

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ADRIANO RAUL FASOLO

**PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL
PRIORIZANDO O CONSUMO DESAGREGADO NO DIAGNÓSTICO
ENERGÉTICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2011

ADRIANO RAUL FASOLO

**PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA INDUSTRIAL
PRIORIZANDO O CONSUMO DESAGREGADO NO DIAGNÓSTICO
ENERGÉTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica da Coordenação de Engenharia Elétrica – COELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. M.Sc César Augusto Portolann.

PATO BRANCO

2011

À meus pais Elço e Ivanete Fasolo, pelo apoio e incentivo na minha formação.

À minha irmã Adrila pelo apoio e confiança depositados em mim neste período.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado o dom da vida, ter me guiado e iluminado nessa jornada.

Agradeço especialmente a meus pais, Elço e Ivanete Fasolo, que foram a base de tudo, apoiando-me nas horas difíceis, acreditando em mim, ensinando-me a persistir em meus objetivos.

À minha irmã Adrila, que me apoiou e sempre acreditou na realização deste sonho de ser Engenheiro Eletricista.

À minha namorada Juciele, que soube entender os momentos difíceis e que sempre esteve ao meu lado.

Agradeço ao professor orientador Cesar Augusto Portolann por todo o incentivo e dedicação na realização e pesquisa deste trabalho.

Agradeço também aos meus amigos, pelo convívio e amizade conquistados durante a graduação.

”Os engenheiros usam a ciência para resolver seus problemas se esta estiver disponível; porém com a ciência disponível ou não, o problema deve ser resolvido, e qualquer forma que a solução tome sob estas condições chama-se engenharia”

Joseph E. Shigley

”Se um homem tem um talento e não tem capacidade de usá-lo, ele fracassou. Se ele tem um talento e usa somente a metade deste, ele fracassou parcialmente. Se ele tem um talento e de certa forma aprende a usá-lo em sua totalidade, ele triunfou gloriosamente e obteve uma satisfação e um triunfo que poucos homens conhecerão.”

Thomas Wolfe

RESUMO

FASOLO, Adriano Raul. Programa de eficiência energética industrial priorizando o consumo desagregado no diagnóstico energético. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Elétrica da Con Coordenação de Engenharia Elétrica – COELT, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2011.

Este trabalho consiste na elaboração de um programa de eficiência energética, onde o diagnóstico energético (auditoria ou levantamento de potenciais de eficiência energética), foi efetuado utilizando o método do consumo desagregado em usos finais e também outros métodos genéricos de diagnóstico. Uma breve discussão sobre a eficiência energética, bem como o seu histórico e medidas que compõem a eficiência energética, são discutidas já nos primeiros itens do trabalho. A elaboração desta auditoria consistiu na parceria com uma empresa do setor gráfico do sudoeste do Paraná, onde pode-se estudar e fazer um levantamento das oportunidades de eficiência energética e posteriormente a viabilidade de implantação das propostas. Na sequência, são apresentadas as maneiras com que as ações foram implantadas (todas em conformidade e consentimento da empresa) e os resultados do estudo, seguido de um panorama com os resultados obtidos com a implantação do programa de eficiência energética e a contribuição, no âmbito social da empresa.

Palavras-chave: Consumidor industrial, consumo desagregado, fator de carga, período de ponta, programa de eficiência energética.

ABSTRACT

FASOLO, Adriano Raul. Programa de eficiência energética industrial priorizando o consumo desagregado no diagnóstico energético. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Elétrica da Coordenação de Engenharia Elétrica – COELT, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2011.

This work is the development of an energy efficiency program, where the energy diagnosis (or audit of potential energy efficiency), was performed using the method of consumption disaggregated into end uses well as other generic methods of diagnosis. A brief discussion on energy efficiency, as well as its historical and measures that make energy efficiency are discussed within the first items of work. The preparation of this audit was in partnership with a company in the graphic southwest of Paraná, where you can study and assess opportunities for energy efficiency and further the feasibility of implementation of proposals. Following are shown the ways in which actions were implemented (all in accordance with and consent of the company) and the results of the study, followed by an overview of the results obtained with the implementation of energy efficiency program and contribution, in the social the company.

Keywords: Consumer industrial disaggregated consumption, peaks periods, energy efficiency program.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO.....	12
2.1 ESTADO DA ARTE DO ASSUNTO	12
2.1.1 Eficiência Energética.....	12
2.1.2 Programa de eficiência energética	12
2.1.3 Diagnóstico de eficiência energética	13
2.1.3.1 Identificação de potencial de eficiência energética com base no consumo desagregado em usos finais.....	14
2.1.3.2 Exemplo de determinação do potencial de conservação, com consumo desagregado	14
2.2 FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	15
2.2.1 Consumidor do Grupo A.....	16
2.2.2 Consumidor do Grupo B.....	17
2.2.3 O fator de carga (FC)	17
2.2.4 Enquadramento tarifário	17
2.3 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO	19
2.3 METODOLOGIA APLICADA	20
3. ESTUDO DE CASO – DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO E MEDIDAS DE APLICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	22
3.1 DEMANDA vs. CONSUMO DE ENERGIA	25
3.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	27
3.3 MOTOR DE ALTO RENDIMENTO.....	27
4. RESULTADOS DO DIAGNÓSTICO	28
5. IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	28
5.1 REDUÇÃO DA DEMANDA CONTRATADA	28
5.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	29

5.3 APLICAÇÃO DE MOTOR DE ALTO RENDIMENTO	36
6. RESULTADOS E DISCUSSAO	37
7. CONCLUSÃO	40
8. REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a eficiência energética, particularmente com o uso racional da energia elétrica, tem tomado grandes proporções no cenário mundial. Com a crise do petróleo na década de 70, várias iniciativas para viabilizar o uso de energia elétrica e novas fontes de energia foram sendo criadas. Com o avanço do setor tecnológico e as comodidades do ser humano cada vez maior, as fontes de energia alternativas não estariam suprindo a real necessidade de energia. Além disso, o uso desenfreado e o desperdício se agravaram depois do racionamento de energia ocorrido em 2001 em nosso país. Desde então, o termo conservação de energia ou eficiência energética, fez parte do vocabulário nacional, de modo mais intensivo. Estes conceitos se evidenciaram, a ponto de o próprio governo federal tomar medidas de incentivo, para que as indústrias intensifiquem o uso consciente da energia elétrica.

O Governo Federal, como agente orientador e regulador, possui um papel relevante no setor energético. As ações governamentais são operacionalizadas através dos Ministérios. São analisados os estudos desenvolvidos pelo Ministério das Minas e Energia e pelo Ministério da Ciência e Tecnologia. Tais trabalhos são criteriosos e fornecem subsídios importantes para a compreensão da conjuntura nacional. Eles têm caráter oficial. Fazem uso de sofisticadas técnicas de modelagem e painéis de especialistas. No plano político o Governo Federal tem conseguido, junto ao Congresso Nacional, aprovar Leis importantes para o setor energético. (SOLA e KOVALESKI, 2004)

A sociedade moderna vive sobre um modelo econômico fortemente apoiado no uso da energia. Sob vários aspectos, os principais índices de desenvolvimento humano estão relacionados com os níveis de consumo per capita. Pesquisas revelam que 75% da população mundial situa-se abaixo da média de consumo energético dos países desenvolvidos (GOLDEMBERG, 1998).

Isso indica que os países mais desenvolvidos consomem mais energia do que os países subdesenvolvidos, causando um desequilíbrio no consumo energético mundial.

No Brasil, bem como em outros países, verifica-se um consumo de energia elétrica (EE), que cresce a uma taxa maior do que aquela de investimentos na geração, transmissão e distribuição, o que pode conduzir a problemas de fornecimento, principalmente no horário de ponta da curva de carga. Os novos investimentos necessários na geração e rede, apresentam custo e tempo de retorno de investimento grande, em comparação com muitas alternativas de eficiência energética (ALVAREZ, 1998).

As indústrias consomem quase a metade da energia elétrica produzida no país e fabricam bens que consomem energia. Isso faz desse segmento o objeto do estudo aqui desenvolvido. São verificadas, junto às indústrias, ações de eficiência energética com relação aos programas de conscientização, de gestão energética e utilização de tecnologias energeticamente eficientes. (SOLA e KOVALESKI, 2004)

Assim, para atender essa demanda futura, ou se incrementa a geração ou se passa a utilizar a energia elétrica cada vez mais de modo mais racional (Venceslau, 2007). Os noticiários frequentemente mostram as dificuldades em se implementar novos parques geradores, e programas de eficiência energética sempre são importantes.

Para as Indústrias, o uso mais eficiente da energia elétrica, diminui ou adia a necessidade de investimentos para ampliação de instalações, ou de geração/aquisição de energia alternativa, para atender o crescimento da demanda, ajudando manter a sua receita. O uso eficiente de energia elétrica significa usá-la de modo mais racional, aplicando todos os recursos técnicos disponíveis para obter o máximo de trabalho, com o menor consumo (Venceslau, 2007).

Para a implantação de programas de eficiência energética é indispensável o diagnóstico energético, onde em geral são realizadas medidas e monitoramentos para se identificar as oportunidades de ações para uso otimizado da energia elétrica. Os diagnósticos clássicos fazem uso de análise de contas de energia elétrica e medições de grandezas elétricas, tais como tensão, corrente, potência, fator de potência, e energia.

No sentido de oferecer alternativas para o diagnóstico clássico, ou até mesmo complementá-lo, é discutido neste trabalho, o modelo de consumo desagregado em usos finais. Essa forma de diagnóstico permite um conhecimento particularizado de cada tipo de carga, proporcionando oportunidades de ações específicas, para a melhoria da eficiência energética.

2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

2.1 ESTADO DA ARTE DO ASSUNTO

2.1.1 Eficiência Energética

A eficiência energética industrial é caracterizada pela realização de máximo trabalho, com o menor consumo. Isso pressupõe o uso criterioso de todos os recursos, em todos os instantes. Assim, qualquer iniciativa que vá ao encontro dessa afirmação, pode ser rotulada de ação de eficiência energética. Na indústria, existem diversas oportunidades de eficiência energética, como por exemplo, redução de perdas em condutores elétricos e transformadores; estancamento de vazamentos de ar comprimido; redução de perda de carga em sistemas de ventilação forçada e sequenciamento de partida de motores. Formalmente, eficiência energética pode ser definida como segue.

O conceito de eficiência energética é baseado no melhor aproveitamento da energia elétrica e no combate ao desperdício, para assim evitar/diminuir o ritmo do necessário aumento de capacidade do sistema elétrico, mitigando desta forma os impactos ambientais associados e preservando, na medida do possível, os recursos naturais. Combatendo o desperdício e utilizando energia de maneira mais consciente é possível reduzir a quantidade de recursos utilizados, além de trazer economia individual para cada setor consumidor (USO RACIONAL & CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – UFSC).

2.1.2 Programa de eficiência energética

A eficiência energética geralmente é obtida de forma mais eficaz, quando se tem para isso, um programa bem elaborado, onde estejam definidas as seguintes questões:

- ✓ Quais as ações a serem implementadas?
- ✓ Porque as ações devem ser implementadas?
- ✓ Como cada ação destas será implementada?
- ✓ Como cada ação destas será examinada, para certificar a sua eficácia?

- ✓ Quem será o responsável por cada uma das ações?
- ✓ Qual o custo de implementação de cada ação?
- ✓ O estudo econômico indica a viabilidade de cada ação?

Também, o programa deve seguir um cronograma de atividades. Dentre vários programas de eficiência energética, os que são comumente utilizados nas indústrias são:

- Correção do baixo fator de potência;
- Diminuição da cobrança de excedentes reativos;
- Determinação da demanda medida e contratada.

Ao se determinar qual programa deve ser implantado, se deve tomar medidas administrativas dentro da empresa e medidas técnicas para reduzir os gastos com energia elétrica e promover o uso eficiente da energia elétrica.

2.1.3 Diagnóstico de eficiência energética

A etapa imprescindível antes da elaboração de um programa de eficiência energética, é a identificação de potenciais oportunidades de ações, ou diagnóstico energético. Ele vem a ser o trabalho que justamente vai apontar as deficiências da instalação elétrica, no que diz respeito à conservação de energia; e conseqüentemente as oportunidades de se implantar ações de melhoria de eficiência energética. O referido diagnóstico tem por objetivos:

- Estabelecer quais cargas, equipamentos ou partes da instalação elétrica são passíveis de intervenção, no sentido de melhorar a eficiência;
- Estabelecer quais os dispositivos ou ações que são mais apropriados para melhorar a eficiência em cada carga passível de intervenção;
- Estimar montantes de redução de demanda no período de ponta;
- Estimar montantes de economia de energia;
- Estimar a redução de custos com as prováveis ações a serem implementadas;
- Estimar o tempo de retorno do investimento.

2.1.3.1 Identificação de potencial de eficiência energética com base no consumo desagregado em usos finais

A metodologia utilizada para determinar o potencial de redução de demanda na ponta, com base no consumo desagregado, é diferente para cada carga ou equipamento presente na instalação. Os procedimentos de cálculo geralmente fornecem valores percentuais, do potencial de conservação de um aparelho, onde para determinar este percentual em termos de energia (KWh) ou de custos (R\$), é necessário conhecer o consumo individual de cada aparelho. Dessa forma, a desagregação do consumo total nos diversos aparelhos, facilita a determinação precisa do potencial total da instalação.

Existem várias maneiras de desagregar o consumo total em consumos por aparelhos ou cargas. A medição direta dos circuitos de alimentação de cada aparelho fornece resultados com a máxima precisão possível. Algumas instalações não possuem circuitos de alimentação independentes, por exemplo, para a iluminação e de ar comprimido, tornando difícil na prática segmentar a medição por aparelhos. Nestes casos, a desagregação poderá ser realizada de forma alternativa, mas que mantenha a fidelidade, como por exemplo, através dos fatores de carga e de demanda dos aparelhos.

2.1.3.2 Exemplo de determinação do potencial de conservação, com consumo desagregado

O emprego de uma tecnologia de iluminação adequada às atividades desenvolvidas na indústria, é essencial para a eficiência e a eficácia do sistema elétrico. Instalações de iluminação mal projetadas podem reduzir o desempenho e prejudicar a saúde dos usuários, além de desperdiçar energia elétrica. Em instalações antigas, é comum observar sistemas com níveis de iluminamento acima dos valores da norma, indicando um superdimensionamento do sistema original ou uma substituição direta da tecnologia original por outra mais moderna. Neste caso, uma substituição adequada de luminárias, conduzindo o nível de iluminamento para o seu valor adequado, e eliminando o desperdício, pode ser uma boa ação de eficiência energética. A substituição de tecnologias de iluminação deve ser realizada mediante um novo projeto, considerando as características físicas e de ocupação atuais da instalação. Nesse caso, o potencial de redução de custos ou de

conservação, utilizando o modelo de consumo desagregado em uso final, pode ser determinado a partir da potência instalada atual em luminárias operantes, e das potências instaladas previstas para as diversas alternativas sob análise, através da Equação 1:

$$PR = 100 \cdot \left[1 - \left(\frac{P_i}{P_{atual}} \right) \right] (\%) \quad \text{Equação 1}$$

Onde: PR = potencial de redução de demanda devido à mudança de tecnologia de iluminação;

P_i = potência instalada do sistema projetado a partir da tecnologia "i";

P_{atual} = potência instalada em luminárias operantes do sistema de iluminação atual;

P_i / P_{atual} deve ser o menor valor encontrado entre as diferentes tecnologias de iluminação propostas.

2.2 FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

O fornecimento de energia elétrica, feito pela concessionária, deve ser muito bem analisado, quando trata-se do enquadramento tarifário. Analisar os dados tarifários de consumo da empresa, é determinante para a correta escolha de qual grupo tarifário o consumidor se encontra, haja visto que dependendo do enquadramento tarifário, o consumidor paga somente o que consome e é designado a esse, uma quantia pré-determinada de energia por mês.

Designa-se consumidor de energia, pessoa física ou jurídica, legalmente representada e que solicite o fornecimento de energia elétrica e que assume a responsabilidade pelo pagamento da fatura e pelas demais obrigações fixadas em normas e regulamentos da ANEEL. As unidades consumidoras são distinguidas pela tensão de fornecimento solicitada pelo consumidor, sendo assim divididas pela ANEEL:

- Grupo A – Unidades consumidoras com tensão de fornecimento igual ou superior a 2,3 kV, ou ainda, atendidas com tensão inferior a 2,3 kV a partir de sistema subterrâneo. A tarifação é binômica e o grupo A subdivide-se nos seguintes subgrupos:

- Subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
 - Subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
 - Subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV;
 - Subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
 - Subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;
 - Subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição e faturadas neste grupo em caráter opcional.
- Grupo B – unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, ou ainda, atendidas em tensão superior a 2,3 kV e faturadas neste grupo, com tarifa monômnia e subdividida nos seguintes subgrupos:
 - Subgrupo B1 – residencial;
 - Subgrupo B1 – residencial baixa renda;
 - Subgrupo B2 – rural;
 - Subgrupo B2 – cooperativa de eletrificação rural;
 - Subgrupo B2 – serviço público de irrigação;
 - Subgrupo B3 – demais classes;
 - Subgrupo B4 – iluminação pública.

2.2.1 Consumidor do Grupo A

O faturamento da unidade consumidora do Grupo "A", é realizado com base nos seguintes dados:

- Demanda de potência ativa: valor correspondente a maior demanda contratada;
- Demanda medida;
- Ou 10% (dez por cento) da maior demanda medida em qualquer dos 11 (onze) ciclos completos de faturamentos anteriores.

Sendo que se a demanda contratada for menor do que a consumida, o consumidor deverá pagar a diferença, porém, sem ICMS. Vale lembrar que o valor relativo à tributação varia conforme o estado da Federação.

Para uma possível determinação de potencia ativa do consumidor a ser contratada, pode ser feito um levantamento de cargas, junto ao consumidor e estimando os horários de funcionamento e conseqüentemente, a soma das potências instaladas resultará na demanda que deve ser contratada.

2.2.2 Consumidor do Grupo B

Para o consumidor do Grupo B, aplica-se somente o preço para o consumo medido de energia elétrica, expresso em R\$/kWh. Sem a necessidade de contratação de demanda de energia elétrica.

2.2.3 O fator de carga (FC)

O fator de carga é o índice que demonstra se a energia consumida está sendo utilizada de maneira racional e econômica. O fator de carga varia entre 0 (zero) e 1 (um) e é obtido através da relação entre a demanda média e a demanda máxima, durante um período definido.

$$FC = \frac{\text{Demanda média}}{\text{Demanda máxima}} \quad \text{Equação 2}$$

2.2.4 Enquadramento tarifário

O enquadramento tarifário é utilizado para definir e/ou especificar ainda mais o consumidor. As unidades consumidoras que são atendidas por tensão de fornecimento inferior a 69 kV e com demanda de potência de 30 kW até 299 kW devem optar por um dos modelos tarifários abaixo:

- tarifa convencional;
- tarifa horo-sazonal verde;
- tarifa horo-sazonal azul.

Já as unidades consumidoras que são atendidas com tensão de fornecimento menor que 69 kV e com demanda de potência igual ou superior a 300 kW devem optar por um dos modelos abaixo:

- tarifa horo-sazonal verde;
- tarifa horo-sazonal azul.

E por fim, as unidades consumidoras que são atendidas com tensão de fornecimento igual ou maior de 69 kV devem obrigatoriamente se enquadrar na modalidade abaixo:

- tarifa horo-sazonal azul.

Cada um dos modelos tarifários possui diferente valor do kWh, sendo ainda definido o valor do mesmo de acordo os períodos abaixo:

- Seco – 7 meses (maio a novembro), pouca chuva nos reservatórios;
- Úmido – 5 meses (dezembro a abril), boas chuvas para abastecer os reservatórios.

A última especificação no modelo tarifário se faz para as unidades consumidoras das tarifas horo-sazonal verde e azul, onde o preço do kWh possui valores diferentes no horário de ponta (18 às 21h) e fora de ponta (21h até 17h do dia seguinte).

A tabela 1 expõe um resumo das modalidades tarifárias.

Tabela 1 – Modalidades tarifárias

		Tarifa			
		Horo-sazonal verde ou azul	Ponta e fora de ponta	Convencional	
Grupo A	Subgrupo A1	≥ 230 kV	Aplica-se	Aplica-se	Não se aplica
	Subgrupo A2	88 kV a 128 kV	Aplica-se	Aplica-se	Não se aplica
	Subgrupo A3	69 kV	Aplica-se	Aplica-se	Não se aplica
	Subgrupo A3a	30 kV a 33 kV	Aplica-se	Aplica-se	Aplica-se
	Subgrupo A4	2,3 kV a 25 kV	Aplica-se	Aplica-se	Aplica-se
	Subgrupo AS	< 2,3 kV subterrâneo	Aplica-se	Aplica-se	Aplica-se
Grupo B	Todos os subgrupos	Convencional			

Fonte: ANEEL

Autoria própria.

OBS.: as unidades consumidoras A3a, A4 e AS podem se enquadrar na opção tarifária "convencional" quando a demanda contratada for inferior a 300 kW.

2.3 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

Os sistemas de iluminação em geral, são grandes responsáveis pelo consumo em excesso de energia. Através disso, pode-se partir para um estudo do sistema de iluminação, visando a redução tarifária, bem como o consumo consciente de energia. Ao definir-se um estudo de um sistema de iluminação, deve-se fazer uma análise das tecnologias a serem empregadas, bem como a iluminação que o sistema apresentará, tudo isso, considerando a aplicação final do sistema de iluminação.

Como dito anteriormente no subitem 2.1.3.2, as medidas para aplicação de um programa de conservação de energia, devem levar em consideração o uso do sistema de iluminação, bem como a tecnologia empregada. Medidas corretivas, visam melhorar a eficiência do uso da energia, bem como reduzir os custos da fatura da unidade consumidora. A adoção de medidas administrativas, junto aos funcionários é de suma importância para a eficácia do programa. Se aplicar, de maneira simultânea, uma tecnologia que produza eficiência energética e medidas administrativas que reduzam os gastos, evidencia-se o aproveitamento e/ou oportunidades de eficiência energética.

Ao se fazer um estudo do sistema de iluminação, deve-se observar 3 itens importantes:

- Horário de funcionamento do setor;
- Tempo de funcionamento do setor com as luzes ligadas;
- Nível de iluminação adequado, segundo a NBR 5413.

O horário de funcionamento determina por quanto tempo as luzes estarão ligadas durante o período de funcionamento da empresa, bem como se há necessidade de todo o setor de iluminação estar ligado. É importante salientar que se existir a possibilidade de desligar algum circuito de iluminação, isso deve ser feito, com o intuito de economizar energia. Uma alternativa importante é desligar o circuito de iluminação nos horários em que a empresa não estiver em funcionamento, para assim, evitar desperdício de energia. Se isso não for possível, desenvolver circuitos que sejam ligados separados, como por exemplo 4 lâmpadas de cada vez, ao invés de 10 lâmpadas de cada vez. Um assunto que deve ser levado em consideração é o uso de telhas transparentes, que deixam que a luz do

sol ilumine o ambiente, diminuindo assim, o uso das lâmpadas, mas isso, deve ser estudado, pois dependendo do tipo de ambiente, a luz do sol pode danificar o produto que está sendo produzido na empresa.

Verificar se o projeto luminotécnico foi feito corretamente é importante para determinar se o nível de iluminação está de acordo com as normas brasileiras (NBR 5413). Um levantamento da quantidade de lâmpadas ou luminárias existentes no setor, deve ser feito afim de buscar junto ao fabricante, a luminância que cada lâmpada produz e conseqüentemente, verificar se está dimensionado corretamente. A verificação se as lâmpadas dispostas no ambiente estão limpas é importante para a verificação da luminância existente ou resultante no setor.

A utilização de reatores é necessária quando se faz o uso de lâmpadas fluorescentes. Diferentemente das lâmpadas incandescentes, mas lâmpadas de descarga necessitam de dispositivos auxiliares para operar, que são eles, o reator e o ignitor. O ignitor atua apenas no momento em que a lâmpada é ligada, fornecendo tensão necessária para a ionização do gás contínuo dentro do tubo da lâmpada, produzindo assim a luz. Hoje, os reatores disponíveis no mercado são os eletromagnéticos e os eletrônicos. Os eletrônicos são mais eficientes, visto do ponto de economia de energia, já que dissipam cerca de 25% menos energia do que os reatores eletromagnéticos. Dessa maneira, verificar se as lâmpadas fluorescentes dispões de reatores eletrônicos, é uma forma mais viável de propor uma mudança na tecnologia de iluminação, prevendo economia de energia e economia financeira.

2.3 METODOLOGIA APLICADA

O conhecimento da instalação elétrica de um sistema elétrico industrial, das particularidades e características do uso final da energia, é fundamental para a otimização de suas atividades e como tal, o responsável deverá se capacitar para atuar decididamente na implantação de programas de eficiência energética. Através da análise do uso da eletricidade pode-se definir uma melhor operação de melhoria da rede, visando a redução de consumo e/ou a redução de demanda máxima, etc. Os estudos de eficiência energética permitem identificar oportunidades de reorientar a utilização da energia elétrica, com ações de administração de cargas e medidas de

conservação. A indústria busca conhecer as suas cargas para a otimização dos resultados a serem obtidos, procurando, por exemplo, moldar a curva de carga de acordo com as suas necessidades. Conhecer as cargas, traduz-se basicamente na identificação do potencial de eficiência energética.

Existem várias maneiras de uma indústria identificar os seus potenciais de eficiência energética. Pode-se implantar um projeto piloto, onde o potencial de eficiência energética será aferido diretamente a partir de medições efetuadas sobre a curva de carga do sistema. Um programa piloto envolve custos e riscos e como tal, deveria ser precedido por estudos e análises. Os custos compreendem os investimentos feitos para a compra e a instalação de medidores especiais, empregando tecnologia mais sofisticada, com as respectivas características e proteções e envolvendo também gastos de instalações e treinamento de pessoal.

A transferência de resultados obtidos em programas similares implantados em outras indústrias, também pode ser considerada. Neste caso se procura aproveitar a experiência adquirida nas ações de eficiência energética já efetuadas. Este método, envolvendo a transferência de dados de uma outra empresa, é um procedimento questionável, visto que o consumo de energia elétrica depende de vários tipos de variáveis, particulares de cada indústria.

Finalmente tem-se a identificação do potencial de eficiência energética, através de modelos de cargas. Dentro desse tipo de diagnóstico, as ações clássicas, são as interpretações da fatura de energia elétrica e as medições diretas. Esses métodos são necessários e importantes, mas geralmente identificam potenciais de eficiência energética de natureza global, como por exemplo, a correção do fator de potência geral. Eles não oferecem informações particulares de cada tipo de carga, por exemplo, como e quanto cada carga ou cada tipo de carga pode contribuir para se melhorar o fator de carga global da indústria.

Dessa forma, este trabalho de conclusão de curso se propôs a discutir uma maneira alternativa para efetuar o diagnóstico para programas de eficiência energética.

3. ESTUDO DE CASO – DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO E MEDIDAS DE APLICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Para que seja possível, determinar e posteriormente diagnosticar ações para desenvolver o programa de eficiência energética em uma empresa, é de suma importância determinar a metodologia a ser empregada, para levantar os primeiros dados a serem estudados. Como dito anteriormente, existem muitas oportunidades em uma empresa, mas para que sejam descobertas, deve-se quantificar o consumo de energia nas instalações, apontar oportunidades de redução de consumo e analisar a viabilidade econômica do programa a ser implantado.

Quando foi proposto fazer um programa de eficiência energética com base no consumo desagregado, fez-se contato com uma empresa de médio porte e firmou-se uma parceria, onde o estudo do programa e possivelmente a sua implementação seria realizado. Com isso, as etapas para a realização do diagnóstico energético se deram da seguinte maneira:

- 1º – Visita à indústria, para conhecimento do prédio, das instalações elétricas, bem como as máquinas que lá operavam e o sistema de iluminação vigente;
- 2º – Levantamento das cargas instaladas bem como sua eficiência;
- 3º – Levantamento dos dados do contrato de fornecimento, junto com a concessionária;
- 4º – Análise do horário de funcionamento da indústria;
- 5º – Determinação do potencial de conservação de energia;
- 6º – Proposição aos proprietários da indústria para implantarem o programa de eficiência de energia elétrica.

O caso supracitado foi desenvolvido em uma gráfica, na cidade de Ampére – PR. Ao dar-se início as atividades propostas, primeiramente fez-se uma visita à indústria onde se verificou que a mesma continha um número grande de maquinários, sendo que alguns desses, muito antigos, possivelmente proporcionando um consumo fora do normal de energia elétrica. Determinou-se que deveria ser feito um levantamento das cargas instaladas, para depois, verificar se a demanda contratada estava de acordo com a utilizada. Para efetuar o levantamento de cargas, buscou-se junto ao fabricante do maquinário, bem como em seus dados

de placa, o consumo de corrente, a potência e a tensão de alimentação. Porém, em alguns motores, foi difícil determinar a potência, pois o mesmo encontrava-se com muito tempo de uso, e até os dados do fabricante já tinha sumido, para isso, efetuou-se a medição da corrente do motor através do equipamento alicate-amperímetro e estimou-se a corrente e conseqüentemente a potência. Ao se fazer o levantamento de carga, o proprietário da indústria informou que estavam sendo adquiridos mais algumas máquinas e dessa maneira, efetuou-se o levantamento, já incluindo essas novas máquinas. A tabela 2 apresenta o levantamento de carga feito na indústria.

Tabela 2 – Levantamento de carga da indústria

ESCRITÓRIO

EQUIPAMENTO	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	POTÊNCIA (kW)
Gravador de Chapa	220	10.27	2,66
Motor/Bomba	220	-----	0,37
Processadora de Chapa	220	-----	0,37
Processadora de Filmes	220	18	3,9
Imerge 7	127	7.5	0,9
20 computadores	127	-----	10

BARRACÃO

EQUIPAMENTO	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	POTÊNCIA (kW)
Guilhotina	380	-----	3
Prensa	380	5.1	2,2
Encarteladora	380	-----	9
GTO	220	3.7	1,5
Sorme Z	220	63	20
Bomba-Sorme Z	220	1.5	1,2
SM74	380	250	53,5
Harris Offset	380	5.6	2,2
Esteira	380	60	6
Corte e Vinco	380	1.5	1
Corte e Vinco	380	2.6	2,2
Furadeira	220	3.72	0,37
Grampeadeira	380	1.5	0,37
Compressor	380	18	7,5
Compressor (Sorme Z)	380	-----	4

Pot. Total: 132.24 kW

Na tabela anterior, não foi considerada a demanda necessária para alimentar o setor de iluminação, visto que o mesmo, é disposto de vários tipos de lâmpadas com potências diferentes, conforme será exposto no decorrer do trabalho.

Somando-se as potências dos equipamentos, verificou-se que se todas as máquinas estivessem ligadas ao mesmo tempo e funcionando com potência máxima, a potência registrada seria de 132,24 kW. Dessa maneira, pode-se prever o consumo em uma hora, sendo de 132,24 kWh.

Feito o levantamento de carga, buscou-se junto à concessionária de fornecimento de energia elétrica da cidade de Ampére, o contrato de fornecimento de energia à empresa supracitada, com o intuito de verificar se o enquadramento tarifário estava de acordo com suas necessidades.

Verificou-se que no contrato de fornecimento que a demanda contratada era de 250 kW e que a empresa estava enquadrada no faturamento horo-sazonal – verde. Outro dado que também foi analisado com o consumo de energia reativa da empresa, e verificou-se que a mesma estava consumindo energia reativa de aproximadamente 1050 Var.

Partindo-se para outra etapa, fez-se um levantamento do sistema de iluminação, bem como os tipos de lâmpadas utilizadas e suas características, como fluxo luminoso, temperatura da cor, potência, tensão e corrente e também a tecnologia utilizada pelas lâmpadas. Fez-se um levantamento das características das lâmpadas instaladas, bem como a quantidade. Os dados são mostrados na tabela 3.

Tabela 3 – Características das lâmpadas no setor de máquinas da empresa

	Quantidade	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Temperatura de cor (k)	Índice de Reprodução	Comprimento (mm)
Modelo 1	4	110	8300	6500	70-79	2371
Modelo 2	30	40	2650	6500	-----	1210
Modelo 3	24	58	3364	6400	-----	-----

OBS.: As lâmpadas de Modelo 1 e Modelo 2, são fluorescentes tubulares, já o Modelo 3, é compacta.

Juntamente com as lâmpadas fluorescentes tubulares, estavam os reatores, todos eletrônicos, com as seguintes características (exceto os das lâmpadas de 110W, que os dados do fabricante não foram encontrados, devido ao desgaste e as interperes) (Tabela 4).

Tabela 4 – Características dos reatores instalados juntamente com as lâmpadas fluorescentes tubulares

Tensão (V)	Corrente (A)	Pot. Total (W)
127	0,63	78

Na visita à indústria, percebeu-se que as janelas estavam com cortinas, tornando difícil a passagem da luz do sol para dentro do campo de trabalho e também, não havia telhas translúcidas na estrutura da mesma.

Outro dado que também foi estudado, foi o dos motores antigos e o seu consumo. Em primeira instância, verificou-se a finalidade dos motores e o tempo de uso por dia, como foi citado anteriormente. No decorrer do trabalho, será apresentado uma alternativa de motor de alto rendimento e baixo consumo. Após terem sido levantados alguns dados, foi feito o estudo para avaliar o uso da energia na empresa.

3.1 DEMANDA vs. CONSUMO DE ENERGIA

Ao fazer o levantamento da demanda de energia, verificou-se que a demanda contratada era muito maior do que a registrada, como mostra a figura 1.

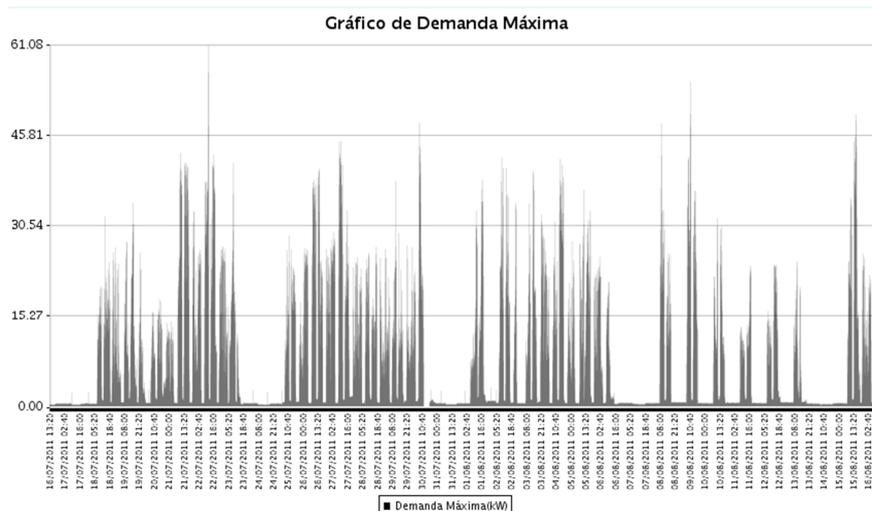


Figura 1 – Gráfico da Demanda Máxima Registrada na Indústria.

Interpretando os valores do gráfico, verifica-se que a demanda máxima registrada foi de 61,08 kW e aproximadamente às 14 hs, onde a produção da gráfica é maior. Através da tabela 2, onde foi feito o levantamento de carga, evidenciou-se que a demanda contratada estava mal dimensionada e que o consumo (R\$) no fim do mês era elevado, sendo que segundo a ANEEL, a diferença da demanda contratada com a consumida, deve ser paga (caso haja sobra de demanda), porém sem ICMS. A Tabela 5 ilustra a fatura de energia elétrica da empresa.

Tabela 5 – Grandezas e Valores de Faturamento (referente ao mês de Julho de 2011)

	Medido (kW)	Contratado (kW)	Faturado (kW)	Tarifa (R\$)	Total (R\$)
Consumo Fora-Ponta	6061	250	6061	0,22231	1347,39
Consumo na Ponta	164		164	1,57348	258,05
Demanda	56,87		56,87	13,5887	772,79
Demanda Isenta de ICMS	-----		-----	9,40553	1816,49
Energia Reat Exced. FP	1070		1070	0,17529	187,56
Energia Reat Exced. P	107		107	0,17505	18,73
Outros	-----		-----	-----	55,24

TOTAL R\$ 4.456,25

Como dito anteriormente, o valor pago pelo faturamento poderia ser reduzido se medidas de eficiência energética fossem aplicadas.

3.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Ao se fazer o estudo do sistema de iluminação, verificou-se que a disponibilidade das lâmpadas no interior do setor de máquinas estava mal dimensionada, bem como as lâmpadas utilizadas. Não haviam circuitos para o acionamento direcional das lâmpadas, sendo que 5 interruptores, ligavam todas as lâmpadas dispostas no setor fabril.

3.3 MOTOR DE ALTO RENDIMENTO

Após ter sido o levantamento de carga, constatou-se a presença de alguns motores muito antigos, utilizados em certas máquinas. Levando em consideração o fato de que os motores mais antigos consomem mais energia elétrica e tem um fator de potência mais baixo, surgiu a possibilidade do uso de motores de alto rendimento.

Os motores antigos são geralmente superdimensionados e apresentam baixos valores de rendimento e fator de potência. Isso acontece devido à carência de materiais mais resistentes à temperatura e características de desempenho, na época de fabricação. Uma prova disso, é que um motor atual apresenta 10% do tamanho do mesmo motor do início do século 20. Com o avanço da tecnologia e das pesquisas, pode-se desenvolver materiais mais resistentes à temperatura e motores mais compactos com características de performance melhoradas (rendimento e fator de potência).

4. RESULTADOS DO DIAGNÓSTICO

Após terem sido determinadas as oportunidades e/ou estudos do funcionamento da empresa, tornou-se necessário diagnosticar o que deveria ser feito viabilizar a conservação de energia. Destacaram-se as seguintes oportunidades.

- Redução da demanda contratada, levando em consideração o levantamento de carga feito, com o intuito de reduzir custos e utilizar melhor a energia;
- Realocação do sistema de iluminação, bem como a utilização de somente um modelo de lâmpada, bem como a subdivisão do circuito de iluminação;
- Substituição de alguns motores mais antigos, por outros de alto rendimento para reduzir custos e reduzir a tarifa de energia reativa excedente.

5. IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Já pré-determinadas as ações a serem implantadas, dividiu-se em 3 as ações. A primeira foi a redução da demanda, a segunda sistema de iluminação e a terceira aplicação de motor de alto rendimento. A seguir, todas as etapas são descrevidas.

5.1 REDUÇÃO DA DEMANDA CONTRATADA

Com a fatura em mãos, entrou-se em contato com a concessionária de energia da cidade de Ampére, que é a COPEL. Através do site da concessionária, podem-se fazer diversas simulações de enquadramento tarifário, sendo que a mais vantajosa foi a hora sazonal verde, dessa maneira, manteve-se a empresa neste enquadramento tarifário. Com o levantamento de carga feito, verificou-se que a

demanda contratada era quase o dobro da demanda máxima que poderia ser utilizada, caso todos os equipamentos fossem ligados em potência máxima.

Com os dados da demanda máxima registrada (figura 1), estimou-se que a empresa trabalha com cerca de 50% de sua potência, haja visto que por se tratar de um processo sequencial, os produtos passam por etapas e nem todas as máquinas são ligadas ao mesmo tempo e em potência máxima. Dessa maneira, propôs-se ao proprietário, que a demanda fosse reduzida para uma faixa acima da demanda máxima medida, como segurança e também pela previsão de que a empresa poderá aumentar a sua produção em breve. Dessa forma, entrou-se em contato com a concessionária de energia e fez-se o pedido da redução da demanda para 75 kW (cerca de 15 kW a mais do que a demanda máxima registrada). Porém, a concessionária declarou que a redução só pode ser feita em 50%, ou seja, para 125 kW. A empresa estava com a entrada de serviço ligada à quase 90 dias, sendo que esses primeiros 90 dias, são para o estado de experimento, ou seja, para verificar se realmente a demanda contratada é suficiente e também o enquadramento tarifário é o mais vantajoso. Consequentemente, conseguiu-se redução de 50% na demanda, porém, é necessário a contratação por no mínimo 6 meses dessa demanda de 125 kW para depois fazer pedido de redução (para aumento de demanda são necessário somente 30 dias).

Feita a redução da demanda para 125 kW, para reduzir para 75 kW será necessário aguardar 6 meses (aproximadamente janeiro de 2012), para efetuar o pedido de redução de demanda.

5.2 SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Sabendo dos componentes do sistema de iluminação e da disposição das lâmpadas no setor fabril, pode-se fazer um estudo e um cálculo luminotécnico, seguindo a NBR 5413 e propondo a utilização de somente um modelo de lâmpadas, prevendo uma manutenção mais rápida e fácil. O sistema de lâmpadas existente era composto por:

- 4 lâmpadas (2 luminárias) fluorescentes de 110 W;
- 30 lâmpadas (15 luminárias) fluorescentes de 40 W;
- 24 lâmpadas fluorescentes compacta de 58 W.

O setor onde são produzidos os materiais, é disposto de 70 metros de comprimento, por 25 de largura, comportando janelas altas, a partir de 2,5m. Porém, essas janelas ficam protegidas por cortinas, para evitar que a luz do sol atinja os produtos recém-fabricados, fazendo com que percam qualidade e cor. No teto, não existem telhas translúcidas, pelo mesmo motivo citado anteriormente.

Dispondo dos dados de cada modelo de lâmpadas, pode-se implantar o programa de eficiência energética priorizando o consumo desagregado no diagnóstico energético. Como são 3 tipos de lâmpadas e as que prevalecem no setor são as de 58 W e as de 40 W, pode-se ter o potencial de redução de demanda, caso fosse aplicado outro tipo de tecnologia.

O primeiro caso proposto foi o de trocar as lâmpadas de 58 W por outras de 110 W, iguais as já existentes, e realocar de acordo com o maquinário, subdividindo o circuito, para que fosse possível ligar somente determinadas lâmpadas. De acordo com a equação 1, tem-se que:

$$PR = 100 \cdot \left[1 - \left(\frac{P_i}{P_{atual}} \right) \right] (\%) \quad \text{Equação 1}$$

$$PR = 100 \cdot \left[1 - \left(\frac{110}{58} \right) \right] (\%)$$

$$PR = 10,34 \%$$

O potencial de redução de demanda do circuito de iluminação teria uma redução de 10,34 %. Agora, supondo a troca das lâmpadas de 40 W por outras de 110 W, tem-se que:

$$PR = 100 \cdot \left[1 - \left(\frac{P_i}{P_{atual}} \right) \right] (\%) \quad \text{Equação 1}$$

$$PR = 100 \cdot \left[1 - \left(\frac{110}{40} \right) \right] (\%)$$

$$PR = 25 \%$$

O potencial de redução de demanda do circuito de iluminação teria uma redução de 25%, caso todas as lâmpadas do setor fossem de 40 W e substituídas por outras de 110 W.

Através da NBR 5413, pode-se fazer um cálculo luminotécnico e prever a quantidade de lâmpadas e/ou luminárias que seriam necessárias para a alocação na empresa. De acordo com a equação 2, pode-se determinar o índice do recinto.

$$K = \frac{C.L}{H(C+L)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde,

K: índice do recinto;

C: comprimento do setor;

L: largura do setor;

H: altura das lâmpadas em relação ao chão.

Sendo assim, substituem-se os valores de C, L e H (altura das lâmpadas, de 3,5m em relação ao chão).

$$K = \frac{(70).(25)}{(3,5).(70 + 25)}$$

$$K = 5,26$$

Agora, calculando o fluxo total no recinto, descrito pela equação 3, segundo a NBR 5413, que propõe que o fator de utilização, para serviços manuais e visuais, deve ser igual a 0,8. Já o fator de depreciação, deve ser igual a 0,6.

$$\varphi = \frac{lm.S}{Fu.Fd} \quad \text{Equação 3}$$

Onde,

φ : fluxo luminoso total;

Im: luminância prevista na norma NBR 5413;

S: área do recinto (m^2);

Fu: fator de utilização;

Fd: fator de depreciação.

Sendo assim, substituem-se os valores, para obter o valor do fluxo luminoso.

$$\varphi = \frac{(300). (1750)}{(0,8). (0,6)}$$

$$\varphi = 1,094. 10^3 \text{ lumens}$$

Determinado o fluxo luminoso total do recinto, deve-se agora, determinar o número de lâmpadas necessárias para efetivamente, alcançar esse fluxo supracitado. Para isso, utiliza-se a equação 4.

$$Num. Lamp. = \frac{\varphi}{(LPL).(fll)} \quad \text{Equação 4}$$

Onde,

φ : fluxo luminoso total;

LPL: lâmpadas por luminária;

fll: fluxo luminoso da lâmpada escolhida, em lumens.

Sendo assim, substituem-se os valores das variáveis e encontra-se o número de lâmpadas e/ou luminárias (a lâmpada escolhida é a de 110W, conforme especificação na tabela 3).

$$Num. Lamp. = \frac{1094. 10^3}{(2). (8300)}$$

$$Num. Lamp. = 66$$

Portanto, o setor de iluminação, poderia ser reformulado, com apenas 66 lâmpadas, ou seja, 33 luminárias dispostas uniformemente nos 1750 m² do setor fabril. Sabe-se que o setor de iluminação não foi dimensionado corretamente, e que o seu fluxo luminoso atual é de 193.436 lumens. Segundo a NBR 5413, o fluxo luminoso ideal, seria de 1094.10³ lumens. Para efetuar a troca de lâmpadas e mantendo o fluxo luminoso atual (193.436 lumens), dividiu-se o fluxo luminoso atual pelo fluxo luminoso da lâmpada que possui o maior potencial de redução (110 W), o resultado segue abaixo:

$$\text{Num. Lamp} = 24 \text{ lâmpadas}$$

Esse resultado, significa que para manter o fluxo luminoso atual e desconsiderar o cálculo luminotécnico (visto que é uma iluminação até certo ponto elevada, que gera um custo maior que o atual), seriam necessárias 12 luminárias com 24 lâmpadas distribuídas uniformemente ao longo dos 1750m² do setor fabril da indústria.

Essa troca de lâmpadas, tem por objetivo originar economia de energia. Os reatores já existentes podem ser reutilizados para a ligação das lâmpadas.

Ao se fazer o levantamento de preços das lâmpadas, evidenciou-se que o preço de cada lâmpada fluorescente tubular de 110 W é de aproximadamente R\$ 17,00. Sabe-se que já existiam na empresa 4 lâmpadas fluorescentes tubulares e que para efetuar a implantação do programa de eficiência energética no setor de iluminação, seriam necessárias mais 20 lâmpadas. Sendo assim, determina-se o custo das lâmpadas.

$$\text{Custo (R\$)} = 20 \cdot (17,00)$$

$$\text{Custo (R\$)} = 340,00$$

O custo para a aquisição das lâmpadas seria aproximadamente de R\$ 340,00. Além das lâmpadas, faz-se necessária a compra de reatores para a ignição das lâmpadas. A indústria já possui 4 reatores (um para cada lâmpada) que seriam reutilizados, ou deixados nas mesmas luminárias, e ainda faltariam 20 reatores. Ao se fazer a pesquisa de preços de reatores, evidenciou-se que o preço médio dos reatores é de R\$ 24,00, sendo assim, faz-se os cálculos do gasto com reatores.

$$\text{Custo (R\$)} = 24 \cdot (20)$$

$$\text{Custo (R\$)} = 480,00$$

O custo para a aquisição de 20 reatores eletrônicos é de aproximadamente R\$ 480,00. Com o orçamento quase pronto, ainda faltam os preços das luminárias. Sabe-se que existem 2 luminárias (calhas), e seria necessária a aquisição de 10 luminárias e o preço de cada uma é de aproximadamente R\$ 100,00. Sendo assim, desenvolve-se o cálculo para a determinação do custo com a compra de luminárias.

$$\text{Custo (R\$)} = 10 \cdot (100)$$

$$\text{Custo (R\$)} = 1.000,00$$

Ao se somar o custo total, com lâmpadas, reatores e luminárias (calhas), encontra-se o valor de R\$ 1.820,00. Abaixo, foi desenvolvido o cálculo de consumo em Wh do sistema de iluminação existente, para que fosse possível comparar e determinar a economia que seria conseguida.

- Lâmpadas fluorescente compactas de 58W:

$$\text{Consumo (Wh)} = (\text{Num. Lamp}) \cdot (\text{Pot. Lamp}) \cdot \text{tg}(\text{acos}(F.P.))$$

$$\text{Consumo (Wh)} = 24 \cdot 58 \cdot \text{tg}(\text{acos}(0,95))$$

$$\text{Consumo (Wh)} = 457,53 \text{ Wh}$$

- Lâmpadas fluorescentes de 110W:

$$\text{Consumo (Wh)} = (\text{Num. Lamp}) \cdot (\text{Pot. Lamp}) \cdot \text{tg}(\text{acos}(F.P.))$$

$$\text{Consumo (Wh)} = 4 \cdot 110 \cdot \text{tg}(\text{acos}(0,80))$$

$$\text{Consumo (Wh)} = 3.300 \text{ Wh}$$

- Lâmpadas fluorescentes de 40W:

$$\text{Consumo (Wh)} = (\text{Num. Lamp}) \cdot (\text{Pot. Lamp}) \cdot tg(\text{acos}(F.P.))$$

$$\text{Consumo (Wh)} = 30 \cdot 40 \cdot tg(\text{acos}(0,80))$$

$$\text{Consumo (Wh)} = 900 \text{ Wh}$$

Com os valores calculados, e estimando o fator de potência das lâmpadas fluorescente tubulares em 0.8, determina-se o consumo em 1 hora, que é de 4657,53 Wh. Estimando que a indústria utiliza a iluminação por cerca de 12 horas, pode-se fazer a estimativa de consumo ao longo de 30 dias, como segue abaixo:

$$\text{Consumo (Wh)} = 12 \cdot 30 \cdot 4657,53$$

$$\text{Consumo (Wh)} = 1.676.710,8 \text{ Wh}$$

$$\text{Consumo (kWh)} = 1.676,7 \text{ kWh}$$

O setor de iluminação atual consome cerca de 1.676,7 kWh. Admitindo o valor do kWh em torno de R\$ 0,22, o montante gasto com energia pelo setor de iluminação é de R\$ 368,87. Já se fossem instaladas as novas lâmpadas, o consumo seria dado por:

$$\text{Consumo (Wh)} = (\text{Num. Lamp}) \cdot (\text{Pot. Lamp}) \cdot tg(\text{acos}(F.P.))$$

$$\text{Consumo (Wh)} = 24 \cdot 110 \cdot tg(\text{acos}(0,8))$$

$$\text{Consumo (Wh)} = 1980$$

O valor de 1980 Wh, deve ser multiplicado por 12 horas do dia e ainda 30 dias do mês, como é descrito abaixo:

$$\text{Consumo (Wh)} = 12 \cdot 30 \cdot 1980$$

$$\text{Consumo (Wh)} = 712.800$$

$$\text{Consumo (kWh)} = 712,8 \text{ kWh}$$

O consumo no mês seria reduzido em 58%. Admitindo o valor do kWh em torno de R\$ 0,22, determina-se o montante gasto com iluminação no setor industrial, ao longo de 30 dias, que seria de aproximadamente R\$ 157,00. A redução que pode ser obtida, é de R\$ 211,00, se for mantido o mesmo fluxo luminoso.

5.3 APLICAÇÃO DE MOTOR DE ALTO RENDIMENTO

No setor fabril, dentre todos os equipamentos mencionados na tabela 2, alguns se destacaram, como foi o caso de alguns motores muito antigos, que poderiam ser substituídos por motores de alto rendimento. Os motores existentes, são de 2 cv e suas trocas, podem gerar uma economia na demanda, bem como redução da energia reativa que está sendo faturada pela concessionária de energia elétrica. A equação 5 descreve a energia economizada por ano.

$$kWh = (0,736) \cdot (CV) \cdot (Nh) \cdot \left[\left(\frac{100}{\eta_s} \right) - \left(\frac{100}{\eta_{ARP}} \right) \right] \quad \text{Equação 5}$$

Onde,

kWh: energia economizada no período Nh;

CV: potência nominal do motor em cv;

Nh: número de horas em operação;

η_s : rendimento do motor standard;

η_{ARP} : rendimento do motor de alto rendimento.

Sabendo que são dois motores de 2 cv, e que trabalham cerca de 12h por dia, durante 20 dias por mês e nos 12 meses do ano e possuem rendimento de

82,5%, pode-se fazer o cálculo de economia de energia, ao trocar o motor standard por um de alto rendimento e 2 cv. Cálculos à seguir.

$$kWh = (0,736). (2). (2880). \left[\left(\frac{100}{82,5} \right) - \left(\frac{100}{84} \right) \right]$$

$$kWh = 92 kWh/ano$$

A economia de energia durante o ano, pode chegar a 92 kWh, com a troca dos motores antigos, por outros de alto rendimento. Considerando o custo do kWh de aproximadamente R\$ 0,22, verifica-se que a economia (R\$) durante o ano chega a R\$ 20,24.

6. RESULTADOS E DISCUSSAO

A determinação dos pontos a serem estudados e depois a apresentação do diagnóstico apresentados a empresa, surtiram efeito. Ao apresentar as propostas de eficiência energética, priorizando o consumo desagregado, verificou-se grande interesse por parte da empresa parceira, em aderir às soluções. Primeiramente, explanou-se do que se tratava cada diagnóstico, e como ele poderia interferir na economia financeira da empresa, bem como pro futuro, reduzindo o consumo de energia elétrica.

O primeiro item apresentado foi o da redução da demanda contratada, como estudado nos itens 3.1 e 5.1. A implementação para a obtenção dos resultados foi imediata, por se tratar de grandes valores, a redução da demanda impactou em uma redução muito significativa na fatura de energia elétrica. A figura 2 descreve a redução da demanda desde sua alteração, bem como valores de sub e sobre demanda, caso fosse ultrapassado.

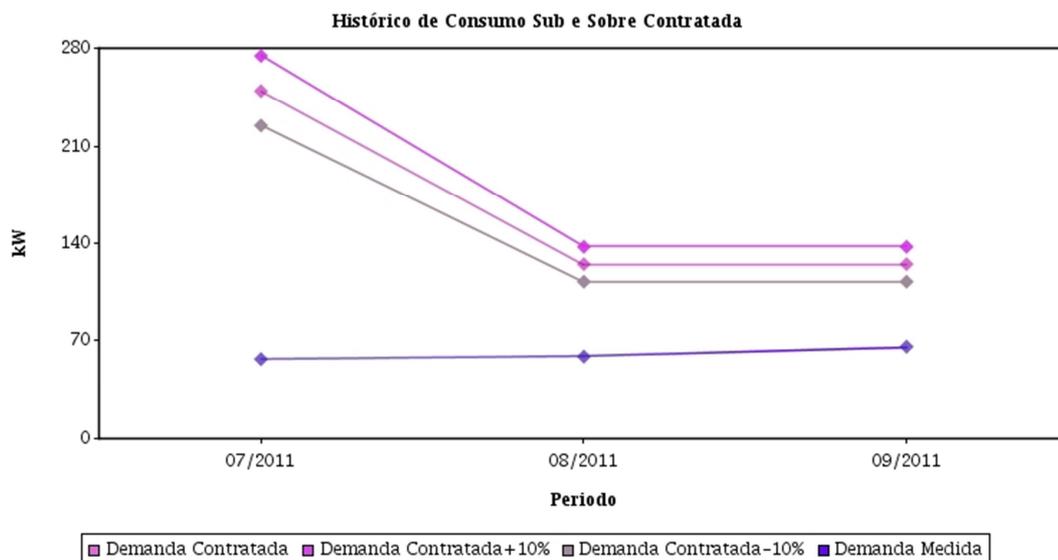


Figura 2 – Histórico de consumo de demanda contrata e medida.

Com a redução da demanda, o valor da fatura de energia elétrica também reduziu. Vale lembrar que a redução da demanda foi feita em 50%, pois a concessionária de energia elétrica não permite que haja redução maior do que 50%, conforme foi comentado no item 5.1. O montante economizado com a redução de energia elétrica foi de aproximadamente R\$ 1.000,00 por mês, conforme ilustra a figura 3.

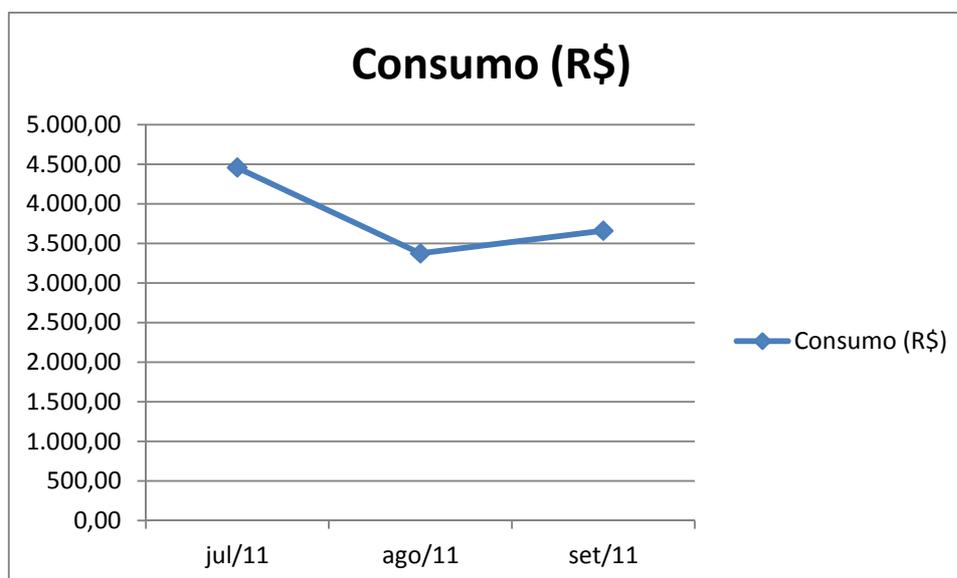


Figura 3 – Histórico de consumo antes e após a redução da demanda contratada.

Com a redução da demanda contratada, a empresa passou a economizar aproximadamente R\$ 1.000,00 (R\$ 4.456,00 – R\$ 3.372,00) por mês, porém, em janeiro de 2012, quando possivelmente, a redução da demanda será feita para

aproximadamente 75 kW, a fatura de energia elétrica terá uma redução ainda maior. Uma projeção de redução de consumo, foi feita, levando em consideração o consumo de 70 kW e a contratação de 75 kW, como ilustra a figura 3.

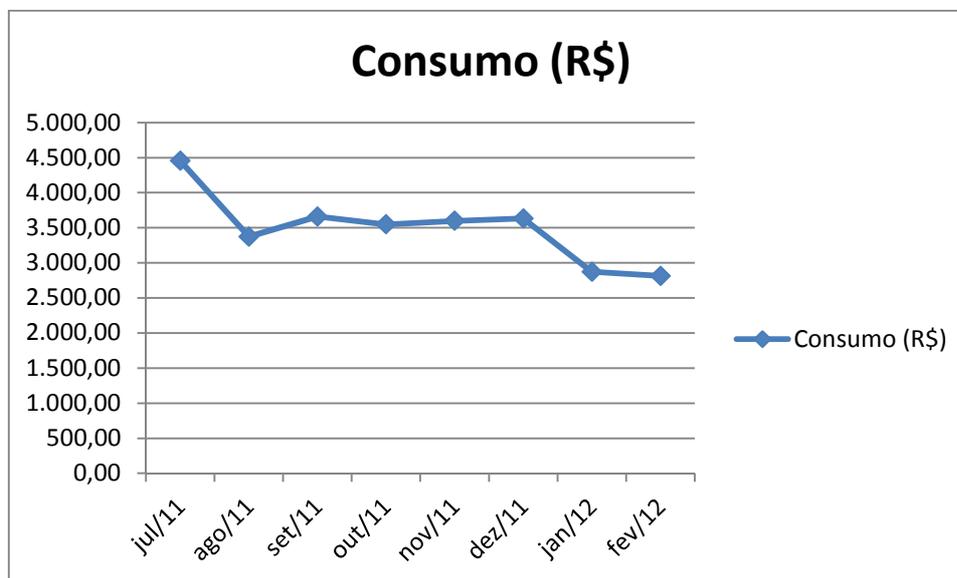


Figura 4 – Projeção na redução do valor da fatura de energia elétrica.

Obs.: Os dados para a construção do gráfico são reais até o mês de setembro de 2011. Nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2011, simularam-se faturas com valores próximos aos anteriores.

As projeções foram feitas para janeiro e fevereiro de 2012, onde se estima o consumo de 70 kW, e redução de aproximadamente R\$ 1.500,00 na fatura de energia elétrica. Ao se fazer uma análise no decorrer do ano, prevê-se que de agosto de 2011, até agosto de 2012, a redução total será de aproximadamente R\$ 16.000,00, somente com a redução da demanda.

Ao mesmo tempo em que se apresentou à empresa a solução de efetuar a redução da demanda, também se apresentou diagnóstico para a melhoria do circuito de iluminação, de acordo com o item 5.2 e também a substituição dos motores antigos por motores de alto rendimento.

7. CONCLUSÃO

Foi feito um programa de eficiência energética para uma indústria regional, do setor gráfico e a empresa se mostrou receptível para avaliar as ações propostas. Os resultados se mostraram promissores, visto que já no primeiro mês, depois de implantadas parcialmente as ações propostas, os custos com energia elétrica da empresa se reduziram em 24,32%.

O trabalho exigiu uma revisão importante sobre sistemas tarifários, instalações de força motriz, instalações de iluminação, métodos de diagnóstico energético, principalmente sobre o método de consumo desagregado, onde desde a apresentação inicial deste trabalho, foi proposto se fazer um estudo aprofundado sobre o assunto.

Como dito nos itens anteriores, a empresa se mostrou receptível para avaliar as ações propostas pelo programa de eficiência energética, porém, nem todas as ações foram aplicadas, como foi o caso da substituição de motores velhos por outros novos de alto rendimento. Isso se deu pelo fato da empresa não utilizar com tanta frequência diária esses motores e por eles serem de pequeno porte. Outro fator que foi levado em consideração, foi o da economia ao longo do ano, onde se esperava que fosse de maior montante, para compensar a realização da troca de motores. Outra ação que também foi proposta, foi o do setor de iluminação, sendo que para efetuar a troca das lâmpadas, calhas e reatores, o custo seria elevado, em torno de R\$ 1.820,00, o que não agradou os responsáveis, a fazer a troca das lâmpadas. Porém, foi nos dito que assim que a redução da demanda prevista para janeiro de 2012 fosse feita e houvesse mais redução da fatura de energia elétrica, a aquisição das lâmpadas e a troca delas seria efetuada sob nossa orientação.

Apesar de não ter sido utilizado em todas as “frentes” de ação no programa de eficiência energético considerado, o método de consumo desagregado se mostrou atrativo, visto que além de outras propriedades, ele destaca e resume o montante de potência que pode ser economizado em uma determinada instalação elétrica. O exemplo disso, foi o do setor de iluminação, onde mostrou-se a redução de demanda e o montante financeiro que poderia ser economizado, se fosse aplicada a ação de eficiência energética, com o diagnóstico de consumo desagregado.

O trabalho estabeleceu uma boa referência para futuros potenciais de programas de eficiência energética a ser ofertado para outras empresas. Isso ainda pode ser aliado à experiência obtida no desenvolvimento deste programa, que poderá ser muito útil ao término da graduação, contando que pode ser utilizado como ferramenta de referência para desenvolver programas nesta área.

8. REFERÊNCIAS

ALVAREZ, A. L. M., **Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica: Metodologia para a Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares**, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 1998.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, **Manual para Elaboração do programa de eficiência energética - Resolução normativa nº 300**, Brasília, DF, 2008.

GOLDEMBERG, J; USP; **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento**; Editora da Universidade de São Paulo; 125p.; São Paulo; 1998

KAGAN, N., Oliveira, C. C. B., Robba, E. J., **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**, Livro, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, Brasil, 2005.

KASSICK, E. V. **USO RACIONAL & CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 44. 2002.

OLIVA, G. A. **Utilização de Aquecedores Solares de Baixo Custo em Programas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda (EFICIÊNCIA ENERGÉTICA)**, XV SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 1999.

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

PORTOLANN, Cesar. A. et All. **Aumento do Fator de Carga de Distribuidoras Restringindo o Uso de Chuveiros Elétricos**, Congreso Internacional De Distribución Eléctrica – Cidel Argentina 2010, Buenos Aires, 27-29 Sept. 2010.

RAAD, A., et tal, **O mercado de gerenciamento pelo lado da demanda no Brasil: controladores de demanda e tarifas diferenciadas**, XVI SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Campinas, SP, Brasil, 2001.

WILLIAM H. Kersting, **Distribution System Modeling and Analysis**, Livro, Ed. CRC Press, Florida, 2001.

SOLA, A. V. H.; KOVALESKI, J. L. Eficiência energética nas indústrias: cenários & oportunidades. **XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção**, Florianópolis, 03 a 05 novembro 2004. 3326-3333.

VENCESLAU, C., **Monitoramento e Gerenciamento de Energia**, Revista O Setor Elétrico, Dez. 2007.

MARTINS, Cláudio J. **Plano de Substituição de motores**, WEG em Revista.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**: Iluminação de interiores. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

MAMEDE. João F. **Instalações Elétricas Industriais**. Editora LTC. 7ª ed. Rio de Janeiro, 2008.

NISKIER, Júlio; MACINTYRE, A. J., **Instalações Elétricas**. Editora LTC. 5ª ed. Rio de Janeiro, 2008.

MESQUITA, André L. M. et al, **Eficiência energética e uso racional de energia – estudo de caso**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2004.