

**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
JOSÉ ANTÔNIO DA SILVA SARDÁ**

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADO Á
INDÚSTRIA SUDATI PAINÉIS**

LAGES

2018

JOSÉ ANTÔNIO DA SILVA SARDÁ

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADO A
INDÚSTRIA SUDATI PAINÉIS**

Projeto de Pesquisa sobre a eficiência energética aplicado a indústria Sudati Painéis apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST, como parte dos requisitos para a avaliação da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Prof. Dra. Franciéli Lima de Sá

LAGES

2018

JOSÉ ANTÔNIO DA SILVA SARDÁ

**ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADO A
INDÚSTRIA SUDATI PAINÉIS**

Projeto de Pesquisa sobre a eficiência energética aplicado a indústria Sudati Painéis apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST, como parte dos requisitos para a avaliação da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Prof. Dra. Franciéli Lima de Sá

Lages, SC ___/___/2018. Nota _____

Prof. Dra. Franciéli Lima de Sá

Prof. Dra. Franciéli de Lima Sá, Coordenadora do Curso de Engenharia Elétrica

LAGES

2018

ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADO A INDUSTRIA SUDATI PAINÉIS

José Antônio da Silva Sardá¹

Franciéli Lima de Sá²

RESUMO

Todo processo de transformação e uso de energia tem como consequência algum tipo de perda energética para o ambiente. Um exemplo: uma lâmpada incandescente transforma apenas 8% da energia que consome para produzir luz. O restante é gasto gerando calor que se perde no ambiente iluminado. Assim, para todo e qualquer aparelho ou equipamento que utilize energia elétrica para seu funcionamento, quanto maior for a perda, menor será a sua eficiência energética. Dentro desse contexto o conceito de eficiência energética: trata-se da capacidade que um componente, aparelho, máquina ou equipamento tem de realizar uma determinada quantidade de trabalho com o mínimo de gasto energético. Obter a eficiência energética significa otimizar processos e equipamentos, reduzindo o desperdício no consumo de energia elétrica, tanto na produção de bens como na prestação de serviços, sem que isso prejudique a sua qualidade. Com o intuito de encontrar o melhor aproveitamento da energia e a redução dos desperdícios o presente trabalho busca avaliar onde se pode melhorar os processos, utilização, e conservação da energia, fazendo com que se estimule o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores sócio - econômicos do Brasil. Neste cenário destaca-se a indústria, não só pelo elevado potencial de conservação de energia do seu parque, como também pela sua capacidade produtiva como fornecedora de produtos e serviços para o setor elétrico.

Palavras-chave: Eficiência energética, Aplicação industrial, Setor elétrico.

¹ Acadêmico da 10ª fase, turma B, do Curso de Bacharel em Engenharia elétrica do Centro Universitário UNIFACVEST. E-mail: jose_antonio_sarda@hotmail.com

² Professora da Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do Centro Universitário UNIFACVEST

ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADO A INDÚSTRIA SUDATI PAINÉIS

José Antônio da Silva Sardá³

Franciéli Lima de Sá⁴

ABSTRACT

Every process of transformation and use of energy results in some kind of loss of energy for the environment. An example: an incandescent bulb transforms only 8% of the energy it consumes to produce light. The rest is spent generating heat that is lost in the illuminated environment. Thus, for any apparatus or equipment that uses electrical energy for its operation, the greater the loss, the less its energy efficiency. Within this context the concept of energy efficiency: this is the capacity that a component, apparatus, machine or equipment has to perform a certain amount of work with the least energy expenditure. Achieving energy efficiency means optimizing processes and equipment, reducing the waste of energy consumption, both in the production of goods and in the provision of services, without detracting from its quality. In order to find the best use of energy and the reduction of waste, the present work seeks to evaluate where the processes, utilization and conservation of energy can be improved, causing the efficient use of electric energy in all sectors socioeconomic aspects of Brazil. In this scenario, the industry stands out, not only for the high energy conservation potential of its park, but also for its productive capacity as a supplier of products and services for the electric sector.

Keywords: Energy Efficiency, industrial applications, Electrical sector.

³ Acadêmico da 10ª fase, turma B, do Curso de Bacharel em Engenharia Elétrica do Centro Universitário UNIFACVEST. E-mail: jose_antonio_sarda@hotmail.com

⁴ Professora da Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do Centro Universitário UNIFACVEST

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo Dom da vida, por sempre me guiar, e me dar forças para sempre seguir em frente.

Agradeço a toda minha família por todo apoio e incentivo nesses longos anos. Em especial a minha mãe Rosângela, á qual devo todo meu respeito e admiração, pois sem ela nada disso estaria acontecendo hoje, espero um dia retribuir de alguma forma todo o carinho e amor recebido.

Agradeço a minha namorada Maria Eduarda, por sempre estar comigo, pelo apoio incondicional em todos os momentos, e pela paciência em todas as horas, que essa seja a primeira de muitas conquistas que teremos juntos.

Agradeço aos meus amigos, pelos incentivos, ajudas, e palavras de motivação, só quem passa por esses 5 anos sabe o quanto batalhamos para chegar até aqui. Que a amizade que cultivamos nesses anos se prolongue por nossas vidas.

Agradeço a todos meus amigos do grupo “Se bobo” por todas as confraternizações ao longo de cada conquista durante a faculdade.

Agradeço a todos os professores e mestres, que ao longo desses anos se dedicaram a passar seus ensinamentos para que possamos ser grandes profissionais daqui para frente, em especial a professora Franciéli, e ao professor Silvio, professores esses que passaram grande parte da nossa formação ministrando diversas matérias em nossa turma. Grato pela amizade e por todos os ensinamentos tanto profissional, quanto pessoal.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Lâmpada de Argand..... | 21 |
| Figura 2-Lâmpada a Gás de William Murdoch..... | 21 |
| Figura 3- Lâmpada a Querosene de Edwin Laurentine | 22 |
| Figura 4- Primeira Lâmpada de Joseph Swan, apresentada em 1878. | 23 |
| Figura 5- Lâmpada de incandescência de Thomas Edison, apresentado em 1879..... | 23 |
| Figura 6- Primeiro motor trifásico com rotor gaiola | 26 |
| Figura 7- Fluxo Luminoso | 27 |
| Figura 8 - Iluminância | 28 |
| Figura 9- Luminância | 28 |
| Figura 10 – Eficiência luminosa entre as lâmpadas | 29 |
| Figura 11- Índice de reprodução de cores | 30 |
| Figura 12- Ofuscamento | 30 |
| Figura 13- Temperatura da Cor | 31 |
| Figura 14- Fator de reflexão | 32 |
| Figura 15- Acuidade Visual..... | 33 |
| Figura 16- Uniformidade da Iluminação | 33 |
| Figura 17- Lâmpada incandescente | 34 |
| Figura 18- Lâmpada halógena | 34 |
| Figura 19- Lâmpada Fluorescente | 35 |
| Figura 20- Lâmpada de Vapor de Mercúrio | 35 |
| Figura 21- Lâmpadas de Luz Mista..... | 36 |
| Figura 22- Lâmpadas Fluorescentes Compactas | 36 |
| Figura 23- Lâmpadas de Multivapor Metálico | 37 |
| Figura 24- Lâmpada Led | 37 |
| Figura 25 – Motor de indução trifásico | 39 |
| Figura 26- Polaridade de um motor de indução | 40 |
| Figura 27- Gráfico CEC (Custo de energia economizada)..... | 45 |
| Figura 28- Sensor de presença..... | 54 |
| Figura 29- Minuteria individual | 55 |
| Figura 30- Minuteria eletrônica | 55 |
| Figura 31- Dimmer | 56 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 32- Fotocélula | 56 |
| Figura 33- Iluminação externa área das Linhas de revestimento | 60 |
| Figura 34- Iluminação externa área da Lixadeira..... | 61 |
| Figura 35- Iluminação externa área da Expedição | 62 |
| Figura 36- Lâmpada utilizada atualmente na planta fabril | 63 |
| Figura 37- Disposições das Lâmpadas nas áreas selecionadas..... | 64 |
| Figura 38- Lâmpada Tforce | 65 |
| Figura 39- Situação atual do sistema instalado | 66 |
| Figura 40- Sistema Proposto | 66 |
| Figura 41- Motores Unidade Hidráulica..... | 69 |
| Figura 42- Dados de Placa motores unidade hidráulica | 71 |
| Figura 43- Sistema atual x Sistema proposto | 75 |
| Figura 44- Resultados obtidos no estudo do sistema de iluminação atual x iluminação proposto | 78 |
| Figura 45- Retorno financeiro sistema de iluminação..... | 79 |
| Figura 46- Retorno financeiro para troca de motores..... | 80 |
| Figura 47- Economia utilizando Inversor CFW 707 | 81 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- Fator de manutenção por ambiente | 31 |
| Tabela 2- Índices de Avaliação por Segmento | 46 |
| Tabela 3- Principais oportunidades para a redução de consumo de energia em setores selecionados..... | 50 |
| Tabela 4- Barreiras apontadas pelos setores em relação à eficiência energética..... | 52 |
| Tabela 5- Economia de energia sistema atual versus sistema proposto | 66 |
| Tabela 6- Economia de manutenção no sistema proposto..... | 67 |
| Tabela 7- Investimento Lâmpada Tforce..... | 67 |
| Tabela 8- Custos atuais do sistema instalado X custos do sistema proposto | 67 |
| Tabela 9- <i>Pay back</i> sistema proposto | 68 |
| Tabela 10- Dados motores de Enchimento 75KW | 72 |
| Tabela 11- Cálculo de retorno financeiro para motores de 75 KV | 72 |
| Tabela 12- Dados motores do carregador / motor de pressão 30KW..... | 72 |
| Tabela 13- Cálculo de retorno financeiro para motores de 30 KW..... | 73 |
| Tabela 14- Dados motor do descarregador / motor de controle de 7,5 KW..... | 73 |
| Tabela 15- Cálculo de retorno financeiro para motores de 7,5 KV..... | 74 |
| Tabela 16- Solução proposta a motores de 75 KV | 74 |
| Tabela 17- Economia utilizando inversor de frequência CFW701 para motores de 75KW | 74 |
| Tabela 18- Solução proposta a motores de 30 KW | 75 |
| Tabela 19- Economia utilizando inversor de frequência CFW701 para motores de 30KW | 76 |
| Tabela 20- Solução proposta aos motores de 7,5 KW..... | 76 |
| Tabela 21- Economia utilizando inversor de frequência CFW701 para motores de 7,5 KW .. | 76 |
| Tabela 22- Custo da energia elétrica no mês Agosto (Sudati Painéis)..... | 76 |
| Tabela 23- Custos atuais do sistema instalado X Custos do sistema proposto | 77 |
| Tabela 24- <i>Pay back</i> sistema proposto | 78 |
| Tabela 25- Retorno financeiro para troca de motores | 79 |
| Tabela 26- Economia utilizando inversor CFW 701 | 80 |

SUMÁRIO

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| RESUMO | 4 |
| ABSTRACT | 5 |
| LISTA DE FIGURAS | 7 |
| LISTA DE TABELAS | 9 |
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 OBJETIVOS:..... | 13 |
| Gerais..... | 13 |
| Específicos..... | 13 |
| 1.2 Justificativa..... | 14 |
| 1.3 Aplicação | 15 |
| 1.4 Metodologia..... | 19 |
| 2 ESTADO DA ARTE..... | 20 |
| 2.1 Luminotécnica | 20 |
| 2.2 Motores elétricos | 24 |
| 3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO..... | 27 |
| 3.1 Luminotécnica | 27 |
| 3.2 Princípio de funcionamento das principais lâmpadas encontradas na indústria..... | 34 |
| 3.3 Motor elétrico na indústria | 38 |
| 3.3.1 Características do motor de indução trifásico | 39 |
| 3.4 Constituição física | 39 |
| 3.5 Princípio de funcionamento..... | 40 |
| 3.6 Perdas | 41 |
| 3.7 Partida..... | 42 |
| 4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA | 43 |
| 4.1 Introdução..... | 43 |
| 4.2 Cenário nacional da eficiência energética | 44 |
| 4.3 Prioridades de investimentos em eficiência energética no Brasil | 47 |
| 4.4 Principais oportunidades e barreiras para a redução de consumo de energia..... | 49 |
| 4.5 Barreiras à eficiência energética em setores industriais | 51 |
| 5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUAS APLICAÇÕES | 53 |
| 5.1 Sistemas de iluminação industrial | 53 |
| 5.2 Motores elétricos | 57 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 5.2.1 Causas da perda de eficiência em motores elétricos..... | 57 |
| 5.2.2 Otimização da eficiência em motores elétricos | 58 |
| 6 ESTUDO DE CASO | 60 |
| 6.1 Projeto prático de viabilidade econômica e aumento da eficiência energética na substituição no sistema de iluminação | 60 |
| 6.2 Projeto prático de viabilidade econômica e aumento da eficiência energética na substituição de motores antigos por motores de alto rendimento..... | 69 |
| 6.3 Problema encontrado | 70 |
| 7 CONCLUSÕES | 82 |
| 8 REFERÊNCIAS | BIBLIOGRÁFICAS |
| | 84 |

1 INTRODUÇÃO

É notório que as fontes de energia estão cada vez mais escassas, e que a demanda por energia vem crescendo, sendo assim, surgiu a necessidade de obter maior aproveitamento da energia já produzida. O consumo de energia por parte da população se dá em diversos níveis de intensidade, de acordo com questões que levam em conta aspectos geográficos (clima, localização), socioeconômicos (Demográficos, PIB per capita, PIB Setorial) e os indicadores ditos tecnológicos, que são: rendimentos de equipamentos, taxa de penetração de novas tecnologias e intensidade energética de sistemas de energia. As pessoas então escolhem um conjunto de bens e serviços para satisfazer as suas necessidades, estando de acordo com suas condições, que vão desde alimentos e itens de conforto até mobilidade e questões culturais.

Entender o comportamento e as formas de consumo de energia pela sociedade, na indústria, é de fundamental importância para que os consumidores saibam como podem melhorar seu consumo, fazendo com que se tornem cada vez mais interessados em aprimorar o rendimento energético de suas instalações elétricas. Como consequência destas melhorias, o consumidor poderá almejar reduções nas faturas de energia elétrica, sem que para isso se comprometa a segurança e a qualidade do seu produto final, nem mesmo sua capacidade de produção.

O objetivo desta pesquisa é tratar de uma análise da eficiência energética e sua viabilidade econômica, com o intuito de evidenciar onde há maior concentração de desperdício e propor soluções, mostrando o tempo que se levaria até que haja retorno do capital investido. No capítulo 1 será apresentada a introdução, os objetivos deste trabalho, a justificativa pela escolha do mesmo, sua aplicação e a metodologia utilizada. No capítulo 2 será apresentado o estado da arte da luminotécnica e dos motores. O capítulo 3 apresenta o princípio de funcionamento tanto da parte da luminotécnica, quanto dos motores. O capítulo 4 traz informações sobre a eficiência energética de forma geral, e o capítulo 5 complementa com uma forma mais aprofundada sobre a eficiência luminotécnica e dos motores. O capítulo 6 apresenta o estudo de caso na empresa SUDATI PAÍNEIS, empresa onde foi realizado o estudo de eficiência energética. No capítulo 7 temos a conclusão e as considerações finais.

1.1 OBJETIVOS:

Gerais

O objetivo desta pesquisa é tratar de uma análise da eficiência energética e sua viabilidade econômica, com o intuito de evidenciar onde há maior concentração de desperdício e propor soluções, mostrando o tempo que se levaria até que haja retorno do capital investido.

Específicos

Dentre os objetivos específicos para este trabalho destacam-se:

- Inspeccionar os motores elétricos;
- Realizar o estudo de melhoria e aproveitamento de recursos;
- Levantamento de custos do projeto;
- Estabelecer a atual eficiência energética do grupo;
- Demonstrar a taxa de retorno ou “*pay back*” do projeto.

1.2 Justificativa

Para um melhor entendimento da importância da eficiência energética e sua aplicação, voltamos para o ano de 2001, quando veio a público a crise do setor elétrico, onde se fez crescer em todo o país o sentimento de economia desta fonte. A necessidade de um sistema elétrico confiável e o aumento nas perdas de energia e pressões ambientais intensificaram as ações de eficiência energética na geração, distribuição e no consumo final. ANNEL (1999)

Atualmente as empresas que produzem os painéis em MDF estão utilizando cada vez mais tecnologias inovadoras em seus processos, sendo que cada empresa possui sua tecnologia. Devido ao mercado extremamente competitivo, as fábricas de MDF estão preocupadas com sua produtividade, economia e qualidade do produto final, tendo em vista esses fatores se faz necessário o estudo da eficiência energética ao processo produtivo, com o intuito de eliminar os desperdícios e aumentar a capacidade produtiva da planta industrial, fazendo com que as economias geradas com a redução dos desperdícios possam ser utilizadas em outras áreas da empresa.

1.3 Aplicação

De acordo com a Companhia Paranaense de Energia (COPEL, 2008), as indústrias são hoje, 8,3% do total de consumidores de energia fornecida pela concessionária. No território nacional, as indústrias correspondem por 46% do consumo total de energia elétrica (ELETROBRAS, 2007). Uma parte considerável dos custos de produção em uma indústria provém do consumo de energia elétrica. O uso adequado e eficiente dessa energia deve se fazer presente no planejamento das indústrias. Muito tem sido abordado sobre os programas de eficiência energética, mas, no entanto, pouco se conhece sobre como tais programas que por sua vez podem reduzir os custos e melhorar a produtividade de uma indústria. Além da redução dos custos de operação, um programa de conservação de energia possibilita que a indústria tenha uma atitude responsável e econômica no processo de produção. Algo desejável na sociedade nos dias atuais.

Adotar essas medidas não é fazer um racionamento, mas sim, ter eficiência no seu uso. A questão da eficiência energética deve ser levantada desde a alta direção da indústria até ir de encontro com o colaborador de menor nível hierárquico, não menos importante no programa, pois uma ação isolada tende a perder o seu efeito ao longo do tempo. Desta maneira é necessária a conscientização de todo o corpo funcional da indústria para que a eficiência energética seja uma mudança de hábito e que tenha a menor resistência possível dos funcionários. Os ganhos com a eficiência energética devem ser quantificados e expostos a todos, para que fique claro o quanto se pode ganhar com a conservação de energia. Não deve ser tratada somente a questão financeira, mas também a questão ambiental e social que esta agregada ao consumo de energia.

De acordo com o manual de eficiência energética na indústria (COPEL, 2005), com o uso eficiente da energia elétrica, a indústria terá uma melhor utilização das instalações e equipamentos elétricos, uma redução no consumo de energia e conseqüente economia nas despesas com eletricidade.

Com o melhor aproveitamento da energia conseguirá um aumento de produtividade e um padrão de qualidade no produto acabado, isto tudo, mantendo o nível de segurança e diminuindo o tempo de parada, por manutenção, nas máquinas. Além destas vantagens para a indústria, a sociedade em geral terá uma “redução dos investimentos para a construção de usinas e redes elétricas e conseqüente redução dos custos da eletricidade, redução dos preços de produtos e serviços e, maior garantia de fornecimento de energia” (COPEL, 2005).

Hoje, uma redução de consumo de energia afeta toda a cadeia produtiva, incluindo os consumidores finais, que perceberão um reflexo positivo no preço do produto acabado. O uso eficiente da energia elétrica ganhou força no Brasil após a crise de energia no ano de 2001, pois, a partir de então, se percebeu que as ações até o momento não estavam direcionadas para o consumo e sim para a oferta de energia (ORTEGA, 2006). Essa educação forçada facilitou algumas mudanças de hábitos e popularizou o conceito de conservação de energia, inclusive com algumas medidas públicas de incentivo a eficiência energética.

Outra questão relevante na gestão energética é o compromisso com o meio ambiente. Num momento onde a grande preocupação das organizações internacionais é o impacto do desenvolvimento humano sobre a natureza, questões que ajudem a preservar ou minimizar o consumo dos recursos naturais, devem ser priorizadas na administração das companhias.

Um desenvolvimento equilibrado, sob o aspecto ambiental, tem como princípio a sustentabilidade e uso correto de recursos naturais, para garantir as necessidades da sociedade e o aparecimento de soluções alternativas para os processos industriais (THEIS, 1990). Um programa de eficiência energética deve ter um corpo de elementos que irão planejar e controlar as medidas de eficiência dentro da indústria. Esta equipe deverá, juntamente com todos os colaboradores da indústria, ter criatividade e senso crítico para perceber em que pontos da empresa podem-se evitar o desperdício de energia. Essa equipe obriga-se a ter ações e não somente intenções, justificando-as para o correto esclarecimento e delegação de responsabilidades. Todos devem estar comprometidos com os objetivos da comissão. Os resultados devem ser analisados e comparados periodicamente.

Um programa de eficiência energética ideal começa já na construção da planta industrial. No projeto estrutural, a preocupação com o meio ambiente é relevante, portanto, deve haver uma preocupação em aproveitar a iluminação, a ventilação natural, e dependendo do tipo de atividade, evita-las. Segundo Gimenes (2000) “A construção de infraestrutura deve considerar o uso de materiais recicláveis e reciclados como formas de buscar a sustentabilidade já na etapa construtiva, já com vistas a eventual futura disposição no meio ambiente”.

No projeto elétrico a distância entre o ponto de fornecimento de energia e as máquinas deve ser o menor possível para evitar quedas de tensão, os condutores devem atender as normas e, as máquinas e equipamentos devem ter o maior rendimento possível. Uma revisão das normas e procedimentos alça o projeto como um potencial instrumento de eficiência energética nas instalações elétricas (ORTEGA, 2006).

Em uma análise de plantas industriais, nota-se que o principal elemento consumidor de energia é o motor elétrico. Estima-se que entre 50 e 60% do consumo de energia elétrica consumida numa indústria seja oriunda do uso de motores elétricos (PANESI, 2006). Além do alto consumo de energia, outro fator de relevância quando da utilização de motores elétricos é o fator de potência (F.P.) de baixo valor. O F.P. é o índice que indica o quanto de energia aparente (fornecida pela concessionária de energia) é transformada em energia que realiza trabalho. Quanto maior for esse índice, maior será o aproveitamento de energia pelo consumidor (PANESI, 2006). Esta situação é facilmente observada, tanto em indústrias como em outros tipos de estabelecimentos, conforme expostos por Bueno e Rossi (2006):

“O fator de potência, tanto de galpão G1 como do G2 manteve-se durante todos os lotes de análise, abaixo de 0,92, que é o valor normatizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica. Esta característica se evidenciou pelo fato de existirem muitos motores de pequena potência que, normalmente, possuem fator de potência baixo, demonstrando o uso e aproveitamento inadequado da energia destinada aos equipamentos instalados em cada sistema de produção, tanto é que havia faturamento de excedente reativo na conta de energia do posto de transformação da granja ao qual estavam ligados esses galpões; disto, decorre a necessidade da implantação de medidas de conservação de energia elétrica nos equipamentos utilizados nos dois sistemas de produção.”

Frente a este cenário, a utilização de motores de grande eficiência seria uma solução para a correção do F.P. e para a diminuição do excedente reativo, ou seja, uma medida simples oferece condições de resolver os problemas desta situação e ainda seria uma atitude pró-ativa da eficiência energética.

Na linha de produção também deve haver a preocupação com a eficiência energética. A programação de produção deve ser realizada de modo que o processo seja mais contínuo possível. Nas indústrias que utilizam a tarifação horo-sazonal, a produção não poderá ocorrer nos períodos de tarifas mais elevadas, e podendo, deverá ser adotado um regime de equilíbrio na divisão da produção, evitando picos, inclusive utilizando-se da capacidade nominal das máquinas. Na especificação dos produtos e métodos de produção, o consumo de energia também é um ponto de consideração.

Essa questão da produção, sendo tratada de maneira estratégica, acarreta numa melhora na qualidade do produto acabado, reduzindo o índice de rejeições e consequentemente o desperdício de energia elétrica. Conforme Taguchi (apud MATUICHUK

et al., 2005), a qualidade e o custo de um produto são determinados em grande parte pelo seu projeto e pelo seu processo de fabricação, sempre visando a meta principal de toda a organização, que é a de reduzir custos, mantendo a qualidade esperada pelos clientes.

Com uma importância significativa nas indústrias, a automação tem como objetivo melhorar, acelerar e qualificar os processos produtivos. Nesta linha, podemos considerar que a automação contribui para o consumo eficiente de energia, pois permite que o rendimento das máquinas seja melhorado e economiza matéria prima. Analisar todo o sistema fabril é de fundamental importância para um programa de eficiência energética completa. Segundo Oliveira et al. (2005), a busca por aperfeiçoamento e a introdução de novas tecnologias, são opções avançadas que proporcionariam ganhos competitivos na estratégia de negócios e na eficiência energética. Máquinas e equipamentos devem possuir um planejamento e uma programação de manutenção, para evitar paradas emergenciais e de longa duração.

O benefício da manutenção, não somente na questão de consumo de energia, mas também como fator impactante no preço de produto e prazo de fornecimento, ainda não foi mensurado pela maioria das empresas, pois falta conhecimento de métodos de gestão e de controle (PERES; LIMA,2008). Um equipamento sem manutenção opera fora de sua condição nominal, e, obviamente onera a sua utilização com maior consumo de energia elétrica.

Desta forma se faz necessário um plano de conservação de energia, que não é sinônimo de redução de investimentos. Pelo contrário, os programas de eficiência energética necessitam de apoio financeiro para dar o retorno esperado. Nesses casos, é importante o envolvimento das áreas administrativa, financeira, engenharia e diretoria para avaliar o custo-benefício dos investimentos que devem ser feitos. (PANESI, 2006).

Alguns investimentos podem ser feitos em equipamentos, como trocar lâmpadas incandescentes por luminárias com lâmpadas fluorescentes, substituir motores elétricos convencionais por motores de alto rendimento, dar preferência por aquecedores a gás ao invés de elétricos, instalação de medidores parciais em máquinas e equipamentos etc. Outros investimentos importantes devem ser feitos na capacitação pessoal dos colaboradores da indústria.

O investimento em recursos humanos ultrapassa o espaço territorial da empresa, pois a partir do momento em que um funcionário leigo recebe orientação a respeito de eficiência energética, este passa a praticá-la não somente no local de trabalho, mas também em casa, locais públicos e ainda propaga esses conceitos a outras pessoas do seu convívio. Outro investimento necessário, é a contratação de uma empresa especializada em gestão de

eficiência energética, para, por meio de uma consultoria, auxiliar na verificação, preparação, planejamento e execução de um plano de conservação de energia. A atuação de uma empresa especializada agrega conhecimento e experiência em uma organização sem histórico de atuação neste setor.

1.4 Metodologia

Para realizar este trabalho será apresentada uma revisão teórica dos principais conceitos referentes ao assunto abordado e, posteriormente, serão realizados de forma prática o assunto mais relevante apontado no estudo, pois tem por objetivo propor soluções para um problema identificado no campo energético. Em relação à forma de abordagem do problema a presente pesquisa trabalhou sob dois enfoques: quantitativo e financeiro.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Luminotécnica

O estudo de implementação e utilização da iluminação artificial, seja em ambientes externos ou internos é denominado luminotécnica. Entre os diversos benefícios da eletricidade, um dos que mais impactam em nosso dia a dia e que trazem mais benefícios a população, é a oportunidade de se converter a energia elétrica em energia luminosa. Apesar da grande contribuição que a eletricidade proporciona, por muitas vezes passa por despercebida pelas pessoas.

Desde idades antigas os conceitos da luminotécnica estão presentes, porém a luz nem sempre existiu artificialmente, há registros históricos que o fogo foi descoberto a aproximadamente 3 milhões de anos atrás (SCOTT, 2000), sendo essa a primeira luz artificial vista pelo homem. Muitos historiadores expõem a relevância do fogo para proteção, cozimento de carne dos animais e produções artísticas em cavernas (PYNE, 2011). Contudo ao longo do tempo alcançamos uma significativa modernidade. Compreende-se por luz artificial, uma luz que não é produzida naturalmente, uma luz que depende de uma fonte artificial para se manter e para trabalhar, diferente do sol, considerado como luz natural graças a espontaneidade de sua formação e seu exercício.

No entanto, é importante salientar que o homem primitivo teve necessidades para a produção destes artifícios, assim como ao longo dos anos a luz artificial evoluiu para acompanhar as necessidades humanas. Em 3.000 a.C. a construção de velas de parafina na China contribuíram para a disseminação das luzes artificiais na Europa. Nas cidades antigas, em meados dos séculos XVII, a invenção das lamparinas a óleo foi suficiente para auxiliar as grandes mudanças industriais. As luzes artificiais atingiram seu ápice nos últimos 200 anos, a partir do ano de 1783 com o suíço François Pierre Ami Argand (1750 – 1803) e a sua invenção, a lâmpada de Argand, que se constituía em um cilindro de vidro posicionado com combustível fóssil para queima, diferente das velas, a sua iluminação era até 6 vezes maior, o ar quente junto com o combustível no interior do cilindro proporcionavam esta grande quantidade de luz, logo, o uso desta invenção tornou-se popular nos teatros, nas residências e palácios que passaram à usá-la por sua imensa quantidade de luz gerada e menor quantidade de fumaça e odor produzida (BROX, 2012). Conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1- Lâmpada de Argand



Fonte: Charlotte & Peter (2013)

Conforme ilustrado na figura 1, a lâmpada de Argand se constituía em um cilindro de vidro posicionado com combustível fóssil para queima, diferente das velas, a sua iluminação era até 6 vezes maior.

O inventor escocês William Murdoch (1773-1840) realizando experiências em sua casa com gás natural trouxe ao mundo a iluminação a gás, que foi rapidamente popularizada por seu fácil controle e manuseio e acabou aposentando as lâmpadas de Argand. Murdoch também foi o precursor dos motores a vapor, tanto para locomotivas quanto para barcos. O controle na pressão da saída do gás das lâmpadas permitia uma maior propriedade no uso da luz, assim, conseguiam emitir o dobro da quantidade de luz produzida pelas lâmpadas de Argand (BROX, 2012).

Figura 2-Lâmpada a Gás de William Murdoch



Fonte: Charlotte & Peter (2013)

Por sua vez, Edwin Laurentine Drake (1819-1880) foi o pioneiro na descoberta do petróleo (ouro negro), que impulsionou a produção de lâmpadas à base de querosene. É também no século XIX que houve enormes avanços nas pesquisas, para produção de novas iluminações artificiais. O século XIX é o período em que a civilização mais avançou cientificamente e socialmente, a partir daqui o ser humano acostuma-se com a iluminação artificial e provavelmente não conseguiria mais viver sem ela.

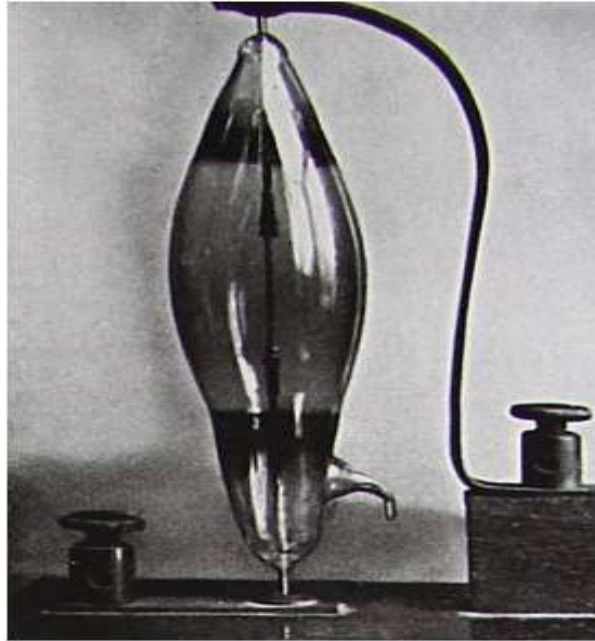
Figura 3- Lâmpada a Querosene de Edwin Laurentine



Fonte: Charlotte & Peter (2013)

Com o surgimento das buscas existentes no ramo do eletromagnetismo, o inventor Thomas Edison (1847-1931) confeccionou o primeiro protótipo de uma lâmpada a base de energia elétrica, porém, o inglês Joseph Swan (1828-1914), patenteou a invenção um ano antes, sua casa foi a primeira a ser totalmente iluminada pelas lâmpadas incandescentes. Ambos, entretanto fundaram a “*Edison and Swan United Electric Light Company*”. As lâmpadas incandescentes utilizavam-se de apenas uma haste de carvão (carbono) muito fina que ao ser aquecida até próximo ao ponto de fusão passava a emitir luz (CREDER, 2010), conforme a figura 4, e figura 5.

Figura 4- Primeira Lâmpada de Joseph Swan, apresentada em 1878.



Fonte: Charlotte & Peter (2013)

Figura 5- Lâmpada de incandescência de Thomas Edison, apresentado em 1879.



Fonte: Charlotte & Peter (2013)

As lâmpadas incandescentes utilizavam-se de apenas uma haste de carvão (carbono) muito fina que ao ser aquecida até próximo ao ponto de fusão passava a emitir luz.

2.2 Motores elétricos

No ano de 1866 pode ser apontado como o ano do nascimento das máquinas elétricas, pois neste ano o cientista alemão Werner Siemens arquitetou o primeiro gerador de corrente contínua auto induzido. Vale ressaltar que, esta máquina foi o resultado de um longo processo de estudos, pesquisas e invenções de muitos outros cientistas ao longo de quase três séculos. Em uma obra publicada em 1600 por William Gilbert ele descreve a força de atração magnética. Em 1663 o alemão Otto Guericke construiu a primeira máquina eletrostática, que em 1774 foi aperfeiçoada pelo suíço Martin Planta. O professor de medicina italiano Aloiso Galvani, percebeu em 1786 que ao tocar com o bisturi em coxas de rãs que estavam penduradas numa grade de ferro, estas apresentavam uma contração, a qual chamou “eletricidade animal”.

Outro italiano, Alessandro Volta, fez a descoberta que entre dois metais diferentes, imersos em um líquido condutor, surgia uma tensão elétrica. Mais tarde em 1799 elaborou uma fonte de energia que chamou de “coluna de volta”, que permitia fornecer corrente elétrica. Em 1920 o físico dinamarquês Hans Christian Oersted observa por acaso que a agulha magnética de uma bússola era desviada de sua posição norte-sul quando passava perto de um condutor no qual circulava corrente elétrica. Essa observação foi o primeiro passo no caminho do desenvolvimento do motor elétrico.

O inglês William Sturgeon, baseado na descoberta de Oersted, constatou, em 1825, que um núcleo de ferro envolvido por um fio condutor elétrico se transformava num ímã quando se aplicava uma corrente elétrica. Estava inventado o eletroímã, dispositivo esse foi fundamental para a invenção de vários aparelhos, como o telefone, o microfone, o alto-falante, o telégrafo. O inglês Michael Faraday descobriu, em 1831, a indução eletromagnética. Em 1832 o cientista italiano S. Dal Negro construiu a primeira máquina de corrente alternada com movimento de vaivém. Em 1833 o inglês W. Ritchie inventou o comutador, construindo um pequeno motor elétrico em que o núcleo de ferro enrolado girava em torno de um ímã permanente. Para dar uma rotação completa, a polaridade do eletroímã era alternada a cada meia volta, através do comutador.

Em 1838 o professor alemão Moritz Hermann Von Jacobi desenvolveu um motor elétrico e aplicou-o a uma lancha. A aplicação prática da energia elétrica em trabalho mecânico ficou então comprovada. Entretanto, toda a energia provinha de baterias, que eram caras e de uso restrito. A preocupação, então, voltou-se à geração de energia elétrica de baixo custo. Já em 1856 o eletrotécnico Werner Siemens descreveu o sucesso alcançado na construção de um gerador de corrente, magnético, com induzido T duplo. Mas esse aparelho não podia gerar energia suficiente para alimentar indústrias e equipamentos domésticos. Os ímãs permanentes eram de ação restrita. Somente em 1866 Siemens construiu um gerador sem ímã permanente, provando que a tensão necessária para o magnetismo podia ser retirada do próprio enrolamento do rotor, isso é, que a máquina podia auto excitar-se.

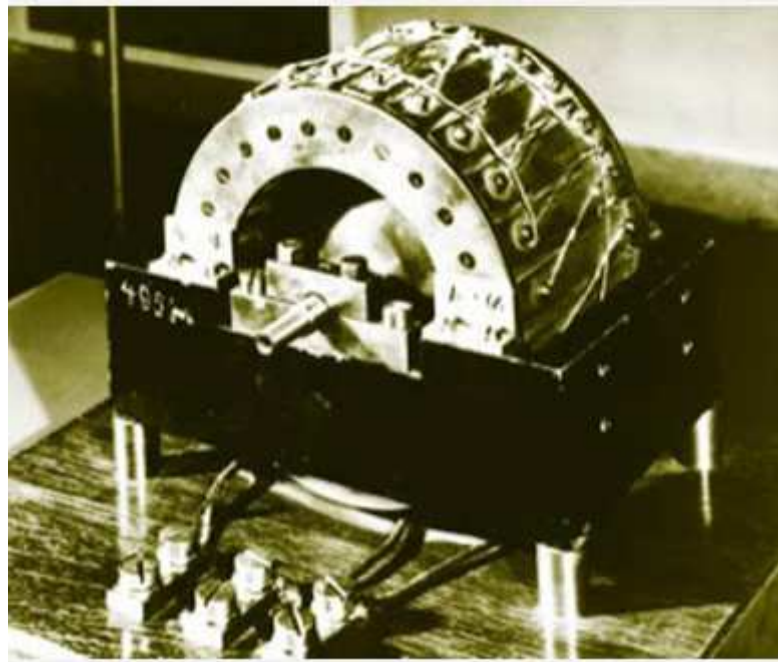
O primeiro dínamo de Werner Siemens possuía uma potência de aproximadamente 30W e uma rotação de 1.200 rpm. A máquina podia também funcionar como motor, desde que se aplicasse aos seus bornes uma corrente contínua. Em 1879 a firma Siemens & Halske apresentou a primeira locomotiva elétrica, com potência de 2 kW. Mas a máquina tinha alto custo e era vulnerável em serviço, exigindo o desenvolvimento de um motor mais barato, robusto e de menor custo de manutenção.

Em 1885 o engenheiro eletricista italiano Galileu Ferraris construiu um motor de corrente alternada de duas fases. Em 1887 o iugoslavo Nicola Tesla apresentou um pequeno protótipo de motor de indução bifásico com rotor em curto-circuito.

Em 1889 o engenheiro eletricista russo Michael Von Dolivo Dobrowolsky, da firma AEG, de Berlim, persistindo na pesquisa do motor de corrente alternada, entrou com pedido de patente de um motor trifásico com rotor de gaiola. Ele era simples, silencioso, tinha menos manutenção e alta segurança em operação. Em 1891 Dobrowolsky iniciou a fabricação em série de motores assíncronos, nas potências de 0,4 a 7,5 kW.

Em resumo dos fatos históricos percebemos que diversas pessoas contribuíram para o descobrimento do motor elétrico, que por sua vez acelerou a industrialização e transformou radicalmente o modo de vida das pessoas, fazendo com que cada vez mais se tenha conforto, comodidade e tecnologia em nossas vidas. Na figura 6 temos a imagem do primeiro motor trifásico com rotor gaiola.

Figura 6- Primeiro motor trifásico com rotor gaiola



Fonte: Amauri (2012)

3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

3.1 Luminotécnica

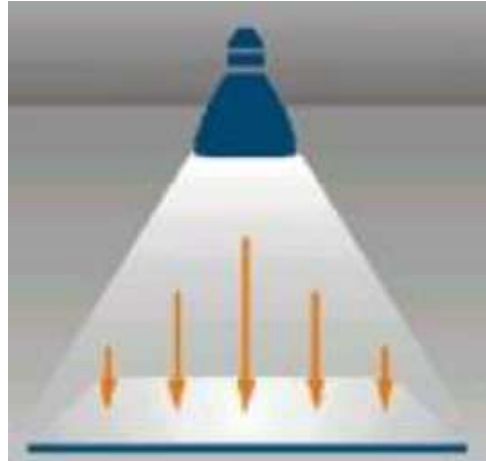
O primeiro a ser abordado nesse estudo é o fluxo luminoso nominal da lâmpada, cujo significado, segundo Costa (2006), nada mais é do que a quantidade total de luz emitida pela lâmpada em sua tensão nominal de funcionamento, ou ainda é a energia emitida ou refletida, por segundo, em todas as direções sob forma de luz. Esse é um conceito importante na escolha da lâmpada, uma vez que comparadas lâmpadas com características distintas, em geral se faz a escolha pela lâmpada com maior fluxo luminoso nominal. Sua unidade de medida é o lm (lúmen).

Figura 7- Fluxo Luminoso



Fonte: Costa (2009)

Em seguida temos o nível de iluminação, ou iluminância, que é a densidade da luz necessária para uma determinada tarefa visual, ou ainda o fluxo luminoso nominal incidente por unidade de área iluminada. Este índice no Brasil é determinado pela NBR 8995-1 - iluminância de interiores. Este conceito por vezes é confundido com luminância, que é a intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície aparente. Os níveis de iluminância devem ser cuidadosamente definidos, seguindo as necessidades dos usuários e o nível de acuidade visual da tarefa a ser desenvolvida. Sua unidade de medida é o Lux.

Figura 8 - Iluminância

Fonte: Costa (2009)

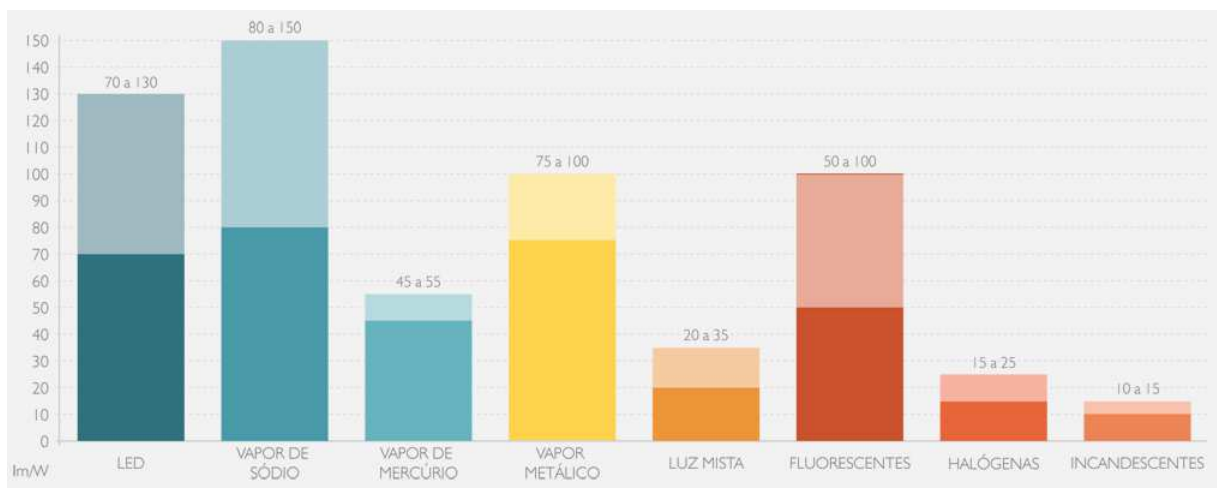
Ainda segundo Costa (2006), a luminância é a intensidade luminosa emitida ou refletida por uma superfície iluminada em direção ao olho humano, sendo função da iluminância e das características de reflexão das superfícies. Sua unidade de medida é o candela por metro quadrado (cd/m^2).

Figura 9- Luminância

Fonte: Costa (2009)

As lâmpadas apresentam aspectos importantes a serem considerados nesta pesquisa, como a eficiência luminosa, que por sua vez ajudará na definição dos sistemas mais eficientes. Esse conceito conforme (COSTA, 2006), consiste basicamente na relação entre a potência de saída versus a potência de entrada, em outras palavras, é a divisão entre o fluxo luminoso nominal obtido pelas lâmpadas e a potência consumida por elas, dentro do sistema. Com este índice podemos analisar e comparar os sistemas propostos, quanto maior este valor, melhor vai ser a eficiência do sistema. Sua unidade de medida é o lumen/watt- (lm/w). A figura abaixo apresenta um gráfico referente a um comparativo entre a eficiência luminosa entre as lâmpadas mais usuais do mercado.

Figura 10 – Eficiência luminosa entre as lâmpadas



Fonte: Empalux (2018)

Outros dois conceitos relevantes em projetos luminotécnicos industriais são o de índice de reprodução de cor e a temperatura da cor, apesar de serem confundidos são bem distintos, o índice de reprodução de cor é a correspondência entre a cor real do objeto e a sua aparência quando submetida a fonte de luz (COSTA, 2006), as lâmpadas com maior índice de reprodução de cores chegaram a até 100% de fidelidade se comparar a luz do sol, quanto maior for o IRC, menos distorção das cores dos objetos.

Um IRC maior que 75 já é considerado excelente, entretanto nem todos os ambientes exigem o nível mais alto de reprodução de cor, como por exemplo, os estacionamentos de indústria, ou ainda galpões fabris que não necessitam de diferenciação de cores podem utilizar IRC entre 56 e 65. A figura 11 mostra um exemplo do que foi descrito anteriormente.

Figura 11- Índice de reprodução de cores



Fonte: Empalux (2018)

Conforme a figura 11, podemos observar que as lâmpadas de Led, incandescentes e halógenas apresentam um ótimo IRC.

Outro conceito a ser considerado é o ofuscamento que segundo (COSTA, 2006), acarreta no desconforto visual e na redução da capacidade de ver objetos, proporcionado pelo excesso de luminância na direção da visão. Pode ocorrer de forma direta quando ocorre através da luminária e da lâmpada, ou quando a luz refletida em determinadas superfícies retorna aos olhos dos usuários.

Figura 12- Ofuscamento



Fonte: Autor (2018)

Já a temperatura de cor correlata é a aparência da cor da fonte luminosa que pode ser branca azulada quando possui uma elevada temperatura (6.100K) ou amareladas quando apresentam baixa temperatura (2.700K) (CATÁLOGO OSRAM, 2009/2010). Apesar das lâmpadas da mesma família, mais com temperatura de cores diferentes dão a impressão de iluminâncias distintas, isso não obrigatoriamente se faz real.

Figura 13- Temperatura da Cor



Fonte: Empalux (2018)

O Fator de manutenção, conforme o mesmo autor, é a razão sobre a iluminância média após dado período de uso, dividido pela iluminância média obtida sob as mesmas condições da instalação nova. Este fator está diretamente ligado aos intervalos de limpezas do ambiente, quanto mais limpo o ambiente e o sistema, maior será seu índice.

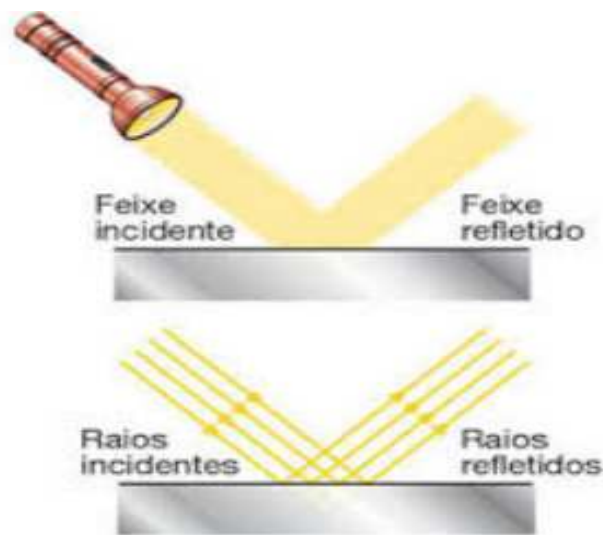
Tabela 1- Fator de manutenção por ambiente

| Ambiente | Período da Manutenção | | |
|----------|-----------------------|-------|-------|
| | 2500h | 5000h | 7500h |
| Limpo | 0,95 | 0,91 | 0,88 |
| Normal | 0,91 | 0,85 | 0,80 |
| Sujo | 0,80 | 0,66 | 0,57 |

Fonte: Teófilo Miguel (2004)

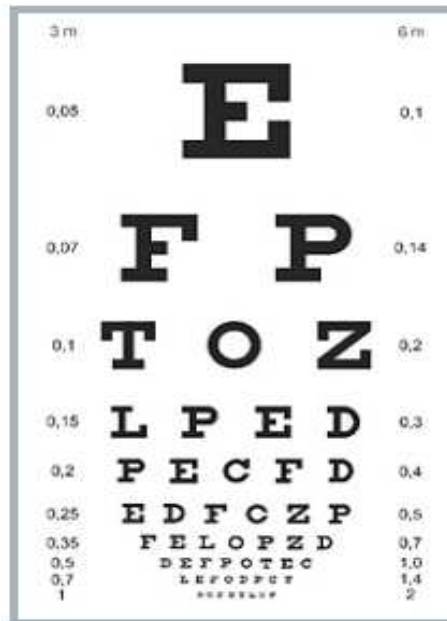
O fator de reflexão, é a razão entre o fluxo luminoso nominal refletido, e o fluxo luminoso nominal incidente. Este índice está diretamente relacionado às cores e acabamentos da superfície iluminada, quanto mais escuro o ambiente e quanto mais absorvente for o material das paredes, do piso, e do teto, menor será o índice de reflexão. Ambientes muito escuros necessitam de um número maior de luminárias se comparadas a salas claras, pois a escura absorve muito mais luz, refletindo assim muito menos.

Figura 14- Fator de reflexão



Fonte: Costa (2009)

A acuidade visual, é também um tópico importante a ser levado em consideração nos projetos Luminotécnicos, ela está diretamente ligada a visão dos detalhes. Segundo (COSTA, 2006), este conceito se separa em sentido qualitativo, que é a capacidade de ver detalhes finos que tem separação angular muito pequeno, e no sentido quantitativo, que é a capacidade de discernimento.

Figura 15- Acuidade Visual

Fonte: Unesp (2008)

Por último e não menos importante, deve-se considerar a uniformidade da iluminação, que se dá pela relação da iluminação mínima e a média, obtida na área iluminada. Esse conceito é indispensável a fim de impedir áreas de sombras acentuadas, assegurando assim o conforto e a segurança para a atividade exercida. Para evitar a falta de uniformidade, a distribuição entre as luminárias deve ser cuidadosamente estudada, a fim de proporcionar uma boa uniformidade a conforto para todos os usuários.

Figura 16- Uniformidade da Iluminação

Fonte: Osram (2013)

3.2 Princípio de funcionamento das principais lâmpadas encontradas na indústria

Lâmpadas incandescentes - Este grupo é composto pelas lâmpadas incandescentes comuns e pelas lâmpadas incandescentes halógenas, que se distinguem das demais por operarem em conjunto com um gás halogênio (ex: iodo, cloro e bromo). Através desta composição, as moléculas do filamento de tungstênio, que se desprendem com o uso, são regeneradas e, com isto, possibilita-se uma redução da área do bulbo da lâmpada, uma maior vida útil e uma maior eficiência luminosa, respectivamente às mesmas características da incandescente comum.

Figura 17- Lâmpada incandescente



Fonte: Cepel (2015)

Lâmpadas alógenas - Podem ser configuradas como alógena compacta, alógena Palito, dicroica (alógena compacta com refletor dicroico) e Par (alógena compacta com refletor parabólico). O funcionamento dessas lâmpadas incandescentes ocorre pela passagem de corrente elétrica por um fio (filamento da lâmpada), com alta resistência elétrica, produzindo luz e calor, com eficiência Luminosa de 10 a 25 lm/W.

Figura 18- Lâmpada alógena



Fonte: Cepel (2015)

Lâmpadas Fluorescentes - Estas lâmpadas são a clássica forma para uma iluminação econômica. A descarga elétrica em seu interior emite quase que totalmente radiação ultravioleta (invisível ao olho humano), gerada pelo vapor de mercúrio, que, por sua vez será convertida em luz visível pelo pó fluorescente que reveste a superfície interna do bulbo. É da composição deste pó fluorescente que resultam o índice de reprodução de cor, a eficiência luminosa e as diversas tonalidades da luz emitida ou temperatura de cor correlata. Sua eficiência Luminosa é de 55 a 75 lm/W.

Figura 19- Lâmpada Fluorescente



Fonte: Cepel (2015)

Lâmpadas de Vapor de Mercúrio - Nas lâmpadas de vapor de mercúrio a luz é produzida pela combinação de excitação e fluorescência. A descarga de mercúrio no tubo de arco produz uma energia visível na região do azul e do ultravioleta. O fósforo, que reveste o bulbo, converte o ultravioleta em luz visível na região do vermelho. O resultado é uma luz de razoável Índice de Reprodução de Cor (Ra) (40-59) e eficiência luminosa de 45 a 55 lm/W.

Figura 20- Lâmpada de Vapor de Mercúrio



Fonte: Cepel (2015)

Lâmpadas de Luz Mista - As lâmpadas de luz mista, como o próprio nome já diz, são uma combinação de uma lâmpada vapor de mercúrio com uma lâmpada incandescente, ou seja, um tubo de descarga de mercúrio ligado em série com um filamento incandescente. O filamento controla a corrente no tubo de arco e ao mesmo tempo contribui com a produção de 20 % do total do fluxo luminoso produzido. A combinação da radiação do mercúrio com a radiação do fósforo e a radiação do filamento incandescente, produz uma agradável luz branca, com eficiência Luminosa de 20 a 35 lm/W.

Figura 21- Lâmpadas de Luz Mista



Fonte: Cepel (2015)

Lâmpadas Fluorescentes Compactas- As lâmpadas fluorescentes compactas com reator integrado são ideais para a substituição das lâmpadas incandescentes, pela sua praticidade, uma vez que, o equipamento auxiliar (reator), já vem incorporado na lâmpada, o que permite a troca e o manuseio da lâmpada de maneira fácil e segura. Já as lâmpadas fluorescentes compactas não integradas são recomendadas para áreas comerciais, onde a iluminação fica ligada por períodos longos. A vantagem em relação às integradas é que, assim que a lâmpada necessitar ser trocada, apenas é substituído a lâmpada. O reator permanece em operação por longo tempo, o que torna o sistema mais econômico. A eficiência luminosa está na faixa de 50 a 85 lm/W.

Figura 22- Lâmpadas Fluorescentes Compactas



Fonte: Cepel (2015)

Lâmpadas de Multivapor Metálico - A lâmpada vapor de sódio em alta pressão é a mais eficiente do grupo de lâmpadas de alta intensidade de descarga. A luz é produzida pela excitação de átomos de sódio aliados a um complexo processo de absorção e irradiação em diferentes comprimentos de onda. Este tipo de lâmpada apresenta-se nas versões elipsoidais e tubulares e é indicada para iluminação de locais onde a reprodução de cor não é um fator importante. Amplamente utilizada na iluminação externa, em avenidas, estradas, viadutos, complexos viários etc. Tem seu uso ampliado para áreas industriais, siderúrgicas e ainda para locais específicos como aeroportos, estaleiros, portos, ferrovias, pátios e estacionamentos. Sua eficiência luminosa é de 80 a 140 lm/W.

Figura 23- Lâmpadas de Multivapor Metálico



Fonte: Cepel (2015)

Lâmpadas Led - Led é a sigla em inglês para Light Emitting Diode, (Diodos Emissores de Luz). O Led é um semicondutor emissor de luz que utiliza a mesma tecnologia empregada nos chips de computadores. Esse processo de emissão de luz pela aplicação de uma fonte elétrica de energia é chamado eletroluminescência. Sua eficiência luminosa é de 45 a 75 lm/W.

Figura 24- Lâmpada Led



Fonte: Cepel (2015)

3.3 Motor elétrico na indústria

Todas as atividades fabris, independentes de quais forem, necessitam de motores elétricos, por vezes robustos, que tenham uma alta confiabilidade, uma boa eficiência, que responda bem as variações de carga, e com baixo custo. Alguns processos requerem variação de velocidade, com um bom controle. Além disso encontramos na indústria algumas áreas, classificadas como áreas perigosas, que exigem um equipamento que não provoque centelhas. Podemos observar que existem máquinas que podemos encontrar em qualquer tipo de indústria como: bombas para movimentação de líquidos, compressores e ventiladores para gases.

Fábricas de alimentos e bebidas possuem bastantes máquinas operatrizes, que movimentam e executam operações com latas, garrafas e outros objetos – são geralmente motores pequenos, algumas vezes de construção específica para sua tarefa. A indústria têxtil também possui máquinas específicas, tanto para fiação como tecelagem, de tecnologia secular.

Os setores de cimento, papel e celulose, químico, têm grande número de bombas, compressores e ventiladores, assim como grandes esteiras transportadoras, moinhos, agitadores, peneiras – há muitos motores grandes, mas com boa incidência de motores pequenos para os serviços auxiliares. Cerâmicas possuem grandes misturadores, sopradores e muitas esteiras transportadoras. Mineração, siderurgia e fabricação de metais em geral, além das bombas, compressores e ventiladores, têm também moinhos, transportadores em grande quantidade e máquinas específicas para atividades de laminação, por exemplo, para puxar, dobrar, cortar.

O motor que melhor atende a estes serviços é o motor de indução trifásico, com rotor em gaiola de esquilo. De construção bastante robusta, sem partes faiscantes, com um bom rendimento, e por exigir pouca manutenção, barato e por possuir poucas desvantagens.

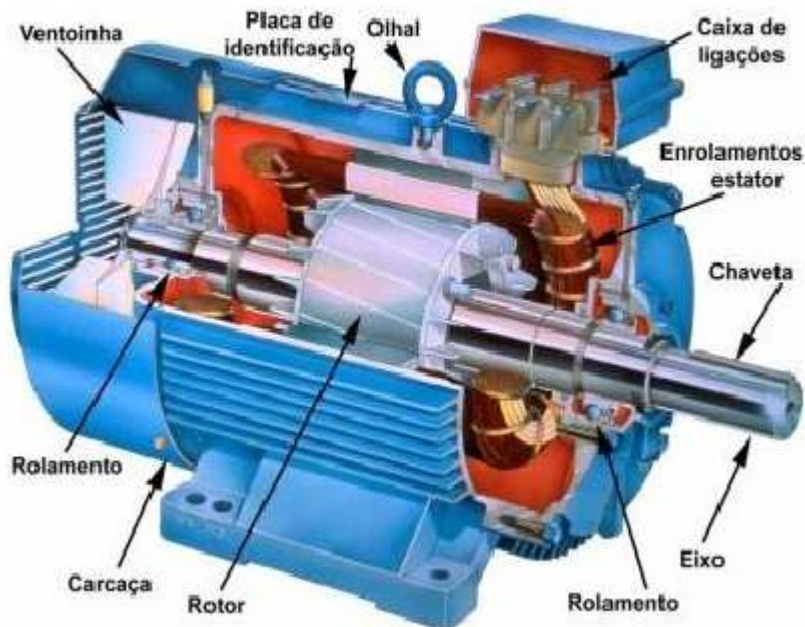
3.3.1 Características do motor de indução trifásico

O motor de indução, trifásico, corresponde por 75% dos motores existentes no Brasil (AMERICO, 2003). Na indústria, devido à utilização de motores de maior porte (dos 25% restantes, grande número se constitui de motores menores que 1 cv, monofásicos, com aplicação em equipamentos residenciais como geladeira, ar-condicionado, máquina de lavar, ventiladores, etc.) este número é seguramente maior, razão para nos atermos a ele.

3.4 Constituição física

Sua construção básica é mostrada na Figura 25 onde foi feito um corte para visualização das partes interiores.

Figura 25 – Motor de indução trifásico



Fonte: Weg (2015)

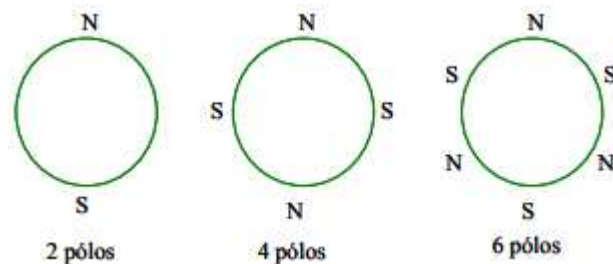
3.5 Princípio de funcionamento

Todo motor elétrico funciona através de uma corrente elétrica gerando um campo magnético e este, quando varia em relação a um condutor, provoca uma corrente no condutor. A grosso modo, formam-se dois ímãs, um no estator e outro no rotor, cuja interação provoca o movimento do motor. No motor trifásico, a distribuição das bobinas das três fases no estator, defasadas de 120° , faz com que a soma dos campos magnéticos provocados por cada uma delas seja um campo uniforme e girante. Este campo circula nos núcleos magnéticos do estator e do rotor, provocando nas barras do rotor uma circulação de corrente. Esta corrente rotórica gera, por sua vez, um campo magnético que tende a opor-se ao movimento que o gerou, de polos apostos ao estator.

O resultado é que o campo do estator arrasta o rotor girando, porém, sempre a uma velocidade maior do que este, o rotor escorrega em relação ao campo girante. Quando uma carga é colocada no eixo do motor, o rotor reduz a sua velocidade, aumentando o escorregamento. Segue-se uma sucessão de eventos: aumenta a velocidade com que o campo magnético corta as barras do rotor, aumenta a corrente do rotor, aumenta o campo magnético gerado pelo rotor, diminui o campo magnético total – aumenta a corrente no estator – aumenta a potência elétrica fornecida ao motor. O motor, portanto, se autorregula para atender à carga no eixo: se aumenta a carga, diminui a rotação, aumenta a corrente do motor e aumenta a potência elétrica fornecida.

Dependendo da forma como são dispostas as bobinas do estator, podem-se formar apenas dois pólos, sendo um norte e um sul, ou quatro, seis, oito, para citar os mais comuns, conforme figura 26 abaixo.

Figura 26- Polaridade de um motor de indução



Fonte: Weg (2015)

Quando, então, a corrente de alimentação completa um ciclo ($1/60 \text{ Hz} = 16,7\text{ms}$), o campo vai de “norte a norte”. Em um segundo, o campo no motor de 2 pólos dá 60 voltas, no de 4, 30 voltas, no de 6, 20 voltas e assim por diante, o que corresponde, em rotações por minuto (rpm), a 3.600, 1.800 e 1200 rpm.

Duas situações limites servem para caracterizar a performance dos motores elétricos, são elas:

Carga nominal: corresponde à carga calculada para o dimensionamento do motor, ou seja, 100% de carga. Serve também para identificá-lo: por exemplo, um motor de 50 cv é aquele que foi calculado para fornecer 50 cv de potência mecânica no seu eixo. Todos os valores de grandezas constantes em sua placa de identificação referem-se à condição nominal.

Carga a vazio: acontece com o motor desacoplado de qualquer carga, correspondendo a 0% de carga. Algumas grandezas não valem zero nesta situação, como a corrente e a potência elétrica, mas são os valores mínimos possíveis; já a rotação assume o seu valor máximo, muito próximo da do campo girante. Normalmente, o motor funciona entre as duas situações acima, podendo, eventualmente, funcionar acima da condição nominal, quando diz-se estar em sobrecarga.

3.6 Perdas

O motor elétrico é um conversor de energia elétrica em mecânica. Apesar de ser uma máquina eficiente, apresenta vários tipos de perdas, que, em geral, se dividem em perdas fixas, e variáveis, são elas:

Perdas no ferro (núcleos): são as perdas devido à circulação do campo magnético, por histerese e correntes parasitas. Dependem da frequência da rede (60 Hz, no Brasil), da densidade do campo (quanto menos ferro, mais denso), da qualidade do aço (o aço silício é mais suscetível ao campo magnético), da espessura e isolamento das chapas. Representam de 15 a 25% do total de perdas, em operação nominal.

Perdas mecânicas: perdas por atrito, nos mancais, e ventilação. Contribuem com 5 a 15%.

Perdas no estator: devidas ao efeito Joule pela circulação de corrente no enrolamento do estator, significam a maior parcela de perda em condição nominal: 25 a 40%. Dependem da bitola dos condutores e do comprimento das bobinas.

Perdas no rotor: igualmente devidas ao efeito Joule nas barras e anéis do rotor, têm também uma contribuição significativa: 15 a 25%. Dependem do material (em geral, alumínio para motores em baixa tensão), seção e comprimento das barras.

Perdas suplementares: são devidas a várias imperfeições na distribuição dos fluxos magnéticos e de corrente e geralmente medidas por subtração com relação às demais perdas. Podem ser reduzidas com um bom projeto do motor. Representam uma parcela menor nos motores de baixa tensão, 10 a 20%.

3.7 Partida

Um momento delicado na operação do motor de indução trifásico é a aceleração inicial. Com o escorregamento muito alto, a corrente do motor é muito alta, chegando tipicamente a oito vezes a corrente nominal. Isto pode causar problemas tanto à rede, provocando queda de tensão, quanto ao próprio motor. O tempo de aceleração é decisivo: ele pode ser igual a 1 segundo, tipicamente para bombas centrífugas e cargas com baixa inércia, mas pode chegar a mais de 30 s para ventiladores e centrífugas, por exemplo, que têm elevada inércia. O limite para o motor é o chamado tempo de rotor bloqueado, que é o tempo máximo que o motor pode resistir nesta condição (valor típico 20 s). O conjunto motor carga acelera porque o conjugado motor é maior que o conjugado resistente. A grandeza que resiste à mudança de velocidade é o momento de inércia, que faz o mesmo papel da massa no movimento linear.

4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

4.1 Introdução

A energia elétrica é a principal fonte de energia do Brasil, sendo, muitas vezes, a única utilizada nas indústrias. Esta fonte apresenta um custo relativamente elevado devido, principalmente, ao desperdício causado pelo mau uso da energia. Pesquisas realizadas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) mostram que 46% da energia do nosso país são para uso do setor industrial que, por sua vez, é responsável por grande parte de seu desperdício. (SILVA, 2007). Surge então, o termo eficiência energética que, segundo Leonelli (2007) “consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização”, ou seja, é tentar aproveitar o total da potência empregada para determinar carga, evitando ao máximo as suas perdas.

Dados mostram que 30% dos acionamentos e motores do setor industrial, ao operar em condições ideais de instalação, podem trabalhar de forma mais eficiente proporcionando uma economia de energia que chega até a 50%. (SIEMENS, 2009). Para Abreu (2009), consultor de engenharia para o setor industrial da Siemens no Brasil, “A gestão eficiente de energia e da manutenção é, em muitas situações, o que define a lucratividade de uma operação”, sendo assim, ao ser implantado o plano de eficiência energética em uma indústria, gera-se uma economia significativa, que acarreta na diminuição do custo do seu produto final.

Uma vez que sua produção é barateada. Para que isso aconteça a confederação nacional da indústria e a ELETROBRÁS, com a ajuda da PROCEL indústria, programa de conservação de energia elétrica manifestam boa cooperação, desde 2004, com o propósito de expandir o movimento das ações da eficiência energética no espaço da indústria. Como efeito dessa colaboração foi idealizado uma pesquisa aprimorada das principais oportunidades e prioridades para o avanço do mercado de eficiência energética industrial. Para alcançar esses objetivos foram desenvolvidos os seguintes trabalhos:

- Experiência nacional em eficiência energética industrial: casos de sucessos no Brasil registrados nos últimos 10 anos, análise de prioridades de investimentos de programas e fundos de investimentos governamentais;

- Principais oportunidades de economia de energia em setores selecionados: Oportunidades de eficiência nos principais usos industriais de energia e barreiras que precisam ser vencidas;
- Experiência internacional: levantamento de práticas de eficiência energética industrial, bem sucedidas em diversos países.

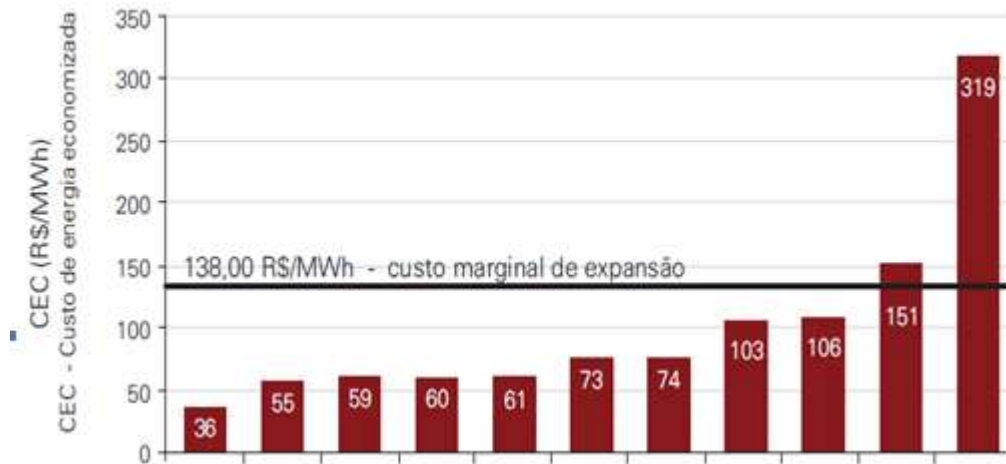
4.2 Cenário nacional da eficiência energética

Empresas que investem em programas de eficiência energética tendem a reunir fundos aumentar a competitividade e diminuir a força sobre o aumento da oferta de energia. Adiar parte da aplicação no aumento da oferta de energia concede ao governo e ao homem de negócio direcionar recursos para outras prioridades, sem que se perca a qualidade, garantia no fornecimento e com ganhos sociais e ambientais.

Para saber o que já foi concluído no Brasil e direcionar os investimentos foram examinados 217 projetos de eficiência energética industrial em 13 setores, feito nos últimos 10 anos. Grande parte dos projetos foram desenvolvidos dentro das regras do Programa de Eficiência Energética – PEE (Lei 9.991/00), sob regulação da ANEEL. O montante total investido neste conjunto de projetos foi de R\$ 161 milhões, gerando uma economia de 626 GWh, o que apresenta um Custo da Energia Conservada – CEC de R\$ 79/MWh (duração média das ações de eficiência de 10 anos e uma taxa de remuneração do capital de 12% ao ano).

Considerando o valor de R\$ 138/MWh para o custo complementar de expansão do sistema de energia elétrica, valor estimado pela EPE (Plano Decenal 2007/2016), a eficiência energética é uma alternativa viável. Ou seja, o mesmo volume de energia pode ser liberado, a preços mais acessíveis, sem a utilidade de novas obras e com efeitos positivos no meio ambiente.

A figura 27 mostra o valor médio da energia conservada por setor. A constante representa o valor do custo complementar de expansão que é de R\$ 138/MWh. Percebe-se que para alguns segmentos o retorno econômico do investimento em eficiência energética é inviável. No entanto, os projetos poderão se tornar viáveis caso o prazo de retorno passe a ser maior do que os 10 anos considerados.

Figura 27- Gráfico CEC (Custo de energia economizada)

Fonte: Manual Procel Industria (2009)

- 36 – Mineração – Metálicos
- 55- Siderurgia
- 59- Químico
- 60- Metalurgia
- 61- Outros
- 73- Alimentos e bebidas
- 74- Papel e celulose
- 103- Têxtil
- 106- Mineração – Não Metálicos
- 151- Cerâmicos
- 319- Fundição

A Tabela 2, apresenta maiores detalhes sobre os projetos estudados. Entre os setores analisados merece destaque o segmento de siderurgia, que desenvolveu grandes projetos de cogeração. Apesar de apresentar o custo médio dos projetos mais alto, pois precisa de grandes investimentos iniciais em equipamentos, a economia de energia é bastante significativa. Como resultado desses fatores temos um custo da energia de R\$ 55/MWh, que é bastante atrativo.

Tabela 2- Índices de Avaliação por Segmento

| SEGMENTO | PROJETOS | CEC ATUALIZADO (10 ANOS, 12%) EM R\$/MWh | CUSTO MÉDIO DOS PROJETOS EM R\$ | ENERGIA ECONOMIZADA EM MWh/ ano |
|---------------------------|----------|------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Mineração – Metálicos | 6 | 36 | 476.111,00 | 62.644 |
| Siderurgia | 12 | 55 | 4.888.238,00 | 146.194 |
| Químico | 22 | 59 | 1.029.730,00 | 128.397 |
| Metalurgia | 14 | 60 | 428.810,00 | 30.982 |
| Alimentos e bebidas | 35 | 73 | 361.158,00 | 40.934 |
| Papel e Celulose | 9 | 74 | 257.637,00 | 12.882 |
| Couro | 9 | 89 | 123.413,00 | 2.487 |
| Têxtil | 12 | 103 | 325.380,00 | 7.090 |
| Mineração – Não Metálicos | 5 | 106 | 246.648,00 | 2.623 |
| Automotivo | 9 | 109 | 633.365,00 | 11.841 |
| Cerâmico | 26 | 151 | 50.781,00 | 1.222 |
| Fundição | 12 | 319 | 46.657,00 | 2.307 |
| Outros | 44 | 61 | 953.116,00 | 176.423 |

Fonte: Diagnóstico CNI / ELETROBRÁS (2009)

Os estudos dos programas de eficiência energética facilitam a identificação de algumas tendências setoriais que podem ser aplicados para um melhor aproveitamento da energia, tais como:

- **Alimentos e bebidas:** inversores de frequência em túnel de resfriamento; substituição de fornos em padarias; uso de compressores VSD;
- **Têxtil:** Melhoria de filatórios;
- **Siderurgia integrada:** projetos de cogeração;
- **Metalurgia:** uso de compressores VSD;
- **Automotivo:** uso de compressores VSD e válvulas inteliflow;
- **Papel e celulose:** bombeamento com inversores e recuperação de calor;
- **Mineração de metálicos:** modificações nos ciclones no processo e uso de inversores em correias transportadoras;
- **Fundição:** potencial de recuperação de calor para outros fins

Os estudos das soluções técnicas adotadas para os empreendimentos analisados mostram domínio de projetos para economia de eletricidade. Como exemplo, 19% das ações

envolvem troca de motores, 20% envolvem melhorias em sistemas de iluminação e 8% envolvem melhorias em sistemas de ar comprimido. Ações que envolvem otimização de processos térmicos aconteceram com frequência bem menor, apenas 6%, apesar dos resultados expressivos como no caso de cogeração em siderurgia.

Com isso se percebe que existe no Brasil uma tendência em trabalhar a economia dos energéticos “combustíveis e eletricidade” de forma separada. Como exemplo, ganhos sistêmicos como o aproveitamento de rejeitos térmicos para geração de eletricidade não estão claros nas opções de fundos de investimentos e de programas ministrados pelo governo federal (PEE/ANEEL, PROCEL e CONPET). As conclusões do estudo dos 217 projetos demonstraram, que oportunidades de economia de energia poderiam ser mais bem aproveitadas com um ajuste no foco de atuação dos programas e fundos de investimentos governamentais.

4.3 Prioridades de investimentos em eficiência energética no Brasil

No ponto de vista voltado para as indústrias nosso país nunca teve a longo prazo uma política de eficiência energética específica. Inclusive quando o déficit de oferta de energia elétrica pelo qual passamos no ano de 2001/2002, o Governo Federal determinou oferecer “pacotes” com ações com o intuito de diminuir os desperdícios no consumo da energia. Quando se reestabeleceu a oferta pela energia em 2002 essas ações foram perdendo a importância.

Tendo em vista que as indústrias correspondem por 33,8% de toda energia que é consumida no Brasil, mais cuidado necessitaria esse setor de grande importância para todos. Como comparação, a soma dos consumos de energia dos setores residencial, comercial e público somam 24,4% do total (BEN – 2018). Porém, os programas federais que encontramos atualmente na questão de economia de energia estão mais voltados para os três últimos setores citados.

Podemos usar como modelo da baixa preocupação dos esforços da parte do governo em ações para uma melhor eficiência nas indústrias que somente os motores elétricos e alguns equipamentos possuem índices mínimos de eficiência regulamentados, uma vez que esses outros equipamentos e máquinas que não possuem parâmetros mínimos de eficiência acabam comprometendo o desempenho do conjunto como um todo.

As duas iniciativas federais que apresentam maior atenção ao setor industrial são o PROCEL – Indústria e o PROESCO, que é uma linha de crédito do BNDES. Essas iniciativas

representam um importante avanço, mas ainda precisam de um maior apoio do governo para alcançarem resultados de maior expressão. A atuação do PROCEL Indústria visa diminuir desperdícios em sistemas motrizes já instalados na indústria brasileira. O contato com a indústria ocorre por intermédio das associações setoriais e federações de indústrias. Os trabalhos práticos geralmente seguem as seguintes etapas:

- Impressionar os líderes corporativos das indústrias;
- Treinamento de multiplicadores locais por meio de curso multidisciplinar, de 180 horas de duração;
- Mobilização das indústrias locais por meio das federações de indústrias;
- Treinamento de agentes industriais e realização de autodiagnóstico energéticos;
- Divulgação de casos de sucesso.

A linha de crédito PROESCO do BNDES financia, diretamente ou por meio de seus agentes, até 80% do valor de projetos de eficiência energética. O PROESCO pode chegar a financiar até 100% do valor do projeto se for aplicado em municípios de baixa renda localizados nas Regiões Norte e Nordeste (área de atuação da SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste).

Outra forma de se ter acesso a um projeto de eficiência energética seria através do PEE da ANEEL. Uma comparação entre o PEE que é destinado para as indústrias com relação a parcela que vai para outros setores enfatiza o baixo incentivo de recursos ao setor que mais compra energia elétrica no Brasil. Os recursos do PEE são formados pela aplicação de 0,5% da Receita Operacional Líquida - ROL da maioria das concessionárias. Essa quantia deve ser direcionada a projetos de eficiência energética aprovados pela ANEEL. Porém a aplicação desses recursos ganhou sentido social, e metade do valor, ou seja, 0,25% da ROL, é direcionado obrigatoriamente à consumidores de baixa renda.

Do ponto de vista dos consumidores industriais, apenas uma pequena parte dos custos com energia elétrica volta com incentivo ao uso racional da energia elétrica. Exemplo disso é o período de 1999 a 2006, onde estima-se que as indústrias brasileiras pagaram R\$ 157 bilhões em consumo de energia elétrica. Nesse mesmo período as concessionárias de energia elétrica aplicaram R\$ 147 milhões, 0,09% do total pago, em projetos de eficiência energética industrial. O momento é propício para ajustes na condução das iniciativas governamentais de

eficiência energética. O Ministério de Minas e Energia se dispõe a desenvolver uma estratégia nacional de eficiência energética. O Plano Nacional de Energia 2030, aprovado pelo Conselho Nacional de Política Energética – CNPE contempla metas de 10% de conservação de energia. Entretanto, essas metas não estão suportadas por estratégias de desenvolvimento que assegurem a sua concretização.

Este é o momento de reorganizar esforços, estabelecer metas e priorizar recursos. Ações de eficiência energética mais precisas poderiam ser definidas em parceria com as indústrias em uma estratégia de implementação acordadas com o setor. O caminho de se chegar a um efetivo programa nacional de eficiência energética passa pela análise das oportunidades e barreiras existentes no Brasil.

4.4. Principais oportunidades e barreiras para a redução de consumo de energia

Nos anos de 2001 e 2002 quando o Brasil passou por um período difícil na oferta de energia elétrica, as indústrias procuraram a preservação dos negócios através de medidas de emergência de eficiência energética, chegando até em alguns casos a cortes de produção. Por conta disso ainda temos associamos eficiência a cortes de energia. A eficiência energética é uma alternativa real de preservação de investimentos e ganha em curto prazo.

Para um melhor entendimento dos benefícios que as medidas de eficiência trazem para a sociedade com um todo, a PROCEL realizou um levantamento com 13 setores industriais com maior consumo de energia. Com os resultados obtidos é possível, de forma organizada, observarmos que setores devem ter prioridade de investimentos e políticas públicas, quais necessitam de capacitação de seus profissionais e quais os desafios a serem enfrentados. Os indicadores numéricos dessa análise apresentam os potenciais técnicos de eficiência energética. Para cada um dos setores foram analisados dados sobre histórico de investimentos, perfil do consumo de energia, potenciais de eficiência por etapa de produção ou cadeia de produto. Na tabela abaixo são apresentados os potenciais de eficiência levantados por uso final em setores indústrias de maior potencial de eficiência.

Tabela 3- Principais oportunidades para a redução de consumo de energia em setores selecionados

| USOS INDUSTRIAIS DE ENERGIA | POTENCIAL DE ECONOMIA (TAP) | REPRESENTAÇÃO NO TOTAL DE ECONOMIA | SETORES COM O MAIOR POTENCIAL DE EFICIÊNCIA |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| TOTAL | 14.855.855,67 | 100,00% | |
| Aquecimento direto - Fornos | 9.103.661,52 | 62,12% | Siderurgia, cerâmico, cimento |
| Aquecimento direto - Secadores | 415.466,80 | 2,83% | Cerâmico, Alimentos e bebidas, Têxtil |
| Vapor de processo- Caldeiras | 2.358.183,02 | 16,09% | Papel e celulose, têxtil, alimentos e bebidas, Siderurgia, Químico |
| Outros | 74.679,61 | 0,51% | Químico |
| Força Motriz | 2.032.439,53 | 13,87% | Siderurgia, Extrativa mineral, alimentos e bebidas |
| Refrigeração | 46.581,68 | 0,32% | Alimentos e bebidas, químico, têxtil |
| Fornos Elétricos | 370.873,53 | 2,53% | Siderurgia, metais não ferrosos, ferros ligas |
| Eletrólise | 191.387,34 | 1,31% | Metais não ferrosos, química, papel e celulose |
| Iluminação | 60.214,47 | 0,41% | Alimentos e bebidas, têxtil, Extrativa mineral, Papel e celulose |
| Outros | 2.368,18 | 0,02% | Extrativa Mineral |

Fonte: Manual Procel Indústria (2009)

4.5 Barreiras à eficiência energética em setores industriais

Para identificar as barreiras que impedem os potenciais de eficiência se tornarem efetivos, a PROCEL entrevistou profissionais de vários setores industriais que trabalham com consumo de energia. Os resultados destas entrevistas permitiram identificar problemas específicos de cada setor e evidenciar que médias e grandes empresas possuem necessidades diferenciadas. A Tabela a seguir apresenta os principais resultados:

- Legislação desfavorável a investimentos industriais em energia;
- Ausência ou não adequação das linhas de financiamento para ações de eficiência energética;
- Racionalização do uso de energia compete com outras prioridades de investimento;
- Necessidade de capacitação de pessoal para identificar oportunidades de eficiência energética e para fazer a gestão dos projetos que se mostrarem viáveis; e.
- Aversão a riscos técnicos decorrentes de novas tecnologias que consumam menos energia.
- A identificação das barreiras aponta oportunidades de atuação para que o mercado de eficiência energética industrial se torne mais dinâmico. Como por exemplo:
- Maior difusão de informações de financiamento e ajustes na metodologia de concessão de créditos;
- Disponibilizar capacitações para que profissionais da indústria identifiquem oportunidades de eficiência energética e consigam transformá-las em oportunidades de ganho;
- Incentivos a projetos pilotos para demonstração de tecnologias inovadoras;
- Revisão da legislação visando incentivar projetos industriais de geração de energia; e
- Acesso direto da indústria a recursos de fundos de financiamento de projetos de eficiência energética.

Identificadas as barreiras e as oportunidades para uma efetiva ação em eficiência energética, poderão contribuir na configuração da melhor estratégia para as condições brasileiras.

Tabela 4- Barreiras apontadas pelos setores em relação à eficiência energética

| SETOR INDUSTRIAL | PRINCIPAIS BARREIRAS APONTADAS |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SIDERURGIA | Racionalização do uso de energia compete com outras prioridades de investimentos. Dificuldade para viabilizar soluções de alto custo. Prioridade para redução de riscos na ampliação de instalações de cogeração |
| CIMENTO | Priorizações de redução de emissões de gases do efeito estufa e melhoria de qualidade. Condições de financiamento consideradas pouco vantajosas e de retorno muito longo devido ao relativamente baixo custo de energia utilizada no setor. |
| CECLULOSE E PAPEL | Empresa de menor porte desconhecem tecnologias de energia eficiente. Percepção de alto risco tecnológico para substituição dos equipamentos de grande porte utilizados no setor. Investimentos envolvem tempo de retorno alto. |
| EXTRATIVA MINERAL | Percepção dos riscos altos com a introdução de novas tecnologias. Necessidade de treinamento de pessoal para identificar oportunidades de eficiência energética e para fazer a gestão dos projetos que se mostrarem viáveis. |
| TÊXTIL | Necessidade de maior difusão das tecnologias mais eficientes e dos potenciais benefícios. Racionalização do uso de energia compete com outras prioridades de investimentos. Desconhecem incentivos oficiais para eficiência energética. |

Fonte: Manual Procel Indústria (2009)

5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUAS APLICAÇÕES

5.1 Sistemas de iluminação industrial

A possibilidade de se utilizar uma menor quantidade de energia para gerar uma maior quantidade de luz, deve-se a eficiência energética nos processos de iluminação. Todavia, este processo não deve interferir no conforto, satisfação e visão do usuário. Equipamentos de climatização possuem grande relevância em grande parte do consumo de energia, o aproveitamento da luz e ventilação natural em galpões, com o aproveitamento adequado dos materiais, colabora na redução do gasto de energia elétrica, além de melhorar o ambiente e bem estar dos usuários.

Podemos conseguir um sistema eficiente de energia mediante fatores já mencionados anteriormente, tal como a análise adequada das atividades e a escolha correta dos equipamentos a serem utilizados. Levando em conta que as tarefas visuais se diferenciam nos seguintes parâmetros:

- Pequenas ou grandes;
- Escuras ou claras;
- Opacas, transparentes ou translúcidas;
- Posicionadas em planos horizontais, verticais ou inclinadas;
- Superfícies planas ou arredondadas.

É necessário considerar no projeto de iluminação não somente o bem estar do usuário durante a execução da tarefa, mas também sinalizar áreas de perigo eminente e assegurar que não haja nenhum tipo de desconforto, como ofuscamento e sombras. A utilização de sensores de presença e dispositivos de controle que limitam e o acionamento e duração dos sistemas de iluminação são outras formas de se conseguir iluminação eficiente diminuindo desperdícios. Os aparelhos mais utilizados são sensores de presença, minuterias, *dimmers* e comutadores fotoelétricos.

Existem dos tipos de sensores de presença, sensíveis a radiação infravermelha e as sensíveis ao ultrassom. O dispositivo será acionado após detectar movimentação no ambiente e desliga-se após um tempo programável, na ausência de movimentos.

Figura 28- Sensor de presença



Fonte: Cepel (2015)

As minuterias são dispositivos que desligam as lâmpadas sob seu comando após um tempo determinado e elas podem ser do tipo eletrônico ou individual. A minuteria individual é utilizada para o comando da iluminação de lugares que não precisam de iluminação constante, mantendo as lâmpadas acesas por um período aproximadamente de um minuto e trinta segundos.

Figura 29- Minuteria individual

Fonte: Cepel (2015)

Diferente da individual, a minuteria eletrônica possui regulagem para seu funcionamento, que pode ser permanente ou temporizada entre quinze segundos a cinco minutos e possui um aviso prévio de cessação da luz com a redução da luminosidade por dez segundos.

Figura 30- Minuteria eletrônica

Fonte: Cepel (2015)

O *dimmer* é um variador de tensão, ele possibilita que a lâmpada alterne sua potência de zero a máxima. Eles dispensam a passagem de energia da corrente através de resistência para a dissipação de energia elétrica em calor. É proveitoso em locais que possuem iluminação natural e artificial, sendo capaz de dimerizar a artificial quando a natural suprir as necessidades. Usado normalmente em luminárias próximas a janelas.

Figura 31- Dimmer



Fonte: Costa (2009)

Os comutadores fotoelétricos são sistemas que irão possibilitar a junção entre iluminação artificial e natural. Ele funciona por meio de uma fotocélula, que envia um sinal elétrico em função da iluminância detectada, se este nível de iluminação natural for suficiente para iluminar o ambiente, não é necessário ativar a iluminação artificial e caso o nível seja maior que o programado, o sistema de iluminação artificial é ativado. O uso deste sistema é recomendado em iluminação pública, pátios industriais e locais com iluminação natural.

Figura 32- Fotocélula



Fonte: Costa (2009)

5.2 Motores elétricos

5.2.1 Causas da perda de eficiência em motores elétricos

Motores, são máquinas de elevada eficiência, em torno de 90%. No entanto, em algumas situações, este número pode ser bem menor. Podem-se apontar quatro causas principais de operação em baixo rendimento, são elas:

- **Motor rebobinado:** um defeito comum em motores, talvez o mais popular, é a chamada “queima”, isto é, quando há a perda de isolamento entre as espiras de uma mesma bobina (em baixa tensão, os fios do motor são isolados com esmalte, em alta tensão, com papel), entre duas bobinas de diferentes fases, ou entre uma bobina e o núcleo. Tecnicamente, diz-se que houve, respectivamente, curto-circuito entre espiras, entre fases ou fase-terra ou carcaça. O grande calor gerado faz realmente com que o esmalte, papel, isolamento seja carbonizado, exalando um odor característico. Normalmente, recupera-se o motor rebobinando-o, ou seja, retirando as bobinas e isolamento danificadas e colocando-se outras no lugar. Se observado um rigor técnico neste procedimento, o motor pode retornar às suas características originais. Algumas práticas, porém, podem afetar o seu desempenho: retirar as bobinas queimadas esquentando-as com maçarico, por exemplo, pode danificar a isolamento entre as chapas do núcleo aumentando as perdas no ferro, ou utilizar fios de cobre de bitola diferente do original pode aumentar as perdas no cobre. A qualidade da manutenção dos motores afeta diretamente o rendimento.
- **Instalação:** tratam-se aqui das condições mecânicas de instalação do motor: fixação, alinhamento, temperatura, ambiente. Apesar de ser uma máquina robusta, estas condições, infelizmente nem sempre adequadas, afetam o seu desempenho. É fácil, no campo, averiguar se a instalação está adequada, difícil é avaliar o impacto no rendimento.
- **Manutenção:** além das condições de instalação e alimentação elétrica, as condições de manutenção também influem no rendimento do motor. Limpeza, e lubrificação adequada (nem a menos, nem a mais, quando a graxa passa para o estator), ambiente limpo, boas conexões, são fatores nem sempre encontrados no chão-de-fábrica.

- **Alimentação elétrica:** são dois aqui os principais problemas: desequilíbrio entre fases (desbalanceamento) e harmônicos. Desequilíbrios podem provir da rede da distribuidora ou da diferença de indutância entre os cabos que alimentam o motor, o que é comum quando isto não é feito por cabos tripolares. Estes desequilíbrios geram torques de sequência negativa, que tentam fazer o motor girar ao contrário, gerando grandes perdas. Harmônicos, apesar do nome, são distorções na forma senoidal da rede, provocados hoje, em sua maioria, por equipamentos eletrônicos, que também geram perdas.

5.2.2 Otimização da eficiência em motores elétricos

Analisa-se a oportunidade de uso de motores de alto rendimento em duas situações principais: para um motor novo, a instalar, ou para substituir um motor já em operação. Na primeira hipótese, é quase sempre viável economicamente usar um motor de alto rendimento, pois a diferença de investimento é apenas entre os custos dos dois motores. Pode apenas não ser compensador em casos com baixíssima utilização do motor (por exemplo, uma bomba d'água que opere 1 ou 2 horas por dia) e/ou baixo custo da energia (R\$/kWh).

Na segunda hipótese, o investimento a ser considerado é não só o custo total do motor de alto rendimento, mas também o custo de colocá-lo em funcionamento: estudo, compra, frete, eventual adaptação da base e acoplamento, eventual mudança no circuito elétrico (relé térmico), mão-de-obra para troca e condicionamento. Neste caso é razoável dobrar-se o custo do motor. Na primeira hipótese (motor novo), basta comparar o custo adicional de um motor de alto rendimento em relação ao motor padrão com a economia obtida ao longo da vida útil. Na segunda hipótese (troca de um motor em funcionamento), a análise é descrita abaixo:

- **Estimar o carregamento do motor:** como não se pode medir a potência fornecida pelo motor diretamente, tem-se que fazê-lo através da medição da potência elétrica, corrente ou rotação. Para os motores de carga variável, deve-se estimar o carregamento em várias situações ou, pelo menos, em uma situação máxima e uma média.

- **Estimar o funcionamento do motor:** esta é, sem dúvida, a parte mais sujeita a erro: estimar o número de horas de funcionamento do motor (quando em carga variável, o número de horas em cada situação) por ano. Mesmo que se façam medições por longo tempo, as condições de operação são muito dinâmicas. Quando se analisa uma fábrica, o que se faz é estimar os vários motores e, ao cabo, compatibilizar a energia gasta com aquela observada através das contas de energia elétrica.
- **Estimar o rendimento do motor:** como não se dispõem das curvas de cada motor específico, em geral, usam-se as curvas de motores padrão. Neste trabalho, supôs-se o rendimento constante ao longo da vida útil dos motores.
- **Verificar o motor adequado para substituição:** como muitos motores são sobre dimensionados e isto é uma causa de baixa eficiência, trocar o motor por um de potência adequada é essencial. Neste passo, deve-se ter cuidado com duas situações: motores com partida difícil, ou motores com sobrecarga eventual (por exemplo, esteiras transportadoras que podem eventualmente receber mais material ou mais pesado).
- **Calcular a redução de energia:** por subtração simples, calculam-se a potência, a energia e o custo reduzidos.
- **Estimar o investimento para a troca:** é necessário não esquecer os custos adicionais, com eventuais trocas de base, acoplamento, proteção do motor.
- **Verificar a viabilidade:** análise do investimento, onde o investimento está concentrado no instante inicial e as economias igualmente distribuídas ao longo dos anos. Neste trabalho buscamos saber através do levantamento de informações e orçamento qual seria o *Payback* tanto na parte dos motores, quanto na parte da iluminação.

6 ESTUDO DE CASO

6.1 Projeto prático de viabilidade econômica e aumento da eficiência energética na substituição no sistema de iluminação

Para os estudos Luminotécnicos da planta fabril foram escolhidas as áreas de linhas de revestimentos, lixadeira e expedição.

Figura 33- Iluminação interna área das Linhas de revestimento



Fonte: Autor (2018)

Figura 34- Iluminação interna área da Lixadeira



Fonte: Autor (2018)

Figura 35- Iluminação interna área da Expedição



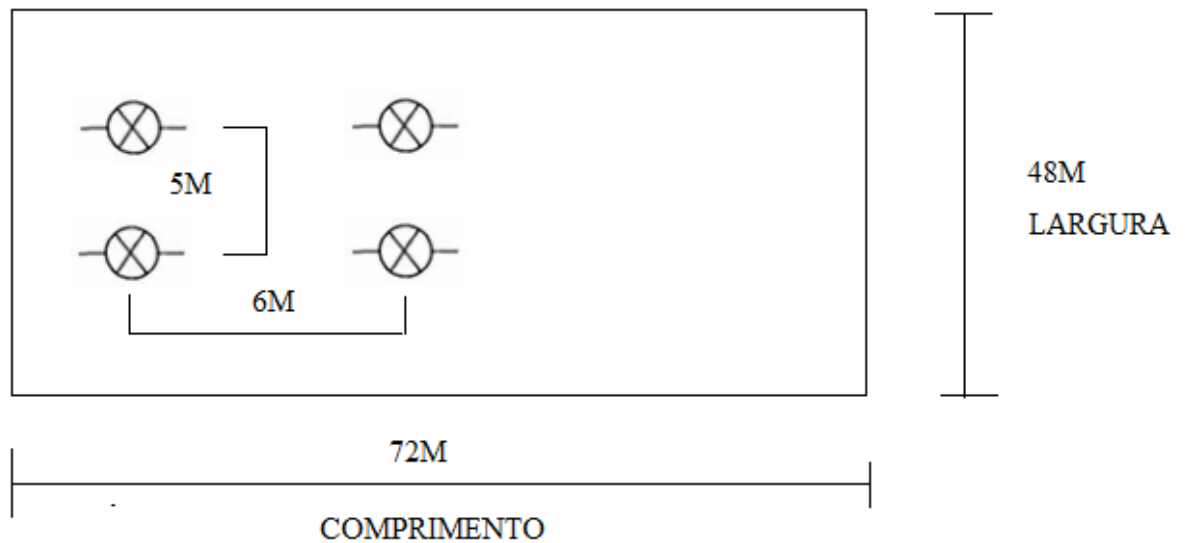
Fonte: Autor (2018)

Para o estudo em questão foram avaliadas as lâmpadas existentes na área interna, suas especificações, e dados mais relevantes, a fim de se saber o valor gasto por ano com o atual sistema existente, e propor um sistema mais eficiente, que traga melhor desempenho quanto à iluminação, e que proporcione economia para a empresa.

Figura 36- Lâmpada utilizada atualmente na planta fabril



Fonte: Autor (2018)

Figura 37- Disposições das Lâmpadas nas áreas selecionadas

Fonte: Autor (2018)

Com dados coletados em campo tivemos como base para estudo as seguintes informações:

Altura do barracão: 12 METROS

Altura em que as luminárias estão instaladas: 8 METROS

82 LUMINÁRIAS DE VAPOR DE SÓDIO- LINHA STARMAX- OVÓIDE DIFUSO BASE E40

Potência: 400W

Fluxo luminoso: 44.050 lm / W

Eficiência Luminosa: 115 lm / W

IRC: >20%

Temperatura da cor: 2000K

Em parceria com a empresa Dimensional Brasil, utilizando todos os dados coletados em campo, chegou a uma luminária mais eficiente do que a do sistema atual, segue abaixo análise e comparativos do sistema atual versus o sistema proposto, a fim de alcançar os objetivos já descritos neste trabalho.

Figura 38- Lâmpada Tforce



Fonte: Dimensional (2018)

- Tecnologia LED
- Potência: 160W E40
- Vida útil: 25.000h
- Fluxo luminoso: 20.000 lm
- Eficiência: 125 lm/W
- Temperatura de cor: 6500K
- Tensão: 110 – 277V
- Fabricante: Philips

Figura 39- Situação atual do sistema instalado

| TIPO DE EQUIPAMENTO EXISTENTE | LUMINÁRIA 400W | Total | | |
|-------------------------------|----------------|------------|----------------------------------|------------|
| QUANTIDADE TOTAL | 82 | - | Mão de obra por ponto | R\$ 160,00 |
| Potência lâmpada (W) | 400 | - | Reposição Lâmpadas 400W unitário | R\$ 60,00 |
| Potência reator (W) | 40 | | Reposição reator 400W unitário | R\$ 90,00 |
| * Potência Total (kW) | 36,08 | 36,08 | | |
| Consumo (KWh) | 25977,60 | 25977,60 | | |
| Vida Útil lâmpada (horas) | 20000 | - | | |
| Vida Útil Reatores (horas) | 50000 | - | | |
| Horas Utilizadas | 24 | - | | |
| Dias Utilizados | 30 | - | | |
| Vida Útil Lâmpada (Meses) | 28 | - | | |
| Vida Útil Reatores (Meses) | 69 | - | | |
| Custo de Mão de Obra Mensal | R\$ 472,32 | R\$ 472,32 | | |
| Custo de Reposição Mensal | R\$ 283,39 | R\$ 283,39 | | |

Fonte: Dimensional (2018)

Figura 40- Sistema Proposto

| TIPO DE EQUIPAMENTO PROPOSTO | TFORCE | Total | | |
|------------------------------|--------|---------|--|--|
| QUANTIDADE TOTAL | 80 | - | | |
| Potência lâmpada (W) | 160 | - | | |
| Potência reator (W) | 0 | | | |
| * Potência Total (kW) | 13 | 12,80 | | |
| Consumo (KWh) | 9216 | 9216,00 | | |
| Vida Útil lâmpada (horas) | 25000 | | | |
| Vida Útil Reatores (horas) | 0 | | | |
| Horas Utilizadas | 24 | - | | |
| Dias Utilizados | 30 | - | | |
| Vida Útil Lâmpada (Meses) | 35 | - | | |
| Vida Útil Reatores (Meses) | 0 | - | | |
| Custo de Mão de Obra Mensal | R\$ - | R\$ - | | |
| Custo de Reposição Mensal | R\$ - | R\$ - | | |

Fonte: Dimensional (2018)

Tabela 5- Economia de energia sistema atual versus sistema proposto

| ENERGIA ELÉTRICA | | | CUSTO ENERGIA ELÉTRICA | | | R\$ 0,19 |
|---------------------|---------------|---------------|------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Energia Elétrica | Potência (KW) | Consumo (KWh) | Consumo (R\$) Mensal | Consumo (R\$) Anual | Economia Total mensal (R\$) | Economia Total anual (R\$) |
| Iluminação Atual | 36 | 25.978 | R\$ 4.935,74 | R\$ 59.228,93 | | |
| Iluminação Proposta | 13 | 9.216 | R\$ 1.751,04 | R\$ 21.012,48 | | |
| Economia | 65% | | | R\$ 3.184,70 | R\$ 38.216,45 | |

Fonte: Dimensional (2018)

Tabela 6- Economia de manutenção no sistema proposto

| Iluminação Atual | Custo Mão de Obra Mensal | Custo Anual Mão de Obra (R\$) | Custo Mensal de reposição (R\$) | Custo Anual de reposição (R\$) | Custo Total Mensal (R\$) | Custo Total Anual (R\$) |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | R\$ 472,32 | R\$5.667,84 | R\$ 283,39 | R\$ 3.400,70 | R\$ 755,71 | R\$9.068,54 |
| Iluminação Proposta | R\$472,32 | R\$5.667,84 | R\$ 283,39 | R\$3.400,70 | R\$755,71 | R\$9.068,54 |
| Economia Manutenção Proposta | R\$ 472,32 | R\$5.667,84 | R\$ 283,39 | R\$ 3.400,70 | R\$ 755,71 | R\$9.068,54 |

Fonte: Dimensional (2018)

Tabela 7- Investimento Lâmpada Tforce

| Investimentos | TFORCE | Total |
|----------------------------|---------------|---------------|
| Quantidade total (UNIDADE) | 80,00 | 80,00 |
| Valor da Lâmpada (R\$) | R\$ 529,47 | R\$ 529,47 |
| Valor Total (R\$) | R\$ 42.357,60 | R\$ 42.357,60 |

Fonte: Dimensional (2018)

Tabela 8- Custos atuais do sistema instalado X custos do sistema proposto

| Situação | Atual - Lâmpada 400W | Proposta LED-TFORCE |
|---------------------------------|----------------------|---------------------|
| Nível de Iluminação médio | - | 300lx |
| Quantidade de luminária | 82 | 80 |
| Potência instalada (KW) | 36,08KW | 12,80 KW |
| Economia de Potência | - | 65% |
| Vida útil | 28 Meses | 35 Meses |
| Consumo anual energia (R\$) | R\$ 59.228,93 | R\$ 21.012,48 |
| Economia Anual de energia (R\$) | - | R\$ 38.216,45 |
| Gasto anual de Manutenção (R\$) | R\$ 9.068,54 | - |
| Economia Anual (R\$) | - | R\$ 47.284,99 |
| Investimento (R\$) | - | R\$ 42.357,60 |
| PayBack (Meses) | - | 11 Meses |

Fonte: Dimensional (2018)

Tabela 9- *Pay back* sistema proposto

| <i>PAY BACK</i> | |
|-------------------------|-----------------|
| INVESTIMENTO NO SISTEMA | R\$ 42.357,60 |
| ECONOMIA DE ENERGIA | R\$ 38.216,45 |
| ECONOMIA DE REPOSIÇÃO | R\$ 3.400,70 |
| ECONOMIA DE MÃO DE OBRA | R\$ 5.667,84 |
| ECONOMIA TOTAL | R\$ 47.284,99 |
| <i>PAY BACK (MESES)</i> | 11 MESES |

Fonte: Dimensional (2018)

6.2 Projeto prático de viabilidade econômica e aumento da eficiência energética na substituição de motores antigos por motores de alto rendimento

Para o projeto de viabilidade dos motores elétricos foi realizada uma pesquisa de campo na empresa SUDATI PAINÉIS, com o intuito de identificar as áreas com o maior potencial de desperdício, com o objetivo de propor uma solução economicamente viável e energeticamente eficiente.

Na área interna foram escolhidos os motores da unidade hidráulica, motores estes identificados como um local com grande potencial de economia de energia.

Figura 41- Motores Unidade Hidráulica



Fonte: Autor, (2018)

Para um melhor entendimento, foram relacionados todos os motores contidos na unidade hidráulica e suas respectivas funções, a fim de se conhecer melhor o papel desempenhado por cada motor.

1 motor de controle 13M2 – Responsável pelo acionamento dos blocos hidráulicos, são de grande importância, pois sem esses blocos nada funciona dentro da unidade.

3 motores de pressão 13M3, 13M4, 13M5 – Responsáveis em manter a pressão na linha, e por pressurizar o cilindro da prensa para prensar as chapas.

6 motores de enchimento 13M6, 13M7, 13M8, 13M9, 13M10, 13M11- Responsáveis por encher o circuito hidráulico, disponibilizam óleo ao acumulador para que o circuito fique pronto para operar.

2 motores do descarregador 13M12, 13M13 – Faz o descarregador subir e descer para deslocar a chapa até a serra.

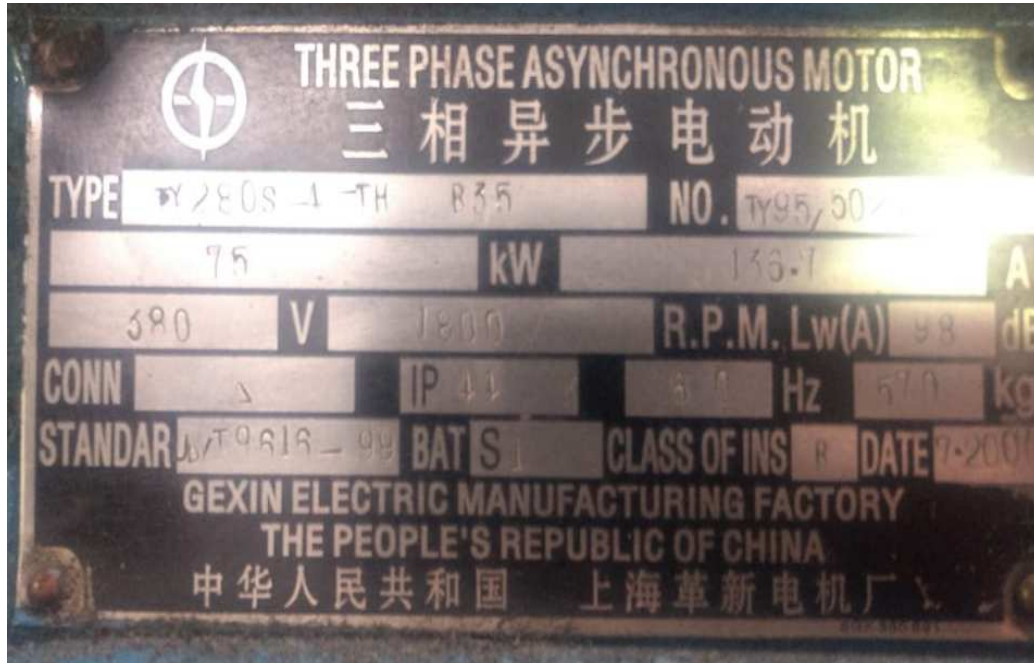
3 motores do carregador 13M14, 13M15, 13M16 – Responsáveis por fazer os colchões de fibra se deslocarem até os box da prensa.

6.3 Problema encontrado

Operam continuamente, porém alguns motores não tem a necessidade de ficarem ligados o tempo todo, pois são utilizados apenas para chegar até certas condições de pressão, ou enchimento. O correto seria ao atingir o valor de pressão desejado, com o auxílio de um inversor ou drive fazer com que esses motores fossem desligados, ou que ficassem ligados, mas utilizando somente o necessário para que a linha e o processo da unidade hidráulica fossem realmente consumir, fazendo com que se diminuíssem os desperdícios, esforços dos motores e conexões do circuito, aumentando assim a vida útil do sistema em geral, com o objetivo de alcançar uma economia e melhor custo benefício.

Motores unidade Hidráulica 380V

Figura 42- Dados de Placa motores unidade hidráulica



Fonte: Autor, (2018)

- **Tipo de partida:** Estrela / triângulo - O funcionamento da partida estrela triângulo é bem simples. Como já sabemos a sua principal função é reduzir o valor de sua corrente de pico no momento da partida, fazendo com que neste exato momento da partida o motor esteja em fechamento estrela e após um pequeno tempo os contatos irão comutar para o fechamento triângulo.

Tempo que está operando: 9 anos (com as manutenções periódicas)

Tempo de uso: 24 horas por dia

Quantidade de motores: 6 motores de enchimento - 75KW cada

3 motores do carregador; 3 motores de pressão - 30 KW cada

2 motores do descarregador, 1 motor de controle – 7,5KW cada

Dados coletados:

Tabela 10- Dados motores de Enchimento 75KW

| MOTOR BOMBAS DE ENCHIMENTO 75KW | |
|---------------------------------|------------------------|
| POTÊNCIA | 75 KW |
| MODELO | TY280S1TH B35 (CHINÊS) |
| Nº DE POLOS | 6 POLOS |
| RPM | 1185 |
| QUANTIDADE DE MOTORES | 6 |
| HORAS TRABALHADAS | 24 HORAS POR DIA |
| IDADE DO MOTOR | 9 ANOS |

Fonte: Autor, (2018)

Motor proposto: W22 IR3 Premium Trifásico

Valor: 38.668,98

Tabela 11- Cálculo de retorno financeiro para motores de 75 KW

| POTENCIAL DE ECONOMIA: 3,57% | ECONOMIA KW/ANO 25.604,15 kWh/ano | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------|
| CENÁRIO | CENÁRIO 1 | CENÁRIO 2 | CENÁRIO 3 |
| VALOR DE ENERGIA (R\$/ KWh) | 0,35 | 0,31 | 0,43 |
| Taxa interna de retorno (%) | 11,86% | 18,33% | 30,76, % |
| Valor presente líquido (R\$) | -R\$ 1.519,67 | R\$ 7.302 | R\$ 24.945 |
| PAYBACK (ANOS) | 6,04 | 4,87 | 3,51 |
| ECONOMIA (R\$ / ANO) | R\$ 6.401,00 | R\$ 7.937,00 | R\$ 11.099,00 |

Fonte: Autor, (2018)

Tabela 12- Dados motores do carregador / motor de pressão 30KW

| MOTOR BOMBAS DO CARREGADOR / DE PRESSÃO 30 KW | |
|-----------------------------------------------|------------------------|
| POTÊNCIA | 30 KW |
| MODELO | TY280S1TH B35 (CHINÊS) |
| Nº DE POLOS | 6 POLOS |
| RPM | 1180 |
| QUANTIDADE DE MOTORES | 6 |
| HORAS TRABALHADAS | 24 HORAS POR DIA |
| IDADE DO MOTOR | 9 ANOS |

Fonte: Autor, (2018)

Motor proposto: W22 IR3 Premium Trifásico

Valor: 17.238,38

Tabela 13- Cálculo de retorno financeiro para motores de 30 KW

| CÁLCULO DE RETORNO FINANCEIRO | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|--------------|--------------|
| POTENCIAL DE ECONOMIA: 3,60% | ECONOMIA KW/ANO 25.604,15 kWh/ano | | |
| CENÁRIO | CENÁRIO 1 | CENÁRIO 2 | CENÁRIO 3 |
| VALOR DE ENERGIA (R\$ / KWh) | 0,25 | 0,31 | 0,43 |
| TIR (%) | 9,48% | 15,52% | 26,99% |
| VLP (R\$) | -R\$ 2.072,00 | R\$ 1.525 | R\$ 8.720 |
| PAYBACK (ANOS) | 6,6 | 5,33 | 3,84 |
| ECONOMIA (R\$ / ANO) | R\$ 2.610,00 | R\$ 3.237,00 | R\$ 4.490,00 |

Fonte: Autor, (2018)

Tabela 14- Dados motor do descarregador / motor de controle de 7,5 KW

| MOTOR BOMBAS DE ENCHIMENTO 7,5 KW | |
|-----------------------------------|------------------------|
| POTÊNCIA | 7,5 KW |
| MODELO | TY280S1TH B35 (CHINÊS) |
| Nº DE POLOS | 4 POLOS |
| RPM | 1765 |
| QUANTIDADE DE MOTORES | 3 |
| HORAS TRABALHADAS | 24 HORAS POR DIA |
| IDADE DO MOTOR | 9 ANOS |

Fonte: Autor, (2018)

Motor proposto: W22 IR3 Premium Trifásico

Valor: 3.222,81

Tabela 15- Cálculo de retorno financeiro para motores de 7,5 KV

| CÁLCULO DE RETORNO FINANCEIRO | | | |
|-------------------------------|----------------------------------|------------|--------------|
| POTENCIAL DE ECONOMIA: 3,69% | ECONOMIA KW/ANO 2.733,42 kWh/ano | | |
| CENÁRIO | CENÁRIO 1 | CENÁRIO 2 | CENÁRIO 3 |
| VALOR DE ENERGIA (R\$/ KWh) | 0,25 | 0,31 | 0,43 |
| TIR (%) | 19,40% | 27,37% | 43,35% |
| VLP (R\$) | R\$ 733,96 | R\$ 1.676 | R\$ 3.559 |
| PAYBACK (ANOS) | 4,72 | 3,8 | 2,74 |
| ECONOMIA (R\$ / ANO) | R\$ 683,36 | R\$ 847,36 | R\$ 1.175,37 |

Fonte: Autor, (2018)

Para os respectivos motores foram propostas as seguintes soluções.

Tabela 16- Solução proposta a motores de 75 KW

| SOLUÇÃO PROPOSTA MOTORES 75 KW | |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Inversor | MODELO: CFW701 |
| Aplicação | Bomba centrífuga [Inversor de Frequência x Válvula] |
| Rendimento | 95% |
| Valor do KWh | R\$ 0,19 |
| Valor do inversor | R\$ 20.641,93 |

Fonte: Weg (2018)

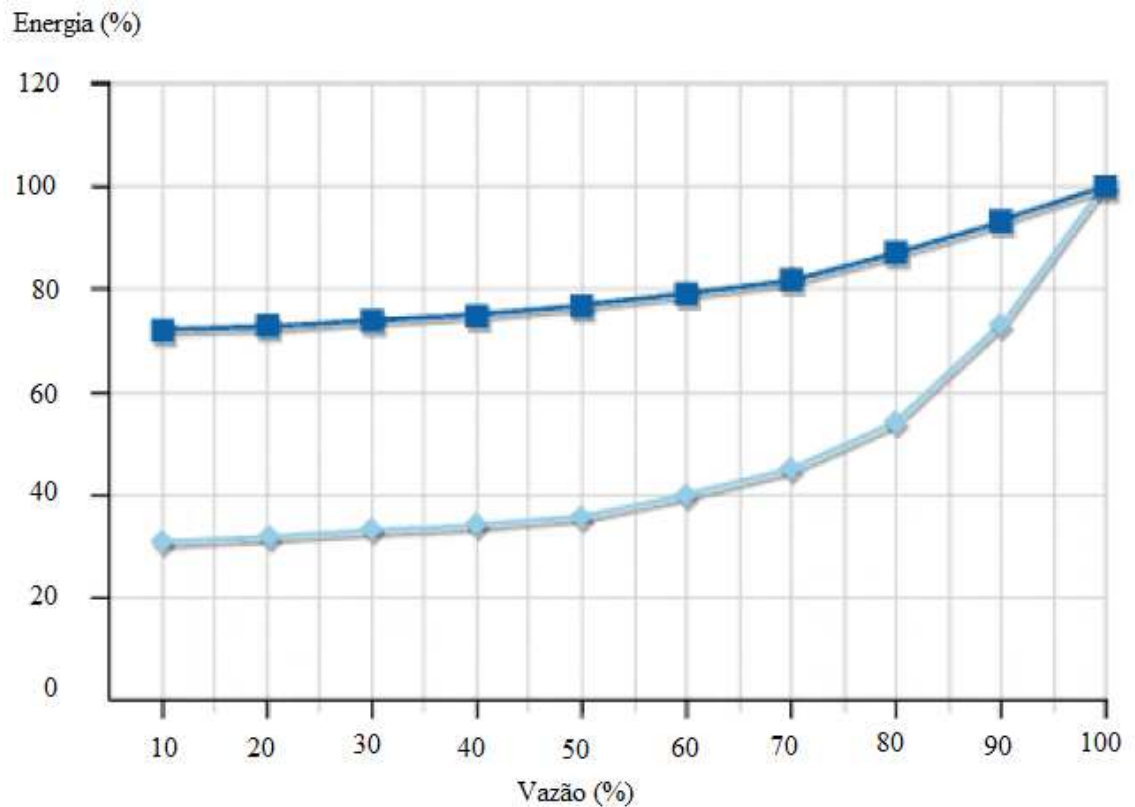
Segundo dados coletados em campo, tanto os motores de 75KW, 30KW, E 7,5 KW necessitam utilizar sua capacidade nominal durante 30% do tempo durante o dia, sendo que durante 70% do dia poderíamos usar esses motores em standby, para isso se propôs o uso do inversor para fazer esse controle, chegando aos resultados abaixo:

Tabela 17- Economia utilizando inversor de frequência CFW701 para motores de 75KW

| | |
|-----------------------|-----------|
| Economia Anual em KWh | 189.032 |
| Economia Anual em R\$ | 35.916,00 |
| <i>Payback</i> | 7 meses |

Fonte: Weg (2018)

Figura 43- Sistema atual x Sistema proposto



SISTEMA ATUAL / SISTEMA PROPOSTO COM INVERSOR CFW 701

Fonte: Weg (2018)

Conforme o gráfico da figura 43, podemos observar que o sistema proposto controla melhor a vazão em função do tempo de utilização, fazendo com que seja mais viável energética e economicamente.

Tabela 18- Solução proposta a motores de 30 KW

| SOLUÇÃO PROPOSTA MOTORES 30 KW | |
|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Inversor | MODELO: CFW701 |
| Aplicação | Bomba Centrífuga [Inversor de Frequência x Válvula] |
| Rendimento | 95% |
| Valor do KWh | R\$ 0,19 |
| Valor do inversor | R\$ 8.297,72 |

Fonte: Weg (2018)

Tabela 19- Economia utilizando inversor de frequência CFW701 para motores de 30KW

| | |
|-----------------------|-----------|
| Economia Anual em KWh | 75.613 |
| Economia Anual em R\$ | 14.366,40 |
| <i>Payback</i> | 7 meses |

Fonte: Weg (2018)

Tabela 20- Solução proposta aos motores de 7,5 KW

| SOLUÇÃO PROPOSTA MOTORES 7,5 KW | |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Inversor | MODELO: CFW701 |
| Aplicação | Bomba Centrífuga [Inversor de Frequência x Válvula] |
| Rendimento | 95% |
| Valor do KWh | R\$ 0,19 |
| Valor do inversor | R\$ 3.241,06 |

Fonte: Weg (2018)

Tabela 21- Economia utilizando inversor de frequência CFW701 para motores de 7,5 KW

| | |
|-----------------------|----------|
| Economia Anual em KWh | 18.903 |
| Economia Anual em R\$ | 3.591,60 |
| <i>Payback</i> | 11 meses |

Fonte: Weg (2018)

Após todos os dados coletados, analisados, e feita a proposta de melhoria do grupo de motores, se faz necessário evidenciarmos o custo mensal pago pela energia na planta fabril da SUDATI PAINÉIS, para um melhor entendimento nas conclusões dos resultados obtidos.

Tabela 22- Custo da energia elétrica no mês Agosto (Sudati Painéis)

| Energia Elétrica (Celesc/Tradener/Engie) | |
|------------------------------------------|--------------------------|
| Produção (Agosto 2018) | 18.224,85 m ³ |
| Consumo | 4001830,1 Kw/ h |
| Custo kWh | R\$ 707.280,43 |

Fonte: Weg (2018)

6.4 Resultados Obtidos

Após todos os estudos e dados coletados em campo na empresa SUDATI PAINÉIS, chegamos aos resultados abaixo.

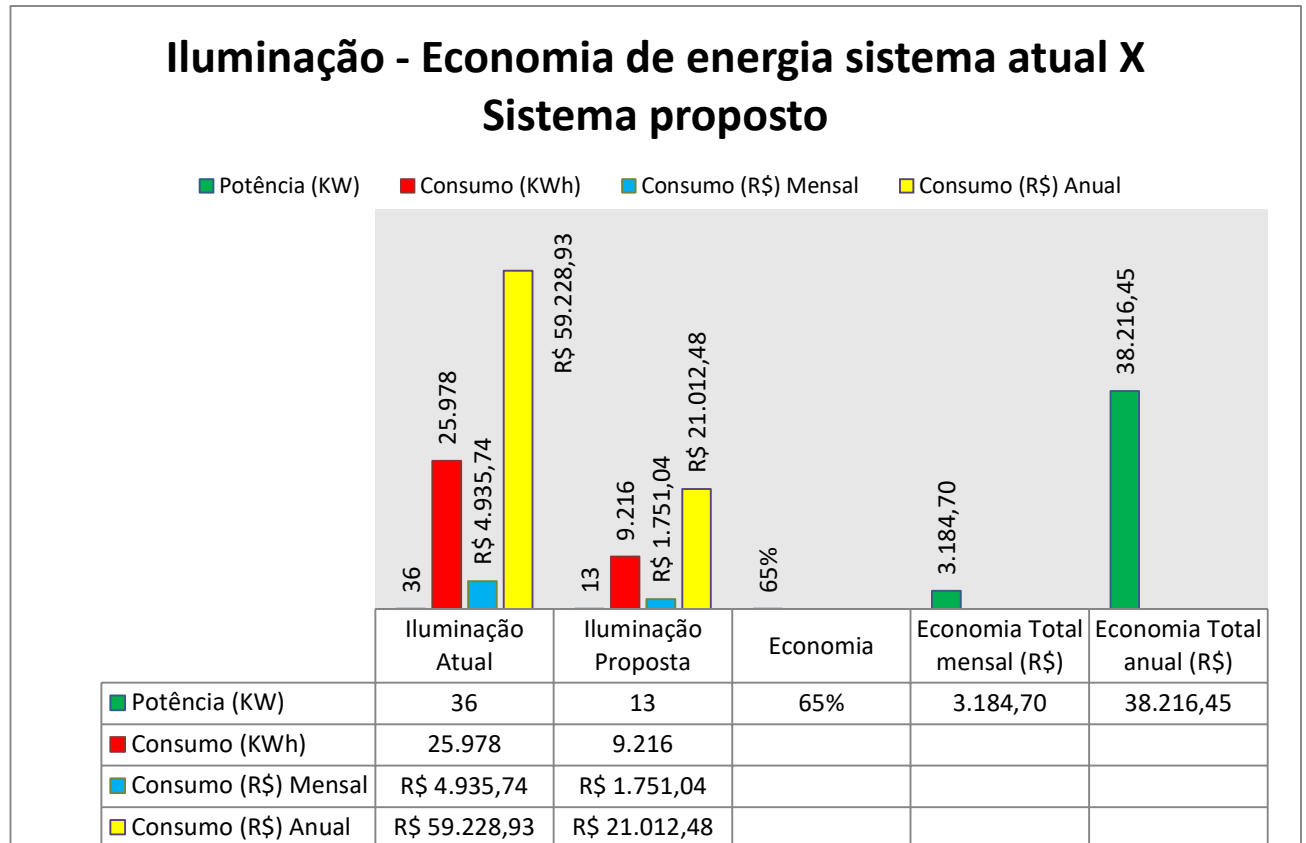
ILUMINAÇÃO

Tabela 23- Custos atuais do sistema instalado X Custos do sistema proposto

| Situação | Atual - Lâmpada 400W | Proposta LED-TFORCE |
|---------------------------------|----------------------|---------------------|
| Nível de Iluminação médio | 250lx | 300lx |
| Quantidade de luminária | 82 | 80 |
| Potência instalada (KW) | 36,08KW | 12,80 KW |
| Economia de Potência | - | 65% |
| Vida útil | 28 Meses | 35 Meses |
| Consumo anual energia (R\$) | R\$ 59.228,93 | R\$ 21.012,48 |
| Economia Anual de energia (R\$) | - | R\$ 38.216,45 |
| Gasto anual de Manutenção (R\$) | R\$ 9.068,54 | - |
| Economia Anual (R\$) | - | R\$ 47.284,99 |
| Investimento (R\$) | - | R\$ 42.357,60 |
| PayBack (Meses) | - | 11 Meses |

Fonte: Dimensional (2018)

Figura 44- Resultados obtidos no estudo do sistema de iluminação atual x iluminação proposto

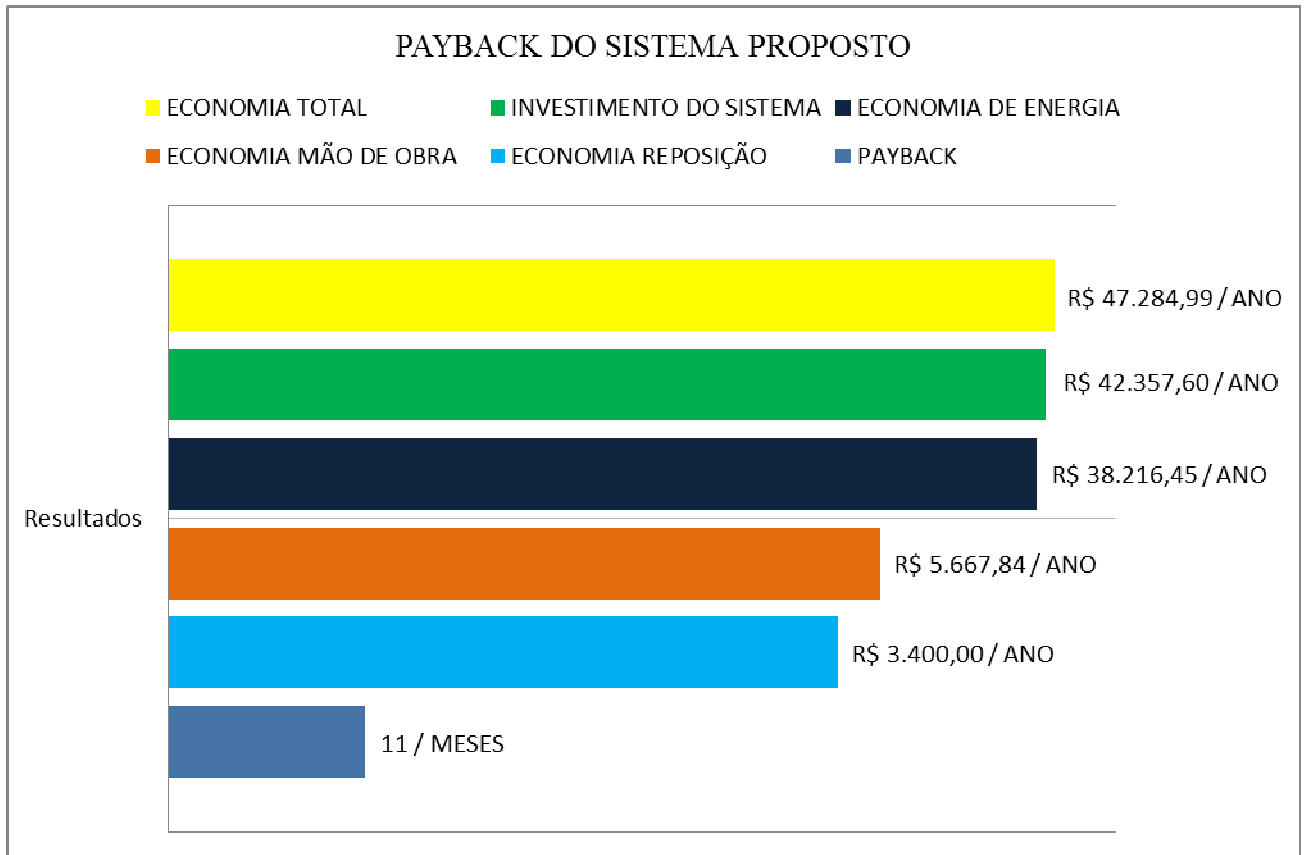


Fonte: Autor, (2018)

Tabela 24- Pay back sistema proposto

| <i>PAY BACK</i> | |
|---------------------------|-----------------|
| INVESTIMENTO NO SISTEMA | R\$ 42.357,60 |
| ECONOMIA DE ENERGIA | R\$ 38.216,45 |
| ECONOMIA DE REPOSIÇÃO | R\$ 3.400,70 |
| ECONOMIA DE MÃO DE OBRA | R\$ 5.667,84 |
| ECONOMIA TOTAL | R\$ 47.284,99 |
| <i>PAY BACK (MESES)</i> | 11 MESES |

Fonte: Dimensional (2018)

Figura 45- Retorno financeiro sistema de iluminação

Fonte: Autor, (2018)

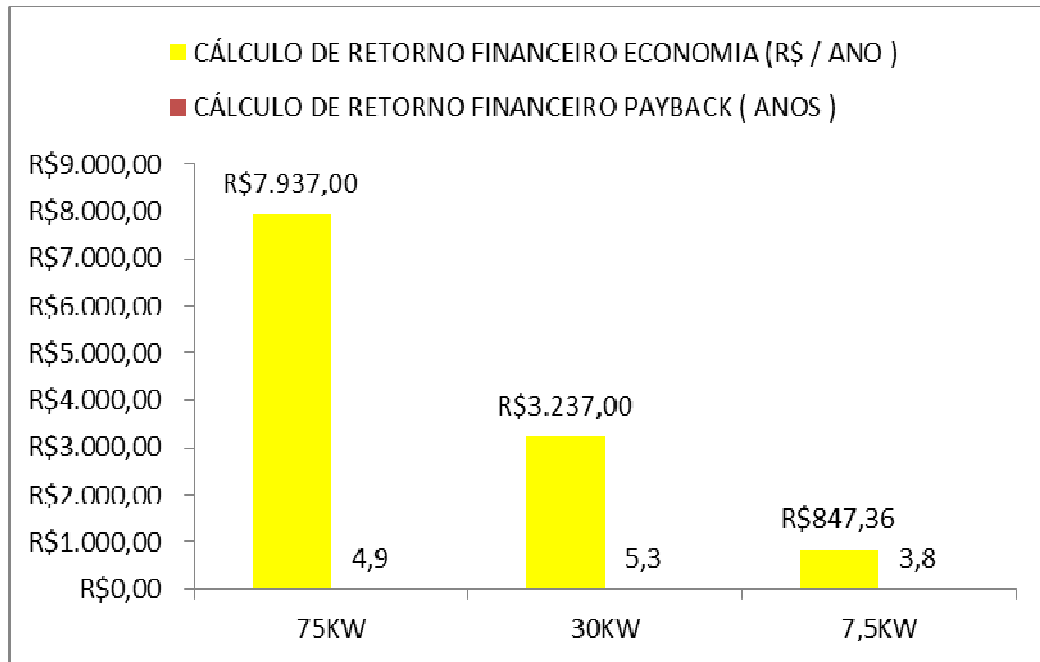
Após os resultados encontrados na parte da iluminação, vamos observar os resultados encontrados no estudo de motores, para as devidas conclusões.

MOTORES

Tabela 25- Retorno financeiro para troca de motores

| CÁLCULO DE RETORNO FINANCEIRO PARA TROCA DE MOTORES | | |
|-----------------------------------------------------|----------------------|----------------|
| MOTOR | ECONOMIA (R\$ / ANO) | PAYBACK (ANOS) |
| 75KW | R\$ 7.937,00 | 4,9 |
| 30KW | R\$ 3.237,00 | 5,3 |
| 7,5KW | R\$ 847,36 | 3,8 |

Fonte: Autor, (2018)

Figura 46- Retorno financeiro para troca de motores

Fonte: Autor, (2018)

Importante salientar que tanto a tabela, como o gráfico tem como base de cálculo 1 motor de cada potência.

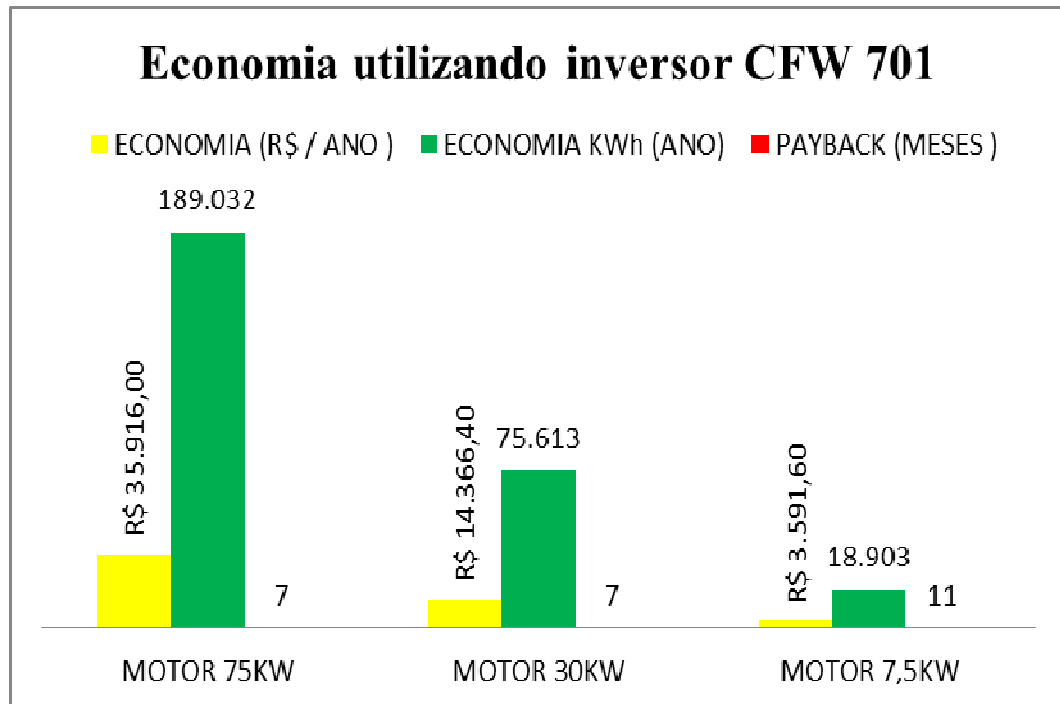
Conforme já mencionado no tópico 6.3 o maior problema encontrado na unidade hidráulica é que esses motores operam continuamente, porém alguns motores não tem a necessidade de ficarem ligados o tempo todo, pois são utilizados apenas para chegar até certas condições de pressão, ou enchimento. A melhor opção para o problema em questão foi pela escolha do inversor CFW 701 WEG para fazer o controle do tempo em que os motores devem operar com sua capacidade nominal, e o quanto podem ficar em standby by

Tabela 26- Economia utilizando inversor CFW 701

| | Economia Utilizando inversor de frequência CFW 701 | | |
|-----------------------|----------------------------------------------------|---------------|--------------|
| | MOTOR 75KW | MOTOR 30KW | MOTOR 7,5KW |
| ECONOMIA (R\$ / ANO) | R\$ 35.916,00 | R\$ 14.366,40 | R\$ 3.591,60 |
| ECONOMIA KWh (ANO) | 189.032 | 75.613 | 18.903 |
| PAYBACK (MESES) | 7 | 7 | 11 |

Fonte: Autor, (2018)

Figura 47- Economia utilizando Inversor CFW 707



Fonte: Autor, (2018)

Podemos observar que somente com a troca dos motores antigos por motores de alta eficiência temos uma economia, porém o tempo de retorno do investimento não é muito atrativo se considerarmos a troca de todos os motores de uma só vez. Deste modo se fez necessário o estudo da solução com a implementação do Inversor CFW 701 da WEG, que conforme resultados já apresentados traz uma economia significativa em questão financeira, e de economia em KWh com um retorno muito atrativo no valor de investimento, fazendo assim com que esse estudo de caso seja economicamente viável e energeticamente eficiente.

7 CONCLUSÕES

Com o passar dos anos observamos que a demanda por energia vem crescendo, desta forma surgiu à necessidade de obter maior aproveitamento da energia já produzida. Entender o comportamento e as formas de consumo de energia pela sociedade, na indústria, é de fundamental importância para que os consumidores saibam como podem melhorar seu consumo, fazendo com que se tornem cada vez mais interessados em aprimorar o rendimento energético de suas instalações elétricas. No ano de 2001, quando veio a público a crise do setor elétrico, onde se fez crescer em todo o país o sentimento de economia desta fonte, vivenciamos as dificuldades que a falta da energia traz a sociedade em geral.

Desde então surgiu a necessidade de um sistema elétrico confiável a fim de diminuir as perdas, fazendo com que fossem intensificadas as ações de eficiência energética na geração, distribuição e no consumo final. Apesar das dificuldades encontradas na implantação do conceito de eficiência energética nas indústrias, pelo fato de não ser uma prioridade de investimento, observamos que ao passar dos anos vem se ganhando mais espaço devido aos incentivos e resultados obtidos em projetos já concluídos, e a tendência aponta para um crescimento nessa área de atuação onde o objetivo maior é se fazer mais, com os recursos adequados, evitando desperdícios.

Com todas as informações levantadas em campo foi possível uma análise da atual eficiência energética tanto da iluminação, quanto dos motores da unidade hidráulica. No estudo da iluminação chegamos a conclusão que com a lâmpada atual se tem um consumo de 25.978 KWh, com um custo anual de R\$ 59.228,93. Já com a lâmpada Tforce Philips proposta neste estudo teríamos um consumo de 9.216 KWh, com um custo anual de R\$ 21.012,48 e com uma vida útil de 7 meses a mais do que a lâmpada atual instalada. Para a implantação do sistema proposto seria necessário o investimento no valor de R\$42.357,60 com um retorno do capital investido (*payback*) de 11 meses, com uma economia de 65% de energia.

No estudo dos motores chegamos á conclusão de que somente com a troca dos motores instalados por motores de alta eficiência não é tão atrativo devido ao tempo de retorno do capital investido (*payback*) que varia de 3,8 a 5,3 anos, apesar de se apresentar economia. Com isso se fez necessário um estudo com inversor de frequência CFW 701 da WEG, tanto para melhorar a eficiência do grupo de motores, quanto para apresentar uma solução para o problema de controle do tempo em que os motores necessitam trabalhar em sua corrente nominal, e o tempo em que podem ficar em standy by, fazendo assim com que se tenha economia.

Para os motores de 75KW teríamos uma economia anual de R\$ 35.916 e 189.032 KWh. Para a implantação do sistema proposto seria necessário o investimento no valor de R\$20.641,93, com um retorno do capital investido (*payback*) de 7 meses.

Para os motores de 30KW teríamos uma economia anual de R\$ 14.366 e 75.613 KWh. Para a implantação do sistema proposto seria necessário o investimento no valor de R\$ 8.297,72, com um retorno do capital investido (*payback*) de 7 meses.

Para os motores de 7,5KW teríamos uma economia anual de R\$ 3.591 e 18.903 KWh. Para a implantação do sistema proposto seria necessário o investimento no valor de R\$3.241,06, com um retorno do capital investido (*payback*) de 11 meses

Na soma de todo o grupo de motores com a implantação do sistema proposto com o inversor de frequência CFW 701, teríamos uma economia anual de R\$ 53.874, 283,548 KWh. Para a implantação do sistema proposto seria necessário o investimento no valor de R\$32.180,71, com um retorno do capital investido (*payback*) de 11 meses.

Podemos afirmar que no presente estudo de caso de viabilidade econômica, tanto a parte de iluminação quanto os motores da unidade hidráulica apresentaram grande potencial de economia, tanto financeiramente quanto em energia (KWh), cabe agora a empresa a análise de prioridade de investimento, tendo em mãos todos os valores de economia, valor necessário para investimentos e tempo de retorno. Com o presente estudo tivemos a oportunidade de agregar muitos conhecimentos direcionados ao estudo da eficiência energética, do contato direto com a indústria, empresas parceiras, e com os desafios encontrados para a implementação de um projeto direcionado a eficiência, e com toda certeza é uma área com enorme potencial de melhoria e qualidade de vida para a sociedade em geral.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANNEL (1999). **Agência Nacional de Energia Elétrica Relatório Síntese dos Programas de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica**. Ciclo 1999/2000. Brasília, DF.

CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de avaliação de eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2008. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

DIAS, Rubens Alves et AL. **Conservação de energia: conceitos e sociedade**. Disponível em: <WWW.nepet.ufsc.br/Artigos/Texto/Com_em.htm>. Acesso em: 19 set. 2018

FUPAI. **Conservação de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos**. Itajubá: FUPAI, 2001. 467 p.

JANNUZZI, Gilberto de Martino. **A conservação e uso eficiente de energia no Brasil**. Disponível em: <WWW.fem.unicamp.br>. Acesso em: 01 nov. 2018

CNI – “Confederação Nacional da Indústria”. **Eficiência energética: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional**. Disponível em: <[HTTP://www.cni.org.br/portal/data/files/FF808081234E24EA0123627A07156F8E/Eficiencia.pdf](http://www.cni.org.br/portal/data/files/FF808081234E24EA0123627A07156F8E/Eficiencia.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2018

MAMMEDE, João. **“Economia de energia elétrica na indústria e comércio”**. Mundo Elétrico, São Paulo, n. 344, jun. 1988, PP. 51-55.

PROCEL - Programa Nacional de conservação de Energia Elétrica. **“Manual de conservação de energia elétrica”** – CICE. ELETROBRÁS, 16 p.

SILVA, Alex. **Controle dosagem de resina para produção de MDF**. 2016. 42 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Contestado, Curitiba, 2016.

WEG. **Eficiência energética em motores elétricos**. Disponível em: <[HTTP://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-eficiencia-energetica-em-motores-eletricos-wmo029-estudo-de-caso-portugues-br.pdf](http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-eficiencia-energetica-em-motores-eletricos-wmo029-estudo-de-caso-portugues-br.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2018

ORTEGA, B. G. P. **Propostas para regulação da eficiência energética nos sistemas elétricos de consumidores**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Regulação da Indústria de Energia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Salvador, Salvador.

PANESI, A. R. Q. **Fundamentos de Eficiência Energética**. São Paulo: Ensino Profissional, 2006.

WEG. **A história do motor elétrico que você precisa conhecer**. Disponível em: <<http://museuweg.net/blog/a-historia-do-motor-eletrico/>>. Acesso em: 08 set. 2018

FREITAS, Paula Campos Fadul de. **Luminotécnica e lâmpadas elétricas**. 2016. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

GARCIA, Agenor Gomes Pinto. **Impacto da lei de eficiência energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia na indústria**. 2003. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

CAMPOS, Érick Thomas de Sousa. **Luminosidade, cores e fotometria**. 2017. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Ciências Naturais, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

SALOMÃO, Thais Mazziotti. **Eficiência energética: projetos luminotécnicos em plantas industriais**. 2010. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

VIANA, Augusto Nelson Carvalho et al. **Eficiência energética: Fundamentos e aplicações**. Campinas: ANNEL, 2012. 315 p.

PROCEL. **Eficiência energética na indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional**. Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_24/2012/09/05/220/20121126132514523849i.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2018

SANTOS, Eduardo Aparecido Franco José dos et al. **Princípio de funcionamento de motores de indução trifásicos**. Disponível em: <http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_13704maquinas_pyonto_pdf_MAQUINAS_PRONTO.pdf>. Acesso em: 20 set. 2018

PROCEL, Programa Nacional de Conservação de Energia. **Resultados PROCEL 2018**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2018/docs/Procel_rel_2018_web.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018

LUZ, Jeanine Marchiori da. **Luminotécnica**. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2018

WEG. **Industria mais eficiente**. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h8b/h57/WEG-industria-eficiente-estudo-de-caso-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2018.

MENDES, Álvaro, **Estudo de viabilidade econômica iluminação**. 2018. 10 f. Documento - Dimensional Brasil, Limeira, 2018.

MENDES, Álvaro, **Estudo de viabilidade econômica motores**. 2018. 7 f. Documento - Dimensional Brasil, Limeira, 2018.