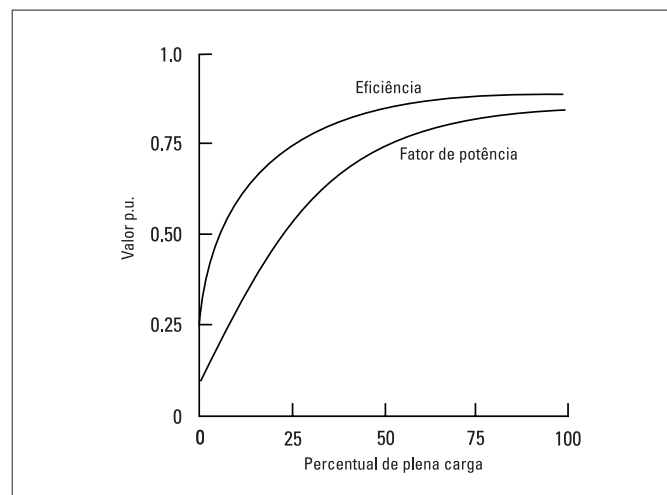


Figura 3.2 – Rendimento e fator de potência em função do carregamento.

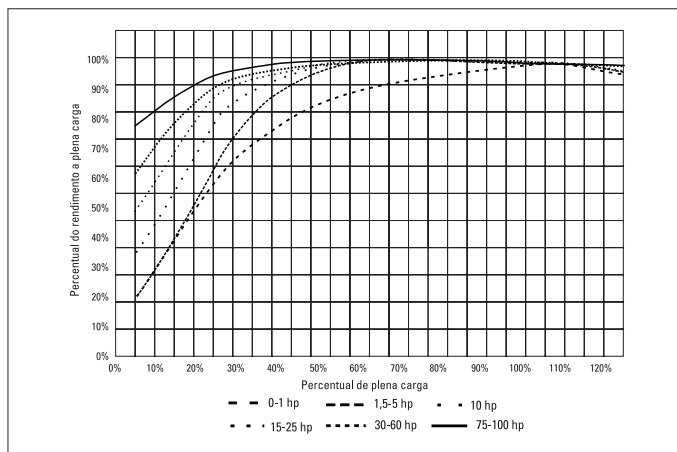


Figura 3.3 – Variação do rendimento em função da carga.

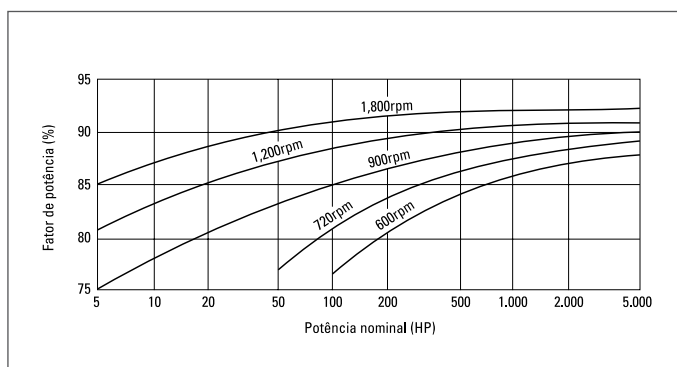


Figura 3.4 – Variação do fator de potência com a potência nominal.

Nos motores de menor potência, o rendimento cai drasticamente com a redução de sua carga. De uma maneira geral, motores operando a 50% de carga ou menos, apresentam um péssimo valor de rendimento.

A figura 3.3 mostra o rendimento em relação ao rendimento nominal (a 100% de carga). Podemos observar que quanto menor a potência do motor, mais fortemente é reduzido o seu rendimento em cargas parciais.

As mesmas observações se aplicam para o fator de potência, o qual, para carregamentos inferiores a 75% da carga nominal, assume valores reduzidos. Este problema é mais sério ainda nos motores de menores velocidades, pois o fator de potência de potência nominal diminui com o aumento do número de pólos do motor, como mostrado na figura 3.4.

3.4 Reparo inadequado do motor

A queima do motor em uso provoca uma tomada de decisão: ou se compra um motor novo ou providencia-se o seu reparo.

Esta decisão deve ser tomada com base em análise econômica levando em conta os seguintes fatores:

- » custo de aquisição do motor novo em relação ao custo de rebobinamento do motor antigo;
- » custo operacional do motor reparado em relação ao motor novo;
- » idade do motor;
- » características elétricas ou mecânicas especiais;
- » necessidade de ter o motor de volta em operação imediatamente;
- » horas de operação no ano;
- » fator de carga;
- » preço da energia elétrica.

Geralmente o reparo do motor apresenta um menor custo inicial em relação ao custo da aquisição do motor novo. Entretanto, o motor reparado pode apresentar um rendimento menor. Em geral, isto acontece porque no reparo do motor, as suas características elétricas e/ou magnéticas e/ou mecânicas de projeto são muitas vezes alteradas, aumentando-se as suas perdas associadas.

Uma das principais causas do aumento destas perdas é o processo utilizado para remoção das bobinas do estator. A prática normalmente utilizada é de aquecer o núcleo numa estufa para facilitar a remoção do enrolamento. No entanto, se o núcleo do estator é aquecido demasiadamente, ele perde as suas propriedades através da ruptura da isolamento entre as lâminas do pacote magnético, provocando aumento das perdas do núcleo. Outras práticas de remoção do enrolamento conhecidas são o uso de maçarico e o uso de combustíveis. Estas

práticas são extremamente danosas e devem ser evitadas.

É fundamental que as perdas dos motores não sejam aumentadas durante o processo de reparo, pois isto aumentará o desperdício de energia elétrica ano após ano.

Se o reparo for a opção a ser adotada, é importante procurar uma empresa especializada envolvida com a questão do rendimento do motor.

3.5 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 melhores.

A figura 3.5 mostra uma comparação entre o rendimento de motores de alto rendimento e motores padrão (standard).

O preço inicial 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 por outro da linha padrão justamente porque possui maior rendimento. 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 do investimento, ao se optar por um motor de alto rendimento ao invés de outro da linha padrão, são funções dos seus rendimentos, do tempo de operação, da potência solicitada pela carga, da tarifa de energia elétrica e dos seus respectivos custos de aquisição.

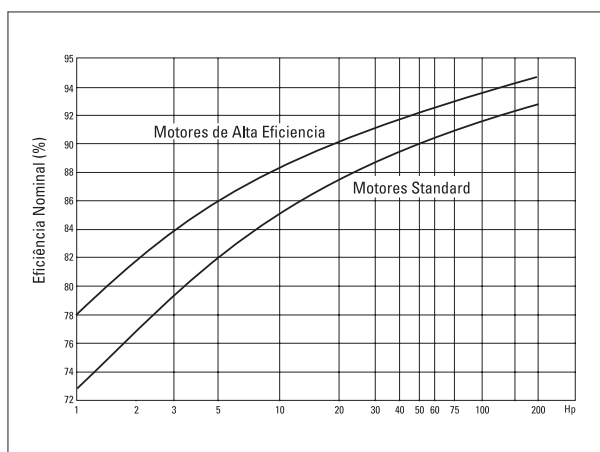


Figura 3.5 – Rendimento de motores padrão e de alto rendimento.

3.6 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 de acoplamentos são:

- » **direto;**
- » **polias e correias;**
- » **caixas de engrenagens.**

3.6.1 Acoplamento direto

É o método clássico entre os eixos colineares. Pode ser feito por meio de flanges ou de luvas elásticas, sendo limitado aos casos em que a velocidade da carga pode ser igual a velocidade do eixo do motor. Esse tipo de acoplamento apresenta rendimento próximo a 100%.

3.6.2 Polias e correias

Esse tipo de acoplamento é amplamente utilizado, devido principalmente ao menor custo inicial, maior flexibilidade, permitindo absorção de choques e vibrações e adequação para grandes e pequenas distâncias entre os eixos do motor e da carga.

Correias muito esticadas, além de apresentarem fadiga, danificam os rolamentos e os eixos. Por sua vez, correias frouxas apresentam deslizamento, maiores perdas e também redução da própria vida útil.

Existem alguns tipos de correias, sendo as principais:

- » correias planas - maior flexibilidade entre as posições dos eixos;
- » correias em V - possuem seção reta trapezoidal, de modo que os seus lados inclinados aderem às paredes laterais da polia. Apresentam rendimento entre 90% e 96% em boas condições de instalação;
- » correias dentadas - possuem dentes que se encaixam em polias também dentadas. Esse tipo de acoplamento tem um rendimento alto, próximo de 99%.

3.6.3 Caixas de engrenagens

As caixas de engrenagens são usadas em cargas que devem girar mais lentamente, e que exigem torques elevados. As perdas nas caixas de engrenagens dependem do atrito entre as engrenagens, dos rolamentos e da lubrificação.

Os tipos mais comuns de caixas de engrenagens são:

- » helicoidais - usadas quando os eixos são paralelos, com rendimentos aproximados de 98% por estágio;
- » cônicas - usadas em eixos a 90°. Têm um rendimento próximo a 98% por estágio;
- » eixo sem-fim - apresentam uma grande redução de velocidade num único estágio. O seu rendimento pode variar entre 55% e 94%, sendo tanto menor quanto maior a redução de velocidade.

4 AQUISIÇÃO DE DADOS

4.1 Levantamento de dados em motores elétricos

Durante a realização do diagnóstico energético, a fase de levantamento de dados em campo é de fundamental importância para o sucesso do trabalho. Desta forma, devemos dedicar atenção especial e tempo necessário para efetuar essa tarefa. Dependendo do grau de precisão e detalhamento que se espera do diagnóstico energético, esse levantamento de dados pode ser feito de três maneiras diferentes:

- » levantamento por amostragem;
- » levantamento por dados de placa;
- » levantamento detalhado.

4.1.1 Levantamento por amostragem

Esse tipo de levantamento é mais aplicável onde a planta industrial apresenta uma grande quantidade de máquinas iguais desempenhando a mesma tarefa. Além disso, fica comprometida a precisão dos resultados.

Nesse caso, por uma questão de economia de tempo ou visando a uma análise preliminar, escolhemos somente alguns motores para efetuar as medições em campo, e consideramos válidos esses valores para os demais motores.

A partir dos dados levantados, é possível detectar possíveis casos de superdimensionamento, além dos possíveis candidatos à troca por motores de alto rendimento.

4.1.2 Levantamento por dados de placa

Numa planta industrial onde existe uma grande variedade de motores instalados de diferentes características, o levantamento por dados de placa se apresenta como uma possível solução para uma primeira análise da situação de planta.

Esse método consiste em adquirir os dados de placa de todos os motores instalados, seja diretamente no campo ou através de dados de arquivo e considerar todos os motores operando em carga nominal.

Agindo dessa maneira, será possível efetuar uma análise preliminar dos possíveis candidatos à troca por motores de alto rendimento, porém os casos de superdimensionamento não serão detectados.

A principal característica deste método é que não é necessária a realização de nenhuma medição em campo.

4.1.3 Levantamento detalhado

O método detalhado é uma combinação aperfeiçoada dos dois casos anteriores. Como o próprio nome diz, existe aqui a preocupação de atingir todos os motores instalados, tanto no que diz respeito à aquisição dos seus dados de placa, como na realização das medições de campo.

Esse método requer um dispêndio de tempo maior, sendo os resultados os mais precisos possíveis.

4.2 Dados relevantes a serem levantados

Os dados a seguir são considerados os mais importantes num levantamento de campo. Existem poucos casos particulares em que dados adicionais precisam ser pesquisados, necessitando de um estudo específico.

4.2.1 Horas de funcionamento

A viabilidade de uma medida de eficiência energética em motores é diretamente influenciada pelo seu regime de funcionamento. Em outras palavras, quanto maior for o tempo de funcionamento de um motor, melhores as possibilidades de eficiência energética. Esta característica nos leva a uma necessidade de conhecer o tempo de operação de cada motor.

Na maioria dos casos, isso se torna uma missão quase que impossível, pois não existe nenhuma memória individual do tempo de funcionamento dos motores, tal como a existência de horímetros na gaveta do motor, ou algum outro dispositivo contador, seja software ou hardware.

Diante dessa dificuldade, algumas atitudes podem ser adotadas para levantar o número de horas de funcionamento de cada motor:

- » **informação do pessoal de operação e manutenção;**
- » **monitoramento dos motores ou da produção.**

É importante ressaltar que o monitoramento da produção só pode ser usado para os motores que estão associados diretamente com o processo produtivo. Existem motores que continuam funcionando mesmo com a produção parada, ou que podem ser desligados sem interromper a produção.

4.2.2 Dados de placa

Um fator determinante no momento de análise dos dados medidos é o conhecimento preciso das características construtivas do motor, principalmente nas simulações computacionais.

Nesse caso, os dados de placa do motor devem ser corretamente adquiridos para facilitar essa parte do trabalho.

A norma NBR 7094/1996 define que todo motor de indução deve conter informações relativas às suas características de operação e de fabricação.

Para os motores de indução trifásicos de gaiola, as seguintes informações devem constar na sua marcação ou placa (em ordem crescente de prioridade):

- » nome e/ou marca do fabricante;
- » modelo;
- » carcaça;
- » grau de proteção (IPXX);
- » classificação térmica do isolamento;
- » potência nominal;
- » tensões nominais;
- » correntes nominais;
- » velocidade de rotação nominal;
- » fator de potência nominal;
- » rendimento nominal;
- » categoria;
- » corrente de partida;
- » fator de serviço;

- » número de série e/ou código de data de fabricação;
- » denominação principal (motor de indução de gaiola ou de anéis);
- » número de fases;
- » número da norma (NBR7094);
- » regime tipo de motor;
- » frequência nominal;
- » diagrama de ligações;
- » temperatura ambiente máxima;
- » massa total;
- » número de rolamentos.

No caso dos motores antigos e/ou sujeitos às normas americanas (NEMA), alguns desses dados podem não aparecer na placa de identificação, ou aparecer de outra forma, ou ainda surgir outro dado que não mantém relação com os dados normalizados pela NBR 7094/1996.

4.2.3 Dados construtivos

Os dados construtivos de um motor dizem respeito a como esse motor se encontra instalado na planta industrial. Essas características são basicamente referentes ao modo de instalação, tais como:

- » fixação com pés ou flanges;
- » montagem vertical ou horizontal;
- » suporte no piso, na parede ou no teto;
- » posição relativa do eixo (direito ou esquerdo);
- » etc..

Num diagnóstico energético, esses dados pouco influenciam no momento da análise dos dados, porém tornam-se vitais nas implementações das medidas propostas, principalmente no possível custo extra nas adaptações mecânicas. Essas adaptações podem ser necessárias nos seguintes casos:

- » substituição de um motor antigo sujeito a diferente normalização;
- » troca por um motor de potência diferente, e conseqüentemente carcaça diferente;
- » opção por outro tipo de acoplamento mais eficiente;
- » escolha de uma montagem mais adequada, aproveitando a ocasião da troca para corrigir erros no projeto original.

4.2.4 Dados da carga acionada

Tão importante quanto o motor é a carga por ele acionada. Diante disto, os dados da carga acionada devem ser cuidadosamente levantados. Esses dados serão úteis na análise das propostas de eficiência energética e na possível especificação dos novos motores.

4.2.5 Medições elétricas e mecânicas

Essa etapa do trabalho deve ser encarada como a principal, pois é a partir das medições elétricas e mecânicas que todas as decisões serão tomadas.

Antes mesmo de efetuar essas medições, são necessários alguns preparativos com o objetivo de otimizar o tempo gasto nessa tarefa.

O principal pré-requisito é a organização dos dados. Os motores devem estar identificados em planilhas individuais, contendo seus dados de placa e as suas respectivas gavetas (CCM's). As planilhas devem ser separadas por setores da planta industrial, facilitando o acesso aos motores.

Outro fator preparatório importante para uma medição bem sucedida é o momento da medição. Devemos buscar sempre o instante em que o motor estiver operando na sua capacidade máxima, evitando com isso resultados futuros desastrosos.

Esse momento propício deve ser discutido com cuidado com o pessoal de operação e manutenção da planta.

Uma vez observados todos esses aspectos, as medições podem ser efetuadas. As grandezas que devem ser obtidas são as seguintes:

- » corrente de cada fase (I_a , I_b e I_c);
- » tensão entre fases (V_{ab} , V_{bc} e V_{ca});
- » potência ativa de entrada (W ou kW);
- » fator de potência (fp);

- » velocidade de rotação (rpm);
- » dados de processo (vazão, pressão, temperaturas, velocidade do produto, massa, volume, nível, etc.).

No caso das grandezas elétricas, recomendamos o uso de um wattímetro alicate para efetuar todas as medições de uma só vez.

Já existem no mercado vários modelos de wattímetro que são capazes de realizar essas medições. Contudo, alguns detalhes podem facilitar essa tarefa, tais como:

- » ponta de corrente tipo alicate - esse tipo de ponta permite a leitura instantânea da corrente sem a necessidade de desligar o motor ou alterar as suas ligações elétricas;
- » ponta de corrente separada do display - esse detalhe que parece banal torna-se de suma importância em gavetas (CCM's) de tamanho reduzido, onde não é possível envolver o cabo com o alicate e visualizar o display simultaneamente. O artifício da tecla hold não é 100% seguro nesses casos, pois pode existir uma flutuação de corrente justamente no instante da leitura;
- » ponta de tensão multiterminal - as pontas de tensão devem permitir o uso de terminais tipo jacaré ou tipo pino, sendo usado o tipo adequado para cada situação;
- » corpo do medidor com alças, grampos ou ímãs - isso permite a liberação das mãos no momento da medição, facilitando tanto a operação das pontas do medidor, quanto a anotação dos valores na planilha;
- » display retro-iluminado - facilita a leitura dos dados em

ambientes com pouca iluminação;

» alimentação por pilhas ou baterias - esse fator talvez seja o mais importante, pois não existe disponibilidade da alimentação com tensão compatível em vários locais de medição.

Em se tratando da medição de velocidade do motor, o uso de tacômetros óticos facilita sobremaneira essa medição, onde a velocidade é lida pela reflexão de luz em uma superfície refletora previamente colada no eixo do motor.

Em processos contínuos, onde não é possível parar o motor para possibilitar a colagem da superfície refletora, o uso de estroboscópios portáteis possibilita efetuar a medição de velocidade sem necessidade de interrupção do processo.

As grandezas do processo devem ser medidas, quando necessário, utilizando-se de instrumentos próprios.

4.2.6 Monitoração contínua de máquinas

Todas as medições anteriormente citadas devem ser efetuadas, sempre que possível, nas condições de máximo carregamento. Esta condição pode ser determinada principalmente através de entrevistas com o pessoal de operação e manutenção, pois estas pessoas têm o conhecimento de todo o processo produtivo, e saberão indicar os períodos e/ou condições de máximo carregamento.

Existindo algum tipo de dúvida por parte do consultor, ou se a informação de máximo carregamento não puder ser obtida por qualquer motivo, deve se partir para a alternativa de monitoração contínua do equipamento ou processo em estudo.

Esta monitoração contínua pode ser efetuada com a instalação de

“remotas”, que podem ser programadas para armazenar continuamente as grandezas elétricas e mecânicas do equipamento ou do processo.

Atualmente existe uma infinidade de modelos de “remotas” no mercado nacional, sendo que se deve dar prioridade para os modelos que tenham algum tipo de bateria interna, pois na eventualidade de falta de energia, os dados armazenados na memória de massa da “remota” não podem ser perdidos.

Outro detalhe que deve ser observado é a programação interna da “remota”. Deve ser feita uma análise detalhada do processo para definir quais as grandezas importantes que devem ser monitoradas, o tempo total de monitoração, e principalmente o intervalo de tempo de aquisição. Estes três vetores são fundamentais para que não aconteça uma eventual perda de dados, por conta do esgotamento da memória da “remota”.

5 DIAGNÓSTICO E CONCLUSÕES

5.1 Generalidades

Podemos encarar a parte final do trabalho como o Diagnóstico Energético em si. A fase inicial seria simplesmente de coleta de dados, onde poucas considerações e esforços de análise são realizados.

De posse de uma enorme massa de dados, passa-se para a fase principal do trabalho, que seria transformar uma montanha de dados em informações úteis, com propostas de melhorias e possibilidades de ganhos energéticos e financeiros.

5.2 Análise dos dados

A parte de análise de dados pode ser dividida em fases, como segue:

- » consolidação dos dados;
- » repetição de dados duvidosos;
- » separação em setores da planta industrial;
- » planejamento das simulações;
- » etc..

Dentro dessa ótica, será empregada uma grande quantidade de horas de trabalho no escritório, com eventuais visitas à planta fabril para algum tipo de verificação.

Vencida a etapa de análise dos dados, passamos para a fase de simulações, onde serão quantificados os ganhos com a aplicação das propostas de melhorias e de redução do consumo de energia.

Estas simulações podem ser feitas com o auxílio de programas computacionais ou com o uso das curvas de desempenhos dos motores, fornecidas pelos fabricantes.

5.3 Programa computacional BDMotor

O Cepel desenvolveu um programa computacional, chamado de BDMotor, que é capaz de efetuar todas as simulações necessárias para a determinação dos ganhos energéticos nos motores elétricos.

Podem ser simulados os carregamentos dos motores, os ganhos na substituição por motores melhores dimensionados, as vantagens com o uso de motores de alto rendimento, além de fornecer dados sobre o que fazer quando da queima de um motor em uso (reparar ou comprar um novo?).

5.4 Comparação direta com dados dos fabricantes

Caso não se opte pelo uso do BDMotor, as mesmas simulações podem ser feitas de maneira manual, usando para isso as curvas fornecidas pelos fabricantes.

No caso específico do superdimensionamento, para que ele seja eliminado, precisa primeiro ser detectado. Essa rotina pode parecer complicada num primeiro momento, mas com a experiência dos primeiros casos, a sua detecção e eliminação passam a fazer parte da rotina do pessoal dedicado à manutenção.

Para tanto, é necessário pelo menos um desses instrumentos de medição:

- » alicate amperímetro – para a medição da corrente elétrica do motor;
- » wattímetro – para a medição da potência elétrica consumida pelo motor;
- » tacômetro – para a medição da velocidade de rotação do motor.

O instrumento mais comum disponível para a equipe de manutenção é o alicate amperímetro. Este deve ser de boa qualidade e precisa ser periodicamente calibrado por empresas especializadas. Entretanto, o instrumento mais indicado para essa análise é o wattímetro, que apesar de mais caro e complexo, leva a resultados finais do superdimensionamento mais precisos e confiáveis.

No caso com o alicate amperímetro, deve ser seguida a seguinte rotina:

- » o motor deve estar operando numa situação de maior carga;
- » devem ser medidas as correntes das três fases;
- » toma-se, para efeito de análise, a média aritmética simples dos três valores como o valor da corrente média;
- » caso as três correntes apresentem valores muito diferentes, isto pode indicar um outro tipo de problema no motor, como por exemplo um curto-circuito numa das fases;
- » o valor médio encontrado deve então ser marcado no gráfico com as curvas características do motor em análise. Essas curvas são disponibilizadas pelos fabricantes dos motores;
- » determina-se graficamente o nível de carregamento do motor. Se o valor estiver abaixo de 75%, provavelmente o motor apresenta sinais de superdimensionamento. Nos casos em que o carregamento estiver abaixo de 50%, deverá então ser aprofundada a possibilidade da sua imediata substituição por outro de capacidade compatível com a carga acionada.

5.5 Aplicações

5.5.1 Exemplo 1

Considere um motor em funcionamento com as seguintes características:

- » motor de indução trifásico, tipo padrão;
- » 10 cv – carcaça 132S;
- » 4 pólos – 1760 rpm;
- » 220/380 V;
- » $I_n = 27$ A;
- » funcionamento durante 6.000 horas/ano.

O objetivo é determinar se este motor está operando ou não em condições adequadas e favoráveis de funcionamento. Caso não esteja, indicar qual seria o motor mais adequado para substituí-lo.

1º Passo

O motor foi colocado em funcionamento num regime de maior carregamento possível.

2º Passo

Foram medidas as correntes nas três fases.

$$I_a = 14,7 \text{ A}$$

$$I_b = 15,9 \text{ A}$$

$$I_c = 16,2 \text{ A.}$$

3º Passo

A média das correntes foi calculada.

$$I_m = (I_a + I_b + I_c)/3 = 15,6 \text{ A.}$$

4º Passo

Este valor de corrente média foi introduzido no gráfico do motor, determinando-se então o seu carregamento. Este gráfico pode ser facilmente obtido junto aos fabricantes.

5º Passo (ver a figura 5.1)

Marcar a corrente média no eixo vertical Corrente (Ponto I) e traçar uma horizontal até interceptar a curva da corrente (Ponto II). A partir deste ponto, descer uma vertical até o eixo do carregamento (Ponto III). Este valor encontrado de 40% é o carregamento atual do motor.

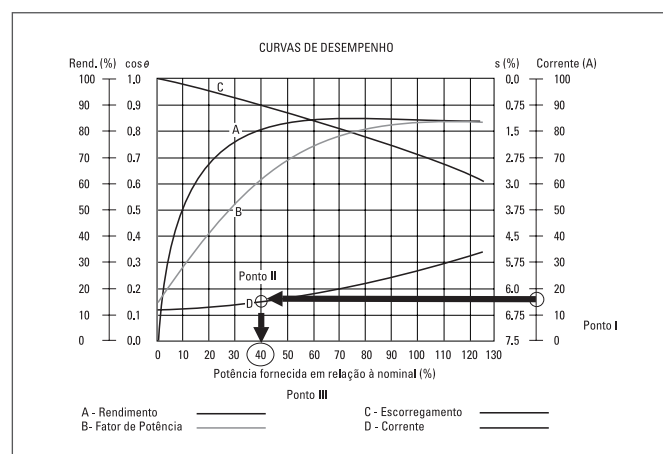


Figura 5.1 – Marcação da corrente média no gráfico.

6º Passo (ver a figura 5.2)

A partir do ponto II, eleva-se uma vertical interceptando as curvas de fator de potência e de rendimento. Os valores encontrados são: $fp = 0,62$ e rendimento = 80%.

7º Passo

O cálculo da energia consumida por esse motor é o seguinte:

$$\text{Energia} = (\text{PotMot} \times \text{Carreg} \times h \times 0,736) / \text{Rend}$$

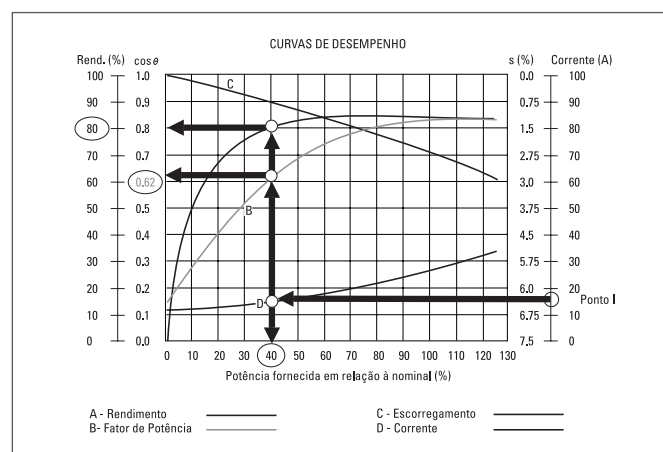


Figura 5.2 – Obtenção do rendimento e do fator de potência no gráfico.

Onde:

- » Energia = Energia consumida (kWh);
- » PotMot = Potência nominal do motor (cv);
- » Carreg = Carregamento atual do motor (%);
- » h = Número de horas de funcionamento (horas);
- » Rend = Rendimento do motor para o carregamento em questão (%).

$$\text{Energia} = (10 \times 40 \times 6.000 \times 0,736) / 80 = 22.080 \text{ kWh}$$

8º Passo

Como podemos perceber, o motor de 10 cv está operando com um carregamento de 40%, dentro da faixa crítica de superdimensionamento, abaixo de 50%. Neste caso, a escolha de um motor mais adequado pode ser feita através do cálculo da potência real solicitada pela carga, que é calculada multiplicando-se a potência nominal do motor pelo seu carregamento.

Assim, temos:

$$\text{Potência Requerida} = 10 \text{ cv} \times 0,40 = 4 \text{ cv}$$

A partir desse valor, escolhe-se o motor imediatamente superior a este valor, que no nosso caso será de 5cv. Agora, este novo motor de 5 cv acionando uma carga de 4 cv irá trabalhar com um carregamento de 80% ($4 \text{ cv} / 5 \text{ cv} = 0,8$).

Características do novo motor:

- » motor de indução trifásico, tipo padrão;
- » 5 cv – Carcaça 100L;
- » 4 pólos – 1730 rpm;
- » 220/380 V;
- » $I_n = 13,6$ A;
- » funcionamento durante 6.000 horas/ano.

9º Passo (ver a figura 5.3)

A partir das curvas de desempenho desse novo motor, são repetidos os passos 5, 6 e 7, só que agora tomando como ponto de partida o carregamento (80%), e não mais a corrente medida. Agora a corrente será obtida no gráfico.

Obtem-se:

- » corrente = 11,5 A;
- » rendimento = 83,6%;
- » fator de potência = 0,80.

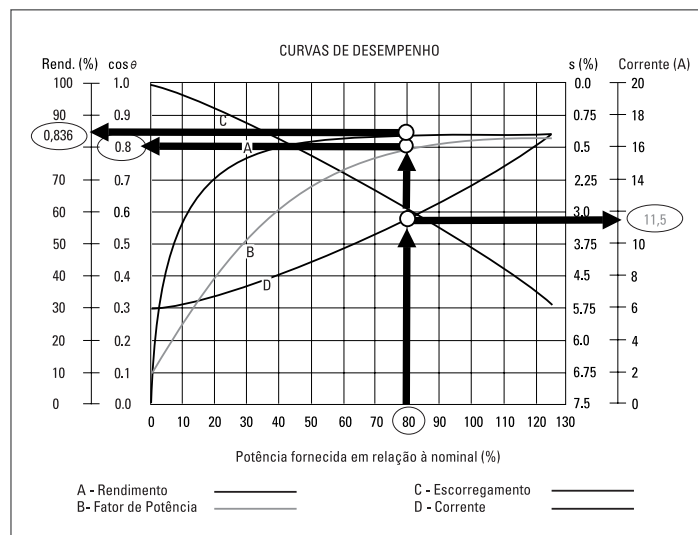


Figura 5.3 – Obtenção da corrente no gráfico.

A energia consumida pelo novo motor pode então ser calculada.

$$\text{» Energia} = (\text{PotMot} \times \text{Carreg} \times \text{h} \times 0,736) / \text{rend}$$

$$\text{» Energia} = (5 \times 80 \times 6.000 \times 0,736) / 83,6 = 21.129 \text{ kWh}$$

A economia de energia anual é de 951 kWh (22.080 – 21129).

5.5.2 Exemplo 2

Na condição de reparo de um motor, um cálculo simples pode ser feito para estimar qual seria a economia de energia na compra de um motor novo, ao invés de mandar reparar o motor queimado.

Considere um motor de 50 cv operando durante 7.200 horas/ano com um carregamento de 90%. O rendimento original deste motor é de 92%, e após um reparo inadequado, o seu rendimento foi reduzido em 3%. Qual seria a economia de energia se ao invés de reparar o motor queimado fosse comprado um motor novo ?

Solução:

A economia de energia é a diferença de consumo entre o motor novo com um rendimento de 92% e o motor reparado com rendimento de 89% (92 – 3).

$$\text{Motor Novo – Energia} = (50 \times 90 \times 7.200 \times 0,736) / 92 = 259.200 \text{ kWh}$$

$$\text{Motor Reparado – Energia} = (50 \times 90 \times 7.200 \times 0,736) / 89 = 267.937 \text{ kWh}$$

$$\text{Economia de Energia} = 267.937 - 259.200 = 8.737 \text{ kWh}$$

5.5.3 Exemplo 3

Na alternativa de compra de um motor de alto rendimento, o cálculo da economia de energia é bastante simples.

Considere um motor padrão de 10 cv operando durante 7.200 horas/ano com um carregamento de 90%. O rendimento original deste motor

padrão é de 85%.

Qual seria a economia de energia se este motor padrão fosse trocado por um motor novo de alto rendimento com rendimento de 92% ?

Solução:

A economia de energia é a diferença de consumo entre o motor padrão com rendimento de 85% e o motor de alto rendimento com um rendimento de 92%.

Motor Alto Rendimento – Energia = $(10 \times 90 \times 7.200 \times 0,736) / 92 = 51.840 \text{ kWh}$

Motor Padrão – Energia = $(10 \times 90 \times 7.200 \times 0,736) / 85 = 56.109 \text{ kWh}$

Economia de Energia = $56.109 - 51.840 = 4.269 \text{ kWh}$

5.6 Relatório técnico-econômico

Um padrão de relatório técnico-econômico deve conter pelos menos os seguintes itens básicos:

- » **resumo gerencial;**
- » **introdução;**
- » **metodologia utilizada;**
- » **análise técnica e econômica;**
- » **conclusões.**

A seguir cada item destes é detalhado separadamente.

5.6.1 Resumo gerencial

O relatório do diagnóstico deve incluir um resumo gerencial de fácil compreensão que serve como carta de apresentação dos resultados obtidos no trabalho e deve vir em destaque logo no início do relatório final.

No resumo gerencial devem ser incluídas tabelas resumidas das principais implementações recomendadas com as respectivas taxas de retorno calculadas. Outras informações necessárias para o rápido entendimento do trabalho realizado também podem ser incluídas neste tópico, desde que em uma linguagem gráfica de fácil visualização, como exemplificado na figura 5.4.

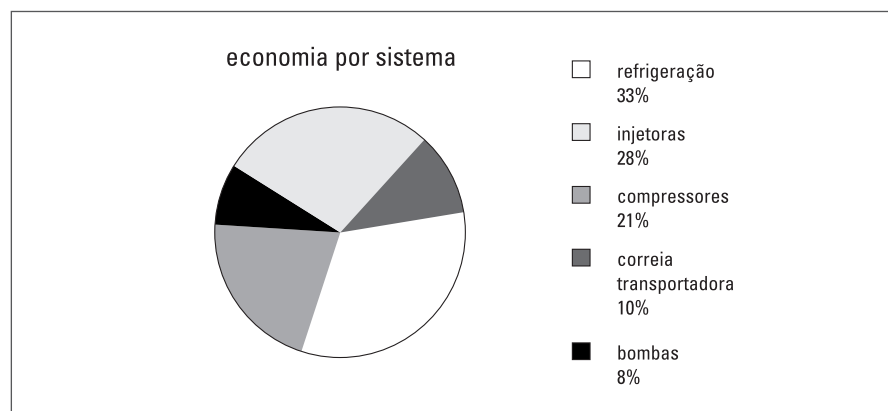


Figura 5.4 – Economia de energia por tipo de sistema.

5.6.2 Introdução

Na introdução do relatório final devem ser explicadas as razões que levaram às análises das unidades e dos sistemas escolhidos em comum acordo com o cliente.

Devem ser acrescentadas neste item todas as informações relevantes que foram acordadas antes e durante a realização do diagnóstico.

5.6.3 Metodologia utilizada

Na Metodologia estão as bases técnicas acordadas com os gerentes das áreas para a realização das coletas de dados e a forma como o consultor conduziu os trabalhos.

Este item deve conter a descrição da metodologia das condições de contorno e dos termos empregados no relatório, como no exemplo abaixo.

Exemplo:

- » medições de parâmetros elétricos e mecânicos (tensão, corrente, potência ativa, fator de potência, rotação, temperatura) nos motores elétricos;
- » levantamento dos sistemas de iluminação, ar condicionado, refrigeração, ar comprimido e geração de vapor;
- » levantamento de campo para obtenção de dados de placa e de operação dos motores elétricos de cada unidade;
- » conhecimento do ciclo de operação das unidades;
- » pesquisa em arquivo técnico para identificação e aquisição dos diagramas unifilares e das plantas de iluminação das unidades;
- » análise de todos os dados levantados;
- » emissão dos pareceres técnicos contendo as medidas de conservação de energia possíveis de serem adotadas pela empresa;
- » os dados para a elaboração do presente trabalho foram obtidos através de visita às instalações da Indústria no período de 07 a 18 de julho de 2003, envolvendo a realização de levantamentos das diversas etapas do processo de fabricação, com os

respectivos usos finais envolvidos, complementado por entrevistas com equipes locais de engenharia, operação e manutenção, além de medições de parâmetros para o diagnóstico energético;

» as simulações dos ciclos de carga dos equipamentos considerados no presente trabalho foram baseadas em inspeção visual e/ou em informações fornecidas pelos operadores no local. Estes ciclos de carregamento são explicitados para cada análise efetuada. Os quadros demonstrativos são importantes como diagnose, porém podem ser aperfeiçoados através de novos dados de entrada fornecidos pelo cliente, ou através de um monitoramento do processo por um sistema de aquisição de dados;

» nas análises realizadas neste relatório, a utilização do termo “troca imediata” significará a troca do equipamento em uso, mesmo estando este em condições aceitáveis de operação, por um outro melhor dimensionado e/ou mais eficiente. Nesse caso, o investimento necessário é equivalente ao preço total do equipamento novo;

• o termo “substituição gradual” será empregado quando da necessidade de reposição de equipamentos obsoletos que forem apresentando defeitos ou que estejam no final da sua vida útil, por outros mais eficientes e com o dimensionamento correto. Nesse caso, o investimento necessário representa somente a diferença entre o preço do equipamento padrão e do equipamento mais eficiente;

» para efeito da presente avaliação, foram consideradas três unidades distintas da Fábrica, integradas através do processo de produção, discriminadas com suas respectivas funções básicas, com exceção do sistema de iluminação, que foi tratado de forma global.

5.6.4 Análise técnica e econômica

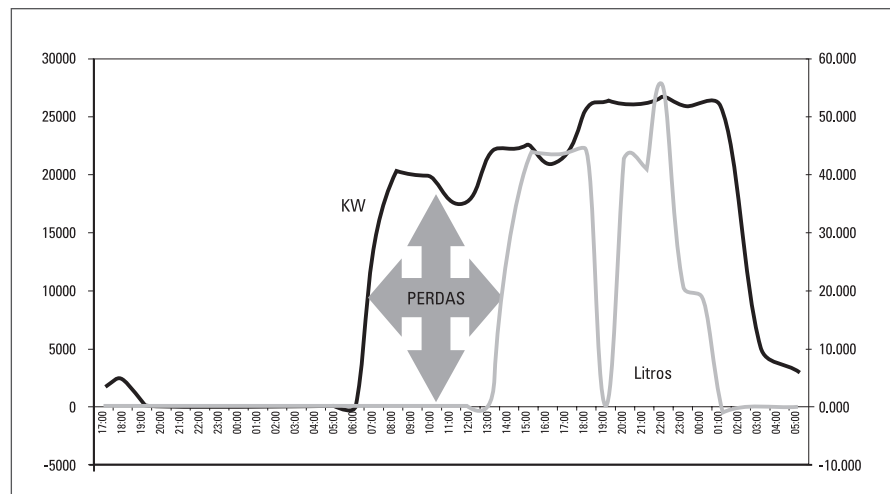
Neste item devem ser descritas as análises técnicas realizadas com os dados obtidos na planta e dimensionadas e tabuladas as oportunidades de otimização energética ordenando as medidas pelas taxas de retorno dos investimentos, como exemplificado na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Tabulação de resultados – Análise técnico-econômica

Medidas Recomendadas	Economia de energia anual	Investimento	Economia anual	Payback Simples
	(kWh)	(R\$)	(R\$)	Meses
Troca imediata dos motores	333.949	32.768,00	23.099,00	17
Substituição gradual dos motores	140.940	8.215,00	9.682,00	10
Uso de variadores de velocidade (ASD) aproveitando motores das esteiras atuais	885.324	59.220,00	61355,00	10
Uso de variadores de velocidade (ASD) trocando os motores das esteiras	1.425.114	59.482,00	98650,00	7

As medidas recomendadas devem incluir oportunidades de ganhos de eficiência energética devidos a mudanças de procedimentos operacionais de sistemas de utilidades e de linhas de produção da área fim da indústria, como mostrado na figura 5.5.

Figura 5.5 – Indicação de economia de energia através de mudanças nos procedimentos operacionais.



5.6.5 Conclusões

As conclusões devem refletir o julgamento do consultor, com base nos dados aqusitados e nas simulações técnicas e econômicas realizadas no estudo, acrescentando seu ponto de vista sobre as condições encontradas e projetando uma nova situação factível que possa servir de base para implementações de medidas que influam na otimização dos recursos energéticos utilizados, na diminuição das perdas de produção e no conseqüente aumento de produtividade da indústria analisada.

6 EXERCÍCIO RESOLVIDO

Considere um sistema de bombeamento típico com controle de vazão realizado com uma válvula de estrangulamento. Existe uma proposta de instalação de um acionamento eletrônico para efetuar esse mesmo controle de vazão. Calcule a economia de energia elétrica a ser conseguida como esse novo sistema.

Dados do problema

Desnível geométrico entre reservatórios = 25 m

Vazão nominal do sistema = 100 m³/h

Custo da energia = R\$ 120,00 / MWh

Horas de funcionamento = 8.000 h/ano

Fluido de trabalho = Água (densidade = 1)

Rendimento do acoplamento = 100%

Rendimento do motor = 93,1% (30 cv - 3.560 rpm - 100% de carga)

Bomba - Tipo KSB Meganorm 50-160 com o rotor 174

Curvas do sistema e da bomba (figuras 6.1, 6.2 e 6.3)

Tabela 6.1 - Ciclo de trabalho

Ponto	Vazão (m ³ /h)	Horas de funcionamento
1	30	3.000
2	50	2.500
3	70	1.500
4	100	1.000

Fórmula para o cálculo da potência hidráulica.

$$P_h = \frac{\rho QH}{274}$$

onde:

P_h = potência hidráulica (potência na saída da bomba) [hp];

ρ = densidade relativa ($\rho_{\text{fluido}}/\rho_{\text{água}}$) [-];

Q = vazão [m³/h];

H = pressão (metros de coluna d'água) [mca].

Uma vez que as curvas do sistema e da bomba já são dadas no problema (figuras 6.1, 6.2 e 6.3), bem como os valores nominais do processo (vazão, densidade, etc), podemos calcular a energia consumida pelo sistema no caso de controle com válvula de estrangulamento (tabela 6.2).

Tabela 6.2 - Planilha de cálculo para a bomba usando válvula de estrangulamento

Ponto	Vazão (m ³ /h)	Horas	Pressão (mca)	Ph (hp)	η bomba (%)	BHP (hp)	Pelet (hp)	Pelet (kW)	Energia (MWh)	Custo (R\$/ano)
1	30	3.000	62,0	6,79	57,0	11,91	12,79	9,54	28,63	3.435,41
2	50	2.500	61,0	11,13	69,0	16,13	17,33	12,93	32,32	3.878,02
3	70	1.500	57,5	14,69	76,0	19,33	20,76	15,49	23,23	2.787,81
4	100	1.000	51,0	18,61	80,4	23,15	24,87	18,55	18,55	2.226,05
Total									102,73	12.327,30

Na tabela 6.3, vamos simular o funcionamento do sistema caso o controle de vazão seja feito pela variação da velocidade da bomba, e não mais pela válvula de estrangulamento.

Tabela 6.3 - Planilha de cálculo para a bomba usando acionamento eletrônico

Ponto	Vazão (m³/h)	Horas	Pressão (mca)	Ph (hp)	η bomba (%)	BHP (hp)	Pelet (hp)	Pelet (kW)	Energia (MWh)	Custo (R\$/ano)
1	30	3.000	29,0	3,18	64,0	4,96	5,33	3,98	11,93	1.431,13
2	50	2.500	33,0	6,02	75,0	8,03	8,62	6,43	16,08	1.930,11
3	70	1.500	38,8	9,91	78,5	12,63	13,56	10,12	15,18	1.821,26
4	100	1.000	48,0	17,52	80,5	21,76	23,37	17,44	17,44	2.092,50
Total =									60,63	7.275,00

Comparando as tabelas 6.2 e 6.3, podemos dizer que a instalação do acionamento eletrônico para o controle de vazão possibilita uma economia de energia anual de 42,10 MWh, gerando uma redução na conta de energia de R\$ 5.052,29 por ano.

O custo aproximado de um acionamento eletrônico para um motor de 30 cv é de R\$ 6.000,00. O tempo de retorno simples desse investimento será de 15 meses.

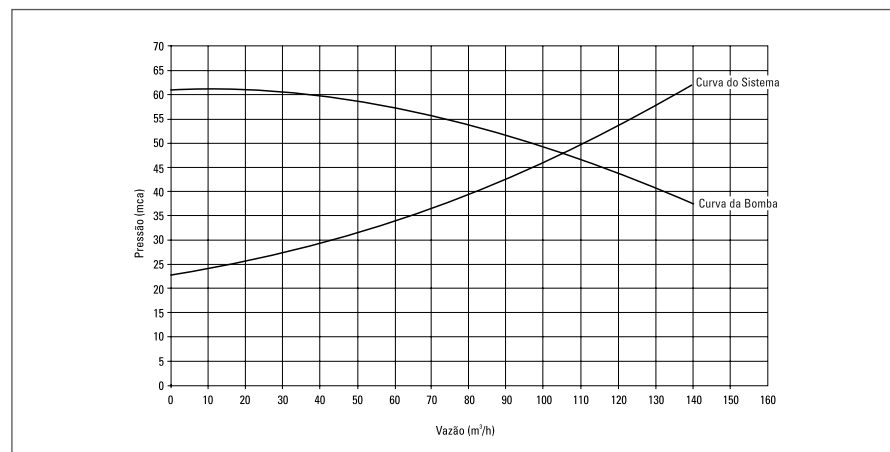


Figura 6.1 – Curvas da bomba e do sistema.

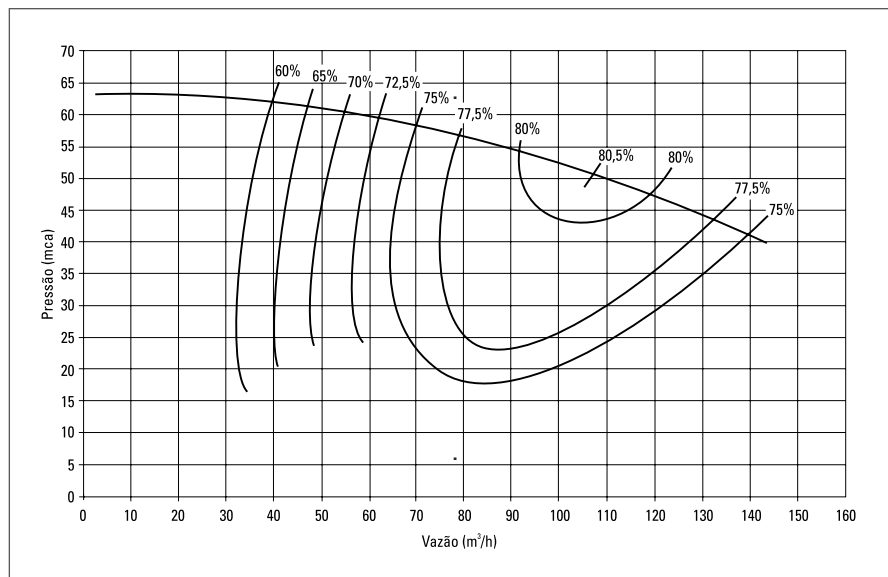


Figura 6.2 – Curva da bomba operando com válvula de estrangulamento (rendimento)

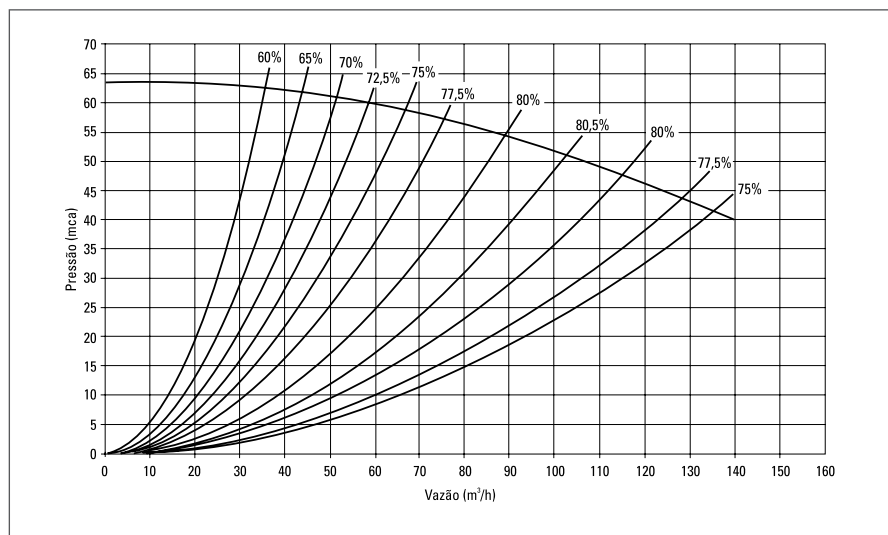


Figura 6.3 – Curva da bomba operando com acionamento eletrônico (rendimento)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLOCK, P. **Consultoria: O desafio da liberdade.** Makron books, 2001.
CEPEL. **Relatórios técnicos de eficiência energética.**

ELETROBRÁS / PROCEL

Presidência

Silas Rondeau

Diretoria de projetos especiais e desenvolvimento tecnológico industrial

Aloísio Vasconcelos

Departamento de desenvolvimento de projetos especiais

George Alves Soares

Divisão de projetos setoriais de eficiência energética

Fernando Pinto Dias Perrone

EQUIPE TÉCNICA

Autor

Edson Szyszka

Marcio Americo

ELETROBRÁS / PROCEL

Coordenadora do PROCEL INDÚSTRIA

Vanda Alves dos Santos

Equipe PROCEL INDÚSTRIA

Bráulio Romano Motta

Carlos Aparecido Ferreira

Carlos Henrique Moya

Frederico Guilherme S. M. Castro

CEPEL

Edson Szyszka

Osvaldo Luiz Cramer de Otero

Fabiane Maia

Evandro Camelo

REVISÃO*

Edson Szyszka (CEPEL)

Oswaldo Luiz Cramer de Otero (CEPEL)

Fabiane Maia (CEPEL)

Evandro Camelo (CEPEL)

Carlos Aparecido Ferreira (ELETROBRÁS)

Bráulio Romano Motta (ELETROBRÁS)

(*) O trabalho de revisão abrangeu: padronização de todas as publicações quanto à itemização, apresentação de fórmulas, figuras e tabelas; verificação de ortografia e eventuais correções gramaticais; padronização de figuras quanto à precisão, incluindo reelaboração e/ou escaneamento. As correções ou alterações do texto limitaram-se aos aspectos citados e a eventuais adaptações requeridas pelas padronizações, não tendo havido interferência quanto ao conteúdo técnico, que é de total mérito e integral responsabilidade do(s) autor(es).

PROJETO GRÁFICO

Núcleo Design PUC-Rio

Projeto gráfico do miolo, tratamento das imagens, diagramação e editoração eletrônica

Traço Design

Projeto gráfico das capas

