

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA
ÊNFASE EM QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE UMA
EMPRESA DE MÉDIO PORTE: CONTRIBUIÇÕES PARA FORMAÇÃO DA
CULTURA ORGANIZACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA**

Por

Robson da Paixão

Prof. Manuel Losada y Gonzalez, Dr.
(Orientador)

Belo Horizonte, 30 de *Março/2012*.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Curso de Especialização em Sistemas de Energia Elétrica

Ênfase em Qualidade da Energia Elétrica

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE UMA
EMPRESA DE MÉDIO PORTE: CONTRIBUIÇÕES PARA FORMAÇÃO DA
CULTURA ORGANIZACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA**

Robson da Paixão

Orientador: Prof. Manuel Losada y Gonzalez, Dr.

Monografia submetida à Banca Examinadora designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Sistemas de Energia Elétrica, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Certificado de Especialista em Sistemas de Energia Elétrica com ênfase em Qualidade da Energia Elétrica.

Belo Horizonte, 30 Março/2012.

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA DE UMA
EMPRESA DE MÉDIO PORTE: CONTRIBUIÇÕES PARA FORMAÇÃO DA
CULTURA ORGANIZACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA**

Robson da Paixão

Monografia submetida à Banca Examinadora designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Sistemas de Energia Elétrica, como parte dos requisitos necessários à obtenção do *Certificado de Especialista em Sistemas de Energia Elétrica com Ênfase em Qualidade da Energia Elétrica*.

Aprovada em ____ de _____ de _____.

Por:

Prof. Dr. Manuel Losada y Gonzalez
(Orientador)

Prof. Dr. Eduardo Nohme Cardoso
(Relator)

Este trabalho é dedicado aos meus pais, à minha esposa e aos amigos Wagner Vidal, Denise, José Vicente e Anderson Pedra, que me ajudaram a descobrir meu novo mundo.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela sabedoria concedida.

Aos meus pais, minha esposa, familiares e amigos.

Ao meu orientador e professor Manuel Losada y Gonzalez.

Aos professores da especialização, que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos que estiveram todo tempo ao meu lado, ajudando-me direta ou indiretamente, para que os meus sonhos se concretizassem.

A todos que possibilitaram a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de um estudo sobre eficiência energética da instalação elétrica de uma empresa de médio porte, visando contribuir com a formação da cultura de conservação de energia. O estudo constituiu-se de uma etapa de preparação de um diagnóstico energético, seguida de uma etapa da implantação inicial de um programa de eficiência energética. Para o alcance dos objetivos propostos, realizou-se um diagnóstico energético onde foram avaliados: (i) a eficientização da estrutura tarifária; (ii) equipamentos eficientes e não eficientes; (iii) perdas no sistema elétrico e (iv) desperdício de energia pelos operários e processos da empresa. O programa de eficientização energética consiste principalmente; (i) na substituição dos equipamentos não eficientes; (ii) na melhoria de perdas do sistema elétrico e (iii) na minimização de desperdícios de energia elétrica pelos operários e processos. Este programa tem um tempo de execução bem superior ao tempo de execução do diagnóstico energético, cujos resultados iniciais são apresentados no trabalho de monografia. Assim, o trabalho de monografia apresenta os resultados do diagnóstico energético e os resultados iniciais do programa de eficientização energética.

ABSTRACT

This monograph intends to present the results of a study on energy efficiency of the electrical installation in medium size company, contributing on culture state of energy conservation. The study represents an initial step of preparing an energy diagnosis, followed by one second step of implementing an energy efficiency program. To achieve the proposed objectives, we carried out an energy diagnosis intending to evaluate: (i) the efficiency improvement compound of the tariff structure, (ii) efficient and inefficient equipment, (iii) losses in the electrical system and (iv) waste of energy by workers and productive processes. The program on energy efficiency consists mainly: (i) the replacement of inefficient equipment, (ii) reduction of electrical system losses and (iii) the minimization of waste of electric power by the workers and processes. This program has a run-time longer than the energy diagnosis run-time; initial results are presented in this text. Thus, this monograph presents the results of energy diagnosis and initial results of the program on energy efficiency.

Palavras-chave: Eficiência energética, Conservação de Energia,

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - Consumo de Energia no Brasil (BEN 2010)..... | 16 |
| FIGURA 2 - Esquema básico de instalação de um sistema de ar comprimido..... | 26 |
| FIGURA 3 - Tipos de compressores para cada grupo..... | 27 |
| FIGURA 4 - Estrutura básica de um inversor de frequência trifásico..... | 31 |
| FIGURA 5 - Condução dos transistores..... | 32 |
| FIGURA 6 - Modulação PWM..... | 33 |
| FIGURA 7 - Ciclo de trabalho..... | 33 |
| FIGURA 8 - Técnica PWM..... | 34 |
| FIGURA 9 - Modulação PWM no Tempo..... | 34 |
| FIGURA 10 - Curva V/f..... | 36 |
| FIGURA 11 - Diagramas de blocos do inversor de frequência..... | 36 |
| FIGURA 12 - Esquema de compressores anterior à implementação..... | 50 |
| FIGURA 13 - Esquema de compressores posterior à implementação..... | 52 |
| FIGURA 14 - Diagrama unifilar do sistema elétrico existente e estudado..... | 63 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 - Dados comparativos das lâmpadas de alta Intensidade de descarga... | 21 |
| TABELA 2 - Grupos de Consumidores..... | 39 |
| TABELA 3 - Itens considerados nos cálculos das faturas ao aplicar as tarifas Azul e Verde..... | 41 |
| TABELA 4 - Consumo de Energia Elétrica - Mercado Livre..... | 46 |
| TABELA 5 - Dados 2011..... | 47 |
| TABELA 6 - Levantamento preliminar da planta de compressores..... | 49 |
| TABELA 7 - Capacidade do Sistema..... | 51 |
| TABELA 8 - Esquema do lado do fornecimento após implementação..... | 52 |
| TABELA 9 - Estudo comparativo entre os anos 2009/2011 e alteração com o novo sistema Nirvana..... | 53 |
| TABELA 10 - Análise do almoxarifado | 55 |
| TABELA 11 - Análise de utilização do sistema..... | 55 |
| TABELA 12 - Avaliação do sistema luminotécnico do escritório..... | 56 |
| TABELA 13 - Análise de utilização do sistema..... | 56 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| GRÁFICO 1: Evolução do consumo de energia elétrica no período 2005-2030..... | 25 |
| GRÁFICO 2: Carregamento Transformador I -1500 kVA - 440 V..... | 45 |
| GRÁFICO 3: Carregamento Transformador II -1500kVA – 380 V | 45 |
| GRÁFICO 4 Carregamento Transformador III – 1500kVA – 380 V..... | 45 |
| GRÁFICO 5: Relação Custo X Perda..... | 48 |
| GRÁFICO 6: Sistema de Controle Carga/Alívio..... | 48 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|---------|---|
| ANATEL | Agência Nacional de Telecomunicações |
| ANEEL | Agência Nacional de Energia Elétrica |
| ANP | Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis |
| AC / DC | Alternating Current/ Direct Current |
| CNC | Controle Numérico Computadorizado |
| CPU | Unidade Central de Processamento |
| EGTD | Energia Garantida por Tempo Determinado |
| F | Frequência |
| HID | High Intensity Discharge |
| IHM | Interface Homem Máquina |
| IGBT | Insulated Gate Bipolar Transistor |
| IRC | Infra Red Coating |
| IRC | Índice de Refração de Cor |
| LED | Light Emitter Diode |
| LOR | Light Output Ratio |
| MME | Ministério de Minas e Energia |
| P | Pressão |
| PEE | Programa de Eficiência Energética |
| PROCEL | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica |
| PWM | Pulse Width Modulation |
| RUF | Room Utilization Factor |
| T | Tempo |
| TR | Transistor |
| UV | Ultra Violeta |
| WCM | World Class Manufacturing |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 2. PESQUISA TEÓRICA | 17 |
| 2.1 ILUMINAÇÃO..... | 18 |
| 2.1.1 Lâmpadas Fluorescentes | 19 |
| 2.1.2 Lâmpadas de Alta Intensidade de Descarga (HID)..... | 20 |
| 2.1.3 Lâmpada de LED | 21 |
| 2.1.4 Eficiência Energética na Iluminação..... | 22 |
| 2.1.5 Evolução do consumo de energia elétrica no período 2005-2030..... | 25 |
| 2.2 COMPRESSORES DE AR..... | 25 |
| 2.3 INVERSORES DE FREQUÊNCIA | 30 |
| 2.3.1 Princípio de Funcionamento do Inversor de Frequência | 30 |
| 2.3.2 Modulação PWM..... | 32 |
| 2.3.3 Curva Tensão/Frequência – Modo Vetorial..... | 35 |
| 2.4 AUDITORIA ENERGÉTICA | 37 |
| 2.5 MERCADO ATACADISTA/VAREJISTA DE ENERGIA ELÉTRICA..... | 38 |
| 2.6 TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA..... | 39 |
| 3 DIAGNÓSTICO: ESTUDO DE CASO..... | 42 |
| 3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA EMPREGADA..... | 42 |
| 3.1.2 A empresa estudada..... | 42 |
| 3.1.2.1 Avaliações do sistema elétrico..... | 44 |
| 3.1.2.2 Compressores..... | 48 |
| 3.1.2.3 Metodologia/Método de Medição..... | 49 |
| 3.1.2.4 Perspectivas de Ganho..... | 53 |
| 3.1.3 Iluminação..... | 54 |
| 3.1.3.1 Avaliação | 54 |
| 3.1.3.2 Primeiro estudo: Almoxarifado de peças..... | 54 |
| 3.1.3.3 Perspectiva de Ganho..... | 56 |
| 3.1.4 Estudo dos escritórios..... | 56 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 3.1.4.1 Avaliação..... | 56 |
| 3.1.4.2 Perspectivas de Ganho..... | 57 |
| 3.1.5 Pintura..... | 57 |
| | |
| 4. CONCLUSÃO..... | 58 |
| | |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 61 |
| | |
| ANEXO..... | 63 |

1. INTRODUÇÃO

A temática Eficiência Energética, mote principal do presente trabalho, nunca foi tão relevante e atual, apesar de não se tratar de um tema novo. De acordo com Santos et al (2006), há anos, engenheiros, economistas, executivos envolvidos com sistemas energéticos têm recebido a tarefa de reduzir desperdícios e conservar energia em variados níveis de produção e consumo. Mas, a importância do uso racional de energia ganhou maior destaque na atualidade, tanto no âmbito nacional como no internacional, motivado por um cenário contemporâneo onde se descortinam restrições econômicas e ambientais, além de um desequilíbrio entre as disponibilidades e as demandas energéticas, causando impactos também nos custos energéticos. Todo este quadro acaba por trazer maior relevância a temática aqui estudada.

Para se compreender melhor o tema eficiência energética vale entender os aspectos sociais e econômicos presentes nos panoramas mundiais e nacionais que justificam a necessidade dos estudos sobre o tema.

A partir do Século XIX, petróleo passou a ser o principal fornecedor de energia, gerando um progresso acelerado aos países que se industrializaram e formaram grandes potências econômicas. (GIL, 2011).

Segundo [GIL 11], no cenário mundial, o primeiro momento onde a necessidade de conservação de energia destacou-se foi na década de 70. No término da Primeira Guerra Mundial, o Oriente Médio tornou-se o maior produtor de petróleo mundial, apesar da grande produção, que estava nas mãos das chamadas sete irmãs (Exxon, Móbil, Chevron, Texaco, Gulf, BP e Shell), que controlavam 90% de toda produção petrolífera do Oriente Médio. Com a crescente e gradativa independência política dos países produtores de petróleo, estes começaram a se ater para estes aspectos relevantes dos elementos: petróleo, riqueza, poder político.

Sem um adequado planejamento de produção e consumo de recursos energéticos, a economia mundial de 1960 a 1970, estava totalmente dependente do petróleo. Com maior independência, os países do Oriente Médio (Irã, Iraque, Kuwait, Arábia Saudita) e Venezuela uniram-se no sentido de minar o poderio das chamadas Sete Irmãs. Surgiu assim a Organização dos Países Exportadores de Petróleo, a OPEP, e a luta contra as grandes companhias petrolíferas começou a ser travada,

com vitórias lentas, mas definitivas, para os países produtores do óleo negro. [GIL 11]. Revelou-se assim a necessidade de dar uma maior atenção ao tema.

[SAN 06] et al, afirma que a década de 80 no Brasil, marcada por uma conjuntura recessiva, acabou gerando uma significativa diminuição no consumo de energia elétrica no país, gerando conseqüentemente um excedente. Este excedente foi denominado de Energia Garantida por Tempo Determinado (EGTD). Acontece que estes excedentes de eletricidade não eram perenes, havendo um aumento das tarifas que coincidiu com a retomada do crescimento da economia, formatando assim a crise de escassez de energia que aconteceria quinze anos depois. O MME (Ministério de Minas e Energia) numa tentativa de assumir a liderança nas estratégias de Eficiência Energética implantou em fins de 1985, o Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).

Empresas e planejadores do setor elétrico, quando em cenários de normalidade, passaram a atuar com a perspectiva de expansão da oferta. Porém, no ano de 2001, a população foi surpreendida com anúncio do governo federal que apregoava:

Os reservatórios das represas de energia elétrica tinham terminado o período de chuvas em níveis excepcionalmente baixos nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste. “Por conseqüência, medidas de contenção do consumo de energia deveriam ser adotadas, para tentar evitar que se caminhasse para o racionamento, e daí aos desligamentos do fornecimento, programados ou não”.(CRI, 2001).

O que se viu posteriormente a este anúncio e as estratégias tomadas frente ao problema foi um debate generalizado sobre as causas do problema. Sobretudo, discute-se a efetividade/aplicabilidade das medidas e seus impactos sobre a vida das pessoas em geral, dos trabalhadores em particular, e sobre o desempenho futuro da economia, e no campo econômico, especialmente pelas conseqüências sobre a produção, a renda e o emprego, aliadas ao quadro de incertezas já presente no Brasil, uma vez que não se sabia ainda a real efetividade e os impactos das medidas no cotidiano da população e da própria economia nacional.

O país já possuía um quadro de incertezas não muito favorável, e este, aliado às conseqüências das medidas deixou a dúvida: quais os impactos das medidas na renda, no emprego, na produção.

Especulava-se que as causas da crise de abastecimento de energia elétrica nesta ocasião eram de várias ordens: da ausência de investimentos nos últimos anos, passando pelo embrionário novo marco regulatório para o setor de energia elétrica e por uma mudança ensaiada da matriz energética brasileira (com a ampliação da geração térmica de energia elétrica) até mesmo a escassez de chuvas [ACR, 11].

[SAU 01] comenta que o fato de ter chovido um pouco abaixo da média histórica nos últimos dois anos (medidos de abril a março), respectivamente 5% e 12%, deixou evidente a administração pouco responsável feita do volume dos reservatórios das usinas hidrelétricas existentes no país.

Segundo Sauer:

A partir de 1995, para compensar a defasagem entre capacidade e demanda, todos os anos, usou-se mais água para gerar energia do que foi disponibilizada pela hidrologia. A progressiva dilapidação dos reservatórios destruiu a segurança do sistema e, ao final das chuvas de 2001, o nível estava abaixo de 33%. “Sem uma queda drástica do consumo ou um acréscimo da oferta, praticamente inviável no curto prazo, ou de chuvas extemporâneas, o país pode parar totalmente por falta de energia antes do final do ano.” [SAU 01]

Também cabe observar aqui um componente estrutural do consumo de energia, pois este aumenta mesmo quando não ocorre crescimento econômico. Esse aumento é motivado pela expansão do uso de energia em campos novos ou pela introdução de áreas aonde antes não chegava a possibilidade de consumo de energia elétrica ou, ainda, por métodos que substituem a energia viva por energia elétrica. Assim, o consumo tem crescido de forma consistente ao longo do tempo no Brasil, e de forma mais acelerada quando a ele soma-se o crescimento geral da economia.

De acordo com o [ACR, 11], no Brasil, o processo teve agrave pelo fato de que, desde os anos 80, o país buscou a ampliação da participação no comércio internacional, exportando bens. Alguns dos bens mais relevantes nessa pauta de exportação são grandes consumidores de energia para sua fabricação como é o caso do alumínio e da celulose.

Frente à possibilidade de racionamento de energia, houve uma reversão do cenário graças à criação de estratégias que priorizaram o uso mais eficiente de energia. O país foi um dos poucos no cenário mundial, a usar de maneira tão ampla

esta maneira de redução da demanda. As estratégias iniciadas no sentido da construção coletiva de uma cultura do uso eficiente de energia foram tão consistentes que após dez anos pode se perceber que as ações dos consumidores conseguiram adiar em praticamente três anos o crescimento da demanda anual de energia elétrica de cerca de 50 TWh, conforme visto na figura 1 [HOL 11]. A consequência destas ações do uso eficiente da energia impactou na ordem econômica, ou seja, os investimentos que seriam necessários foram adiados, economizando-se cerca de 20 bilhões.

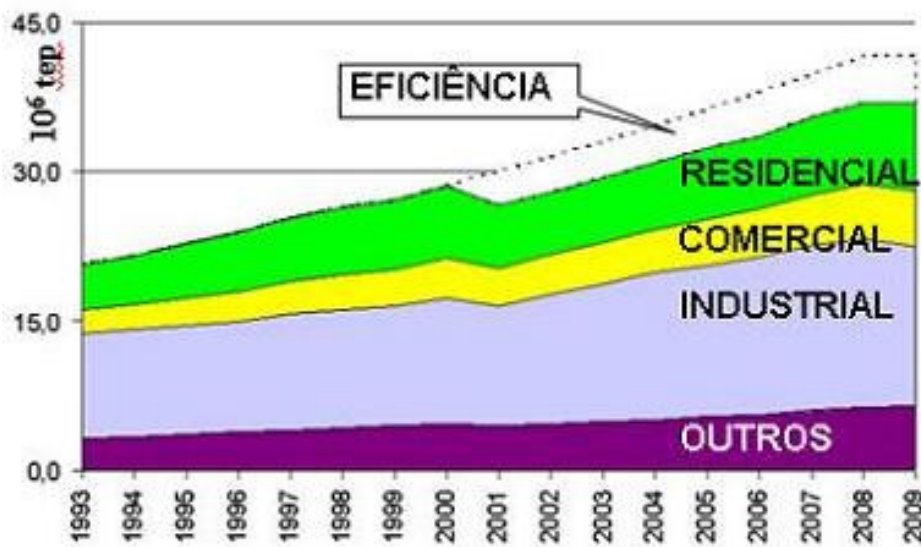


Figura 1: Consumo de Energia no Brasil (BEN 2010)

Isto ocorreu devido ao Programa do governo federal (PROCEL), que formou especialistas para agirem durante a crise, baseado na medição da eficiência energética dos aparelhos de maior utilização pela população. O início da construção de uma cultura de eficiência energética, neste momento, pouco foi percebida. Passados os problemas hidrológicos que desencadeou a crise, a análise que se seguiu desta experiência acabou não sendo muito precisa. Conforme nos relata [HOL 11], ganhos econômicos trouxeram o adiamento dos investimentos que teriam de ser feitos caso a crise não fosse superada, e que não foram necessários graças à postura dos consumidores.

Tampouco foi mensurado ou estudado este comportamento do consumidor para ações futuras. A solução para a crise não se deu assim pelo lado da oferta,

que na época não foi pesquisada, pois nada foi gasto em pesquisas com o consumidor, mas pela criação de grupos de trabalho que usavam sofisticados relatórios com conceitos de Nash, Prêmio Nobel de Matemática, que, na época, devido a um filme sobre a sua vida, estava em evidência [HOL 11].

Previendo que o mercado rapidamente voltaria aos antigos níveis históricos, achou-se adequado locar centenas de geradores a diesel gastando-se bilhões de reais na criação de um sistema emergencial não necessário, não sendo a medida mais apropriada uma vez que este custo obviamente foi parar no bolso do consumidor, que viu suas contas reajustadas.

Esta experiência de superação de 2001, pelo viés do uso eficiente de energia, mostrou que pode trazer resultados mais consistentes e impactantes, na medida em que colabora para a construção da própria cultura de uma sociedade mais consciente, além de conseqüências no nível econômico, pois são adotadas estratégias de menor impacto financeiro.

De acordo com a [EPE] (Empresa de Pesquisa Energética), o evento do racionamento de energia elétrica em 2001 cumpriu importante papel ao promover, ainda que de maneira forçada, uma maior racionalidade no uso da eletricidade e estimular a eficiência energética. Mostrou que o potencial de conservação é enorme, sendo viável atender as demandas de energia a partir de medidas relativamente simples de substituição de equipamentos e racionalização do uso sem comprometer o conforto.

Diante do que foi descrito acima, o presente trabalho procura identificar formas de economia de energia, efetuando um estudo em uma empresa de médio porte, utilizando como estratégia de instrumento metodológico do diagnóstico energético e não auditoria em energia. No presente caso, optou-se por diagnóstico energético devido ao curto tempo de desenvolvimento do trabalho e apresentação de resultados práticos.

2. PESQUISA TEÓRICA

No capítulo 2 é apresentada a pesquisa teórica relativa às áreas específicas, a saber: iluminação, compressores, inversores, diagnóstico e tarifação. A partir desse estudo, mostrou-se que ações simples e tecnologias disponíveis tornam real o

objetivo de alcançar resultados econômicos significativos, que podem se transformar em novos investimentos.

2.1 ILUMINAÇÃO

O tema iluminação é aqui trazido de modo básico, mas é relevante sua presença no referido trabalho, por ser a iluminação responsável segundo dados apresentados [ONA 11], por aproximadamente 23% do consumo de energia elétrica no segmento residencial, contra 44% no segmento comercial e de serviços públicos e por 1% do segmento industrial.

O consumo de energia elétrica pode ser reduzido a partir do momento que se têm conhecimento e se desenvolve uma série de fatores que perpassam por hábitos saudáveis na utilização da energia: o uso de lâmpadas adequadas, refletores e reatores mais eficientes. Este capítulo pretende fornecer apenas contribuições iniciais sobre o tema lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de descarga, lâmpadas LEDs e eficiência energética na iluminação, que são soluções ideais para iluminação a partir da vertente da Eficiência Energética.

Analisando o estudo de [ONA 11], a iluminação é tratada sob o prisma da eficiência energética que utiliza a mesma abordagem aliada à eficácia dos recursos, em um estudo para obter as soluções ideais para iluminação de instalações industriais, observando contribuições pertinentes e relevantes, principalmente no que tange a avaliação de diversos tipos de lâmpadas.

Segundo [ONA 11], as instalações industriais necessitam de projetos de iluminação, que possibilitem condições visuais adequadas e uniformes; sem presença de ofuscamento, possibilitando que as pessoas realizem as atividades laborais de modo preciso e eficiente. A criteriosa escolha das lâmpadas e respectivamente da sua disposição, é condição essencial para a obtenção deste resultado. Observa-se assim a utilização de duas soluções usadas na iluminação geral dos locais de produção, sendo elas: fontes de luz linear e pontual. As lineares são luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares. E pontuais normalmente utilizando-se luminárias típicas *high-bay* com lâmpadas de descarga. Um dos fatores que determinará a escolha da fonte de luz será a altura do teto.

2.1.1 Lâmpadas fluorescentes

A lâmpada fluorescente é uma lâmpada de descarga de baixa pressão, na qual a luz é produzida através do pó fluorescente ativado pela energia ultravioleta da descarga.

[SAN 06] afirma que o elemento principal de uma lâmpada fluorescente é o tubo selado de vidro. Este tubo contém uma pequena porção de mercúrio e um gás inerte, tipicamente o argônio, mantidos sob pressão muito baixa. O tubo também contém um revestimento de pó de fósforo na parte interna do vidro e dois eletrodos, um em cada extremidade, conectados a um circuito elétrico.

Quando a mesma é alimentada, a corrente flui pelo circuito elétrico até os eletrodos. Aparece uma diferença de potencial elétrico considerável através dos eletrodos, então os elétrons migram através do gás de uma extremidade para a outra. Esta energia modifica parte do mercúrio dentro do tubo de líquido para gás. Como os elétrons e os átomos carregados se movem dentro do tubo, alguns elétrons irão colidir com os átomos dos gases de mercúrio. Estas colisões excitam os elétrons, jogando-os para níveis de energia mais altos. Quando os elétrons retornam para seus níveis de energia originais, eles liberam fótons de luz. O comprimento da onda de um fóton é determinado pelo arranjo específico do elétron no átomo. Os elétrons nos átomos de mercúrio estão dispostos de tal maneira que liberam fótons de luz na faixa de comprimento de onda ultravioleta. Nossos olhos não registram os fótons na faixa de comprimento de onda ultravioleta, então este tipo de luz precisa ser convertida em luz visível para iluminar a lâmpada [SAN 06].

O bulbo é recoberto internamente com um pó fluorescente ou fósforo que, compostos, determinam a quantidade e a cor da luz emitida. Quando um fóton atinge um átomo de fósforo, um dos elétrons do fósforo pula para um nível mais alto de energia e o átomo se aquece. Quando o elétron volta para o seu nível normal de energia, ele libera energia na forma de outro fóton. Este fóton tem menos energia do que o original porque parte desta energia foi perdida na forma de calor. Em uma lâmpada fluorescente, a luz emitida está no espectro visível, o fósforo emite luz branca que podemos enxergar. Os fabricantes podem variar a cor da luz usando combinações de fosforosos diferentes [SAN 06].

A eficiência luminosa de uma lâmpada fluorescente é maior em comparação com as incandescentes, conforme mostram abaixo os cálculos para lâmpadas

incandescentes de 100 W e fluorescente de 23 W, que produzem respectivamente 1470 e 1520 *lúmens* [PRO 05]:

- fluorescente compacta: $\eta = \phi / P = 1520/23 = 66 \text{ lm/W}$

- incandescente: $\eta = \phi / P = 1470/100 = 14,7 \text{ lm/W}$

2.1.2 Lâmpadas de Alta Intensidade de Descarga (HID)

As lâmpadas HID são do grupo de lâmpadas conhecidas como de mercúrio, multivapor metálico e sódio de alta pressão.

A produção de luz dessas lâmpadas é gerada por uma descarga elétrica no interior de um tubo de arco. Após alguns minutos a lâmpada se estabiliza na sua condição normal de operação. O tubo de arco também contém um gás de partida que é fácil de ionizar a baixa pressão e temperatura ambiente, usualmente argônio ou xenônio. O bulbo de vidro externo protege o tubo de arco e é introduzido entre os bulbos nitrogênio ou vácuo. Nessa área estarão os condutores, resistores e diodos usados para ajudar na partida do arco e operação da lâmpada. A cor é corrigida depositando uma camada de fósforo na face interna do bulbo de vidro. Caso ocorra a quebra do bulbo externo, o tubo de arco continua a operar a uma quantidade significativa de emissão ultravioleta (UV).

Os principais comprimentos de onda gerados na lâmpada de mercúrio são: 404,7, 435,8, 546,1, 577 e 579 nanômetros. Isso resulta numa luz verde-azulada com eficácia de 65 *lumens/Watt*. As lâmpadas de multivapor metálico são similares em construção às de mercúrio. A maior diferença está no tubo de arco que contém vários outros metais como: sódio, tálio, índio e outros. A introdução desses metais aumenta a eficácia para 75 a 125 l/w (excluindo perdas do reator). O índice de reprodução de cor é superior ao da lâmpada de mercúrio. A lâmpada universal de multivapor tem melhor rendimento na posição vertical. Como muitas aplicações usam posição horizontal, vários tubos de arco foram desenvolvidos para essa condição.

A tensão requerida em alguns tubos de arco é da ordem de 3.000 volts, aplicada diretamente nos eletrodos principais, e para isso foi desenvolvido ignitores para prover estes pulsos de partida. O uso de ignitores de partida tem acrescentado qualidades adicionais às lâmpadas tornando a partida mais rápida e a pressão interna aumentada, o que retarda a evaporação do tungstênio do eletrodo. As novas

lâmpadas de multivapor metálico utilizam tubo de arco de alumínio sinterizado, que tem excelente reprodução de cor, posição de funcionamento universal e bloqueador de raios ultravioletas.

As lâmpadas de sódio de alta pressão utilizam o tubo de arco de alumínio sinterizado, material cerâmico com ponto de fusão de 2.050°C. Nesse caso não se usa o quartzo porque não resiste ao ataque do sódio à alta temperatura. As lâmpadas de sódio empregam eletrodos similares aos da lâmpada de mercúrio e esse fato, combinado com o pequeno diâmetro do tubo de arco, oferece excelente manutenção de fluxo luminoso. A energia irradiada está na faixa do espectro visível e a lâmpada *standard* tem temperatura de cor de 1900 a 2200 K e IRC, índice refração de cor, de 22. Aumentando a pressão do sódio a radiação na faixa de 589 nm é absorvida e fica um espectro de ambos os lados. A lâmpada de sódio branca trabalha na temperatura de 2.700 a 2.800° K e tem IRC entre 70 e 80 e a operação em alta-freqüência é um método de prover luz branca com pressão reduzida. Ver tabela 1 com dados comparativos entre lâmpadas HID.

Tabela1 - Dados comparativos das lâmpadas de alta Intensidade de descarga

| Características | Mercúrio Alta Pressão | Vapor Metálico | Sódio Alta Pressão |
|------------------------|------------------------------|-----------------------|--|
| Fluxo luminoso [lm] | 2.000 a 125.000 | 19.000 a 187.000 | 3.300 a 130.000 |
| Eficácia [lm/W] | 40 a 63 | 75 a 95 | 70 a 130 |
| Potências usuais[W] | 50 a 1.000 | 150 a 2.000 | 50 a 1.000 |
| Reprodução de cor | Moderada | Excelente | Boa |
| Reator | Sim | Sim | Sim |
| Starter/ignitor | Não tem | Ignitor | Ignitor separado ou acoplado à lâmpada |
| Temperatura de Cor [K] | 5.000 | 2.700 a 6.000 | 3.000 |
| Reignição [min] | 5 | 10 | <1 |
| Vida Útil [horas] | 18.000 | 8.000 a 10.000 | 18.000 |

Fonte: [MEH] MEHEL, Ewaldo Luiz de Matos. Testes realizados pelo Prof. Ewaldo Luiz de Matos – Departamento de Eng. Elétrica. Laboratório da UFPR -- mehl@eletrica.efpr.br

2.1.3 Lâmpada de LED

De acordo com [JOR 09], o LED é um componente eletrônico, mais precisamente, um diodo semicondutor. O funcionamento do LED é relativamente simples, sendo que ao receber energia ele emite luz. Diferente da maioria dos componentes eletrônicos, por exemplo diodos SCR, transístores que liberam energia

através do calor, o LED consegue liberar a energia na forma de luz. Antigamente, os LEDs só emitiam luzes coloridas, porque tinham uma carcaça colorida, que, quando iluminada pelo raio produzido pelo LED, fornecia uma cor específica.

Com a evolução do processo de construção do LED, estes componentes passaram a emitir luzes em cores diferentes, mesmo tendo uma carcaça transparente. Além disso, surgiram os LEDs capazes de reproduzir várias cores, sendo assim, um mesmo componente poderia criar centenas ou até milhares de cores diferentes.

Claro que para isso, a tecnologia no componente evoluiu muito, mas o modo de funcionamento continuou quase o mesmo. Através de um controle de alta precisão na corrente elétrica, o LED consegue emitir tonalidades de cores diferentes, o que se tornou um fator muito importante para as novas tecnologias que têm aderido este pequenino item da eletrônica.

Apesar dos diversos aparelhos em que os LEDs vêm ganhando presença, acredita-se que o verdadeiro triunfo desta tecnologia seja em outro setor de iluminação. Por muito tempo, os cientistas vêm pesquisando e trabalhando em diversos projetos para inovar e criar lâmpadas que funcionem através de LEDs. Contudo o grande problema não está na adaptação, ou na demora da tecnologia em ser suficiente para prover uma boa iluminação, mas no elevado preço que é cobrado por essas lâmpadas.

Um fator que tem feito as fabricantes investirem forte em pesquisas para iluminação com LEDs é a alta qualidade que elas proporcionam. Além de serem mais econômicas e mais eficientes, as lâmpadas de LED tendem a ter uma vida útil muito maior comparadas a outras lâmpadas. Todavia, até que o processo de fabricação torne-se mais barato, estas lâmpadas não devem chegar ao público geral.

Hoje as lâmpadas LEDs são uma boa alternativa no que diz respeito à eficiência energética, porém, o custo de uma lâmpada LED inviabiliza a troca com lâmpadas fluorescente existentes. O retorno do investimento (*payback*) fica em torno de 3 anos, o que é considerado tempo muito alto para indústria principalmente.

2.1.4 Eficiência Energética na Iluminação

Ao se perseguir a eficiência energética da iluminação é preciso não esquecer o objetivo principal que é iluminar de acordo com os requisitos visuais e melhorar a

qualidade de vida [POH 11]. O consumo de energia elétrica utilizado na iluminação representa cerca de 20% do consumo mundial de eletricidade e, no caso do Brasil e outros países em desenvolvimento aumentam em 2 a 3% ao ano. Vários estudos estão sendo realizados principalmente na união européia, para desenvolver normas especiais, com objetivo de estabelecer convenções e diretrizes para a implementação de desempenho energético das construções, no que diz respeito à iluminação, como, por exemplo, a *EN 15252 (European standard indoor environmental input parameters for design and assesment of energy perfomance of building addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics)* e *EN 15193 (European standart Energy perfomance of buildings – Energy requirements for lighting)* que consideram os requisitos energéticos para iluminação elétrica, definindo respectivos valores limites. A norma brasileira NBR-5413 fornece essas diretrizes e os valores limites para diversos ambientes. A qualidade da iluminação não é mensurável, mas existem alguns critérios que permitem avaliá-la, como: distribuição da iluminação horizontal; vertical/cilíndrica; luminâncias no campo de visão; índice de reprodução de cores e temperatura de cor; ofuscamento; campo de radiação (direções de luz, sombreamento, contraste); frequência de cintilações (*flicker*) e luz natural.

Podem-se identificar na iluminação três grupos de meios de transformação da energia elétrica em luz, partindo da conexão à rede elétrica e terminando com luminâncias das superfícies do espaço considerado: a lâmpada (fonte de luz, incluindo reator e controle), a luminária e o ambiente. A lâmpada transforma a energia elétrica em fluxo luminoso, a luminária distribui a luz no ambiente, e o ambiente transforma essa luz em luminâncias visíveis através dos reflexos das superfícies [POH 11].

[POH 11] explica que o desempenho energético dessas diferentes transformações é caracterizado pelos fatores: eficácia da lâmpada em Lm/W; relação de saída da luz da luminária (LOR – Light Output Ratio, dada em %); e fator de utilização do ambiente (RUF - Room Utilization Factor, dada %). A interação entre esses fatores fornece a utilização ideal da instalação de luz elétrica.

O consumo de energia da instalação é também definido pelos tempos de operação, ou seja, a necessidade de iluminação artificial deve ser minimizada por meio de uma arquitetura inteligente e aproveitamento adequado da luz natural. E para evitar acionamentos desnecessários da luz artificial, deve-se fazer a instalação

de controles apropriados, como por exemplo, sensores de presença, luminosidade entre outros.

[POH 11] comenta que um ponto essencial em novo projeto de iluminação com eficiência energética consiste em escolha de lâmpadas mais eficientes que produzam espectro adequado. Atualmente, as lâmpadas fluorescentes dominam o mercado, visto que as lâmpadas incandescentes são comprovadamente ineficientes comparadas com as fluorescentes, conforme cálculo comparativo no ítem 2.1.1 desse trabalho. Porém, entre as lâmpadas fluorescentes que dominam a iluminação de escritórios, uma parcela de 55% refere-se às lâmpadas obsoletas T12 com diâmetro de 38 mm. A nova geração de lâmpadas T-5 com diâmetro de 16 mm, em conjunto com reatores de alta freqüência, permite aumentar a eficiência energética e reduzir custos ao mesmo tempo, quando em comparação aos antigos reatores e tecnologias T12 e T8. Quando se fala em meio residencial, essa situação ainda piora, pois tem-se ainda instalada em 80% das casas com lâmpadas incandescentes. A substituição dessas lâmpadas pelas fluorescentes compactas, lâmpadas halógenas de tungstênio Infra Red Coating (IRC), e LEDs pode economizar a maior parte da energia consumida na iluminação.

Aliadas à substituição das lâmpadas ineficientes, estão a aplicação de luminárias de alta qualidade, baseadas nos conceitos e controles para iluminação eficiente. A luminária é uma peça importante no conjunto da qualidade da iluminação que consiste em direcionar a luz para locais apropriados, criando o ambiente com visual necessário, sem causar ofuscamento ou desconforto [POH 11].

A eficiência de uma luminária é caracterizada pela relação da saída de luz (LOR), ou seja:

$$\eta_{\text{luminária}} = \frac{\Phi_{\text{luminária}}}{\Phi_{\text{lâmpada}}} = \text{LOR}$$

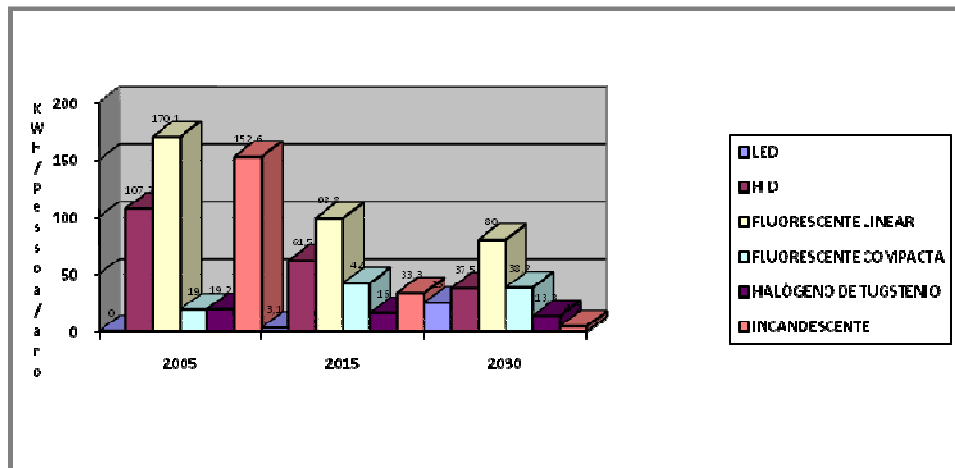
Crescente desenvolvimento tecnológico na fabricação de superfícies altamente refletivas contribui em quase 80% para a melhoria da eficiência das luminárias.

[POH 11] afirma que o fator de utilização do ambiente, que é o ultimo fator da cadeia de eficiência, depende entre outros, das refletâncias das superfícies do local. A maioria das instalações de iluminação em operação (indústrias, escritórios, residências, entre outros) tem mais de 20 anos, ou seja, elas usam dispositivos de

iluminação obsoletos e ineficientes. A substituição dessas instalações ineficientes por componentes baseados na eficiência energética (lâmpadas, controles, reatores e luminárias) representa enorme economia de energia, podendo melhorar paralelamente a qualidade da iluminação.

2.1.5 Evolução do consumo de energia elétrica no período 2005-2030

Gráfico 1: Evolução do consumo de energia elétrica no período 2005-2030



Fonte: Adaptado de [POH 11] – POHL, Wilfried. A evolução futura das tecnologias de iluminação eficiente.

No cenário realista, conforme gráfico 1, podemos notar que ocorrerá queda do consumo de energia mesmo com aumento da demanda de iluminação o que pode-se chegar a metade do consumo até 2015. Essa redução é devida principalmente a eliminação progressiva das lâmpadas incandescentes, a substituição das fluorescentes tubulares T12, T8 de baixa eficiência e ao aumento da eficiência de todos os tipos de lâmpadas, luminárias e instalações.

2.2. COMPRESSORES DE AR/AR COMPRIMIDO

Atualmente comenta-se muito sobre energia primária, como por exemplo, petróleo, hidrelétrica, carvão, nuclear entre outras formas de energia. Este tópico vai preocupar-se com uma forma de energia final: ar comprimido. Em diversos processos industriais, a melhor opção é o ar comprimido, principalmente por

apresentar inúmeras vantagens como fácil armazenamento, fácil controle, usos diversos e não apresentar grandes desperdícios.

Os principais elementos que constituem um sistema de ar comprimido são:

- ar
- compressores
- secadores
- reservatório
- rede de distribuição
- filtros
- lubrificadores
- reguladores de pressão

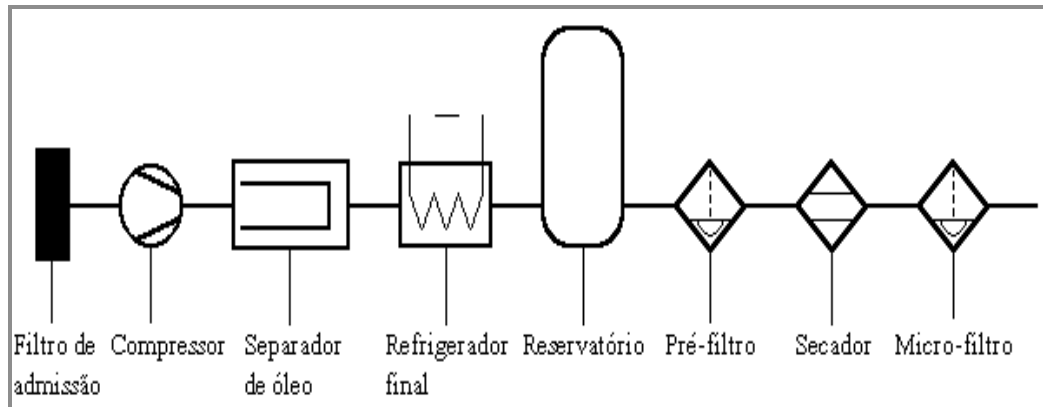


Figura 2 - Esquema Básico de instalação de um sistema de ar comprimido

Conforme o esquema na figura 2, todo sistema de ar comprimido é composto pelo filtro de admissão de ar que é captado para o compressor realizar compressão desse ar admitido. Após essa fase, o ar comprimido sofre aumento de temperatura, o que provoca a condensação de vapor de água e óleo, que deverá ser retirado no separador e a temperatura deverá ser reduzida no refrigerador ou arrefecedor para que o mesmo possa ser armazenado em reservatório que mantém a pressão adequada para utilização em toda linha de uso fabril. Após o reservatório, tem o pré-filtro, secador e micro-filtro para garantir separação de gotículas de vapor e óleo que ainda resta em todo o sistema, e que poderá ser arrastado para a linha de distribuição.

Segundo [GAS 04], hoje existem vários tipos de compressores que atendem a necessidade das indústrias, no que tange aos requisitos de pressões e volumes, podendo ser classificados com tipo de tecnologia, pressão de descarga, tipo de refrigeração, lubrificação, etc. Existem dois grupos básicos de compressores representados na figura 3, que são:

- dinâmicos: em que o ar é acelerado até uma determinada velocidade e conduzido para um difusor que converte a energia cinética em pressão.

- volumétricos: em que o ar é armazenado num espaço e a compressão é realizada por intermédio da redução do volume do espaço.

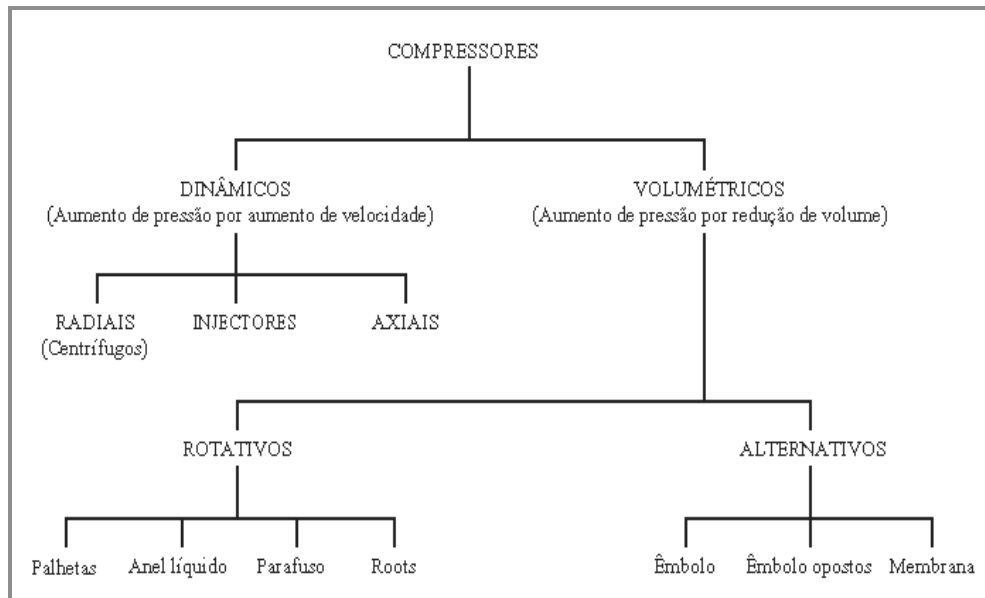


Figura 3: Tipos de compressores para cada grupo

Torna-se importante destacar alguns equipamentos auxiliares do sistema de ar comprimido: arrefecedores, drenos e secadores. As suas funções impactam diretamente na vida útil do sistema. O arrefecedor diminui a temperatura do ar comprimido e provocando condensação de vapor de água e drenagem de condensados com o uso de purgadores automáticos ou manuais [GAS 04].

Os secadores têm a função de reduzir o ponto de orvalho¹ para valores compatíveis com a temperatura ambiente, reduzindo a umidade no sistema de ar comprimido e proporcionando as seguintes vantagens: redução do custo da

¹ Ponto de orvalho: temperatura à qual o vapor de água presente no ar ambiente passa do estado líquido na forma de pequenas gotas por via da condensação, o chamado orvalho.

instalação pela não necessidade de dispositivos de eliminação de água, gastos com manutenção da rede, válvulas devido a menor corrosão, perdas por rompimento da tubulação e arraste de lubrificante. Algum requisito para rentabilizar o processo de secagem requer um tratamento prévio do ar comprimido, como: temperatura inferior a 35°, isenção de óleo e partículas sólidas. A escolha de secadores é, em primeiro lugar, realizada de acordo com as características do ar comprimido à entrada do secador e com o ponto de orvalho¹ que se deseja atingir, tendo em conta os seus posteriores utilizadores. As características primordiais para esta primeira escolha são: débito em ar livre, perda de carga introduzida, temperatura ambiente e de entrada do ar comprimido mais desfavorável, pressão de serviço, ponto de orvalho desejado [GAS 04].

Após esta primeira análise, é necessário realizar outra quanto aos custos de utilização e de instalação para cada solução, entretanto encontrada, como sejam: consumos energéticos, necessidade ou não de serviços auxiliares (eletricidade, vapor, ar comprimido do próprio caudal principal e ar externo), consumos energéticos e perdas de caudal de ar comprimido provocadas por estes serviços, custo da manutenção, investimento necessário.

De acordo com [GAS 04], o reservatório de ar comprimido, como mostra na figura 2 é instalado logo após o refrigerador final com as seguintes funções: armazenar para suprir as pontas de consumo, aumentar o arrefecimento do ar comprimido, recolher condensados e óleo, amortecer as variações de pressão na rede de distribuição, evitar ciclos de carga a vazio e paradas desnecessárias do compressor.

Um dos pontos mais importantes para que se evitem grandes desperdícios é a rede de distribuição. Deve levar em consideração para que não ocorram grandes perdas de carga e fugas, a mínima extensão, a quantidade suficiente de acessórios e o diâmetro das tubulações adequado. A mesma deve ser dimensionadas de modo às perdas que não ultrapassem 0,3 bar, sendo que em áreas maiores não ultrapasse 0,5 bar. Essas perdas, ao longo da rede de distribuição, afetam consideravelmente o rendimento da instalação. Essa perda é facilmente calculada através de fórmula simples que representa o acréscimo de energia a ser consumida pelo compressor:

$$\text{Perdas} = \left(\frac{\log P_2}{\log P_1} - 1 \right) \times 100$$

Onde:

P1 - Pressão absoluta de descarga do compressor para uma perda de carga mínima

P2 - Pressão absoluta de descarga do compressor para uma perda de carga Excessiva

A seleção do compressor deve ser realizada de um modo criterioso em virtude de ser o equipamento que, numa instalação de produção de ar comprimido, apresenta custos de instalação elevados, principalmente energéticos. Verifica-se frequentemente que os compressores instalados estão sobre dimensionados para as necessidades reais de ar comprimido, provocando um acréscimo no consumo de energia.

[GAS 04] afirma que outro ponto que pode ser tratado é a recuperação térmica que pode chegar até 80% da energia consumida em forma de água quente ou ar quente, aplicando em outras áreas da empresa. A energia mecânica utilizada no ciclo de compressão é transformada em calor e, apenas, 4% dessa energia permanece no ar comprimido. As perdas por radiação representam 2% e os restantes 94%, que geralmente são dissipados nos sistemas de refrigeração, podem ser teoricamente recuperados. Na prática é possível recuperar até 80% da energia consumida pelo compressor, na forma de água quente com 50^o- 80^o C ou ar quente com 50^o-60^o C, permitindo a sua aplicação em águas quentes sanitárias, sistemas de aquecimento e acondicionamento do ambiente, alimentação de caldeiras, etc. Podem-se adequar os equipamentos que serão usados a uma pressão abaixo da rede, o que pode provocar uma economia de energia, bem como produzir ar comprimido à pressão mínima necessária ao funcionamento dos equipamentos pneumáticos.

Tratar dos pontos da rede que apresenta algum tipo de perda, como pequenos orifícios na tubulação, poderá reduzir de forma significativa a conta de energia. Por exemplo: 1 furo de 1 mm pode requerer do compressor uma potência de 0,3 kW, ou 1 furo de 10 mm pode requerer do compressor uma potência de 33 kW.

Outras ações que ajudam a tornar o sistema de ar comprimido mais eficiente são: sobre dimensionamento do diâmetro das tubulações, reservatórios junto a grandes consumidores instantâneos, aplicação de inversores de frequência e sistema de controle de ações.

Adicionalmente aos ganhos energéticos, poder-se-á obter benefícios para a empresa:

- controle mais preciso da pressão na rede de ar, atendendo às variações de vazão existentes;
- possibilidade de trabalhar com a pressão de ar menor na rede;
- menor desgaste dos componentes mecânicos e elétricos;
- melhoria no fator de potência do sistema de ar comprimido;
- eliminação dos picos de corrente durante a partida do compressor de ar, aliviando a rede elétrica.

2.3. INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Para se ter um controle preciso de velocidade eram utilizados motores de corrente contínua. Entretanto, isso acarretava aumento de custos sobre os motores, necessidade de retificação da tensão e manutenção. Com os avanços da eletrônica de potência e com as necessidades de aumento de produção, surgiu o inversor de frequência que é um equipamento versátil e dinâmico, permitindo o uso de motores de indução para controle de velocidade em substituição aos motores de corrente contínua. O que se viu anos depois foi o uso para melhor controle de velocidade nos sistemas industriais e economia de energia [OLI 11].

2.3.1 Princípio de Funcionamento do Inversor de Frequência

Segundo [OLI 11], o método mais eficiente de controle de velocidade de motores de indução trifásicos, com menos perdas no dispositivo responsável pela variação da velocidade consiste na variação da frequência da fonte alimentadora através de conversores de frequência. O inversor de frequência, também chamado por alguns fabricantes de conversor de frequência é um equipamento capaz de controlar a velocidade e torque de motores de corrente alternada. Independentemente do fabricante e até modelo, a estrutura básica do inversor é a mesma, conforme ilustra a Figura 4, sendo o que muda significativamente de um tipo para outro é a filosofia de controle.

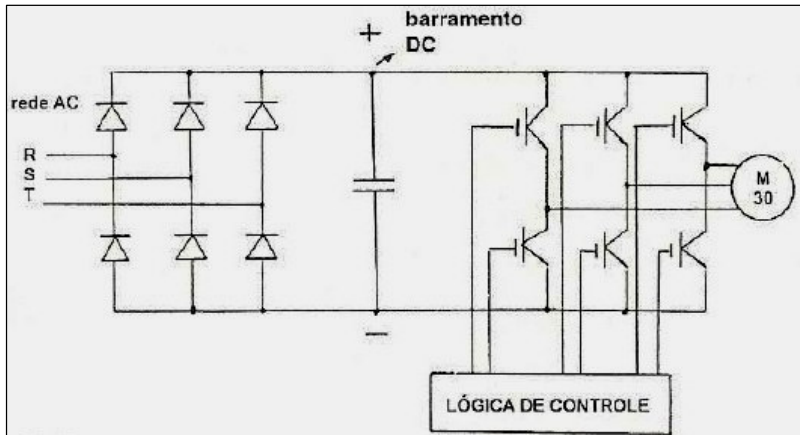


Figura 4: Estrutura básica de um inversor de frequência trifásico

Pode-se notar que existe uma ponte retificadora AC/DC já na entrada da rede de alimentação e um capacitor (filtro) formando um barramento de tensão contínua (barramento DC) ou também chamado circuito intermediário. Esse circuito intermediário alimenta os IGBT's, que são chaveados três a três formando uma tensão alternada na saída U, V e W defasadas de 120° elétricos exatamente como a rede. A única diferença é que, ao invés de uma senóides, temos uma forma de onda quadrada. Conforme se vê, isso não afeta muita seu desempenho. Embora a grande maioria dos inversores de frequência encontrados no mercado seja trifásica, para fins de um melhor entendimento utiliza-se um modelo monofásico. A Figura 5 ilustra um diagrama de blocos de um inversor monofásico. A diferença para o trifásico, é que ele possui apenas quatro transistores “chaveadores” na saída, porém o princípio de funcionamento é o mesmo, completa [OLI 11]. O funcionamento é simples:

No barramento DC existe um pólo positivo e do outro negativo, a lógica de controle representada abaixo funciona da seguinte maneira: os pulsos de disparo para os transistores na seguinte ordem: TR1 e TR4 conduzem ficando TR2 e TR3 em corte; ora TR2 e TR3 em condução e TR1 e TR4 no corte, conforme mostra na Figura 4.

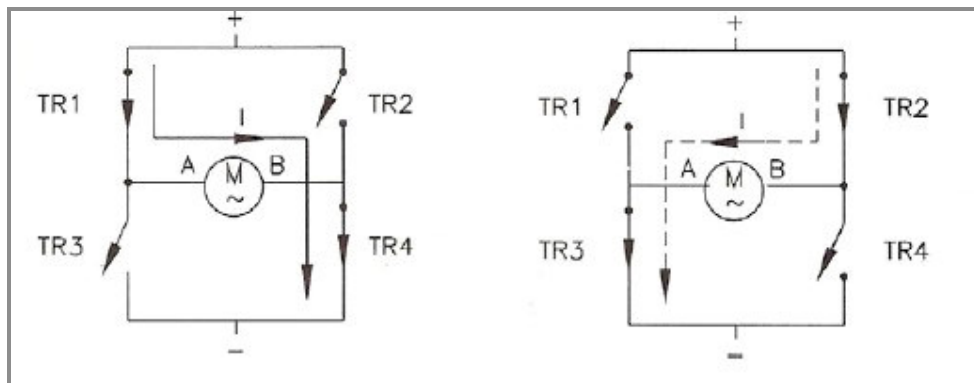


Figura 5: Condução dos transistores

A cada pulso de disparo tem-se no motor circulação de corrente de A para B e vice-versa (Figura 5). O mesmo exemplo é válido para circuitos trifásicos, basta a lógica de controle obedecer a uma sequência correta de ângulo de disparo. Em circuitos trifásicos os transistores são disparados de três a três sendo sempre dois na parte superior da ponte de IGBT's e um na inferior e vice-versa. O circuito que comanda os IGBT's é o elemento responsável pela geração dos pulsos de controle dos transistores de potência. Atuando sobre a taxa de variação do chaveamento dos transistores, controla-se a tensão e frequência do sinal gerado. Isso permite ao conversor até ultrapassar a frequência da rede. O método de modulação PWM, fornece uma corrente senoidal ao motor a partir de chaveamentos na faixa de 2kHz.

2.3.2 Modulação PWM

Segundo [OLI 11], a técnica de PWM, que ao se traduzir a sigla para português obtém-se “modulação por largura de pulso”, é uma técnica de controle de potência, tensão ou corrente através da largura do pulso de excitação, oriundos dos sistemas de controle. Esse controle é feito através do seu ciclo de trabalho. O ciclo de trabalho é uma característica de um sinal quadrado, que representa a porcentagem ativa do seu período. Pode-se entender melhor o processo através da Figura 7. Nela notam-se três sinais cuja forma de onda é quadrada. A amplitude dos três também é a mesma, iguala 5 Vcc. Como os três têm mesmo período então a frequência tem o mesmo valor para todos ($F = 1/T$), gerando um ciclo de trabalho como é visto na figura 06.

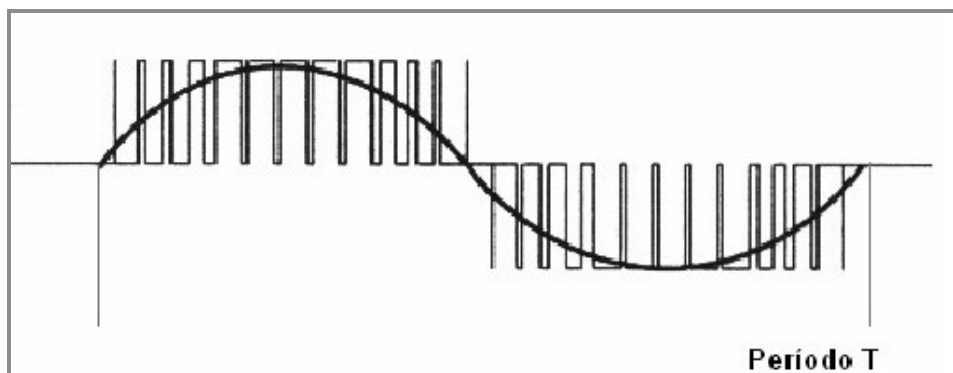


Figura 6: Modulação PWM

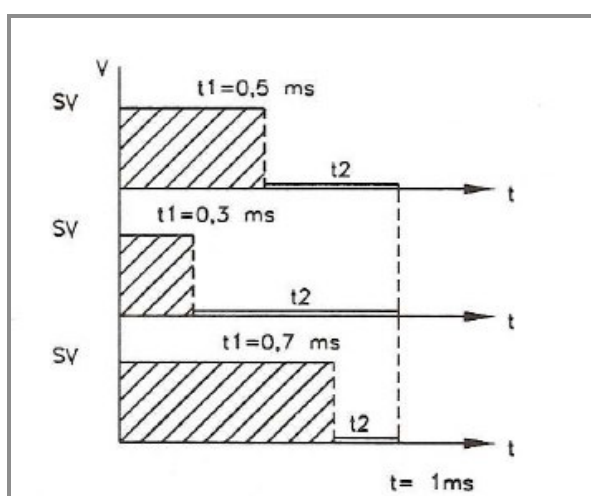


Figura 7: Ciclo de trabalho

Pode-se controlar a tensão sob uma carga através desta técnica, modificando a largura de pulso e não a amplitude. Em outras palavras, variam-se sim a tensão, mas a eficaz e não a tensão da fonte de alimentação, permanecendo invariável, com a técnica de PWM.

Para entender um pouco mais, a Figura 8 mostra um amplificador operacional em malha aberta (sem realimentação). Desta maneira ele se comporta como um comparador de tensão. Em sua saída, como o ganho é infinito, ou se tem toda a tensão da fonte (+ Vcc) ou nada (0 Volt terra). Depende apenas de qual sinal tem maior amplitude em determinado momento. Conforme pode-se observar, existe um sinal dente de serra na entrada inversora e um sinal perfeitamente contínuo fixo na entrada não inversora (também conhecida como entrada de referencia) [OLI 11].

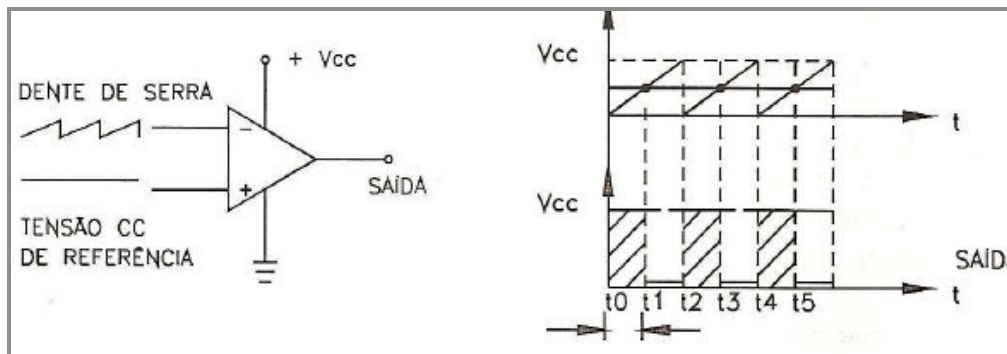


Figura 8 - Técnica PWM

O resultado é, que entre t_0 e t_1 a tensão na entrada não inversora é maior que a inversora levando a saída do Amplificador Operacional para saturação (+ V_{cc}). Já entre t_1 e t_2 a tensão dente de serra supera a referência levando agora a saída a zero Volt. Ou seja, a saída do circuito é função da comparação entre os sinais e a largura do pulso depende do nível da tensão CC de referência. Na Figura 9, aumentou-se o valor da entrada não inversora e conseqüentemente a largura do pulso também, uma vez que se modificou o ponto de intersecção entre o sinal dente de serra e o de referência.

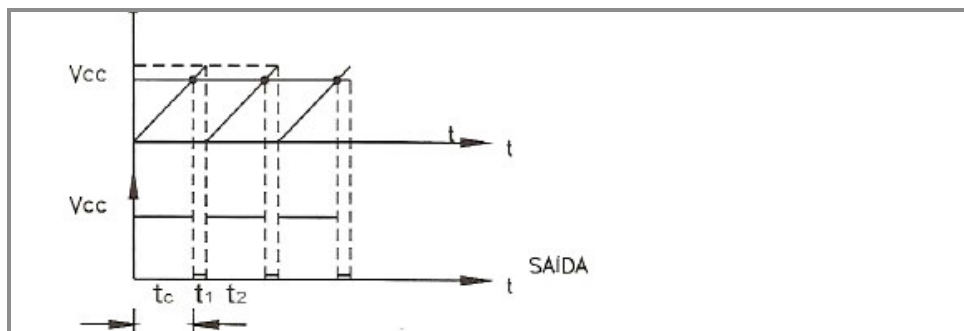


Figura 9 - Modulação PWM no Tempo

Se for mantida a inclinação da rampa de subida do sinal dente de serra, pode-se controlar a largura do pulso de saída através de uma tensão CC de referência.

Apesar de grandes mudanças desde a década de 60, os princípios básicos dos conversores de frequência continuam os mesmos.

2.3.3 Curva Tensão/Frequência – Modo Vetorial

Segundo [OLI 11], o inversor que foi analisado é denominado "escalar". Há outro tipo para aplicações mais críticas onde a precisão e alto torque em velocidades muito baixas são necessários, chamado "vetorial". Para que o torque se mantenha constante diante de uma variação de carga no eixo do motor, a razão tensão pela frequência de alimentação também deve permanecer constante. Por exemplo: imagine que um motor CA está sendo acionado com 220 Vca em 60 Hz. Se dividir tensão pela frequência, V/f , obtém-se: $220/60= 3,7$ (aproximadamente). Esta então é a constante V/f . Pois bem, supondo-se que se faça uma redução de velocidade proporcional a 15 Hz. Para que não haja variação no torque, a tensão deve ser reduzida na mesma proporção a fim de manter V/f constante. Assim a nova tensão será:

$$\frac{V}{15} = 3,7 \gg V = 55,5V_{ca}$$

Pode parecer estranho ter que reduzir a tensão para manter constante o torque. A Figura 10 mostra um exemplo de curva V/f na qual pode-se observar que na prática há limites para se manter o torque constante. No exemplo, o torque é constante apenas entre os pontos A e B. Para frequências menores que 5 Hz o motor nem gira, pois não há tensão suficiente para fazê-lo. Já para frequências acima de 60Hz a tensão de alimentação nominal permanece constante mesmo se aumentarmos a frequência. Embora seja possível aumentar a velocidade do motor, seu torque sofrerá alterações segundo a variação de carga. Resumindo, fora da região limitada pelos pontos A e B, o torque não pode ser considerado constante.

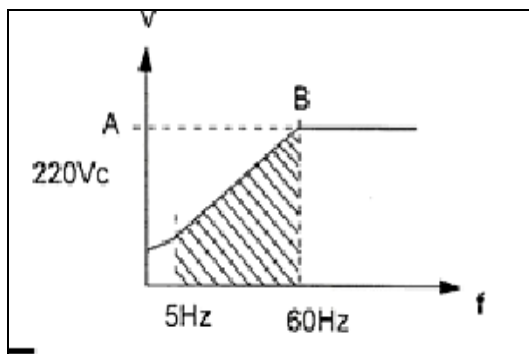


Figura 10 – Curva V/f

A função do inversor escalar é tentar manter a curva V/f o mais invariável possível. Como a tensão no barramento DC é fixa, a única forma de aumentarmos ou reduzirmos a tensão de alimentação do motor, segundo uma variação na frequência, é através da técnica de PWM. A largura do pulso pode controlar a tensão eficaz na carga sem alterar a tensão da fonte. Quando é solicitado um aumento de velocidade (frequência) a largura do pulso de saída é aumentada de forma a manter V/f invariável. Já quando reduzimos a frequência, a largura do pulso é reduzida pela mesma razão.

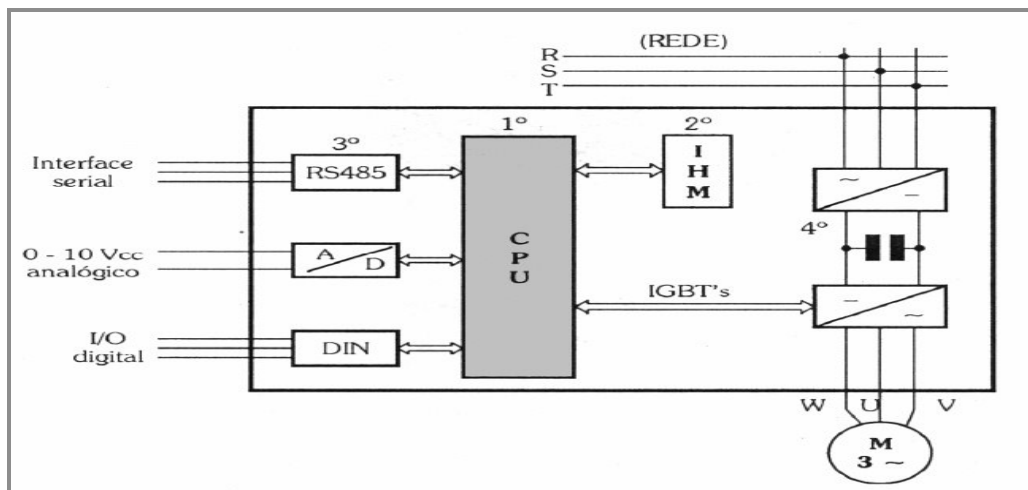


Figura 11 - Diagramas de blocos do inversor de frequência

De acordo com [PHO 11], na indústria, os motores elétricos são responsáveis por aproximadamente 60% do consumo total de energia. A maioria dos motores são de indução, e um número cada vez maior tem velocidade controlada, o que possibilita controle preciso de velocidade e conjugado, ou economia de energia em aplicações em muitos processos industriais que requerem dispositivos de

acionamentos de cargas variáveis como: bombas centrífugas (pressão), ventiladores (vazão), compressores, sistemas de transporte, sistema de dosagem, tornos entre outros. As grandes vantagens do uso de inversores de frequência, que além do aspecto econômico, são:

- Limitação de corrente de partida;
- Partidas e paradas suaves do sistema de bombeamento, evitando picos na rede de energia elétrica;
- Aumento de vida útil dos motores;
- Menor custo de manutenção nos motores;

2.4 Auditoria energética

Segundo [GAS 04], auditoria energética é o exame detalhado das condições de utilização de energia na instalação. A auditoria permite conhecer onde, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se verificam desperdícios de energia, indicando igualmente soluções para as anomalias detectadas. A auditoria energética pode também constituir uma obrigação legal, abrangidas pelo Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (R.G.C.E.), a todas as empresas ou instalações consumidoras de energia.

A auditoria energética surge como um instrumento fundamental, que o gestor de energia possui para contabilizar os consumos de energia, a eficiência energética dos seus equipamentos e as perdas que se verificam, tendo como finalidade última reduzir essas perdas sem afetar a produção, isto é, economizar energia através do uso mais eficiente da mesma.

[GAS 04] afirma que, dependendo do grau de complexidade da instalação e do fim a que se destina a auditoria energética, existem dois tipos de auditorias: auditoria simples e auditoria completa. Existe uma relação direta entre a complexidade da instalação e o número de oportunidades de economias de energia encontradas.

Uma auditoria simples tem como finalidade fazer um diagnóstico da situação energética de uma instalação, consistindo numa simples observação visual para identificar as falhas, e numa escolha de dados susceptíveis de fornecer alguma informação sobre os consumos específicos de energia.

A auditoria completa consiste num levantamento aprofundado da situação energética, analisando-se as quantidades de energia utilizadas em cada uma das operações do processo de fabricação.

2.5. Mercado Atacadista e Varejista de energia elétrica

O Mercado Atacadista de Energia - MAE é o ambiente virtual, no qual se processam a compra e venda de energia elétrica entre seus participantes, tanto através de contratos bilaterais como em um mercado de curto prazo, tendo como limites os sistemas interligados sul/sudeste/centro-oeste e norte/nordeste.

[FIL 11] afirma que, no Brasil, os chamados consumidores livres devem ter potência instalada superior a 3 MW para poder exercer o direito de contratar o seu fornecimento livremente, sendo considerados os grandes consumidores. Existem ainda os consumidores especiais, que devem apresentar potência instalada superior a 500kW, isoladamente ou em comunhão, que também têm o direito de comprar livremente a energia, desde que proveniente de fontes alternativas. O conceito de mercado varejista não é muito diferente do mercado atacadista. Existem fornecedores de energia elétrica que competem pelo fornecimento de energia elétrica para o pequeno consumidor, aqueles que estão abaixo do especificado anteriormente, 3 MW, que geralmente são cargas residenciais entre outros. Aos que não exercem o direito de compra, a distribuidora faz o papel de fornecedor de última instância, com tarifa regulada.

Segundo [FIL 11], no panorama brasileiro total, verifica-se que aos que não exercem o direito de compra descritos no parágrafo anterior representam 1.000, e se tem 300 geradores e produtores independentes, e aproximadamente 100 comercializadores, além das distribuidoras e alguns agentes, representando no ano de 2010 cerca de 26% da energia total comercializada no país. Forma-se assim o mercado atacadista brasileiro.

O mercado varejista, no entanto, apesar de representar os demais 67 milhões de unidades consumidoras, continuam presas às tarifas das concessionárias de distribuição cujas tarifas são regulamentadas pela ANEEL.

2.6 Tarifação de energia elétrica

Em projetos envolvendo Conservação de Energia torna-se adequado entender a estrutura tarifária e os cálculos executados que são expressos nas notas fiscais de tarifação de energia elétrica.

Na década de 70, como observa [DIE 07], o sistema tarifário brasileiro mantinha a mesma tarifação padronizada para diferentes grupos de consumidores, fossem eles residenciais, comerciais, rurais, etc. Os consumidores, portanto, pagavam o mesmo valor pela energia consumida, independente do custo de atendimento de cada região. Na década de 90, período de altas taxas inflacionárias, o governo acabou com esta equalização tarifária com a aprovação da Lei 8.631 de 04 de março de 1993, sendo a partir de então em função dos custos, os reajustes diferenciados para cada concessionária.

A legislação brasileira, a partir de então, permitiu às concessionárias calcularem as faturas em função do: (a) consumo (kWh), (b) demanda (kW), (c) fator de potência e (d) diferentes tipos de tarifas.

Observa-se, portanto, dois grupos conforme o Quadro 2 definidos na Resolução ANEEL nº 456:

Tabela 2: Grupos de Consumidores

| Grupo A - Alta Tensão | Grupo B - Baixa Tensão |
|--|--|
| A-1 - 230 kV ou mais; A-2 - 88 a 138 kV; A-3 - 69 kV; A-3a - 30 a 44 kV; A-4 - 2,3 a 25 kV; e A.S. - Subterrâneo. | B-1 - Residencial; B-1 - Residencial Baixa Renda; B-2 – Rural; B-2 – cooperativa de eletrificação rural; B-2 – serviço público de irrigação; B-3 – Demais classes; B-4 - Iluminação Pública. |

Fonte: [COP 08] COPEL 2008. Taxas e Tarifas- Fornecimento por níveis de tensão

Nos anos 80, verificou-se que os hábitos do consumidor podiam ser alinhados ao comportamento do consumo ao longo do dia, bem como às características próprias do mercado de cada região. Foi também caracterizado que o sistema

elétrico no país possui a geração por meio de hidroelétricas em quase sua maioria. Desta maneira, o maior potencial de geração concentra-se no período chuvoso.

Tendo estas características como referência, iniciou-se, em 1982, a nova Estrutura Tarifária Horo-sazonal, em que as tarifas têm valores diferenciados seguindo critérios referentes aos horários do dia e períodos do ano, onde visualizamos esta estrutura abaixo:

1) Divisão do Dia

- Horário de Ponta - Corresponde ao intervalo de 3 horas diárias consecutivas, ajustado de comum acordo entre a concessionária e o cliente. Exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de Carnaval, Sexta-feira da Paixão, “Corpus Christi”, dia de finados e dos demais feriados definidos por lei federal. Situado no período de acordo com cada região do Brasil, normalmente compreendido entre as 18h e 21h e durante o horário de verão e das 19h à 22h no restante do ano.
- Horário Fora de Ponta - Corresponde às horas diárias consecutivas e complementares ao horário de ponta.

Estes horários são definidos pela concessionária em virtude, principalmente da capacidade de fornecimento que a mesma apresenta.

2) Divisão do Ano

- Período Seco - Intervalo situado entre os meses de maio e novembro de cada ano (sete meses).
- Período Úmido - Intervalo situado entre os meses de dezembro de um ano e abril do ano seguinte (cinco meses).

De acordo com os parâmetros de tributação e a sistemática horo-sazonal, obtém-se as tarifas Convencional e Horo-sazonal. A estrutura tarifária convencional é uma estrutura caracterizada por aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência, independentemente, das horas de utilização do dia e dos períodos do ano. O sistema horo-sazonal é caracterizado pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano.

Na estrutura horo-sazonal obtém-se as tarifas: Azul e Verde. A Tarifa Azul aplica-se às unidades consumidoras que possuem processo produtivo contínuo e enquadram-se no Grupo A. A adoção para esta é obrigatória aos consumidores dos tipos A-1, A-2 e A-3 e opcional aos demais. Já na Tarifa Verde aplica-se a

consumidores com capacidade de modulação do processo produtivo. Esta é opcional aos consumidores do Grupo A tipos **A-3, A-4 e A-S**.

Conforme [POH 11], a otimização tarifária é a escolha da tarifa mais conveniente para a unidade consumidora que deve levar em consideração:

- Regime de funcionamento da empresa;
- característica do processo de trabalho;
- modulação de carga.

Para determinar o melhor sistema de tarifação, também é preciso considerar:

- Valores médios mensais de consumo e de demanda em cada um dos segmentos de ponta e fora de ponta;
- Os valores mensais a serem faturados em cada um dos segmentos horazonais, ou os valores respectivos de demanda e consumo para tarifação convencional; e também, os valores de ultrapassagem que porventura ocorram;
- As possibilidades de deslocamento do horário de trabalho de diversos equipamentos para minimizar o consumo e a demanda no segmento de ponta;
- As despesas mensais com cada um dos sistemas tarifários.

Apresentam-se na tabela 3, os itens considerados nos cálculos das faturas ao aplicar as tarifas Azul e Verde.

Tabela 3: Itens considerados nos cálculos das faturas ao aplicar as tarifas Azul e Verde.

| Tarifa Azul | Tarifa Verde |
|-----------------------|-----------------------|
| Demanda na Ponta | Demanda |
| Demanda Fora de Ponta | Consumo na Ponta |
| Consumo na Ponta | Consumo Fora de Ponta |
| Consumo Fora de Ponta | |

Fonte:[ELE 05] - Eletrobrás 2005

3. DIAGNÓSTICO: ESTUDO DE CASO

3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA EMPREGADA

A bibliografia pesquisada foi baseada em manuais relacionados ao assunto, revistas e livros da área pesquisada, em vários sites da internet referente ao tema, alguns artigos e documentos da empresa. Identificou-se uma literatura escassa com referência ao tema.

Uma pesquisa de caráter exploratório e de campo com coleta de dados de forma qualitativa e quantitativa foi realizada com o objetivo de elucidar os desafios encontrados para melhorar a eficiência energética e diminuir o consumo de energia elétrica em empresas.

3.1.2 A empresa estudada

Esse trabalho teve como objetivo realizar um estudo em uma fábrica de médio porte, fabricante de máquinas pesadas para identificar pontos possíveis de realizar melhorias focadas na redução do consumo de energia.

A fábrica estudada faz parte de um grupo de empresas que é a maior fabricante mundial de tratores e colheitadeiras agrícolas, a principal em equipamentos de construção da linha leve (retroescavadeiras e mini-carregadeiras) e a terceira em vendas gerais de linha pesada (pás-carregadeira, escavadeiras, motoniveladoras e tratores de esteira). Possui mais de doze mil concessionários e distribuidores espalhados pelo mundo. Presente em 160 países, a companhia conta atualmente com cerca de 27 mil funcionários.

Uma estratégia de atuação é a utilização de plataformas globais de desenvolvimento de produto, na qual as empresas que compõem o grupo contribuem com seu *know-how* tecnológico, aplicando-o nas linhas de produtos.

Pela primeira vez, uma empresa de equipamentos teve a oportunidade de aplicar um modelo adotado há mais tempo na indústria automobilística, que propicia eficiência através da adoção de projetos em comum e conceitos básicos de engenharia.

Nesse sistema, todas as fábricas no mundo passam a ser interligadas, especializando-se em linhas de produtos e componentes, e transferindo seu

conhecimento para as demais unidades. Significa que ambas usufruem uma mesma linha de montagem. Os produtos, individualmente, têm suas características de projeto e performance.

As unidades de produção estão localizadas em Contagem (MG), onde são fabricadas as máquinas de construção; em Curitiba (PR), onde são produzidos os equipamentos agrícolas; e Piracicaba (SP), que fabrica colheitadeiras de cana-de-açúcar e café.

A planta de Contagem é uma das fábricas mais modernas de todo o Grupo. Ela fabrica 37 modelos de máquinas de construção, incluindo: retroescavadeiras, pás carregadeiras, tratores, escavadeiras hidráulicas e motoniveladoras. A Planta é uma das fábricas mais avançadas do grupo e opera como um centro de pesquisa e desenvolvimento de novos produtos para abastecer tanto o mercado doméstico como o mercado internacional com produtos de classe mundial. Com uma produção média de 780 máquinas por mês e distribuí ao mercado nacional e latino.

Para isso foi realizado um estudo de diagnóstico energético com base em prática WCM (World Class Manufacturing) utilizada dentro da filosofia da empresa.

A empresa escolheu essa prática para elevar o próprio padrão para aquele de classe mundial representado pelo caminho do WCM, definido junto aos melhores especialistas europeus e japoneses.

Esta metodologia proporciona o desenvolvimento de 7 passos estruturados que definem caminhos e instrumentos para realizar melhoramentos duradouros e sistemáticos, capazes de eliminar não somente os desperdícios, mas também as respectivas fontes dos problemas. WCM opera sobre 10 pilares de ação: Segurança e Higiene no Trabalho, Análise de Custos, Melhoria Focada, Organização do Local de Trabalho, Manutenção, Manutenção de Equipamentos, Controle de Qualidade, Logística, Desenvolvimento de Pessoas, Meio Ambiente. Cada pilar tem seu líder e seu time, que aplicam as metodologias de análise e eliminam atividades que não agregam valor à produção ou que possam ser feitas em menor tempo, com menos energia e materiais e com menor esforço físico.

Como diz [YAM 88] "Identificação de perdas depende dos seus olhos... as pessoas melhoram seus olhos tal como eles aprendem".

Como missão, o sistema de produção estabelece o objetivo de desenvolver, em nível de excelência, o desempenho do sistema ambiental da empresa para alcançar a competitividade de classe mundial. Isto se alcança somente através do

desenvolvimento de competências difundidas e de uma organização capaz de combater os desperdícios e as perdas de qualquer tipo, envolver todas as pessoas que operam em qualquer nível da organização, aplicar com rigor as metodologias e os instrumentos e difundir e padronizar os resultados alcançados.

O pilar Meio Ambiente é responsável pela redução de energia com sustentabilidade, mantendo um grupo permanente de profissionais. Dentro do estudo de redução energética existem os sete passos de energia que é desenvolvido para entender cada fenômeno que contribui para que ocorra o desperdício e esse seja eliminado de forma definitiva.

O primeiro passo é entender a estrutura do sistema de distribuição elétrica da empresa. Conforme Figura 14 em Anexo, mostra-se a distribuição do nosso sistema que consiste em uma alimentação trifásica 13.800V/60HZ da rede de média tensão da CEMIG que alimenta a entrada da subestação primária com cabine de medição e de proteção. A subestação primária de 4500 kVA interliga a subestação secundária que distribui para 3 transformadores de 1500 kVA. Dois desses transformadores reduzem a tensão 13,8kV para 380V e outro para 440V, realizando a alimentação elétrica de equipamentos das áreas, onde destacam-se: cabine de pintura, compressores, iluminação fabril, equipamentos de grande porte de usinagem (CNC).

3.1.2.1 Avaliações

Foram realizados estudos com equipamento analisador de energia adequado de medição de energia nos 3 transformadores. Foram analisados: tensão, corrente, demandas máximas, potências médias trifásicas (ativa, reativa e aparente), fator de potência, consumo de energia e distorções harmônicas.

Não será tratado nesse estudo as curvas de tensão, sendo recomendável um estudo posterior caso constate que possa provocar algum tipo de dano à equipamentos. As curvas de corrente apresentaram um comportamento variável ao longo das medições, o que indica importância para avaliar possíveis demandas de energia ao longo do dia. Não foram encontradas distorções harmônicas relevantes.

Porém, o mais importante desse estudo é o carregamento dos transformadores como mostram os gráficos a seguir:

Gráfico 2: Carregamento Transformador I -1500 kVA - 440 V

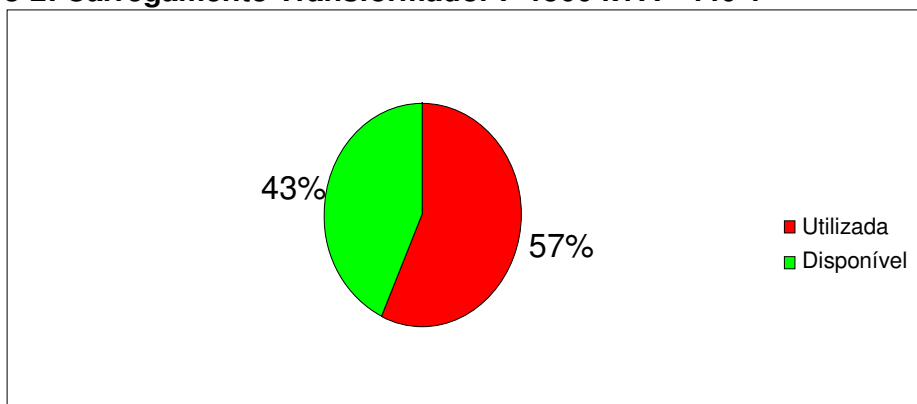


Gráfico 3: Carregamento Transformador II -1500kVA – 380 V

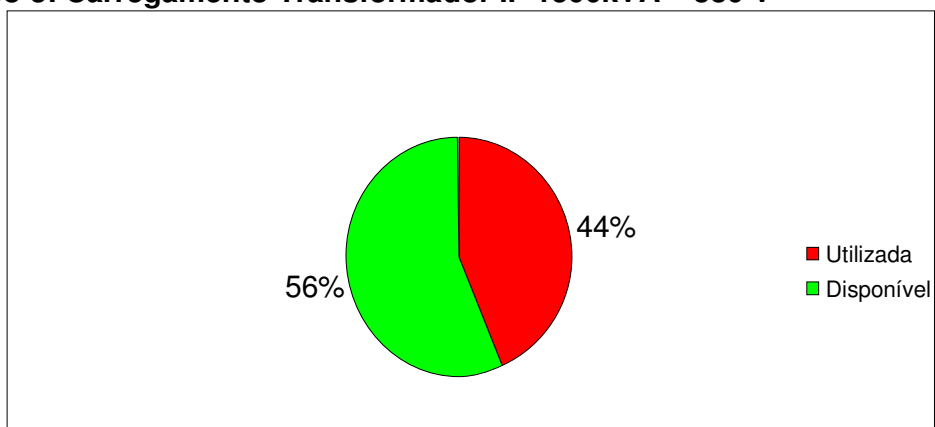
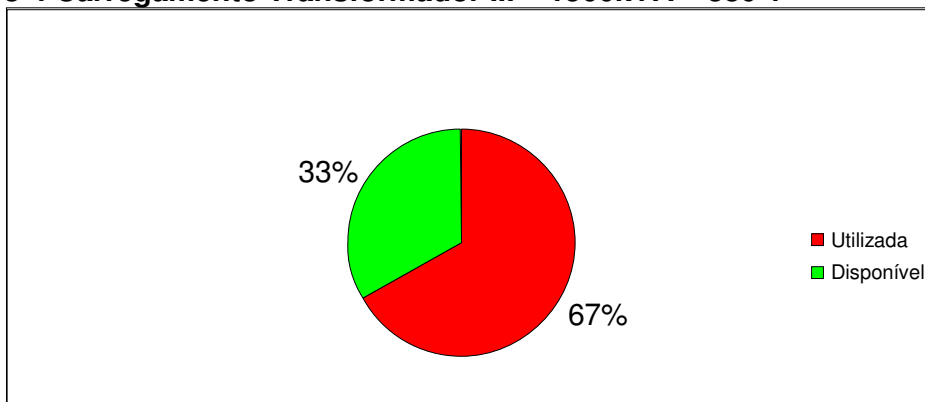


Gráfico 4 Carregamento Transformador III – 1500kVA – 380 V



Fonte: Dados da pesquisa - Relatório de Análise Energética - 2011

A importância dos gráficos acima está em determinar como está hoje o carregamento dos transformadores de alimentação da fábrica. Com isso permitindo uma definição de melhores estratégias quanto a instalação de novos equipamentos e maquinários. Devido as constantes modificações e aquisições de novos

equipamentos, cada vez mais se faz necessário o estudo de redução de energia para que não ocorra uma sobrecarga dos transformadores sem a necessidade de ampliação do sistema elétrico hoje existente.

Quanto aos aspectos relativos à tarifação, a empresa estudada buscou alternativas no mercado energético, realizando vários estudos comparativos para definir a forma de contratação de energia: mercado cativo ou mercado livre. Como pode ser observado, o quadro abaixo mostra o consumo durante seis após adesão ao mercado livre, percebendo-se que alcançou uma economia de custo +/-12% no ano. Com isso, a empresa optou por manter-se no mercado livre.

Tabela 4: Consumo de Energia Elétrica Mercado Livre

| Consumo Energia Elétrica Mercado Livre 01 a 06/2011 (MWh) | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| Descrição | Jan/11 | Fev/11 | Mar/11 | Abr/11 | Mai/11 | Jun/11 | Total |
| Consumo Total (MWh) | 897.445 | 1166.733 | 1285.270 | 1109.689 | 1290.341 | 1175.380 | 6.924.858 |
| Montante Contratado | 1,281217 | 1,239486 | 1,369469 | 1,321229 | 1,359983 | 1,318952 | 7,890336 |
| Delta(MWh) | 383.772 | 72,753 | 84.199 | 211.540 | 69.642 | 143.572 | 965.478 |
| Situação no Cativo- R\$ | 365040,1 | 411478,5 | 429591,2 | 427563,3 | 435012,6 | 476287,8 | 2544973,8 |
| R\$ | 370873,07 | 400396,96 | 435859,55 | 393956,0 | 437903,7 | 409631,7 | 2448621 |
| Economia Mês R\$ | -5832,91 | 11081,59 | 3731,66 | 33610,31 | -12891,06 | 66656,42 | 74192,83 |
| Demanda HP | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | 2700 | |
| Demanda HFP | 2724 | 2710 | 2753 | 2784 | 2733 | 2766 | |
| Perdas ² (KVar) | 28.659 | 38388 | 38930 | 38529 | 47924 | 40843 | 207479 |
| Perdas R\$ | 6.272,68 | 8042,72 | 7944,36 | 7189,06 | 9880,00 | 8949,98 | 48278,80 |

Fonte: Dados da pesquisa - Relatórios de controle de energia interno

Após análise da forma da estrutura tarifária iniciou o diagnóstico para a definição das perdas de energia dentro da empresa. Foram utilizadas como ferramentas do diagnóstico energético as seguintes etapas: quantificação, identificação, modificação e acompanhamento dos equipamentos e ou áreas específicas. Uma forma de realizar o diagnóstico foi associar a metodologia WCM aplicando os sete passos de energia, ou seja: identificar o problema, mapear,

² Para simplificar o quadro, o termo "perda" será usado no lugar de "cobrança de reativo excedente", terminologia adotada na resolução 414 de 2010 da ANEEL(ANE 10)

identificar pontos críticos, elaborar plano ações, implementar os planos de ação, avaliar os resultados e padronizar as ações.

Baseado em dados de 2010/2011 levantados pela equipe meio ambiente que realiza medições em campo e estudos de controle de gastos, observam-se os custos e perdas abaixo:

Tabela 5: Dados 2011

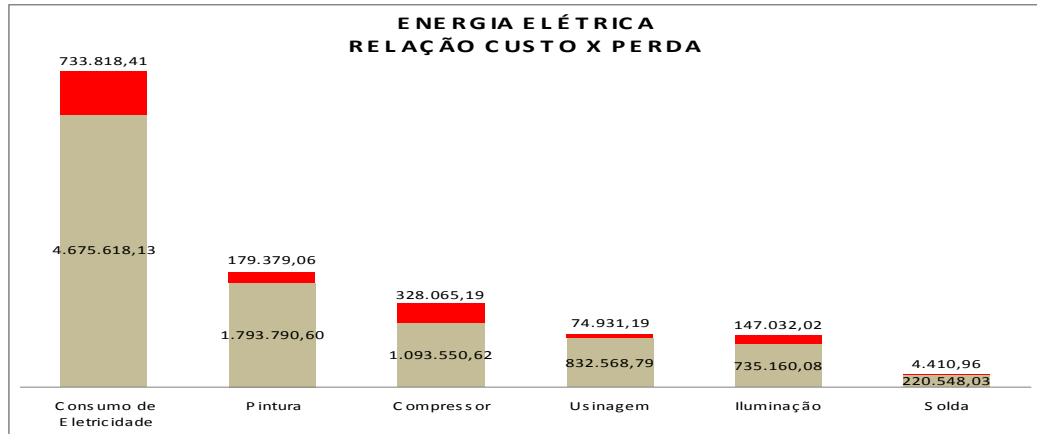
| DADOS 2010/2011 | | | |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|------------|
| DESCRIÇÃO | Custo | Perda | % |
| Consumo de energia elétrica | 4,675,618.13 | 733,818.42 | |
| Pintura | 1,793,790.60 | 179,379.06 | 38% |
| Compressor | 1,093,550.62 | 328,065.19 | 23% |
| Usinagem | 832,568.79 | 74,931.19 | 18% |
| Iluminação | 735,160.08 | 147,032.02 | 16% |
| Solda | 220,548.03 | 4,410.96 | 5% |
| TOTAL | 4,675,618.13 | 733,818.42 | 16% |
| Água industrial | 407,555.15 | 81,511.03 | |
| Água | 101,888.79 | 8,151.10 | |
| TOTAL | 509,443.94 | 89,662.13 | 18% |
| GLP | 466,947.00 | 373,557.60 | |
| Gás Natural | 1,754,232.21 | 350,846.44 | |
| TOTAL | 2,221,179.21 | 724,404.04 | 33% |
| RESÍDUOS PERIGOSOS | 524,002.50 | 445,402.13 | |
| TOTAL | 524,002.50 | 445,402.13 | |

Fonte: Dados da pesquisa - Relatório de Dados internos – Meio Ambiente – 2010/2011

Após identificar onde está o nosso maior problema que é a perda em energia elétrica, representando 16% do total das perdas dentro da empresa, estratificaremos onde ocorrem essas perdas. O gráfico abaixo estratifica em que área estão as maiores perdas de energia: o compressor. Apesar de não ser o maior consumo, os compressores representam as nossas maiores perdas.

Porém, temos a iluminação, área de pintura e compressores como uma grande oportunidade de aplicar melhorias que podem ainda mais reduzir o consumo de energia elétrica. É importante conhecer o comportamento dessas três áreas escolhidas para elaborar e implementar um plano de ação, avaliar os resultados e padronizar a outras áreas.

Gráfico 5: Relação Custo X Perda

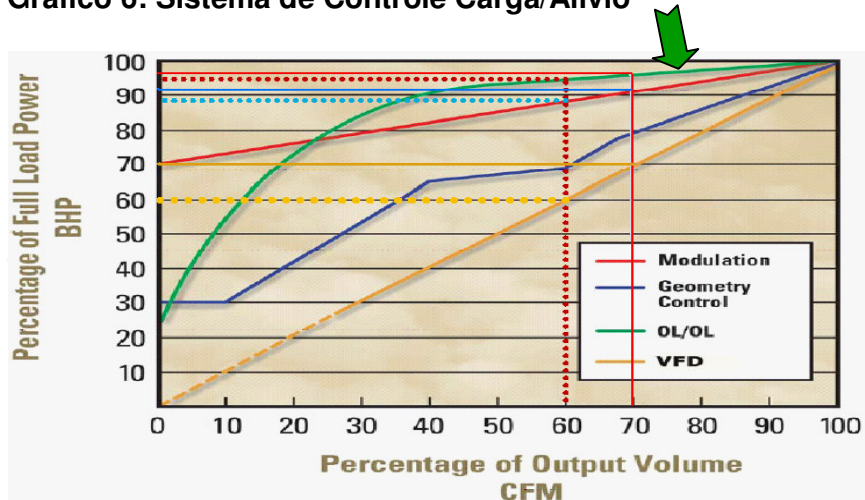


Fonte - Dados da pesquisa- Relatório de Dados Interno – 2010/2011 – Meio Ambiente

3.1.2.2 Compressores

Nos compressores temos oportunidade de melhoria pela instalação de um sistema controlado para otimizar o uso do ar comprimido.. Um compressor que trabalha em carga/ alívio, o consumo de energia não é diretamente proporcional à quantidade de ar produzida pelo mesmo. No gráfico abaixo, a curva verde, que representa o sistema de controle carga / alívio (OL /OL), vemos que para produzir 70% da capacidade, a potência consumida é da ordem de 96% da potência total da máquina.

Gráfico 6: Sistema de Controle Carga/Alívio



Por exemplo, um compressor de 200 HP, para 70% de capacidade, a potência real consumida é da ordem de 96% de 200 HP, ou seja, 192 HP.

Isto faz com que o consumo de energia permaneça alto, mesmo quando os compressores trabalham em cargas parciais para adequar a entrega de ar conforme a demanda da fábrica.

Para isso foi realizado um resumo executivo do que existe na empresa apresentada. Segue abaixo para entendermos melhor o estudo.

Tabela 6: Levantamento preliminar da planta de compressores

| | |
|---|----------------|
| Oportunidade total de poupança | R\$ 104.367 |
| Numero de compressores considerados | 4 |
| Numero de horas de recolha de informação | 193 hrs |
| Capacidade total instalada de ar comprimido | 99,17 m3/min |
| Capacidade média utilizada | 30,62 m3/min |
| Maior | 67,15 m3/min |
| Mínimo | 5,6 m3/min |
| Pressão média | 6,89 barg |
| Maior | 7,26 barg |
| Menor | 4,08 barg |
| Sistema de operação Anual | 8.756 hrs |
| Consumo anual de energia estimado | 2.150.515 kW-h |
| Combinações de custo de energia | 0,2900 R\$/kWh |
| Custo de energia anual atual - Total (est) | 623.649 R\$ |
| Custo de energia anuais - improdutivo (est) | 64.188 R\$ |
| Novo custo de energia anual(est) | 519.283 R\$ |

Fonte – Dados da pesquisa - Relatório Técnico da ARC - 2009

3.1.2.3 Metodologia/Método de Medição

O equipamento multicanal (sistema Intellisurvey) foi instalado nos equipamentos para recolher informação crítica do sistema e determinar as características do sistema existente. Medimos a reação individual dos compressores e pressão do sistema em relação aos processos de consumo dinâmico, o que torna imperativo termos a máxima informação do sistema. O sistema Intellisurvey, recolhe

dados uma vez por segundo em cada canal, resultando em mais de 3.000.000 de pontos durante um ciclo típico de produção de 7 dias.

Uma vez que foram estabelecidas as características de operação, é realizada uma análise, usando os princípios da ciência do ar comprimido, para identificar oportunidades de reduzir o consumo de energia e aumentar a viabilidade do sistema. São considerados muitos fatores, mas os fatores principais são: utilização ineficiente da capacidade do compressor, compressor operando excessivamente em vazio, pressão elevada do sistema, armazenamento de ar insuficiente e má aplicação dos componentes do sistema de ar comprimido.

Há ocasiões em que se garante uma maior investigação, ou seja, um estudo mais profundo dos equipamentos de produção de ar ou uma avaliação da eficiência e eficácia da utilização do ar comprimido nos pontos de consumo (Auditoria Total do Sistema). Estas investigações podem duplicar as poupanças referidas numa análise básica.

A figura 12 é uma referência ao sistema de compressores existentes na fábrica estudada e tag's são apenas para ilustração:

- 3 Compressores GA 160
- 1 Compressor GA 90C
- 3 Secadores DPR 0800
- 1 Secador TD-1060
- 2 Reservatórios capacidades 2,5m³ e 10m³

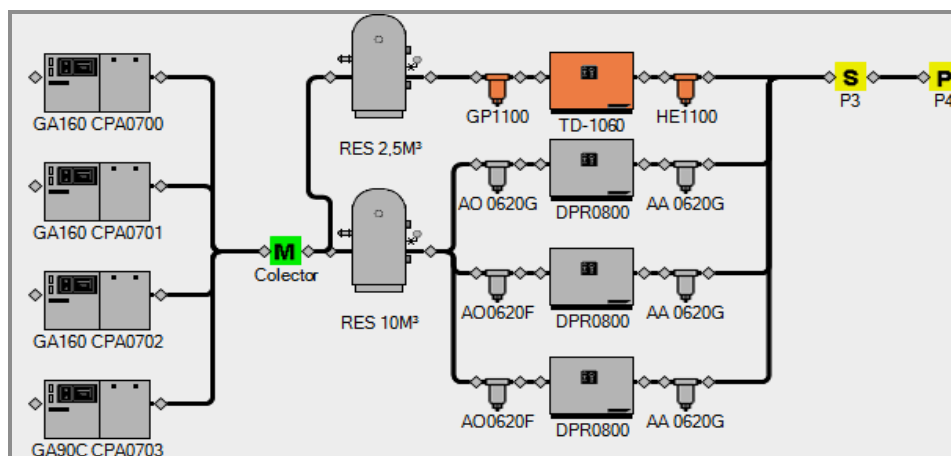


Figura 12- Esquema de compressores anterior à implementação

Fonte – Dados da empresa pesquisada. Relatório de empresa ARC – 2009

Tabela 7 : Capacidade do Sistema

| | |
|------------------------|---------------------------|
| Capacidade disponível: | 99,17 m ³ /min |
| Depósito Seco | NA |
| P3 – P4 | 6,89 barg |
| Temperatura Ambiente | 33 Â°C |
| Altitude: | 902 m |

Fonte: Dados da empresa pesquisada - Relatório da empresa ARC – 2011

Foi realizado relatório de estatística do sistema de energia existente que visa estudar o comportamento durante uma semana de operação da fábrica.

O que se pretende com esse estudo é otimizar o armazenamento do sistema eliminando pontos que podem gerar desperdícios que é pressão do sistema elevada acima dos requeridos dos equipamentos de produção, carga de produção altamente variável, tempo excessivo de funcionamento em vazio, picos de queda de pressão intermitentes.

Metodologia das soluções do equipamento de medição Intellisurvey determina os requisitos da mais baixa pressão possível, estabelecendo o maior evento do sistema. O critério da queda de pressão utiliza o armazenamento para garantir a mais baixa pressão estável. Com isso podemos recomendar algumas mudanças no sistema incluindo controladores.

Os benefícios que se podem alcançar com isso são: a redução no consumo de energia, evitando o arranque de compressores de reserva; redução nos custos de manutenção com menos compressores em funcionamento aumentando confiabilidade e até sistema reserva de fornecimento de caudal/Redundância.

O novo esquema proposto do lado do fornecimento para a nossa unidade ficou de acordo com a figura 13 que logo abaixo.

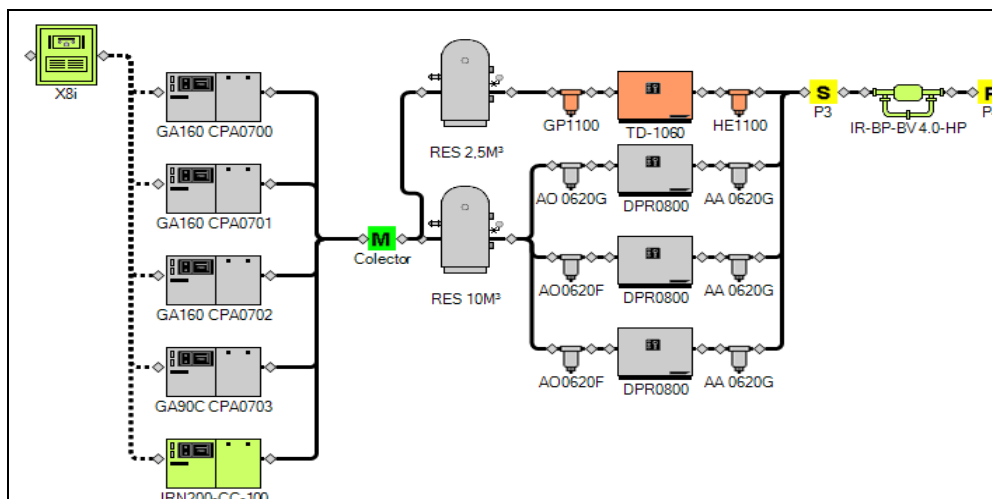


Figura 13 – Esquema de compressores posterior a implementação

Fonte – Dados da empresa pesquisada. Relatório de empresa ARC – 2009

Tabela 8: Esquema do lado do fornecimento após implementação

| | |
|-----------------------|--------|
| P3 | 7 barg |
| P4 | 6 barg |
| Temperatura Ambiente: | 33 Â°C |
| Altitude: | 902 m |

Fonte – Dados da empresa pesquisada- Relatório da empresa Arc -2011

A implementação para otimizar a utilização do compressor é um sistema da Ingersoll-Rand Nirvana, que faz o controle da velocidade através de um inversor de frequência, onde o sistema poderá operar sem limites de arranques e principalmente limitando a corrente de partida a menos de 100%. Com isso reduz-se o consumo de energia, pois mantém a máquina de apoio em plena carga e menos compressores funcionando e mantendo a pressão em P3 e P4 regulada conforme tabela 8..

Com o sistema de controle da válvula *Intelli-Flow*, que funciona realimentando o controlador IR-BP-BV 4.0-HP através de controle PID, mantém a pressão de acordo e a vazão de acordo com for inserido no controlador X8i. Com isso elimina a variabilidade da produção, reduz o consumo de ar comprimido, consumo de energia e menos compressores funcionando.

3.1.2.4 Perspectivas de Ganho

O resumo comparativo entre a 1ª e 2ª medição demonstra que foram realizadas melhorias, como troca da tubulação no sistema de ar comprimido dentro da empresa resultou em:

- Potência média utilizada diminuiu em 17,36 kW; (-6,60%)
- Potência Máxima utilizada diminuiu em 9,5 kW; (-2,18%)
- Consumo específico médio diminuiu em 0,65 kW/m³/min; (-8,12%)
- Consumo específico máximo diminuiu em 1,43 kW/m³/min; (-22,55%)
- O consumo de kW/ano diminuiu em 152.311 kW totais; (-7%)

Tabela 9: Estudo comparativo entre os anos 2009/2011 e novo sistema

| Estudo comparativo | | | | |
|---------------------------------------|----------|----------|----------------------------|-----------|
| Resumo | 12/2009 | 09/2011 | Sistema Variavel (Nirvana) | |
| Oportunidade total de poupança kW/ano | - | 152.311 | 712.999 | |
| Números de compressores | 4 | 4 | 5 | |
| Número de horas de informação | 166 | 166 | 166 | Hrs |
| Capacidade total instalada ar comp. | 99,23 | 99,23 | 127,33 | m³/min |
| Capacidade Média utilizada | 30,33 | 30,62 | 30,62 | m³/min |
| Capacidade Máxima Utilizada | 55,99 | 67,19 | 67,19 | m³/min |
| Capacidade Mínima Utilizada | 16,83 | - | - | m³/min |
| Pressão Média do Sistema | 6,84 | 6,89 | 6,5 | barg |
| Pressão Máxima atingida | 7,25 | 7,26 | 6,5 | barg |
| Pressão Mínima atingida | 4,98 | 4,08 | 6,5 | barg |
| Potência Média Utilizada | 262,9 | 245,54 | 164,1 | kW |
| Potência Máxima Utilizada | 435,5 | 426,0 | 412,4 | kW |
| Potência Mínima Utilizada | 153,8 | - | - | kW |
| Consumo Específico Médio | 8,66 | 8,01 | 5,80 | kW/m³/min |
| Consumo Específico Máximo | 7,77 | 6,34 | 6,13 | kW/m³/min |
| Consumo Específico Mínimo | 9,13 | - | - | kW/m³/min |
| Sistema de Operação Anual | 8.760 | 8760 | 8.760 | Hrs |
| Consumo Anual - Energia estimado | 2.302.82 | 2.150.51 | 1.437.51 | kW/Ano |
| Custo de energia | R\$0,33 | R\$0,33 | R\$0,33 | R\$/kW-h |
| Economia Anual R\$ | | 50.262,0 | 235289,6 | |

Fonte – Dados da empresa pesquisada- Relatório da empresa Arc – 2011

Analisando a 1ª medição comparada à 2ª medição observa-se que com as melhorias feitas no sistema de ar comprimido, teve-se uma redução de energia media na geração do ar comprimido de 7%, o que representou uma economia anual

estimada de 152.311 kW/ano, e o consumo específico (custo por m³) de ar médio produzido passou de 8,66 para 8,01 kW/m³/m.

Resumo comparativo entre 2ª medição e novo sistema:

- Potência média utilizada diminuiu em 98,8 kW; (-37%)
- Potência Máxima utilizada diminuiu em 75,6 kW; (-18%)
- Potência Mínima utilizada diminuiu em 57,04 kW; (-38%)
- Consumo específico médio diminuiu em 2,24 kW/m³/min; (-26%)
- Consumo específico máximo diminuiu em 2,22 kW/m³/min; (-29%)
- Consumo específico mínimo diminuiu em 3,33 kW/m³/min; (-38%)
- Consumo de kW/ano diminuiu em 865.310 kW totais; (-38%)

Com a instalação do sistema Nirvana em relação a medição realizada em setembro/2011, quando ocorreu a troca da tubulação de toda fábrica. Observa-se que a empresa terá uma economia de energia media/estimada na geração do ar comprimido de 38% com a instalação do sistema, o que representa uma economia anual estimada de 865.310 kW/ano, e o consumo específico (custo por m³) de ar médio produzido passará de 9,13 para 5,8 kW/m³/m.

3.1.3 Iluminação:

3.1.3.1 Avaliação

A [EN 64] norma EN 12464-1: "Luz e iluminação - iluminação de locais de trabalho – Parte 1: locais de trabalho em recinto fechado especifica os requisitos para sistemas de iluminação em termos de quantidade e qualidade da iluminação, para a maioria dos locais de trabalho em recinto fechado, incluindo instalações de fabricação e área associadas. De acordo com as exigências para sistemas de iluminação industrial da norma 5413, níveis de 300 e 500 podem ser considerados nos cálculos de projeto para iluminação geral de áreas de produção e escritório.

3.1.3.2 Primeiro estudo: Almoxarifado de peças

Neste trabalho, foram feitos cálculos para um área de armazenamento de peças, com dimensões de 40 x 16 m, a fim de obter 300 lux em alturas de 7 metros ,

segundo os requisitos da [ASS 82] - NBR-5413 piso com plano de trabalho e prateleiras para estocagem de peças. Foram utilizados nos projetos de iluminação dois tipos de luminárias industriais especialmente projetados para tetos elevados: um para fonte de luz linear e o outro para fonte de luz pontual. Uma dessas luminárias para fluorescentes tubulares, quatro lâmpadas e outra luminária industrial clássica para lâmpadas de descargas de alta potência de vapor metálico. Portanto, o uso de um tipo de luminária para cada projeto de iluminação com diferentes fontes de luz eliminaria as diferenças resultantes de uso de luminárias com diferentes propriedades fotométricas. Conforme estudo abaixo, considerando a área citada acima foi verificado o seguinte:

Tabela 10: Análise do Almoxarifado

| Sistema luminotécnico | U/N | Existente | Proposta |
|---|------------|------------------|-----------------|
| Tipo do sistema | | Metálico | 4x54 |
| Potência(média reator+lamp.) de cada luminária | W | 400 | 218 |
| Numero de luminárias | pto | 90 | 90 |
| Num. Lamp.por luminárias | pç | 1 | 4 |
| Fator Pot. Reator | Cós | 0,92 | 0,98 |
| Pot. Trif. Total do Sist. | KW | 22,6 | 11,6 |

Fonte – Dados da empresa pesquisada- Relatório interno de análise 2011

Considerando análise de utilização do sistema teremos:

Tabela 11: Análise de utilização do sistema

| Utilização do Sistema | | U/N | Existente | Proposta |
|------------------------------|----------|------------|------------------|-----------------|
| Tempo considerado | | Anos | 5 | 5 |
| Média de dias/mês | | Dias | 26 | 26 |
| Horas | Ponta | h | | |
| | F. Ponta | h | 10 | 10 |
| Consumo Mês | Ponta | KWh | | |
| | F. Ponta | KWh | 5876 | 3016 |

Fonte – Dados da empresa pesquisada -Relatório interno de análise -2011

3.1.3.3 Perspectiva de Ganho

Considerando o cálculo simples, temos uma redução de consumo de energia em torno de 51% de economia considerando o mesmo nível de iluminação em torno de 300 Lux.

3.1.4 Estudo dos escritórios

3.1.4.1 Avaliação

Nos escritórios foi realizado um estudo em uma sala de 8x6 m onde temos altura de pé direito de 2,8 m. Conforme [ASS 82] - NBR 5413 (ver tabela 12-classe B), podendo variar de 500 a 1000 lux para tarefa de requisitos visuais normais. Nesse estudo levou-se em consideração a simples troca das lâmpadas fluorescentes de 40 W por lâmpadas LEDs de 22W (Philips). Sendo cada conjunto de 4 lâmpadas fluorescente de 40 W por 2 lâmpadas LEDs.

Tabela 12 : Avaliação do sistema luminotécnico do escritório

| Sistema luminotécnico | U/N | Existente | Proposta |
|--|-----|--------------|-----------|
| Tipo do sistema | | Fluorescente | LEDs 22W* |
| Potência(média reator+lamp.)de cada luminária | W | 40 | 22 |
| Numero de luminárias | pto | 6 | 6 |
| Num. Lamp.por luminárias | pç | 4 | 2 |
| Fator Pot. Reator | Cós | 0,92 | 0,98 |
| Pot. Total do Sist. | W | 1043 | 270 |

Fonte – Relatório interno de análise – 2011 - *características do modelo conforme catálogo Philips

Tabela 13: Análise de utilização do sistema

| Utilização do Sistema | | U/N | Existente | Proposta |
|-----------------------|----------|------|-----------|----------|
| Tempo considerado | | Anos | 5 | 5 |
| Média de dias/mês | | Dias | 26 | 26 |
| Horas | Ponta | H | | |
| | F. Ponta | H | 10 | 10 |
| Consumo Mês | Ponta | KWh | | |
| | F. Ponta | KWh | 27,18 | 7,02 |

Fonte – Relatório interno de análise 2011

3.1.4.2 Perspectiva de Ganho

Considerando o cálculo simples temos uma redução de 26% no consumo de energia, considerando o mesmo nível de iluminação em torno de 500 Lux. Porém, o grande peso para troca por tecnologia LED ainda é o preço que ainda não atingiu valores mais baixos. Hoje o preço médio do tipo pesquisado é em torno de R\$ 150,00 a peça.

3.1.5 Pintura

O sistema de pintura consiste em 3 cabines com 10 motores elétricos em cada cabine distribuídos ao longo do conjunto. As potências dos motores são variáveis, conforme a necessidade de cada compartimento, sendo que os mesmos funcionam sem nenhum controle de velocidade. Existem *damper's* ou aletas que controlam o fluxo de ar e são colocados após o ventilador. Essas aletas podem variar para controlar o volume de ar necessário para o sistema de pintura.

O estudo proposto é realizar a instalação de inversores de frequência conforme a potência de cada motor elétrico para realizar economia de energia. Hoje o estudo de adaptação e troca do sistema está em andamento e apenas foi realizada a instalação de um inversor de frequência em um motor de 10 cv que tem uma corrente de 30 A. Com a instalação do controlador, ocorreu redução da corrente em torno de 50% mantendo a mesma abertura do *damper*. Esse estudo ainda está em andamento devido ao alto custo para realizar a instalação de todos os inversores de frequência. Porém, esse estudo preliminar demonstra a grande vantagem em ter um sistema controlado.

4. CONCLUSÃO

Os estudos realizados demonstraram que a gestão eficiente da energia elétrica na empresa pode ocorrer de diversas formas. Todavia, é pertinente ressaltar que tal trabalho deve ser desenvolvido para uma perspectiva integrada entre a gestão ambiental, estrutura organizacional, áreas de gestão de recursos humanos, produção e engenharia.

A economia de energia na indústria demanda tempo, reflexão e dedicação para que os esforços sejam direcionados para o foco correto.

A criação de um corpo de funcionários responsáveis pela implementação do plano de eficiência energética deve ser realizada de modo em que exista plena integração entre os diversos setores da empresa. Deve ser demonstrado de forma clara quais serão os objetivos e que aspectos terão de ser abordados pelo plano de conservação, para que então, seja possível a obtenção de uma maior aderência e menor resistência por parte dos colaboradores.

Os trabalhadores da operação, ou de perfil operacional, funcionalmente, estarão menos envolvidos pelo plano. Porém, estes fomentarão o grupo responsável pelo planejamento do plano, fornecendo informações de maior relevância para as tomadas de decisões. Os investimentos para a implementação do plano de conservação de energia devem ocorrer não somente em equipamentos e novas tecnologias, mas, também, em treinamentos de pessoal e consultorias especializadas.

Frente ao cenário apresentado, destaca-se que o entendimento da aplicação da eficiência energética e os seus respectivos benefícios representam uma maneira prática para que empresários, profissionais e pesquisadores, atuem na estrutura organizacional das empresas, no intuito de resolver tal problemática.

Os estudos realizados neste trabalho demonstraram que, de um modo geral, a indústria assumiu a postura de investir no combate ao desperdício de energia, bem como numa nova política de aquisição de sistemas, sempre buscando o menor custo de aquisição e operacional.

Foram comprovados que vários sistemas podem ser melhorados como o de iluminação, que deverá passar por um processo de substituição das lâmpadas e luminárias por outras mais eficientes; sistemas motrizes em que serão trocados

motores por outros de maior rendimento; acionamentos dos motores por inversores de frequência e centrais de ar comprimido que precisam ser reformadas e automatizadas como visto nesse trabalho.

A importância do programa foi trabalhar a questão da eficiência por meio da redução de desperdício, identificando como as empresas estudadas podem atuar de uma forma mais eficiente, no sentido de diminuir custos, e também com um ganho para a sociedade, que, a partir daí, liberam os seus técnicos para receberem capacitação e treinamento que ajudem a levantar na sua área de trabalho as oportunidades de economia de energia na planta industrial.

Os diagnósticos, que verificaram os ganhos em termos de redução de energia, de desperdício e o lucro financeiro para as empresas, poderão implicar diretamente na sua competitividade do ponto de vista quantitativo, onde há a incorporação da questão da eficiência energética não somente em relação à diminuição da conta de energia elétrica pela empresa, mas, a partir dessa avaliação, gerar uma visão sistêmica. Desse modo, passa-se a trabalhar com outras concepções, além de impactar diretamente na política de operação e manutenção da planta, passa-se a ter um processo mais eficiente, maior produtividade, com redução de custos não apenas de energia.

Em relação aos dados quantitativos, uma mensuração dessa redução do consumo, após a implementação das medidas eficientes, foi atestada e certificada a existência anterior de uso ineficiente de energia, devido aos problemas variados como instalações elétricas super ou subutilizadas, hábitos de ineficiência, enfim, desperdícios que se refletem em custo de produção e acabam incorporados nos preços dos produtos, reduzindo a competitividade da indústria.

As avaliações finais desse estudo apresentaram resultados significativos com aplicação de uma estrutura tarifária voltada para o mercado livre o que reduziu em 12% ao ano nos custos com o consumo de energia; modernização, automatização e troca da tubulação de distribuição do sistema de ar comprimido na fábrica reduziu o consumo energia em 45% em relação ao sistema antigo; troca de lâmpadas fluorescentes por LEDs nos escritórios reduziu o consumo de energia em 26% e troca de lâmpadas HID por lâmpadas fluorescentes T5 no almoxarifado reduziu o consumo de energia em 51%. Todos os resultados foram comparados com medições antes e depois de cada modificação realizada nas áreas descritas acima.

Foi observado que os maiores problemas encontrados nas empresas estudadas estão relacionados à falta de informação, uma vez que muitas oportunidades de redução do consumo de energia elétrica podem ser solucionadas com pequenos ajustes, sem necessidade de investimentos em equipamentos. A falta de informação leva à aquisição de equipamentos ineficientes com alto consumo de energia, ou até mesmo com elevado número de reparos, o que os torna ineficientes.

Considera-se este estudo de grande importância para a sociedade, pois, fora os ganhos econômicos para as empresas, ganham as pessoas da empresa, porque poderão replicar esses conceitos de eficiência energética em suas casas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[ACR 11] **A Crise de Energia - Possíveis Impactos**. Disponível em www.dieese.org.br/esp/energia/dieese/ACriseEnergia.rtf. Acesso em 02/11/2011.

[ANE 10] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010** .

[ASS 82] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT “Iluminância de interiores- Especificação” NBR 5413, Brasil, 1982.

[ASP 11] **Aspectos fundamentais de planejamento energético**, in Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, Dezembro de 2005. Disponível em <http://www.epe.gov.br>. Acesso em 25/10/2011.

[COP 08] COPEL. Taxas e tarifas - Fornecimento por níveis de tensão. Disponível em <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2>. Acesso em 02/11/2011.

[DIE 07] DIEESE. **As tarifas de energia elétrica no Brasil: sistemática da correção e evolução de valores**. Nota Técnica Número 58. Dezembro de 2007.

[ELE 05] ELETROBRÁS. **Catálogos do Programa de Combate ao Desperdício de Energia**. Procel/Eletróbrás. 2005.

[EN 64] Norma UNE 12464-1, **Artificial lighting of interiors; lighting of rooms with VDU work stations or VDU assisted workplaces**.

[EN 52] EN 15252 (European standard indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of building addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics).

[EN 93] EN 15193 (European standard Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting).

[FIL 11] FILLIPPO FILHO, Guilherme, **Mercado varejista de energia elétrica: situação no Brasil e no mundo**. Revista Eletricidade Moderna, Aranda Editora Técnica e Cultural: São Paulo, SP. Ano 39, nº 450, 2011.

[GAS 04] GASPAR, Carlos. **Eficiência energética na indústria**. Cursos de utilização racional de energia. ADENE. Gaia: Rio de Janeiro. 2004

[GIL 11] GIL, Olinda, **O mundo e a crise do petróleo**, Diário de uma professora. Disponível em <http://comunidade.sol.pt/blogs/olindagil/archive/2011/03/02/O-MUNDO-E-A-CRISE-DO-PETROLEO-DE-1973.aspx>. Acesso em 22/10/2011.

[HOL 11] HOLLANDA, Jayme Buarque de. **Eficiência energética é para valer** - Sala de Imprensa. Disponível em http://www.inee.org.br/informacoes_imprensa_artigo.asp?id=517&Cat=info. Acesso em 25/10/2011.

[JOR 09] JORDÃO, Fábio. **LED- a iluminação do futuro já disponível no presente.** <http://www.tecmundo.com.br/2654-.htm#ixzz1fnV2AZic>. Disponível em 26/08/2009. Acesso em 02/22/2011.

[MEH] MEHEL, Ewaldo Luiz de Matos. **Testes realizados pelo Prof. Ewaldo Luiz de Matos** – Departamento de Eng. Elétrica. Laboratório da UFPR -- mehl@eletrica.efpr.br.

[ONA 11] ONAYGIL et all. **Estudo sobre a solução ideal para a iluminação industrial.** Revista Eletricidade Moderna. Aranda Editora Técnica e Cultural: São Paulo, SP, Ano 39, N° 450, Set 2011.

[OLI 11] OLIVEIRA, Jailson. Módulo IV – **Comandos Industriais I-** Material instrucional especialmente elaborado pelo Prof. Jacson Rodrigo Dreher, para uso exclusivo do CEFET/SC, Unidade de Chapecó. UNIUBE, Engenharia Elétrica) Instituto Federal Santa Catarina. Disponível em <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAh74AK/softstarte-inversor-frequencia>. Acesso em 02 nov 2011.

[POH 11] POHL, Wilfried. **A evolução futura das tecnologias de iluminação eficiente.** Revista Eletricidade Moderna. Aranda Editora Técnica e Cultural: São Paulo, SP, Ano 39, N° 450, Set 2011.

[PRO 05] PROCEL/ELETOBRÁS. **Programa Procel nas Escolas.** Panorama Energético Nacional, 2005.

[SAN 06] SANTOS, A.H.M. et al. **Conservação de energia:** eficiência energética de equipamentos e instalações. 3. ed. Itajubá: FUPAI, 2006. 596 p.

[SAU 01] SAUER, Ildo Luís. **A crônica de uma crise anunciada,** Folha de S. Paulo, p. B 4, 29/05/2001.

[YAM 88] YAMASHINA, Hajime: Just-in-time Production - A New Formulation and Algorithm of the Flow Shop Problem. Computer - Aided Production Management 1988.

ANEXOS

Anexo 1

Figura 14: Diagrama unifilar do sistema elétrico existente e estudado.

