

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS**

Paulo Roberto Njaim

**APLICAÇÃO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EM UMA FÁBRICA
DE GELO EM SÃO PAULO - SP**

Foz do Iguaçu/PR

2017

Paulo Roberto Njaim

**APLICAÇÃO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EM UMA FÁBRICA
DE GELO EM SÃO PAULO - SP**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EAD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos processos Produtivos.**

Orientador: Prof. Dr. Cesar A. Valverde Salvador

Foz do Iguaçu/PR

2017

Paulo Roberto Njaim

**APLICAÇÃO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EM UMA FÁBRICA
DE GELO EM SÃO PAULO - SP**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos (EAD), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos processos Produtivos**.

Aprovado em 15 de julho de 2017:

Prof. Dr. Geomar Machado Martins

Presidente/Coorientador

Prof. Dr. José Abilio Lima de Freitas

Prof. Dr. Natanael Rodrigues Gomes

Foz do Iguaçu/PR

2017

Agradecimentos

Aos Professores e Corpo Administrativo da UFSM e UAB pela oportunidade de participar deste curso que é de grande interesse no contexto atual da energia, além de permitir o acesso a alunos de diferentes partes do Brasil.

Ao Eng. Koiti Chiba, da ELEC-SP, pelo auxílio nas medições e levantamentos de dados na Empresa analisada.

RESUMO

APLICAÇÃO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EM UMA FÁBRICA DE GELO EM SÃO PAULO - SP

AUTOR: Paulo Roberto Njaim

ORIENTADOR: Prof. Dr. Cesar A. Valverde Salvador

Data e Local da Defesa: Foz do Iguaçu, 15 de julho de 2017.

As instalações industriais em geral, sempre apresentam um grande potencial para estudos de efficientização e economia de energia tanto pelo alto consumo de energia como pela diversidade de equipamentos, sendo que os motores elétricos têm a maior participação neste consumo. Neste sentido, o trabalho em questão teve como objetivo apresentar um estudo de caso de diagnóstico energético em uma fábrica de gelo em São Paulo, com enfoque principal nos motores atualmente instalados e nas contas de energia elétrica. Foram levantadas as características dos equipamentos e realizadas as medições necessárias para uma avaliação técnico-econômica das oportunidades de economia de energia e redução dos gastos financeiros. Também foi realizada uma revisão bibliográfica da questão do consumo da força motriz no país bem como os principais tipos de equipamentos utilizados e suas perspectivas no que se refere à eficiência energética. O estudo de caso foi precedido ainda de uma descrição das metodologias para elaboração de um Diagnóstico Energético que normalmente é bastante abrangente principalmente quando se trata de instalações de grande porte, o que torna necessário envolver um grande número de inspeções e avaliações, além de estabelecer rotinas durante o processo e após a execução do diagnóstico. Finalmente, os resultados do estudo mostraram que a substituição dos motores atuais por novos de alto rendimento é altamente vantajosa representando uma redução anual do consumo de energia da ordem de 24,8% e a recuperação do investimento ocorreu em apenas 07 meses. Esta redução aliada a alterações na curva de carga promoveram ainda uma economia anual de 28% na conta de energia elétrica.

Palavras-chave: Diagnóstico energético. Troca de Motores. Alternativas de Custos.

ABSTRACT

APPLICATION OF ENERGY DIAGNOSIS IN AN ICE FACTORY IN SÃO PAULO - SP

AUTHOR: Paulo Roberto Njaim

ADVISOR: Prof. Dr. Cesar A. Valverde Salvador

Date and Place of Defense: Foz do Iguaçu, July 15, 2017.

The industrial facilities in general, always present a great potential for studies of efficiency and energy savings due to the high energy consumption and diversity of equipment, and electric motors have the largest share of this consumption. In this sense, the work in question had the objective of presenting a case study of energy diagnosis in an ice factory in São Paulo, with a main focus on currently installed motors and electric energy bills. The characteristics of the equipment were surveyed and the necessary measurements were made for a technical-economic evaluation of the energy saving opportunities and reduction of the financial expenses. A literature review was also carried out on the question of the consumption of power in the country as well as the main types of equipment used and their perspectives regarding energy efficiency. The case study was also preceded by a description of the methodologies for the elaboration of an Energy Diagnosis, which is usually quite broad, especially when it comes to large installations, which makes it necessary to involve a large number of inspections and evaluations, as well as to establish routines During the process and after performing the diagnosis. Finally, the results of the study showed that the replacement of current engines by new high-performance engines is highly advantageous, representing an annual reduction in energy consumption of 24.8% and the recovery of the investment occurred in just 07 months. This reduction combined with changes in the load curve also led to an annual saving of 28% in the electricity bill.

Keywords: Energy diagnosis. Engines exchange. Cost Alternatives.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS.....	9
1.2 JUSTIFICATIVA.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 PRINCIPAIS TIPOS DE MOTORES.....	11
2.2 PERDAS NO MOTOR DE INDUÇÃO.....	12
2.3 FATOR DE CARREGAMENTO – FC.....	14
2.4 CONSUMO DE ENERGIA.....	15
2.5 MOTORES DE INDUÇÃO DE ALTO RENDIMENTO.....	16
2.6 APLICAÇÕES DOS MOTORES DE ALTO RENDIMENTO.....	16
2.7 MOTORES DE INDUÇÃO DE ULTRA ALTO RENDIMENTO.....	17
2.8 MOTORES DE ÍMÃS PERMANENTES (SÍNCRONOS).....	17
2.9 ECONOMIA DO MOTOR DE INDUÇÃO.....	18
2.10 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA AOS MOTORES ELÉTRICOS.....	19
2.10.1 Carregamento	19
2.10.2 Velocidade	19
2.10.3 Inversores	19
2.10.4 Motores de alto rendimento	19
2.10.5 Superdimensionamento	19
2.10.6 Potência vs carregamento	20
2.10.7 Operação em vazio	20
2.10.8 Motores e ambiente de trabalho	20
2.10.9 Dispositivos de partida	20
2.10.10 Condições mecânicas de operação	20
2.10.11 Manutenção preventiva	20
2.10.12 Rebobinamento	20
2.10.13 Correntes desequilibradas	21
2.10.14 Variações de tensão	21
2.10.15 Avaliação de viabilidade técnica e econômica de substituição	21
3 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	22
3.1 ROTEIRO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO.....	22
3.1.1 Planejamento do Diagnóstico Energético	22
3.1.2 Reunião de abertura	23
3.1.3 Coleta de dados	23
<i>3.1.3.1 Contas de energia elétrica e memória de massa</i>	<i>24</i>
<i>3.1.3.2 Medição direta</i>	<i>24</i>
<i>3.1.3.3 Coleta de dados por inspeção</i>	<i>24</i>
3.1.4 Análise	25
3.1.5 Relatório do Diagnóstico Energético	27
3.1.6 Reunião de encerramento	27
3.2 INDICADORES ENERGÉTICOS.....	27

3.3 Estudo de alternativas para os usos finais identificados.....	29
3.4 Análise econômica.....	29
3.4.1 Método do tempo de retorno.....	30
3.4.2 Método dos equivalentes uniformes anuais.....	30
3.4.3 Custo da energia conservada.....	30
3.4.4 Valor Presente Líquido (VPL).....	30
3.4.5 Método da Taxa Interna de Retorno (TIR).....	31
4 ESTUDO DE CASO.....	32
4.1 MEDIÇÕES E LEVANTAMENTOS.....	34
4.2 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DOS MOTORES.....	36
4.2.1 Conjugado nominal - M_n.....	36
4.2.2 Conjugado de trabalho - M_t.....	36
4.2.3 Potência de trabalho P_t	36
4.2.4 Fator de Carregamento - F_c.....	37
4.2.5 Rendimento - η (%).....	37
4.3 CONSUMO DE ENERGIA DOS MOTORES ATUAIS.....	38
4.4 AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DOS MOTORES ATUAIS POR OUTROS DE ALTO RENDIMENTO.....	38
4.5 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DOS MOTORES.....	39
4.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	41
4.7 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS.....	43
4.8 ANÁLISE DAS CONTAS DE ENERGIA.....	44
4.8.1 Simulação do deslocamento do consumo do Horário de Ponta.....	47
5 RESULTADOS.....	49
6 CONCLUSÕES.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

O setor industrial é responsável por cerca de 31,9% da energia elétrica total consumida no país, conforme dados constantes do BEN 2016 – (Balanço Energético Nacional).

Por sua vez, os motores elétricos respondem por cerca de 68,0% do consumo industrial brasileiro, segundo estudos da empresa WEG S.A. conforme mostrado na Figura 1.1.

Figura 1.1 – Utilização da energia elétrica pelo setor industrial.



Fonte: (www.weg.net)

Dada a alta representatividade da força motriz no consumo de energia, este segmento tem fortes oportunidades para ações de eficiência energética.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo avaliar as possibilidades de substituição de motores antigos por motores de alto rendimento sob aspectos técnico-econômicos em

uma fábrica de gelo em São Paulo e ao mesmo tempo avaliar outras oportunidades para reduzir os gastos com energia elétrica a partir da análise das contas de energia.

1.2 JUSTIFICATIVA

É notória atualmente a necessidade de racionalização do uso da energia de qualquer fonte, para atender à sua crescente demanda além da necessidade de redução de custos das empresas para poderem ser competitivas no mercado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os motores elétricos possuem uma eficiência relativamente elevada, porém, estudos mostram que 30 % dos motores existentes podem ser redimensionados (MARTINS, 2015), por serem aplicados de forma inadequada (motores superdimensionados ou com baixo Fator de Carregamento).

São equipamentos destinados à conversão de energia elétrica em mecânica e empregados normais diversos processos industriais como bombas, compressores, ventiladores, exaustores, transportadores, cargas de refrigeração, misturadores, elevadores, válvulas, robôs, etc.

O seu rendimento é dado pela relação entre a potência mecânica fornecida no eixo e a potência elétrica que consome da rede.

2.1 PRINCIPAIS TIPOS DE MOTORES

Os tipos (WEG-DT-6, 2015) mais empregados de motores são:

a) Motores de corrente contínua – são motores que necessitam de uma fonte de corrente contínua, ou retificador ou conversor CA/CC. Possuem custo mais elevado, porém, podem funcionar com velocidades ajustáveis em amplos limites, grande exigibilidade e precisão. São aplicados em máquinas operatrizes, veículos de tração, máquinas de papel, entre outros.

b) Motores de corrente alternada – são os motores mais utilizados e subdividem-se em:

Motor síncrono – trabalha com velocidade sincronizada com a rede elétrica. É aplicado para cargas com velocidades baixas e de grandes potências, devido ao custo alto na faixa das pequenas potências. Existem vários tipos de motores síncronos, tais como, de Ímãs permanentes, de Relutância, de Pólos Lisos e de Pólos Salientes.

Motor assíncrono ou de indução – trabalha normalmente com uma velocidade constante, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. São aplicados em praticamente todos os segmentos industriais e devido à sua simplicidade

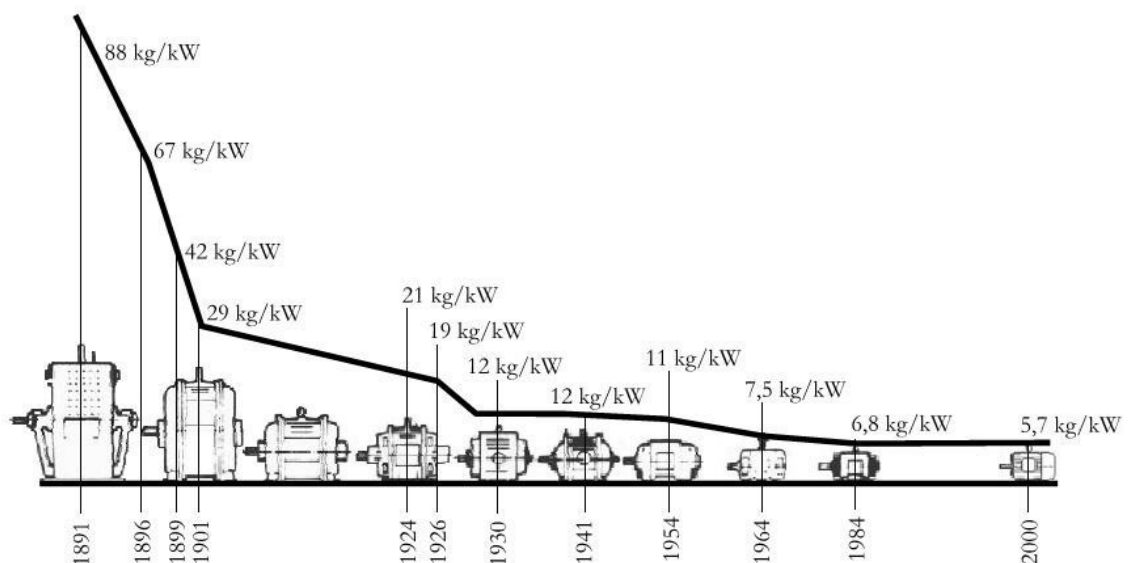
construtiva e baixo custo, é o motor mais empregado, sendo adequado para quase todos os tipos de cargas.

O uso integrado com variadores eletrônicos de velocidade permite um controle preciso para cargas mais exigentes. Existem dois tipos principais, de gaiola e de Rotor bobinado.

Inventado por Nikola Tesla durante o período entre 1882 e 1887, o motor de indução vem sofrendo uma série de desenvolvimentos e melhorias.

Exemplo disso é a relação peso-potência, que em 1891 era da ordem de 88 kg/kW, caindo para 5,7 kg/kW nos dias atuais. Esta redução de peso se deve principalmente aos avanços nas técnicas de isolamento e na redução da seção dos condutores, extraíndo-se, contudo, uma mesma potência (Figura 2.1.1).

Figura 2.1.1 - Evolução da densidade de potência nos motores elétricos.



Fonte: (Marques,2006)

2.2 PERDAS NO MOTOR DE INDUÇÃO

Durante o processo de conversão eletromecânica, uma parcela da energia é utilizada para ser transformada em energia mecânica, outra parcela é usada para magnetizar os circuitos e outra são as perdas (Marques,2006). As perdas podem ser agrupadas da seguinte forma:

- Perdas Joule no enrolamento do estator,

- Perdas Joule no enrolamento do rotor,
- Perdas no ferro (ou em vazio),
- Perdas por dispersão do fluxo magnético,
- Perdas mecânicas por atrito nos mancais e ventilação, e
- Perdas suplementares (não uniformidade da corrente no enrolamento e perdas adicionais no ferro).

Em qualquer condição de carga, o motor apresenta perdas baixas, como as no ferro e as mecânicas. As perdas variáveis acontecem nos enrolamentos, juntamente com as suplementares.

Em vazio, as perdas majoritárias são devidas à histerese, atrito e ventilação e dispersão de fluxo. As perdas Joule aumentam percentualmente com o carregamento do motor.

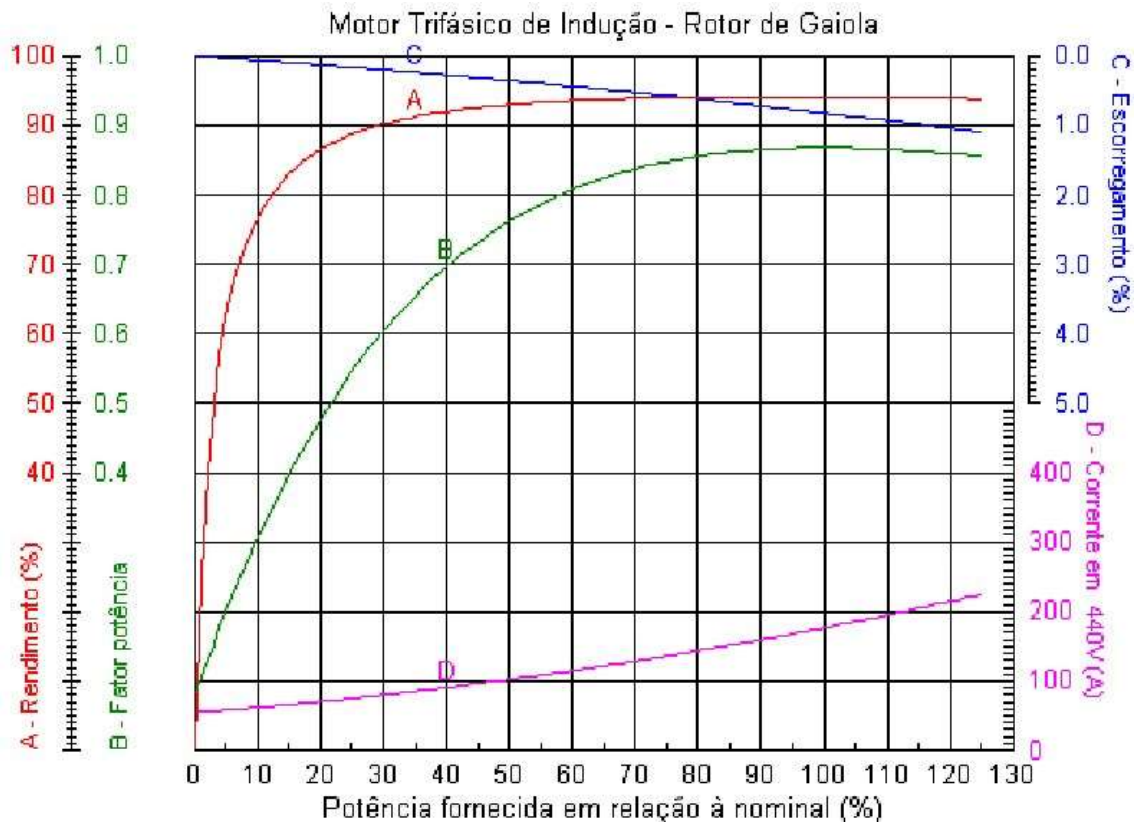
Motores de grande porte têm, percentualmente, maiores perdas no circuito magnético do que os motores menores.

Na Figura 2.2.1 são mostradas as características típicas de um motor de indução padronizado sob a forma de gráfico, e dividem-se em: A - Rendimento, B - Fator de potência ($\cos \varphi$), C - Escorregamento, D - Corrente, variando em função da potência fornecida em relação à nominal.

As principais curvas de interesse são a do rendimento e a do fator de potência. Observa-se que a curva, A, do rendimento apresenta maiores valores quando o motor opera em condições acima de 70% do carregamento nominal (potência nominal).

O fator de potência (curva B) cresce continuamente com o aumento de carga e é motivo de multas por parte da concessionária de energia elétrica quando for inferior a 0,92.

Figura 2.2.1 - Curva característica de um motor de indução em função do carregamento, por fase.



Fonte:(www.weg.net)

(Chiovatto, 2011) no artigo "Metodologia de Avaliação das Condições de Funcionamento dos Motores de Indução" apresenta uma metodologia desenvolvida para obtenção das curvas características de motores de indução trifásicos, a fim de tornar possível diagnosticar as condições de funcionamento dos motores já instalados na indústria.

2.3 FATOR DE CARREGAMENTO – FC

É de grande importância para verificar o dimensionamento de um motor. O FC é obtido pela relação entre a potência de trabalho e a potência nominal do motor.

Pode-se considerar que um motor está bem dimensionado, quando o FC está acima de 75%, (CHIOVATTO, 2011), uma vez que o mesmo estará operando em uma região de rendimentos elevados e com um melhor fator de potência.

Se o carregamento estiver abaixo de 75% não se pode afirmar, categoricamente, que tal motor esteja superdimensionado, mas sim, que há indícios de que esteja.

Isto porque existem situações tais como em ciclos de carga severos ou em partidas de cargas com alta inércia onde o uso de motores superdimensionados, se faz necessário.

Alguns métodos para a obtenção e análise do carregamento com exemplo de aplicação podem ser consultados em (MARTINS, 2013).

Destaca-se o método expedito ou simplificado que, dispondo-se previamente dos dados de placa e catálogo do fabricante para o motor, requer apenas a medição das correntes nas fases, tensão nos terminais da máquina e rotação no eixo.

Caso o FC fique abaixo de 75% recorre-se a uma análise térmica, para verificar a elevação de temperatura no motor durante todo o seu regime de operação.

As condições de aquecimento das partes de um motor que operam em contato com o seu isolamento são diferentes e dependem das condições operativas. O procedimento de cálculo de aquecimento para esta análise é complexo e um método simplificado é apresentado e exemplificado em (CHIOVATTO, 2011)

2.4 CONSUMO DE ENERGIA

O cálculo da energia anual consumida por um motor trifásico pode ser abordada sob dois aspectos diferentes:

- a) Considerando a potência mecânica disponibilizada no eixo:

$\text{kWh consumido (ano)} = \% \text{ Carga} \times P_{\text{nom}} / \eta\% \times n^0 \text{ horas/dia} \times n^0 \text{ dias/ano}$ onde:

kWh consumido (ano) - energia consumida anualmente

n horas – tempo de uso diário $\eta\%$ - rendimento médio

considerado

$\% \text{ Carga}$ – porcentagem da carga nominal, em uso efetivo.

P_{nom} – Potência nominal entregue no eixo, em kW.

b) Considerando o lado da rede de energia elétrica:

$\text{kWh consumido (ano)} = v \cdot i \cdot \text{Cos } \varphi \cdot n \cdot \text{horas/dia} \cdot n \cdot \text{dias/ano} \cdot 1/1000$

onde: v – tensão eficaz de linha, medida nos terminais do motor, em

Volts. i – corrente eficaz de linha, média das 3 fases, em Ampères.

$\text{Cos } \varphi$ - Fator de Potência.

2.5 MOTORES DE INDUÇÃO DE ALTO RENDIMENTO

Possuem como característica principal a melhoria em pontos onde se concentram a maioria das perdas (WWW.WEG.NET). Como exemplo, pode-se citar:

- Aumento da quantidade de cobre nos enrolamentos do estator, incluindo o projeto otimizado das ranhuras;
- Superdimensionamento das barras do rotor para diminuir as perdas por efeito Joule;
- Diminuição da intensidade de campo magnético e utilização de chapas magnéticas de boa qualidade para reduzir as perdas no ferro e a corrente de magnetização;
- Emprego de rolamentos adequados e otimização do projeto dos ventiladores para diminuir as perdas por atrito e ventilação; e,
- Regularidade do entreferro, melhoria no isolamento e tratamento térmico das chapas do estator e do rotor para reduzir as perdas adicionais.

Estas medidas podem proporcionar uma redução de até 30% das perdas, o que significa uma real economia de energia (HURST,2007)

2.6 APLICAÇÕES DOS MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

Existe um grande potencial de aplicação no acionamento de pequenas máquinas, muitas vezes colocadas à margem em estudos de conservação energética, já que é comum imaginar que motores com potência inferior a 10 CV são pequenos demais para viabilizar a sua substituição.

Porém, estes motores representam 85% dos motores instalados, contribuindo com cerca de 25% de todo o consumo industrial, e a melhoria de eficiência em um motor de pequeno porte pode ser de 4 a 6 pontos percentuais, enquanto que este ganho para grandes motores é da ordem de apenas 2 pontos percentuais.

No cômputo do benefício energético, um importante fator a ser considerado é o número de horas de operação por ano. Neste caso, acionamentos que possuam um fator de utilização reduzido dificilmente apresentarão méritos para aplicação.

Um estudo acurado deve ser considerado ao analisar a viabilidade de se empregar motores de alto rendimento no acionamento de cargas com elevada inércia, pois, dependendo do ciclo de operação da carga, a perda de corrente da freqüente aceleração do motor (que é associada ao momento de inércia do conjunto e a variação de velocidade) pode ser muito maior do que a perda em operação, inviabilizando a sua utilização.

Em alguns casos, e dependendo do projeto do motor, a elevação do rendimento tende a reduzir o fator de potência.

Isto pode ser parcialmente explicado posto que as perdas que contribuem com uma parcela significativa da potência ativa absorvida da rede são reduzidas em uma proporção maior do que as perdas do campo magnético.

2.7 MOTORES DE INDUÇÃO DE ULTRA ALTO RENDIMENTO

Fabricados no Brasil pela WEG S.A., na linha denominada Super Premium, são motores de indução com níveis de perdas de 20 a 40% menores que os convencionais.

2.8 MOTORES DE ÍMÃS PERMANENTES (SÍNCRONOS)

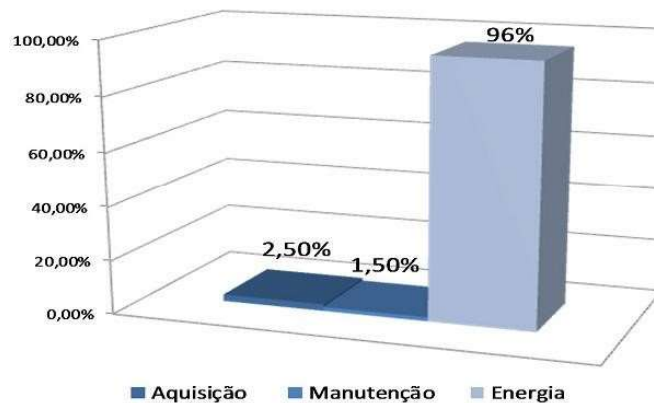
Proporcionam economia de energia e oferecem torque constante em uma ampla faixa de rotação, garantindo a operação em baixas velocidades sem o uso de ventilação forçada. Porém, necessitam de um inversor de freqüência ou similar para o seu acionamento.

São aplicados em situações que exijam variação de velocidade, alto rendimento, baixo nível de ruído e/ou tamanho reduzido.

2.9 ECONOMIA DO MOTOR DE INDUÇÃO

O gráfico da Figura 2.9.1 apresenta o Custo do Ciclo de Vida de um motor para um período de 10 anos. Cerca de 96% do seu custo está associado com a energia elétrica consumida.

Figura 2.9.1 - Custo do Ciclo de Vida de um motor de indução.



Fonte: (www.weg.net)

A elevada participação do motor elétrico na matriz energética das indústrias faz com que seja um dos principais candidatos a estudos de efficientização. Para isto, recorre-se ao uso de tecnologias mais eficientes e capazes de reduzir o consumo de energia elétrica e em alguns casos, ao seu redimensionamento para a aplicação proposta.

Como foi visto anteriormente, a substituição do motor em uso, por outro de potência inferior, pode ser recomendada nos casos de superdimensionamento ($FC < 75\%$).

No caso do motor em uso possuir um $FC > 75\%$, a sua substituição por outro, de alto rendimento, deve passar por um estudo e análise de viabilidade econômica, uma vez que são mais caros dos que os padronizados.

Ferramentas computacionais podem ajudar nestas análises. Um software desenvolvido para o PROCEL, chamado BD Motor subsidia o usuário na aquisição, substituição e reparo de motores elétricos, realizando a análise econômica e o cálculo da carga do motor. Uma versão norte-americana também foi desenvolvida anteriormente, chamando-se MotorMaster+ 4.0. Os dois recursos encontram-se descontinuados.

2.10 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA AOS MOTORES ELÉTRICOS

Visando o aumento da eficiência energética na utilização dos motores elétricos, o PROCEL lançou uma cartilha com diversas recomendações às indústrias (PROCEL, 2005), dentre elas:

2.10.1 Carregamento

Os motores devem funcionar entre 75% e 90% de sua potência nominal, pois nesta faixa de carregamento os motores têm melhor rendimento e melhor fator de potência.

2.10.2 Velocidade

Se a máquina necessitar de duas ou três velocidades diferentes, pode-se utilizar um motor assíncrono com 2 ou 3 velocidades, para obter o melhor consumo de energia.

2.10.3 Inversores

Adotar sempre que possível, os variadores eletrônicos de velocidade para aplicações onde exista variação de carga; isto garante que o motor irá trabalhar de acordo com o conjugado necessário em cada momento.

2.10.4 Motores de alto rendimento

Utilizar motores de alto rendimento, com perdas reduzidas.

2.10.5 Superdimensionamento

Evitar motores sobredimensionados pois, desperdiçam energia e prejudicam o fator de potência da instalação provocando multas nas contas de energia;

2.10.6 Potência vs carregamento

Redimensionar corretamente a potência dos motores de acordo com o carregamento atual;

2.10.7 Operação em vazio

Desligar os motores das máquinas quando estas não estiverem operando, pois nesta condição o fator de potência fica muito baixo, ao redor de 0,30.

2.10.8 Motores e ambiente de trabalho

Para cada local de trabalho, verificar se as características do motor são adequadas às condições do ambiente onde está instalado; condições de alta temperatura ambiente, excesso de pó, produtos corrosivos, exigem motores adequados para garantir sua vida útil esperada.

2.10.9 Dispositivos de partida

Analisar se os dispositivos de partida são adequados, quanto ao número de partidas por hora, conjugado de partida da carga;

2.10.10 Condições mecânicas de operação

Verificar o alinhamento dos motores; verificar e eliminar ruídos e vibrações; manter os mancais lubrificados conforme as orientações do fabricante: são itens que evitam sobrecargas sobre o motor e melhoram seu rendimento.

2.10.11 Manutenção preventiva

Realizar periodicamente a manutenção preventiva, a fim de eliminar desperdícios, diminuir custos e aumentar a vida útil dos equipamentos;

2.10.12 Rebobinamento

O rebobinamento de motores antigos ou que já sofreram rebobinamento deve ser evitado, pois diminui o rendimento do motor, aumentando os gastos com consumo de energia e paradas freqüentes.

2.10.13 Correntes desequilibradas

Evitar o desequilíbrio de corrente elétrica nas três fases pois resultam em componentes de seqüência negativa de corrente e de conjugado desenvolvido, provocando perdas adicionais, aumento no aquecimento dos enrolamentos e redução da vida útil dos mancais.

2.10.14 Variações de tensão

Variações de tensão provocam efeitos diversos na temperatura, conjugado de partida, corrente de partida e plena carga, fator de potência dos motores, devendo ser evitadas

2.10.15 Avaliação de viabilidade técnica e econômica de substituição

Avaliar sempre a viabilidade técnica e econômica de substituir os motores antigos da empresa por motores mais eficientes.

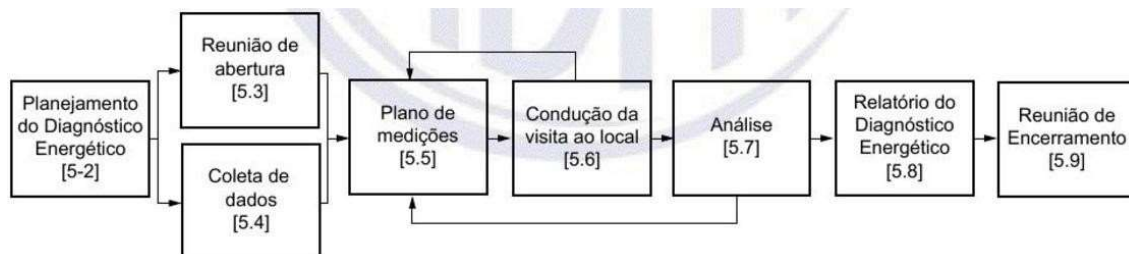
3 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

De acordo com a norma NBR ISO 50002:2014, um Diagnóstico Energético (DE) trata de uma análise sistemática do "uso de energia" e do "consumo de energia" visando identificar, quantificar e relatar oportunidades para um melhor "desempenho energético" de uma organização, instalação(ões), equipamentos, sistema(s) e processo(s).

3.1 ROTEIRO DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Um DE consta de oito etapas, resumidas no fluxograma (Figura 2.1), e pode incluir várias fronteiras, como a própria organização, uma ou mais instalações, equipamento, sistema(s) e processo(s).

Figura 3.1 – Etapas de um Diagnóstico Energético



Fonte: (ABNT NBR ISO-50002:2014)

3.1.1 Planejamento do Diagnóstico Energético

Consiste na preparação dos trabalhos que serão desenvolvidos, levantamentos a fazer, definição de responsabilidades, identificação do pessoal a ser contatado, critérios a utilizar.

3.1.2 Reunião de abertura

O objetivo da reunião de abertura é efetuar o primeiro contato com a instalação e conhecer o pessoal encarregado de dar apoio à equipe técnica no que diz respeito à locomoção, ao fornecimento de documentos e demais informações necessárias durante todo o processo de diagnóstico energético. A partir dessa visita, é possível ter uma visão geral da instalação, permitindo traçar a estratégia de levantamento de dados, através da escolha dos pontos de medição, da solicitação dos diagramas unifilares e das contas de energia elétrica expedidas pela concessionária.

3.1.3 Coleta de dados

A coleta de dados determinará o potencial de economia de energia. Os resultados fornecidos pelo diagnóstico energético dependem da precisão das informações coletadas no levantamento de dados, que deve ser realizado de forma crítica e bastante criteriosa. As principais fontes de dados e informações são apresentadas a seguir.

3.1.3.1 Contas de energia elétrica e memória de massa

As contas de energia elétrica trazem informações confiáveis sobre o perfil de consumo global da instalação e devem ser utilizadas as doze últimas contas de energia para uma avaliação da sazonalidade e consumo durante um ano.

A memória de massa, deve ser solicitada à Concessionária e contempla informações em intervalos de quinze minutos de todas as grandezas registradas pelo seu medidor:

- Consumo de energia ativa [kWh].
- Consumo de energia reativa [kVArh].
- Demanda registrada [kW].
- Demanda faturada [kW].
- Fator de carga.
- Valor da fatura [R\$].

Dependendo do enquadramento tarifário, a conta de energia elétrica pode fornecer, também, informações segmentadas em horário de ponta, fora de ponta e reservado.

3.1.3.2 Medição direta

A medição direta é feita com instrumentos próprios em pontos de interesse da instalação com o objetivo de determinar precisamente informações sobre as características de consumo diárias ou instantâneas que não estão disponíveis nas contas de energia elétrica.

É realizada por um equipamento denominado analisador de energia que é capaz de medir e armazenar as grandezas elétricas de interesse, fornecendo registros a cada intervalo de tempo específico, programável pelo usuário.

3.1.3.3 Coleta de dados por inspeção

A coleta de dados por inspeção corresponde à aquisição de informações sobre as características físicas e os hábitos de consumo da instalação, complementando as informações obtidas via medição direta e análise de contas de energia elétrica, todas necessárias para a caracterização do consumo de energia elétrica da instalação.

Nessa fase, equipes inspecionam todos os ambientes da instalação, preenchendo planilhas que contemplam informações como:

- Características físicas do ambiente:
- Localização do ambiente (bloco, andar, número da sala, etc.).
- Finalidade.
- Área útil total.
- Pé direito.
- Características de ocupação:
- Número de usuários.
- Horário de funcionamento.
- Sistema de iluminação:

- Tecnologia de iluminação (quantidade e potência das lâmpadas, tipos de luminárias, estado de conservação, etc.).
- Área iluminada.
- Nível de iluminamento médio (medições com luxímetros).
- Quantidade de acionamentos (interruptores).
- Horário de operação.
- Aproveitamento da iluminação natural.
- Sistema de ar condicionado:
- Tecnologia de ar condicionado (central, aparelhos de janela, etc., potência e quantidade dos equipamentos).
- Área climatizada.
- Temperatura do ambiente (medições com termômetros).
- Horário de operação.
- Condições de isolamento e vedação.
- Equipamentos (quantidade, potência, horário de funcionamento, etc.).

Outros dados podem ser objeto de coleta dependendo das características de cada instalação e do seu processo de produção ou utilização de energia.

3.1.4 Análise

Após a coleta dos dados tem início a análise para avaliar o potencial de redução de consumo de energia e custos.

Nesta fase é importante uma análise crítica de todos os pontos inspecionados da instalação que permitem a indicação de alguma alternativa mais eficiente.

As ações que promovem a conservação de energia geralmente podem ser classificadas em dois grupos: Medidas de intervenção e Medidas de conscientização.

As medidas de intervenção correspondem às soluções relacionadas com a mudança de tecnologia dos sistemas de uma instalação com o objetivo de aumentar a eficiência energética. As ações de "*retrofit*" são exemplos típicos desse tipo de medidas.

De forma complementar, as medidas de conscientização têm por objetivo educar os usuários no que diz respeito ao uso racional e eficiente de energia elétrica. Exemplos desse tipo de ação são as campanhas publicitárias na forma de cartazes e adesivos.

Já foi verificado diversas vezes, na prática, que os investimentos em medidas de intervenção não apresentaram o retorno esperado justamente por falta de treinamento dos usuários.

É muito importante observar que existem sistemas extremamente eficientes que mesmo assim desperdiçam energia elétrica. Por exemplo, um sistema de iluminação formado por luminárias reflexivas, lâmpadas fluorescentes eficientes e reatores eletrônicos, com segmentação adequada dos interruptores, representa um sistema muito eficiente. Tal fato por si só já representa uma grande economia de energia em relação a outros sistemas de iluminação mais antigos.

Porém, o outro fator relevante é o do uso que está sendo dado a esse sistema. Se os ambientes servidos pelo sistema estiverem desocupados, haverá um desperdício de energia, mesmo ele sendo eficiente. Nesse caso, o sistema em questão estará sendo utilizado de forma não racional.

As considerações anteriores são bastante importantes em diagnósticos energéticos, principalmente na hora de elencar todas as alternativas tecnicamente viáveis de serem implementadas com o objetivo de aumentar a eficiência energética dos sistemas da instalação. Além disso, devem ser consideradas as ações de educação do usuário, com o objetivo de aproveitar ao máximo os potenciais de conservação de cada medida tecnológica considerada.

Uma vez selecionadas todas as alternativas tecnicamente viáveis de serem implementadas, deve-se, então, calcular o potencial de conservação de energia elétrica individual de cada uma dessas medidas.

3.1.5 Relatório do Diagnóstico Energético

Realizada a análise que avaliou as alternativas de forma técnica e econômica, é emitido o Relatório do Diagnóstico Energético que contempla as recomendações de substituições de equipamentos e alterações de processos visando à eficiência energética.

3.1.6 Reunião de encerramento

É a reunião para entrega das recomendações e esclarecimentos necessários com o Plano de Ação para as melhorias previstas e analisadas e que podem ser implantadas com garantia de retorno do investimento.

3.2 INDICADORES ENERGÉTICOS

Os indicadores do uso de energia elétrica são uma importante ferramenta para a realização de diagnósticos energéticos além de permitir o acompanhamento dos resultados das implantações feitas.

Os indicadores retratam o perfil de consumo da instalação possibilitando a determinação do potencial de conservação de energia elétrica através de comparações com valores típicos obtidos para instalações com características semelhantes.

Na Tabela 3.2.1 são apresentados alguns indicadores energéticos sendo que, para cada situação ou análise, podem ser criados novos indicadores.

Tabela 3.2.1 – Indicadores energéticos

Indicador	Representação	Descrição
Fator de carga		O fator de carga mostra como a energia elétrica está sendo utilizada e quanto mais próximo da unidade maior a regularidade no uso de energia elétrica.
Consumo mensal por área útil	kWh/mês. m ²	É a relação entre o consumo mensal total da instalação pela sua área útil
Consumo em iluminação por área iluminada	kWh/mês. m ²	É utilizado em comparações com valores típicos obtidos para diversos tipos de instalações e atividades desenvolvidas. Ele reúne num único indicador as características elétricas da tecnologia empregada (potência instalada) com os hábitos de uso do sistema (tempo de operação), uma vez que ele considera o consumo de energia elétrica do uso final iluminação.
Consumo em ar condicionado por área climatizada	kWh/mês. m ²	É definido da mesma forma que o indicador anterior, porém considerando o uso final ar condicionado, sendo aplicado em análises comparativas com valores típicos de instalações semelhantes.
Potência instalada em iluminação por área iluminada	W/m ²	É parecido com o indicador consumo em iluminação por área iluminada, porém um pouco mais específico, uma vez que ele considera apenas a tecnologia empregada no sistema de iluminação sem considerar o respectivo hábito de uso.
Porcentagem de luminárias defeituosas	%Luminárias defeituosas/total de luminárias	Tem por objetivo analisar o estado de conservação do sistema de iluminação. Valores desse indicador acima dos 5% revelam, geralmente, a falta de um programa de manutenção efetivo, ou ainda, um superdimensionamento do sistema de iluminação.
Potência instalada em iluminação por número de interruptores	W/nº. de interruptores	Potência instalada em iluminação por número de interruptores (W) tem o objetivo de analisar os acionamentos de sistemas de iluminação. Em muitas instalações, principalmente nas mais antigas, o acionamento do sistema de iluminação é geral, ou seja, um único interruptor controla um conjunto muito grande de luminárias (todas as luminárias das áreas de circulação de um andar, por exemplo). Tal fato proporciona um considerável desperdício de energia em instalações onde existam ambientes com ocupação parcial ou intermitente, não sendo possível desligar as luminárias que não estejam sendo utilizadas.
Potência instalada em ar condicionado por área climatizada	W/ m ²	Mostra a potência consumida por m ² refrigerado.
Consumo mensal por usuário equivalente	kWh/UE.mês	O indicador consumo mensal por usuário equivalente fornece a quantidade de energia gasta mensalmente por cada usuário equivalente da instalação, expresso em. O conceito de usuário equivalente tem por objetivo uniformizar, para um período de 40 horas semanais, todos os regimes de trabalho das várias categorias de usuários que fazem uso da instalação.

Consumo mensal por kWh/unidade
unidade
produzida

Para avaliar o consumo de energia por unidade produzida

Fonte: (ALVAREZ, 1998)

3.3 Estudo de alternativas para os usos finais identificados

Cada uso final (iluminação, ar condicionado, etc.) apresenta uma técnica específica de avaliação do potencial de conservação de energia elétrica.

Porém, independentemente do uso final, o potencial de conservação é calculado comparando-se o consumo dos sistemas atuais com o consumo previsto para os sistemas após a implementação das alternativas consideradas.

Portanto, a determinação do potencial de conservação de energia elétrica para cada uso final reduz-se a:

- Determinar o consumo de energia desagregado em usos finais.
- Estimar o consumo de energia após a implementação das medidas tecnicamente viáveis.

A partir da determinação do potencial de conservação das alternativas de cada uso final, calcula-se, então, o potencial de conservação de energia elétrica total da instalação.

Vale ressaltar que existem uma série de vantagens que algumas medidas podem trazer aos sistemas de uma instalação que são muito difíceis de serem quantificados em termos de custos e benefícios.

Exemplo disso é o aumento da qualidade dos sistemas de iluminação e de ar condicionado, proporcionando condições de trabalho mais favoráveis aos funcionários.

Apesar de não ser possível realizar uma estimativa direta, esses aspectos não devem ser desconsiderados na realização da análise de viabilidade econômica das alternativas propostas (ELEKTRO.2007).

3.4 Análise econômica

Permite avaliar se as implementações propostas terão o retorno e a viabilidade sob o enfoque econômico-financeiro. Os principais métodos usados estão mostrados a seguir.

3.4.1 Método do tempo de retorno

O método do tempo de retorno ("*Simple pay-back*") é utilizado para determinar o tempo necessário para que o investimento inicial seja totalmente recuperado.

A informação de quanto tempo será necessário para que um certo investimento seja recuperado pode ser utilizada para determinar se o projeto é viável economicamente.

3.4.2 Método dos equivalentes uniformes anuais

O método dos equivalentes uniformes anuais é bastante recomendado para a análise de alternativas de medidas para o uso racional e eficiente de energia elétrica. O método é baseado na comparação dos fluxos de caixa das várias alternativas sob análise transformados em anuidades uniformes.

Dessa forma, é possível comparar qualquer alternativa independente de seu tempo de vida ser ou não igual aos tempos de vida das outras alternativas sob análise.

3.4.3 Custo da energia conservada

O custo da energia conservada de uma alternativa eficiente é definido como o incremento no investimento inicial e no custo operacional devido à sua implementação, em relação ao sistema atual, transformado em anuidade uniforme, dividido pela economia anual de energia elétrica.

3.4.4 Valor Presente Líquido (VPL)

O método do Valor Presente Líquido (VPL) avalia um projeto transferindo para o momento presente todas as variações de caixa esperadas no período considerado para o projeto, descontadas à taxa mínima de atratividade. Em outras palavras, seria

o transporte para a data zero, do fluxo de caixa, de todos os recebimentos, R, e desembolsos, D, esperados, descontados à taxa de juros considerada.

3.4.5 Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)

É a taxa de juro para a qual as receitas de um projeto tornam-se iguais aos desembolsos ou ainda, tornando nulo o Valor Presente Líquido do projeto.

A TIR também pode ser interpretada como sendo a taxa de remuneração do capital investido em um projeto.

4 ESTUDO DE CASO

Avaliação de uma Fábrica de Gelo em São Paulo, principalmente quanto aos motores utilizados, já que o seu maior consumo está neste item. Esta fábrica opera hoje com motores muito antigos de 75 CV e é de se esperar que sua substituição traga uma significativa economia de energia.

A fábrica produz gelo em barras e triturados para atender a comercializadores de aves e pescados principalmente e a comercialização ocorre em sua maior parte, durante a madrugada, entre 02h00min e 06h00min. A demanda contratada é de 400 kW.

O gelo é produzido e estocado a partir das 02h00min às 19h30min. No intervalo remanescente os compressores são desligados.

Para operacionalizar a produção do gelo são utilizados 04 motores de 75 CV, 380V, cada, mostrados nas Figuras 4.1 e 4.2.

Estes motores foram fabricados há quarenta anos e têm as seguintes características:

Marca: Bufalo SA

Potência nominal: 75CV F.S. = 1,0

Tensão: 380 V $I_n=115$ A

RPM: 1770 Classe: F

Figura 4.1 – Vista geral do motor e dados de placa



Figura 4.2 – Vista geral do motor inserido na fábrica



Para analisar o potencial de economia de energia foram efetuados levantamentos e medições nos motores, análise de 12 últimas contas de energia e avaliação da memória de massa.

4.1 MEDIÇÕES E LEVANTAMENTOS

Foram levantados no local os dados e características dos motores bem como medidas as potências elétricas, tensões, correntes, fator de potência, temperaturas e rotação de trabalho, mostrados na Tabela 4.1.1

Tabela 4.1.1 – Levantamento de dados dos motores

Motor	P _{nom} (CV)	RPM nominal	Polos	Rotação síncrona ns	Inom	V _{ab}	V _{bc}	V _{ca}	I _a	I _b	I _c	Pelét. (kW)	FP	Rotação de trabalho nt (rpm)	T _{máx} °C
1	75	1770	4	1800	115	380	381	381	102	101	102	53	0,87	1776	43
2	75	1770	4	1800	115	382	382	382	98	99	96	52	0,86	1777	44
3	75	1770	4	1800	115	380	381	381	104	103	103	54	0,85	1775	45
4	75	1770	4	1800	115	381	381	381	103	102	102	53	0,87	1775	42

Para os levantamentos foram utilizados os seguintes instrumentos:

-Registrador de Grandezas Elétricas CIRE3 – CIRCUTOR: Foi instalado no Motor 1. Figura 4.1.1.

-Alicate Wattímetro MINIPA ET-4080: Utilizado para as medições de potência, FP e correntes e tensões nos motores 2,3 e 4. Figura 4.1.2.

-Tacômetro digital Smart Sensor: Utilizado para medir a rotação de trabalho dos motores. Figura 4.1.3.

-Termômetro digital infravermelho HIKARI HK-T438: Utilizado para avaliar a temperatura dos motores. Figura 4.1.4.

Figura 4.1.1 - Registrador de Grandezas Eléctricas CIRE3 – CIRCUTOR



Figura 4.1.2 - Alicates Wattímetro MINIPA ET-4080



Figura 4.1.3 Tacômetro digital Smart Sensor



Figura 4.1.4 - Termômetro digital infravermelho HIKARI HK-T438



4.2 OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DOS MOTORES

Os parâmetros de operação dos motores foram calculados através das Equações 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 e 4.2.5 a seguir.

4.2.1 Conjugado nominal - M_n

$$M_n = P_N / n_N \text{ (CV/rpm)} \quad (4.2.1)$$

Onde, P_N = Potência Nominal n_N =rotação nominal

4.2.2 Conjugado de trabalho - M_t

$$M_t = M_N \cdot (n_s - n_t) / (n_s - n_N) \text{ (CV/rpm)} \quad (4.2.2)$$

Onde, n_N =rotação nominal n_s =rotação síncrona n_t =rotação de trabalho

4.2.3 Potência de trabalho P_t

$$P_t = M_t \cdot n_t \text{ (CV)} \quad (4.2.3)$$

Onde, M_t = Conjugado de trabalho n_t =rotação de trabalho

4.2.4 Fator de Carregamento - F_c

$$F_c = P_t / P_N \quad (4.2.4)$$

Onde, P_t = Potência de trabalho P_N = Potência Nominal

4.2.5 Rendimento - η (%)

$$\eta = 100. (0,736 \cdot P_t) / \text{Pelétrica} \quad (4.2.5)$$

onde P_t = Potência de trabalho Pelétrica = Potência exigida da rede.

Com os dados da Tabela 4.1.1 e as equações anteriores foram obtidos os resultados mostrados na Tabela 4.2.1.

Tabela 4.2.1 – Parâmetros dos motores

Motor	Conjugado Mn (CV/rpm)	NominalConjugado de trabalho Mt (CV/rpm)	Potência de trabalho (CV)	Fator de Carregamento F_c	rendimento
1	0,0424	0,035	61,4	0,82	0,85
2	0,0424	0,032	57,3	0,76	0,81
3	0,0424	0,036	63,1	0,84	0,86
4	0,0424	0,035	62,1	0,83	0,86
Média	0,0424	0,034	61,0	0,81	0,85

Da Tabela 4.2.1 conclui-se que:

-O fator de carregamento médio está adequado (acima de 75%), ou seja, os motores estão com a potência nominal exigida pela carga.

-O rendimento médio é de 85%, abaixo dos motores novos.

4.3 CONSUMO DE ENERGIA DOS MOTORES ATUAIS

O consumo de energia atual está mostrado na Tabela 4.3.1 que foi calculado através da Equação 4.3.1.

$$\text{Consumo (kWh/ano)} = P_{\text{elétrica}}(\text{kW}) \cdot (\text{Núm. Horas/dia func.}) \cdot (\text{Núm. Dias/ano func.}) / \text{Rendimento} \quad (4.3.1)$$

Tabela 4.3.1 – Consumo de energia dos motores

Motor	P _N (CV)	Rendimento	Horas/dia func.	Dias/ano func.	Pelétrica (kW)	Consumo (kWh)/ano
1	75	0,85	17	365	53	385.771,68
2	75	0,81	17	365	52	397.930,60
3	75	0,86	17	365	54	389.637,17
4	75	0,86	17	365	53	
Total						381.529,11 1.554.868,56

4.4 AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DOS MOTORES ATUAIS POR OUTROS DE ALTO RENDIMENTO

Foi escolhido para avaliação o motor **WEG W22 IR3 Alto Rendimento**, Premium Trifásico. O preço deste motor é de R\$21.815,72, valor sugerido no site da WEG. Nas condições operativas atuais, este motor tem um rendimento de 95%. O consumo de energia utilizando estes motores está mostrado na Tabela 4.4.1.

Tabela 4.4.1 – Consumo dos motores de alto rendimento

Motor	P _N (CV)	Rendimento	Horas/dia func.	Dias/ano func.	P _{trabalho} (kW)	Consumo (kWh)/ano
1	75	0,95	17	365	45	292.280,32
2	75	0,95	17	365	45	292.280,32
3	75	0,95	17	365	45	292.280,32
4	75	0,95	17	365	45	292.280,32
TOTAL						1.169.121,28

Economia anual de energia = $1.554.868,56 - 1.169.121,28$

= 389.221,60 kWh

Considerando o valor atual da tarifa de consumo no horário fora de ponta igual a R\$0,34/kWh (tarifa mais impostos), a economia financeira, será $(389.221,60 \text{ kWh}) \times (\text{R}\$0,34/\text{kWh}) = \text{R}\$132.335,34$. Na Figura 4.4.1 são mostrados as economias obtidas com a substituição dos motores atuais por novos de alto

rendimento.

Figura 4.4.1 – Economias obtidas com a substituição dos motores

ECONOMIA ANUAL (kWh)	389.221,60
ECONOMIA ANUAL (R\$)	132.335,34

4.5 AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DOS MOTORES

Para a avaliação econômica foram calculadas em planilhas (EXCEL) o Valor Presente Líquido, a Taxa Interna de Retorno e o *Pay-back* Simples mostrados na Tabela 4.5.1

Tabela 4.5.1 – Parâmetros para a avaliação econômica

Motor WEG W22 IR3 Alto Rendimento, Premium Trifásico. Preço Unitário:	
	R\$21.815,72
Quantidade de motores	4
Investimento (04 motores)	87.262,88
Crédito venda dos motores (*)	-10.471,55
Investimento final	76.791,33
Horas de funcionamento/dia	17 horas
Número de dias/ano de funcionamento	365 dias
Preço da energia (R\$/kWh) com impostos	0,34
Vida útil (anos)	10
Economia anual (R\$)	132.335,34
Taxa anual	12%

(*) O Fabricante WEG oferece um desconto de 12% a título de sucata do motor antigo. Portanto, o preço unitário do motor passa a ser **R\$19.197,83**.

Os resultados obtidos estão mostrados no Quadro 4.5.2

Quadro 4.5.2 – Resultados econômicos

Pay-back Simples (anos)	0,58
Valor presente líquido	R\$ 599.047,21
Taxa interna de retorno	172%

O Valor Presente Líquido é positivo indicando a viabilidade da troca e é altamente atrativo considerando a TIR de 172% obtida.

4.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Os motores atuais trabalham 365 dias/ano, 17 horas/dia, ou seja, 6205 horas/ano.

Na Tabela 4.6.1 foram resumidos os resultados econômicos caso este número de horas de funcionamento fosse reduzido para 75%, 50% e 25% do número de horas atual.

Esta análise tem por objetivo avaliar a viabilidade da troca dos motores, caso as condições operativas da Empresa em estudo venham a mudar devido a queda de vendas do produto.

Tabela 4.6.1 – Economia conforme o número de horas em funcionamento

HORAS/DIA %	VPL (R\$)	TIR	Energia		Economia (R\$)	
			PAY- BACK (kWh)	economizada		
17	100	599.047,21	172	0,58	389.221,60	132.335,34
12,75	75	324.148,60	129	0,77	291.916,20	99.251,51
8,5	50	265.241,76	86	1,16	194.610,80	66.167,67
4,25	25	98.339,03	42	2,32	97.305,40	33.083,84

Nota-se que a partir de 25% do número de horas de funcionamento em relação à atual, a substituição dos motores já se justifica, embora o *pay-back* seja mais longo. Nestes casos, outros fatores devem ser levados em consideração, tais como, disponibilidade de caixa, falhas nos motores atuais, interrupções devido a manutenções freqüentes, etc.. Nas Figuras 4.6.1, 4.6.2 e 4.6.3, estão mostrados estes resultados.

Figura 4.6.1 – Variação do VPL , kWh e R\$ economizados cf horas de funcionamento

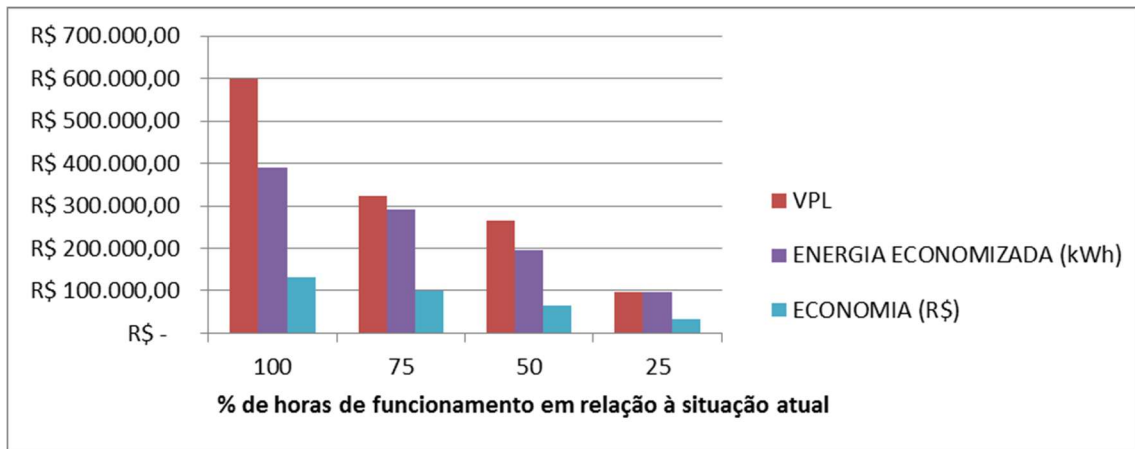


Figura 4.6.2 – Variação do *Payback* cf horas de funcionamento

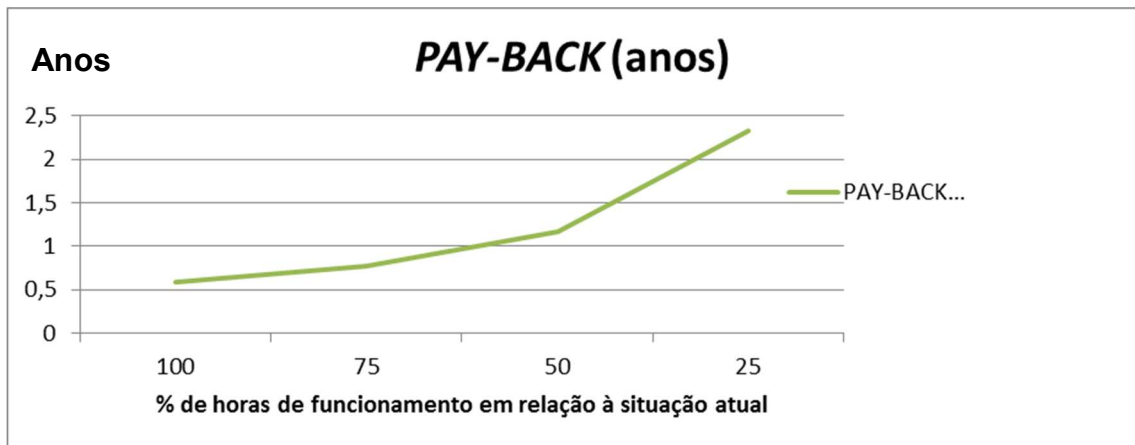
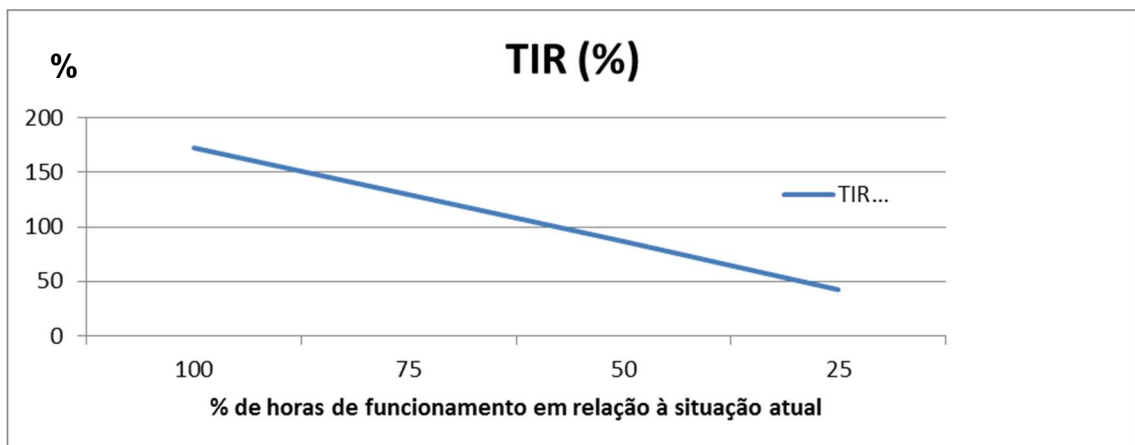


Figura 4.6.3 – Variação da TIR cf horas de funcionamento



4.7 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Os resultados obtidos foram comparados com simulação disponível no site da WEG considerando as mesmas condições de funcionamento atuais e tarifas e estão mostrados na Figura 4.7.1

Figura 4.7.1 – Simulação site WEG



Fonte: (SITE weg@net.br)

Na Tabela 4.7.1 é feita a comparação entre os resultados obtidos através de medições em campo e os resultados no *site* da WEG que se mostraram bastante próximos excetuando a TIR. A WEG alerta para o fato de tratar-se de estimativa pois os dados inseridos são meramente orientativos.

Tabela 4.7.1 – Comparação de resultados

Descrição	Resultados deste trabalho (A)	Resultados site WEG	
		(B)	Relação % (A)/(B)
Economia de energia (kWh/ano)	389.221,60	341.726,04	114%
Economia (R\$)	132.335,34	116.186,85	114%
VPL (R\$)	599.047,21	591.181,02	101%
TIR	172%	403,93%	43%
Payback (anos)	0,58	0,66	88%

4.8 ANÁLISE DAS CONTAS DE ENERGIA

Foram solicitadas as últimas 12 contas de energia (ciclo anual completo) para avaliar algum potencial de economia.

Os dados das contas foram lançados em planilhas apropriadas que fazem a comparação entre as modalidades tarifárias e ainda permitem simular a melhor contratação de demanda.

Na Figura 4.8.1 são mostrados os valores das contas de energia e o valor da demanda contratada. No caso em questão a demanda contratada atual (400 kW) está adequada à operação da Empresa.

Figura 4.8.1 – Tabulação das contas de energia

TARIFAS		PERÍODO SECO		PERÍODO ÚMIDO	
mai/17		VERDE	AZUL	VERDE	AZUL
Demanda Ponta		8,01	12,82	8,01	12,82
Dem. Fora Ponta		8,01	8,01	8,01	8,01
Cons. Ponta		687,13	376,34	687,13	376,34
Cons F P IND		267,75	267,75	267,75	267,75
Cons F P CAP		267,75	267,75	267,75	267,75
Ultrapassagem P		16,02	25,64	16,02	25,64
Ultrapassagem FP		16,02	16,02	16,02	16,02

DADOS PARA CONTRATO				Toler. (5%)	
DEMANDA PONTA SECA		400	kW	420	
DEMANDA FORA PONTA SECA		400	kW	420	
DEMANDA PONTA ÚMIDA		400	kW	420	
DEMANDA FORA PONTA ÚMIDA		400	kW	420	

								VALOR DA CONTA COM ICMS	
Ano	Mês	Consumo na Ponta	Consumo Fora Ponta Indutivo	Consumo Fora Ponta Capacitivo	Demanda Ponta	Demanda Ponta Indutivo	Demanda Ponta Capacitivo	TARIFA VERDE R\$	TARIFA AZUL R\$
2017	JAN	5440,3	69547,5	38031,7	249,5	366,2	373,0	43.593,32	47.785,04
2017	FEV	3048,0	88277,8	53264,8	184,0	398,2	419,2	52.866,09	57.964,52
2017	MAR	6999,1	109341,7	54264,2	376,7	414,5	424,6	52.866,09	57.964,52
2017	ABR	4923,5	92901,8	50130,9	239,4	410,8	422,1	55.168,45	59.556,04
2017	MAI	2336,8	80711,3	42515,1	263,3	429,7	435,1	46.787,63	52.155,61
2016	JUN	1351,2	76960,1	40330,3	247,8	417,1	427,1	43.867,19	49.608,72
2016	JUL	3036,8	77088,3	38316,7	287,7	404,0	409,5	44.227,39	49.330,06
2016	AGO	4765,5	77630,8	36525,5	268,8	365,0	376,7	45.175,44	49.622,92
2016	SET	4549,8	94388,0	45235,5	266,3	379,7	373,4	53.310,36	57.839,59
2016	OUT	3010,0	79858,2	39937,6	264,2	359,5	392,7	45.545,83	50.658,67
2016	NOV	856,1	82028,8	54680,3	147,8	354,9	399,8	49.263,55	55.192,73
2016	DEZ	1890,9	84611,4	50224,4	269,2	360,8	373,4	49.519,00	55.055,98
	TOTAL	42208	1013346	543457	.....	.....	.....	582.190,32	642.734,39
Média	12 meses	3.517	84.445	45.288	255	388	402	48.515,86	53.561,20
				MÍN.	147,8	354,9	373		
				MÁX.	376,7	429,7	435,1		

A Figura 4.8.2 mostra o comportamento da Demanda ao longo do ano sinalizando um comportamento bastante homogêneo.

A Figura 4.8.3 mostra o comportamento do Consumo ao longo do ano que também tem um comportamento bastante homogêneo, nos três segmentos horários.

Figura 4.8.2 – Variação da demanda (kW)

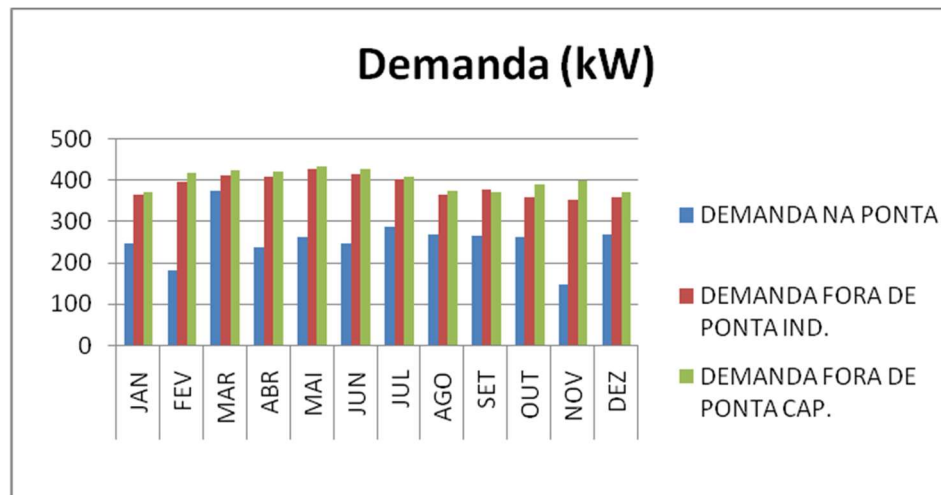
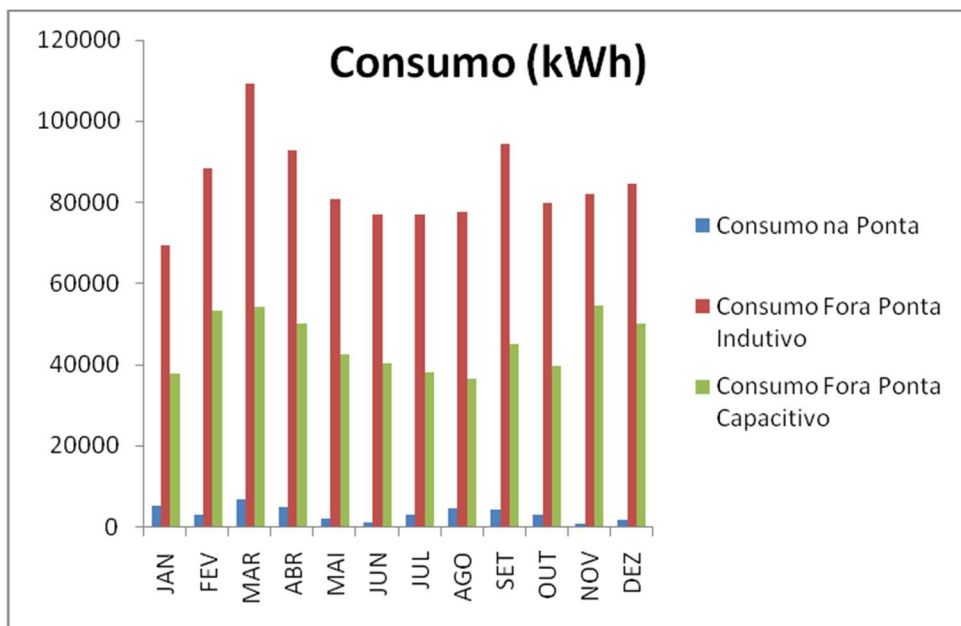


Figura 4.8.3 – Variação do consumo (kWh)



Nota-se que os meses de verão são os de maior consumo de energia.

No entanto, observa-se que o consumo avança no horário de Ponta, e este consumo poderia ser remanejado para outro período.

Atualmente, o consumo maior ocorre no período das 02:00h às 19:30h, quando são desligados os motores da refrigeração.

Estes motores sendo desligados às 17:30h poderiam ser religados às 23:30h sem prejuízo dos serviços e da produção.

4.8.1 Simulação do deslocamento do consumo do Horário de Ponta

Assumindo que 90% do consumo do horário de ponta (17:30 às 20:30h) pode ser deslocado para o horário fora de ponta, obtém-se um novo perfil de consumo conforme simulação feita na Figura 4.9.1.1

Na Tabela 4.9.1.1 mostram-se os valores antes e depois da retirada do consumo do horário de ponta.

Tabela 4.9.1.1 – Deslocamento do consumo do Horário de Ponta

Descrição	Situação Atual	Com Transferência para o Horário Fora de Ponta	Economia anual prevista
Consumo Horário de Ponta (kWh)	3517	352	3.165
Custo anual da conta de energia (R\$)	582.190,32	554.587,41	27.602,91

Figura 4.8.1.1 – Simulação do deslocamento do horário de ponta

TARIFAS mai/17		PERÍODO SECO		PERÍODO ÚMIDO	
		VERDE	AZUL	VERDE	AZUL
Demanda Ponta		8,01	12,82	8,01	12,82
Dem. Fora Ponta		8,01	8,01	8,01	8,01
Cons. Ponta		687,13	376,34	687,13	376,34
Cons F P IND		267,75	267,75	267,75	267,75
Cons F P CAP		267,75	267,75	267,75	267,75
Ultrapassagem P		16,02	25,64	16,02	25,64
Ultrapassagem FP		16,02	16,02	16,02	16,02

DADOS PARA CONTRATO				Toler. (5%)	
DEMANDA PONTA SECA	400	kW		420	
DEMANDA FORA PONTA SECA	400	kW		420	
DEMANDA PONTA ÚMIDA	400	kW		420	
DEMANDA FORA PONTA ÚMIDA	400	kW		420	

								VALOR DA CONTA COM ICMS	
Ano	Mês	Consumo na Ponta	Consumo Fora Ponta Indutivo	Consumo Fora Ponta Capacitivo	Demanda Ponta	Demanda Fora Ponta Indutivo	Demanda Fora Ponta Capacitivo	TARIFA VERDE R\$	TARIFA AZUL R\$
2017	JAN	544,0	69547,5	38575,7	249,5	366,2	373,0	39.668,06	45.715,53
2017	FEV	304,8	88277,8	53569,6	184,0	398,2	419,2	50.666,91	56.805,05
2017	MAR	699,9	109341,7	54964,1	376,7	414,5	424,6	50.666,91	56.805,05
2017	ABR	492,3	92901,8	50623,3	239,4	410,8	422,1	51.616,07	57.683,12
2017	MAI	233,7	80711,3	42748,8	263,3	429,7	435,1	45.101,59	51.266,68
2016	JUN	135,1	76960,1	40465,4	247,8	417,1	427,1	42.892,28	49.094,72
2016	JUL	303,7	77088,3	38620,4	287,7	404,0	409,5	42.036,29	48.174,85
2016	AGO	476,6	77630,8	37002,1	268,8	365,0	376,7	41.737,07	47.810,11
2016	SET	455,0	94388,0	45690,5	266,3	379,7	373,4	50.027,61	56.108,83
2016	OUT	301,0	79858,2	40238,6	264,2	359,5	392,7	43.374,08	49.513,65
2016	NOV	85,6	82028,8	54765,9	147,8	354,9	399,8	48.645,86	54.867,07
2016	DEZ	189,1	84611,4	50413,5	269,2	360,8	373,4	48.154,68	54.336,67
	TOTAL	4220,8	1013346	547677,8	.....	.....	.....	554.587,41	628.181,33
Média	12 meses	352	84.445	45.640	255	388	402	46.215,62	52.348,44
				MIN.	147,8	354,9	373		
				MAX.	376,7	429,7	435,1		

5 RESULTADOS

A Empresa em questão, adotando as medidas aqui descritas poderia ter uma economia anual de R\$132.335,34 referente à substituição de motores e mais uma redução anual na conta de energia de R\$27.602,91 referente à modulação da carga do horário de ponta para o Horário fora de ponta, totalizando uma economia de R\$159.938,25/ano que equivale a 28,8% dos gastos com energia elétrica.

A modulação da carga não necessita investimento, sendo apenas uma mudança de procedimento. Além disto, com a troca dos motores haveria uma redução do consumo de energia de 389.221,60 kWh ou 24,8% do consumo atual, conforme mostrado no item 4.4, o que representa uma grande melhoria na eficiência energética da empresa.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho mostrou a viabilidade de substituir motores antigos e de baixo rendimento por motores novos de alto rendimento e que esta substituição, mesmo em condições de queda de produção e mercado, ainda garante altos ganhos financeiros.

Também a análise da conta de energia pode levar a uma redução no seu valor através da modulação de carga, sem necessidade de investimentos, fazendo apenas uma alteração de procedimentos.

Uma avaliação mais minuciosa da empresa em questão, com certeza levantaria novos pontos críticos que poderiam otimizar ainda mais o consumo de energia, destacando-se por exemplo, a iluminação, sistemas de resfriamento e isolamento térmico.

Para tanto, é necessário um levantamento adequado das instalações e principalmente a utilização de instrumentos precisos que garantam os resultados obtidos.

Finalmente, é importante enfatizar a necessidade de um conhecimento técnico dos equipamentos em análise além de um adequado planejamento dos serviços e uma observação acurada do local avaliado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEN2016 - **Balço Energético Nacional - 2016.**

WEG - DT-6 - **Motores elétricos assíncronos e síncronos de média tensão – especificação, características e manutenção – 2014**

ALVAREZ, A. L. M.. **Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares.** Tese de Mestrado apresentada à EPUSP, São Paulo, 1998.

Martins, G. M. **Eficientização de instalações de Motores elétricos.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. 2015

MARQUES, Milton; HADDAD, Jamil; MARTINS, André R. S. (Coord.). **Conservação de Energia – Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos, 3. ed.** Itajubá: FUPAI, 2006.

ELEKTRO – ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A. - **Manuais Elektro de Eficiência Energética: Segmento Industrial – Administração de Energia.**

Hurst, J. **Raising the standard for electric motor efficiency.** pp 30-34. (2007).

InTech, Nadel, S., Elliott e outros. **Energy efficient motor systems: A handbook on technology, program, and policy opportunities, 2nd Edition.** ACEEE. Washington, D.C., USA. (2002).

PROCEL (2004), **Metodologia de Realização de Diagnóstico Energético – Guia Avançado.** Rio de Janeiro, 2004.

Sá, J. S. (1989). **Contribuição à Análise do comportamento térmico de motores de indução trifásico com rotor do tipo gaiola.** Tese de Doutorado, UNICAMP.

BORTONI, E. C., FILHO, A. R., TANAKA, E. T. **Análise de carregamento de Motores e Conservação de Energia.** Quadrante Softwares Especializados Ltda. Itajubá. (1992).

CHIOVATTO, C., BISPO D., PAULA E SILVA, V., BERNARDES M. S., W. **Metodologia de avaliação das condições de funcionamento dos motores de indução.** CBEE – Juiz de Fora. 2011.

WAIDE, PAUL AND CONRAD U. BRUNNER. **Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems,” International Energy Agency - Working Paper, 2011**

US DEPARTMENT OF ENERGY - **Premium efficiency motor selection and application guide – 2014**

ARAGÓN, C.S., PAMPLONA, E., MEDINA, J.R.V. **Identificação de investimentos em eficiência energética e sua avaliação de risco. São Carlos 2013**

PROCEL – **Guia Técnico de Gestão de Energia – 2005**

GEEPMEs – **Manual de Gestão de Energia – Portugal – 2013-2014**