

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

EDUARDO PIAIA DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÃO ELÉTRICA
INDUSTRIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2015

EDUARDO PIAIA DOS SANTOS

AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INSTALAÇÃO ELÉTRICA INDUSTRIAL

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 – COELE – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Ms. César Augusto Portolann

PATO BRANCO

2015

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**Avaliação de Eficiência Energética em Instalação Elétrica Industrial**”, do Acadêmico **EDUARDO PIAIA DOS SANTOS** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **74** de 2015.

Fizeram parte da banca os professores:

CESAR AUGUSTO PORTOLANN (ORIENTADOR)

ANA CRISTINA ALVES SILVEIRA LIMA

OSIS EDUARDO SILVA LEAL

JOSÉ PAULO DE BARROS NETO

A meus pais Eldebrando e Margarida Piaia, pelo apoio, dedicação e incentivo em minha trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar e proteger em todos os momentos desta trajetória.

Agradeço especialmente a minha família, Eldebrando, Margarida e Fernando por todo esforço, dedicação, amor e paciência ao longo de minha jornada acadêmica.

A minha namorada Aline, pela compreensão e paciência nos momentos difíceis e por estar sempre ao meu lado.

A meus amigos pela amizade e o convívio durante o período da graduação.

Agradeço ao professor César Augusto Portolann pelo ensinamento e dedicação demonstrados na realização desse trabalho.

Agradeço também a banca examinadora que contribuíram com opiniões, sugestões e críticas em relação ao trabalho.

RESUMO

SANTOS, P. Eduardo. Avaliação de Eficiência Energética em Instalação Elétrica Industrial. 2015. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

Este trabalho visa fazer um estudo de eficiência energética em uma instalação elétrica industrial, onde, busca fazer um plano de conservação de energia elétrica que tenha como resultado um melhor aproveitamento de energia elétrica em equipamentos e dispositivos, de forma que a funcionalidade dos mesmos tenha maior eficiência e menor estresse (menores perdas elétricas e maior margem de capacidade). Outro ponto que será abordado é a redução de custos com energia, que será feito com um estudo do uso correto de energia elétrica, evitando picos de demanda, fazendo com que se reduza prejuízos econômicos e materiais para a indústria. Na sequência são apresentadas as maneiras como foram implementadas tanto no setor tarifário quanto no fluxo de potência para a obtenção dos resultados.

Palavras-chave: Eficiência Energética. Tarifação. Energia Elétrica. Fluxo de Potência.

ABSTRACT

SANTOS, P. Eduardo. Energy Efficiency Assessment in Industrial Electrical Installation. 2015. 45 f. Work Completion of course - Degree in Electrical Engineering, Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2015.

This work aims to do an energy efficiency study in an industrial electrical installation, where, seeks to do a power conservation plan that results in a better use of energy in equipment and devices, so that the functionality of same is greater efficiency and lower stress (lower electrical losses and increased capacity margin). Another point to be addressed is the energy cost savings, which will be made with a study of the correct use of electricity, avoiding peak demand, causing them to reduce economic losses and materials for industry. Following the ways were implemented both in the tariff sector and in power flow to obtain the results are presented.

Keywords: Energy Efficiency. Charging. Electricity. Power Flow.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição do consumo de energia por setores da economia.....	13
Figura 2 - Distribuição do consumo de energia elétrica por uso final.....	16
Figura 3 - Curvas de carga típicas de consumo e demanda por mês.	20
Figura 4 - Preço médio da energia elétrica x FC.....	22
Figura 5 - Distribuição das cargas instaladas.....	28
Figura 6 - Consumo em kWh da indústria.	31
Figura 7 - Demanda em kW utilizada pela indústria.	32
Figura 8 - Diagrama unifilar da indústria.	33
Figura 9 - Consumo antes da redução de demanda.	43
Figura 10 - Consumo depois da redução da demanda.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Levantamento das cargas instaladas na indústria.	27
Tabela 2 - Características dos transformadores.....	27
Tabela 3 - Valores de faturamento da indústria referente ao mês 01/15.....	29
Tabela 4 - Valores de faturamento da indústria referente ao mês 02/15.....	30
Tabela 5 - Valores de faturamento da indústria referente ao mês 03/15.....	30
Tabela 6 - Impedância total por trecho do sistema.....	34
Tabela 7 - Correntes nos trechos do sistema.....	35
Tabela 8 - Valores das tensões em pu.....	36
Tabela 9 - Valores das amplitudes de tensão em V.....	36
Tabela 10 - Perdas elétricas em pu.....	37
Tabela 11 - Perdas Elétricas em VA.	38
Tabela 12 - Tempo de retorno do Investimento de um motor de 150 CV.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO	15
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	15
2.1.1 Programas de eficiência energética para indústria.....	16
2.2 ANÁLISE DA TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	17
2.2.1 Tensões de fornecimento	17
2.2.2 Grupos tarifários	18
2.2.3 Modalidades tarifárias	19
2.2.4 Levantamento da curva de carga	20
2.2.4.1 Fator de carga (FC).....	22
2.3 FATOR DE POTÊNCIA	22
2.4 ESTUDO DO FLUXO DE POTÊNCIA	23
2.4.1 Perdas na Rede Elétrica.....	25
2.5 PLANO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA	26
3. ESTUDO DE CASO - DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA INDUSTRIAL.....	26
3.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA DA INDÚSTRIA	29
3.2 ESTUDO DO FLUXO DE POTÊNCIA PARA INDÚSTRIA.....	32
3.3 ESPECIFICAÇÕES DOS CONDUTORES.....	34
3.4 CÁLCULO DAS TENSÕES NAS BARRAS DO SISTEMA ELÉTRICO INDUSTRIAL.....	35
3.5 CÁLCULO DAS PERDAS ELÉTRICAS.....	37
3.6 MOTORES ELÉTRICOS	38
4. PROPOSIÇÃO DO ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	39

4.1 REDUÇÃO DA DEMANDA CONTRATADA	39
4.2 ANÁLISE DO FLUXO DE POTÊNCIA.....	40
4.3 UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO	41
5. RESULTADOS DO PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	42
6. CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

O uso correto das fontes de energias existentes é de grande importância para o desenvolvimento de países e regiões. Quando o uso de energia elétrica é feito de maneira inadequada surgem problemas econômicos e ambientais devidos ao desperdício ou uso ineficiente da energia elétrica, para isso, são feitos estudos de eficiência energética com o intuito de sanar esses problemas e ter o máximo aproveitamento de energia possível (MARQUES, 2007).

A eficiência energética é caracterizada na utilização de processos e equipamentos que obtenham o melhor desempenho na produção dos serviços com o menor consumo de eletricidade (MARQUES et al., 2006); (MARQUES, 2007).

Com a crise de energia elétrica que aconteceu em 2001 no Brasil, foram criadas leis para a conservação e programas de incentivo a redução do consumo de energia. A primeira lei imposta referente a eficiência energética foi a lei nº 10295 que estabeleceu níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, para máquinas e aparelhos fabricados no país, com auxílio de indicadores técnicos pertinentes com o intuito de desenvolver a qualidade de energia no país (ENERGIA, 2011).

No Brasil existem vários programas para a promoção da eficiência energética. Destaca-se no cenário nacional o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), criado em 1985 pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio com a finalidade de apoiar a eficiência energética, disseminando informações qualificadas sobre o tema para a melhoria da qualidade de vida da população e do meio ambiente (PROCEL, 2014).

Visto a importância da eficiência energética no desenvolvimento e qualidade de vida, na região paranaense a Companhia Paranaense de Energia (Copel) criou o Manual de Eficiência Energética na Indústria, buscando contribuir na melhoria dos processos produtivos, através do uso eficaz da energia elétrica em instalações industriais.

Segundo a Copel (2005, p.1) “na área industrial, a efficientização energética pode trazer significativa redução de custos, bem como aumento no rendimento

energético de equipamentos e instalações, com a consequente melhoria da qualidade dos produtos fabricados”.

O estudo de eficiência energética pode ser utilizado nos mais diversos tipos de consumidores comerciais de energia. O setor industrial tem a maior parcela de consumo de energia elétrica do país, correspondendo a 38% do consumo final no ano de 2014, a Figura 1 mostra a participação do setor industrial junto com os demais no consumo de energia (EPE, 2015).

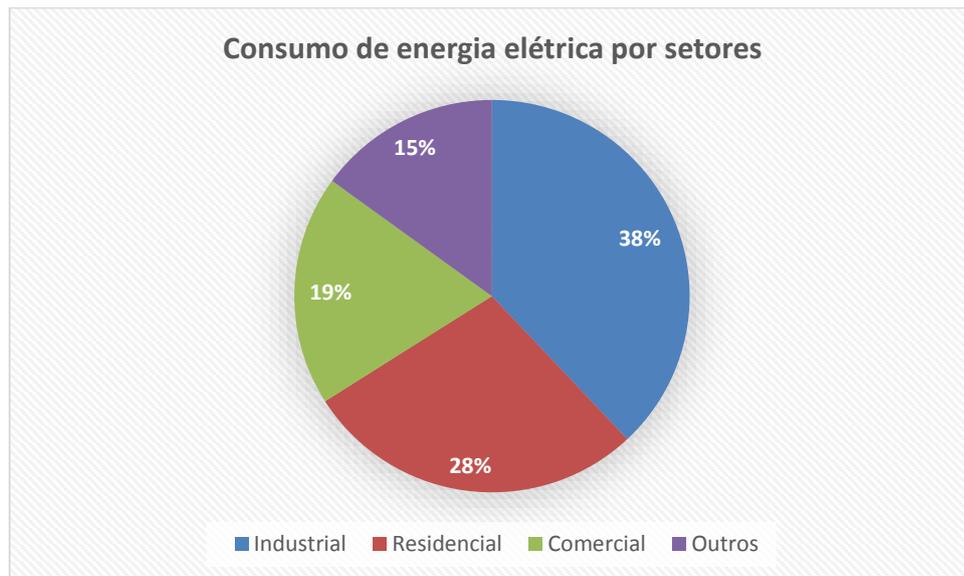


Figura 1 - Distribuição do consumo de energia por setores da economia

Fonte: EPE (2015).

Analisando o gráfico constatamos a importância de se ter um plano energético no setor industrial, devido ao grande uso de energia elétrica para os mais diversos fins no setor, com isso, tendo um plano energético bem elaborado para o setor industrial resultará em um menor gasto de energia pelo consumidor e um maior rendimento e vida útil dos seus equipamentos.

Desse modo, através do estudo de caso, é proposto uma análise do perfil do consumo energético da instalação industrial em estudo, visando diagnosticar pontos possíveis de economia de energia e melhor aproveitamento da mesma, um estudo de fluxo de potência da unidade consumidora para análise de equipamentos e condutores e uma análise de viabilidade para substituição de motores antigos por motores novos de alto rendimento sendo que os motores elétricos são responsáveis por um consumo de energia elétrica no setor industrial de 50% a 60% (WEG, 2015). Desta forma propor um plano de conservação de energia para a empresa, de forma

que seja atrativo para a gestão do negócio e que possa ser aplicado a tempo na instalação industrial

1.1 OBJETIVO GERAL

Tem por objetivo principal propor um plano de Conservação de Energia para uma Instalação Elétrica Industrial.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho estão separados em três etapas. A análise de tarifação e estudo de fluxo de potência se caracterizam como diagnósticos e o plano de conservação caracteriza a síntese do estudo.

1- Tarifação:

- Levantamento e avaliação da curva de carga da instalação elétrica da indústria, procurando identificar picos de demanda.
- Avaliar o fator de potência da unidade consumidora.
- Analisar o tipo de tarifa, a demanda contratada e o consumo de energia elétrica da unidade consumidora.

2- Estudo de Fluxo:

- Avaliação de sobrecargas nos equipamentos e cabos condutores do sistema elétrico.
- Avaliação de possíveis perdas de energia elétrica na instalação.

3- Plano de conservação de energia:

- Estabelecer pontos possíveis para conservação de energia na instalação elétrica.
- Elaborar um plano energético global para a instalação industrial em estudo.

2. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Como dito anteriormente os estudos de eficiência energética são caracterizados na utilização de processos e equipamentos que obtenham o melhor desempenho na produção dos serviços com o menor consumo de energia elétrica (MARQUES et al., 2006); (MARQUES, 2007).

Neste capítulo será discutido os principais conceitos relacionados ao estudo de eficiência energética em instalações elétricas industriais, tais como: tarifação, onde é compreendido os estudos relacionados a curva de carga, fator de potência e o serviço de utilização de energia elétrica. Além disso, estudos de fluxo de potência para avaliação de sobrecargas operantes no sistema, superdimensionamento de equipamentos e avaliações da proteção dos sistemas elétricos de potência do consumidor. Por fim a elaboração de um plano energético apontando possíveis pontos de conservação de energia e melhor aproveitamento da mesma.

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Como dito anteriormente, o termo eficiência energética é empregado quando se busca um melhor aproveitamento de energia elétrica em processos e equipamentos com o menor consumo de eletricidade. O setor industrial corresponde a 38% do consumo final de energia elétrica no Brasil. Analisando esse consumo final de energia através de um estudo feito pelo Ministério de Minas e Energia publicado em 2009, nos dá um destaque relevante para o uso da força motriz no setor industrial, compreendido pelo consumo elétrico de equipamentos, tais como, bombas, motores elétricos, compressores, ventiladores, entre outros (ENERGIA, 2011).

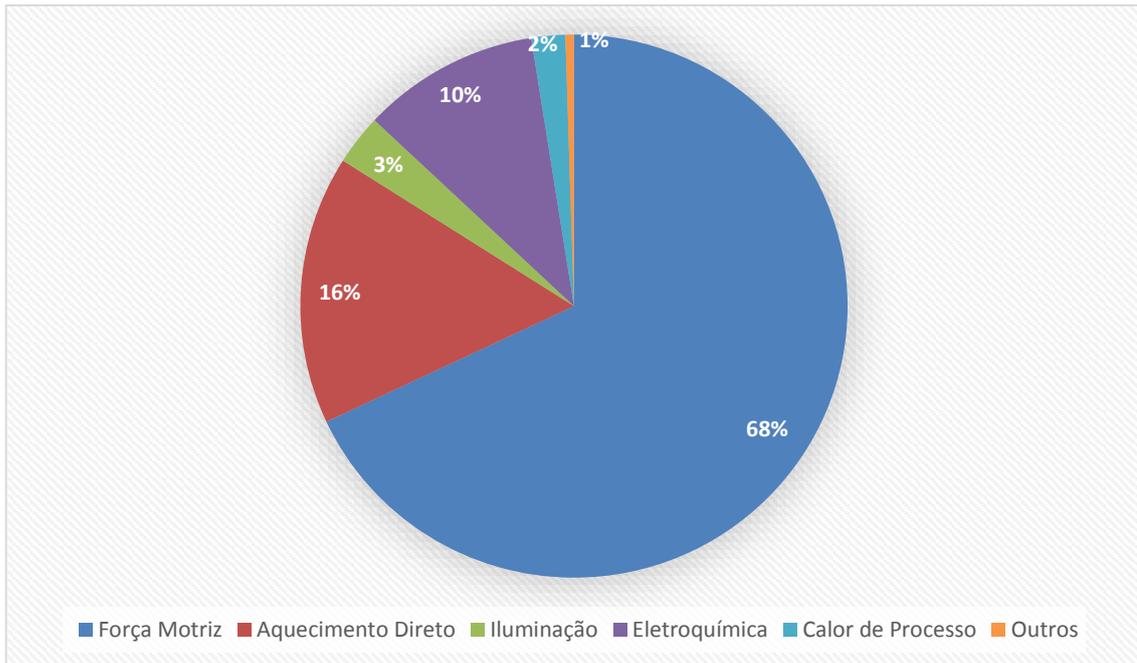


Figura 2 - Distribuição do Consumo de Energia Elétrica por Uso Final.
Fonte: Adaptado de ENERGIA (2011, p.29).

Com esses dados podemos identificar os setores e os itens prioritários para ações de eficiência energética no Brasil, sendo que através da figura 1 podemos perceber o grande consumo de energia elétrica na industrial, já a figura 2 nos mostra os tipos de cargas que utilizam essa energia tendo destaque para a força motriz a qual possui equipamentos como motores, bombas, ventiladores, entre outros que são responsáveis por esse consumo.

2.1.1 PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA INDÚSTRIA

O setor industrial é responsável por grande número do consumo de energia elétrica no país, a de se deduzir que a prática da eficiência energética fosse uma ação natural adotada pelos setores industriais. Porém, isto não vem ocorrendo da maneira que se esperava pelas empresas do setor industrial, assim, ações como programas e planos de eficiência energética são elaborados para promover o uso racional e eficaz da energia elétrica (ENERGIA,2011).

No cenário nacional temos destaque para programas como: PROCEL Industria (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica); programa PROESCO (Apoio a Projetos de Eficiência Energética); os programas de Eficiência Energética – PEE, conduzidos pela ANEEL e também o programa COMPET

(Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural, conduzido pela Petrobras (ENERGIA, 2011).

O programa PROCEL indústria teve como fator motivador a constatação de que a Força Motriz era a principal fonte do uso da energia elétrica no setor industrial. Dentro dessa percepção foi elaborado o Projeto de Otimização Energética de Sistemas Motrizes, que possuía duas vertentes: a primeira com o intuito de aumento a utilização de motores de alto rendimento pelo mercado; a segunda visa minimizar as perdas nos sistemas motrizes já instalados, de forma a capacitar suas equipes técnicas na otimização desses sistemas (ENERGIA, 2011);

O resultado deste programa levando em conta dados contabilizados até final de 2008, demonstra que 2.700 agentes (técnicos e engenheiros das indústrias) de um total de 650 indústrias receberam o treinamento e constataram a melhora que ocorreu priorizando esses segmentos da indústria (ENERGIA, 2011);

2.2. ANÁLISE DA TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Quando se é falado de planos de conservação de energia para o setor industrial, é de fundamental importância saber o enquadramento tarifário que irá se encaixar a indústria perante a concessionária, de forma que o consumidor contrate apenas a demanda de energia que ele irá necessitar durante o mês, sendo que essa demanda de energia elétrica é a parcela de potência ativa solicitada ao sistema elétrico para suprir as cargas instaladas em operação na unidade consumidora. Se for feito um enquadramento tarifário mal calculado o consumidor poderá pagar excedentes em sua tarifa de energia elétrica pela aplicação incorreta de sua tarifa (COPEL, 2005).

2.2.1 Tensões de Fornecimento

O órgão responsável por estabelecer qual o nível de tensão adequado para cada unidade consumidora é a ANEEL, que observa os seguintes limites:

- Tensão secundária de distribuição: quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 75 kW;
- Tensão primária de distribuição inferior a 69kV: quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 75kW e a demanda contratada pelo consumidor for igual ou superior a 2.500kW;
- Tensão primária de distribuição superior a 69kV: quando a demanda contratada pelo consumidor for superior a 2.500kW.

Em determinadas condições, previstas na legislação a concessionária poderá adotar outros limites para fornecimento de energia elétrica (COPEL, 2005), (ANEEL, 2010).

2.2.2 Grupos Tarifários

Com base no fornecimento de energia a ANEEL divide os consumidores em dois grupos que podem ser fracionados conforme o consumo de energia, os consumidores de energia que são cobrados apenas pela energia que os mesmos consomem, são denominados consumidores do Grupo B alimentados em tensão inferior a 2300 V (PROCEL, 2011), (COPEL,2005).

O outro conjunto de consumidores são classificados como consumidores do Grupo A, são aqueles alimentados com tensão igual ou superior a 2300 V, ou atendidas em tensão inferior a 2300 V a partir de um sistema de distribuição subterrâneo. Esses grupos tarifários podem ser classificados conforme os subgrupos apresentados a seguir (PROCEL, 2011), (COPEL, 2005).

- GRUPO A
 - 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, porém, atendido a partir de sistemas subterrâneos de distribuição.

2.2.3 Modalidades Tarifárias

As modalidades tarifárias se enquadram em dois tipos de consumidores. Os consumidores do Grupo B possuem tarifa monômnia, isto é, são cobrados apenas pelo que consomem. Já os consumidores do Grupo A podem se enquadrar em 3 tipos de tarifação: Convencional, horo-sazonal Verde e horo-sazonal azul (PROCEL, 2001), (ANEEL, 2005).

- Sistema Tarifário Convencional

Para que ocorra o enquadramento na tarifa convencional se faz necessário um contrato entre a concessionária e o cliente, onde se estabelece um único valor de demanda contratada, independente da hora do dia ou do período do ano (PROCEL, 2001).

Existem ainda 3 subgrupos pertencentes ao Grupo A que se enquadram na tarifa convencional, sendo respectivamente os subgrupos A3a, A4 ou AS, esses podendo utilizar o modelo tarifário convencional desde que sua demanda contratada seja inferior a 300kW (PROCEL, 2001).

- Sistema Tarifário Horo-Sazonal Verde

Esse tipo de sistema também se faz necessário um contrato entre a concessionária e o consumidor, afim de estabelecer uma demanda contratada específica, a diferença desse sistema para o convencional se dá pelo fato de ser possível contratar dois valores diferentes de demanda, sendo um para o período seco (7 meses – entre maio e novembro) e outro para o período úmido (5 meses - entre dezembro de um ano e abril do ano seguinte). O enquadramento tarifário horo-sazonal verde é opcional para os subgrupos A3a, A4 e AS (PROCEL, 2001) (ANEEL, 2010) (COPEL, 2005).

- Sistema Tarifário Horo-Sazonal Azul

O enquadramento no sistema tarifário horo-sazonal azul é obrigatório para consumidores do grupo A1, A2 e A3. Essa modalidade exige um contrato ao qual se acorda tanto o valor da demanda contratada pelo consumidor no horário de ponta (é o período de três horas consecutivas, exceto sábados, domingos e feriados definidos pela concessionária de acordo com o seu sistema elétrico), quanto o valor solicitado nas horas fora de ponta (são as outras 21 horas do dia). Nesse sistema também se encontra valores diferentes para o período úmido e seco. (ANEEL,2005), (PROCEL, 2001), (COPEL, 2005).

2.2.4 Levantamento da Curva de Carga

As curvas de carga são um importante parâmetro quando se trata da verificação do consumo de energia feito pela unidade consumidora. Essas informações geralmente se encontram disponíveis junto a concessionária de energia elétrica concedente.

Essas curvas de carga são representadas em gráficos onde pode se conhecer o consumo de energia do cliente através da classe e faixa de consumo que se enquadra o mesmo e também através de sua demanda média. Um exemplo típico é demonstrado na figura 3:

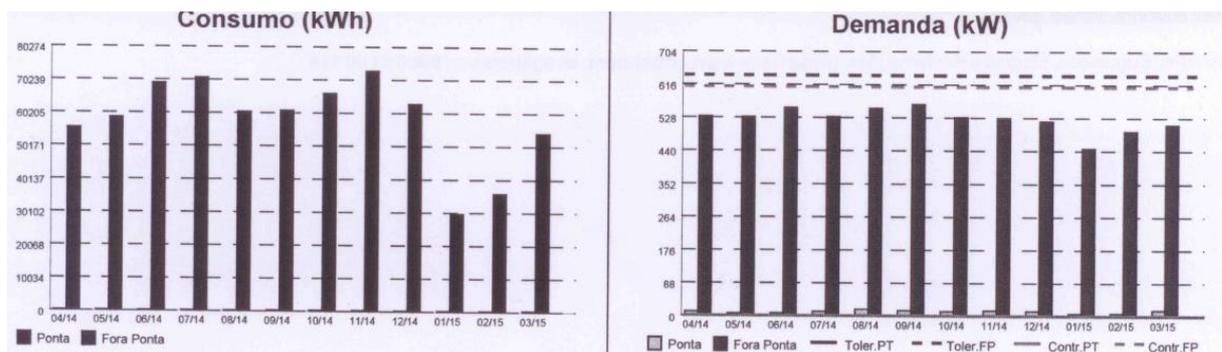


Figura 3 - Curvas de Carga típicas de consumo e demanda por mês.
Fonte: www.copel.com

Através dos gráficos podemos analisar mês a mês o consumo e a demanda de energia que a empresa utilizou, podendo assim analisar se o seu consumo está dentro do planejado e se o consumidor está utilizando de forma adequada a sua demanda contratada junto a concessionária de energia elétrica onde pode ser notado

dados importantes como a utilização da demanda no horário de ponta e fora de ponta o valor da demanda contratada e a demanda realmente utilizada pelo consumidor.

2.2.4.1 FATOR DE CARGA (FC)

O fator de carga é um dos mais importantes indicadores do uso eficiente da energia elétrica numa indústria; esse índice é a razão entre a demanda média e a demanda máxima utilizadas pela unidade consumidora no mesmo intervalo de tempo (ANEEL, 2010).

$$FC = \frac{\textit{Demanda Média}}{\textit{Demanda Máxima}} \quad (1)$$

A melhoria desse fator de carga traz como resultado um menor pico de demanda, permitindo, por exemplo a redução da demanda contratada, e conseqüentemente evitando custos desnecessários. Outra vantagem da melhoria do fator de carga é atender novas cargas, sem a necessidade de reforço na rede elétrica, ou aumentar a demanda contratada. Esse fator varia entre 0 e 1, e quanto mais próximo da unidade, menor será o custo da energia e o aproveitamento dela será mais eficiente, conforme a figura 4 (PORTOLANN, 2011), (PANESI, 2006).

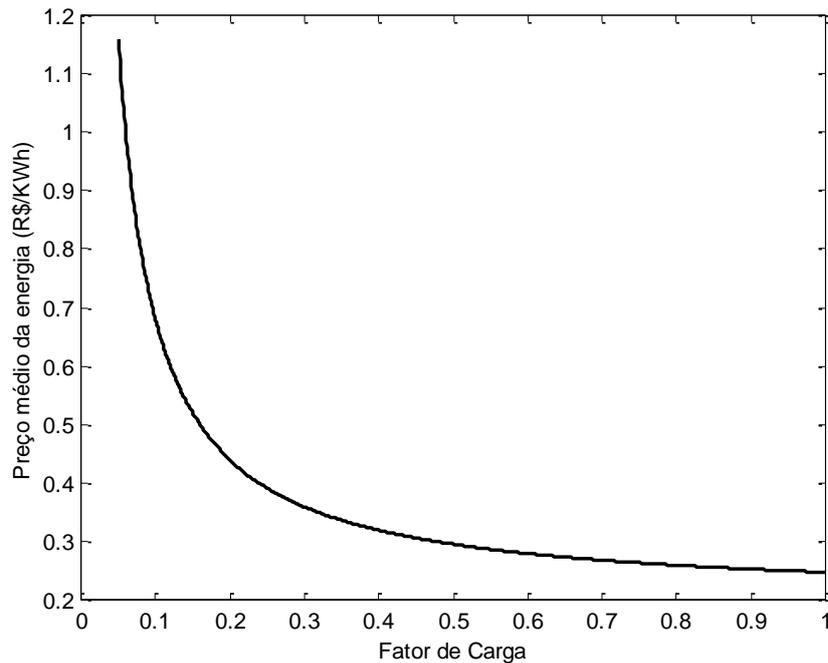


Figura 4 – Preço médio da Energia Elétrica x FC.
Fonte: PORTOLANN, (2001, pg 2).

Através da figura 4 constatamos a importância do estudo do fator de carga quando se diz respeito a eficiência energética em uma indústria, pois possibilita examinar se o consumo de sua indústria está correto sem ter desperdícios de energia.

2.3 FATOR DE POTÊNCIA

O fator de potência é um parâmetro de fundamental importância quando se fala em estudo de conservação de energia em indústrias, pois, através dele podemos estabelecer parâmetros que nos dizem se os nossos aparelhos elétricos estão se comportando de maneira correta.

A eficiência no fornecimento e uso da energia pode caracterizar o fator de potência na indústria variam de 0 a 1. Desta maneira, a legislação do setor elétrico determina que as empresas do ramo industrial não trabalhem com seu fator de potência abaixo de 0,92, caso isso ocorra a empresa sofrerá uma cobrança em reais

pelo baixo fator de potência apresentado. Esse valor pode ser calculado da seguinte forma (COPEL, 2005):

$$\text{Acréscimo} = \text{Valor da Fatura} \times \left[\frac{0,92}{\text{FP medido}} - 1 \right] \quad (2)$$

As principais causas de o fator de potência estar abaixo do mínimo admissível são motores elétricos operando a vazio ou superdimensionados durante um longo tempo, transformadores operando da mesma forma que os motores elétricos, grande quantidade de motores de pequena potência, pois, na maioria das vezes esses motores trabalham superdimensionados provocando diminuição do fator de potência (COPEL, 2005).

As principais consequências de um baixo FP para a indústria são:

- Flutuações de tensão, podendo ocasionar a queima de motores;
- Sobrecarga de equipamentos, podendo danificar os mesmos;
- Condutores aquecidos;
- Desgaste nos dispositivos de proteção e manobra da instalação elétrica;
- Aumento nas perdas elétricas do sistema.

Para que isso não ocorra, pode-se adotar medidas de prevenção para que a instalação elétrica não sofra com o baixo fator de potência, as quais abordaremos nos próximos capítulos.

2.4 ESTUDO DO FLUXO DE POTÊNCIA

Quando tratamos de propor um estudo de fluxo de potência em instalações elétricas industriais, visamos representar a rede de maneira que se possa estimar as demandas das cargas instaladas e as tensões dos geradores que as excitam bem como as tensões nas barras do sistema. Sendo que esse estudo tem por finalidade nos apresentar: (KAGAN,2009)

- Cálculo de tensão nas barras, que resulta em valores de tensão precisos e diagnósticos do comportamento das cargas;

- O carregamento dos componentes da rede elétrica, através dos valores de corrente e potência;
- O cálculo das perdas, na forma de potência e energia que são entregues ao sistema.

O comportamento dos equipamentos em regime permanente quando há variação de tensão depende muito da forma construtiva e do princípio de funcionamento da máquina que está instalada. Existem vários modelos que podem ser representados para demonstrar o comportamento das cargas em função da tensão, o modelo a ser seguido no trabalho será o método de soma das correntes onde consideramos as cargas como sendo Potência Constante. Nesse modelo as potências das cargas não variam em função da tensão de fornecimento, sendo assim não há alteração de seus valores permanecendo igual ao valor nominal. Através da equação (3) calculamos a potência aparente solicitada pela carga (KAGAN,2009).

$$S_c = P_c + jQ_c \quad (3)$$

Onde: S_c : é a potência aparente solicitada pela carga.

P_c : é a potência ativa absorvida pela carga.

Q_c : é a potência reativa solicitada pela carga.

E quando analisamos as correntes nos trechos do sistema observamos o comportamento inversamente proporcional à tensão aplicada, na qual pode ser visto através da equação (4).

$$I_c = \frac{S_c^*}{V_c^*} \quad (4)$$

Onde:

I_c : Corrente absorvida pela carga.

V_c : Tensão aplicada a carga.

A equação 5 representa a fórmula geral utilizada no método de soma das correntes para o cálculo das tensões nas barras do sistema de potência, onde partimos do nó da fonte, atualizando as tensões até chegar na barra final do sistema (KAGAN,2009).

$$E_1^{(1)} = E_0 - (Z_{01} \times I_1^{(0)}) \quad (5)$$

Onde:

$E_1^{(1)}$ = Tensão complexa calculada no trecho 1 do sistema;

E_0 = Tensão complexa inicial de referência do sistema;

Z_{01} = Impedância complexa entre a barra de referência e a barra 1 do sistema;

$I_1^{(0)}$ = Corrente complexa inicial do sistema.

O método é aplicado até que se obtenha a convergência pelo critério do desvio de tensão que é quando esse conjunto de valores está próximo da solução. Esse critério do desvio de tensão está representado através da equação 6 (KAGAN, 2009).

$$\Delta E_i = |E_i^{k+1} - E_i^k| \leq \varepsilon \quad (6)$$

Quando consideramos sistemas complexos para análise, instalações que apresentem um grande número de cargas e um número elevado de barras, faz-se o uso de recursos computacionais para obtenção das amplitudes das tensões das barras do sistema. Um software particular que faz o cálculo desse tipo de sistemas é o software de simulação Matlab, onde através de um código implementado pelo usuário pode-se determinar as equações das amplitudes de tensão das n barras do sistema de potência (KAGAN, 2009).

2.4.1 Perdas na Rede Elétrica

As principais perdas que encontramos em instalações elétricas são as perdas por efeito joule que são provocadas pela passagem de corrente sobre condutores ocasionando o seu aquecimento, esse aquecimento ocasiona perdas devido ao calor, muitos componentes do nosso sistema sofrem com essas perdas como: transformadores, motores, cabos condutores, etc (KAGAN,2009).

Existem também as perdas por histerese que são as perdas associadas a imantação remanescente do ferro, tipicamente presentes em materiais como transformadores, motores, reatores, etc (COPEL, 2005). Através da equação 7 podemos obter as perdas de energia do sistema.

$$S_{L(ik)} = (I_{ik}^2)^* \times Z_{ik} \quad (7)$$

2.5 PLANO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

O plano de conservação de energia buscará unir todas as informações coletadas do sistema elétrico de potência, bem como as informações de tarifação recolhidas a fim de propor soluções eficientes energeticamente e com isso também obtendo resultados positivos financeiramente para o consumidor, pois a partir da identificação do ponto onde a energia elétrica está sendo utilizada de maneira incorreta, poderemos indicar alternativas onde essa energia possa ser utilizada de maneira correta sem desperdícios e forma eficaz para a instalação, com isso eliminando o uso incorreto de energia elétrica.

3. ESTUDO DE CASO - DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DA INSTALAÇÃO ELÉTRICA INDUSTRIAL

Quando se envolvem estudos de eficiência energética no ramo da indústria, é de suma importância definir a metodologia que será utilizada para levantar e analisar os dados a serem estudados. Para isso buscamos soluções de modo a otimizar o consumo de energia da empresa, levantando possíveis pontos de redução de energia elétrica bem como a análise do fluxo de potência da empresa visando principalmente cargas pesadas, verificando também a viabilidade econômica do mesmo.

Junto a empresa foi proposto o plano de conservação de energia, de forma que através dos dados obtidos possivelmente será realizado a sua implementação agregando ainda mais ao trabalho. O diagnóstico energético se deu da seguinte forma:

- Levantamento da instalação elétrica da empresa buscando observar as máquinas instaladas, bem como sua distribuição;
- Levantamento das cargas instaladas e sua distribuição, observando também o fator de potência da indústria;
- Análise dos dados técnicos cadastrais da empresa junto a concessionária de energia elétrica;
- Obtenção do diagrama unifilar (aproximado) da instalação elétrica bem como o estudo de fluxo de potência da unidade consumidora;
- Proposição do plano de conservação de energia.

O estudo foi feito em um britador da região de Pato Branco-PR. Iniciando as atividades a serem desenvolvidas, foi feita a vistoria nas instalações elétricas da empresa a fim de levantar informações a respeito do quadro elétrico da instalação e as condições dos equipamentos da mesma.

Pode-se constatar que alguns desses maquinários eram antigos, assim sendo possíveis causadores de consumo ineficiente de energia elétrica. Foi determinado um levantamento das cargas instaladas no sistema, sendo analisado através dos dados de placa dos motores e junto a dados do fornecedor dos equipamentos, alguns não foram possíveis obter dados com precisão devido à má conservação dos mesmos e o tempo de uso. As tabelas 1 e 2 apresentam os dados do levantamento das cargas instaladas na indústria.

Tabela 1 - Levantamento das cargas instaladas na indústria.

EQUIPAMENTO	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	POTÊNCIA (CV)
Motor 1	380	-	250
Motor 2	380	-	250
Motor 3	380	119	150
Motor 4	380	-	250
Motor 5	380	119	150
Equipamentos	380/220/127	-	150

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 2 - Características dos Transformadores.

TRANSFORMADORES	POTÊNCIA (KVA)	TENSÃO (V)
Transformador 1	500	13800/380

Transformador 2	300	13800/380
-----------------	-----	-----------

Fonte: Autoria Própria.

Feito o levantamento das cargas instaladas foi criado um esquema simplificado da disposição dos equipamentos no sistema elétrico, sendo demonstrado desde a alimentação que é feita pela Copel através de cabos aéreos 2 AWG CA com tensão de fornecimento de 13.800V, passando para dois transformadores, um de 500 kVA que alimenta uma parte dos maquinários instalados e outro de 300 kVA que é encarregado de alimentar o restante dos equipamentos. A distribuição dos equipamentos é apresentada na figura 3 com a barra de referência 1 sendo a subestação da Copel.

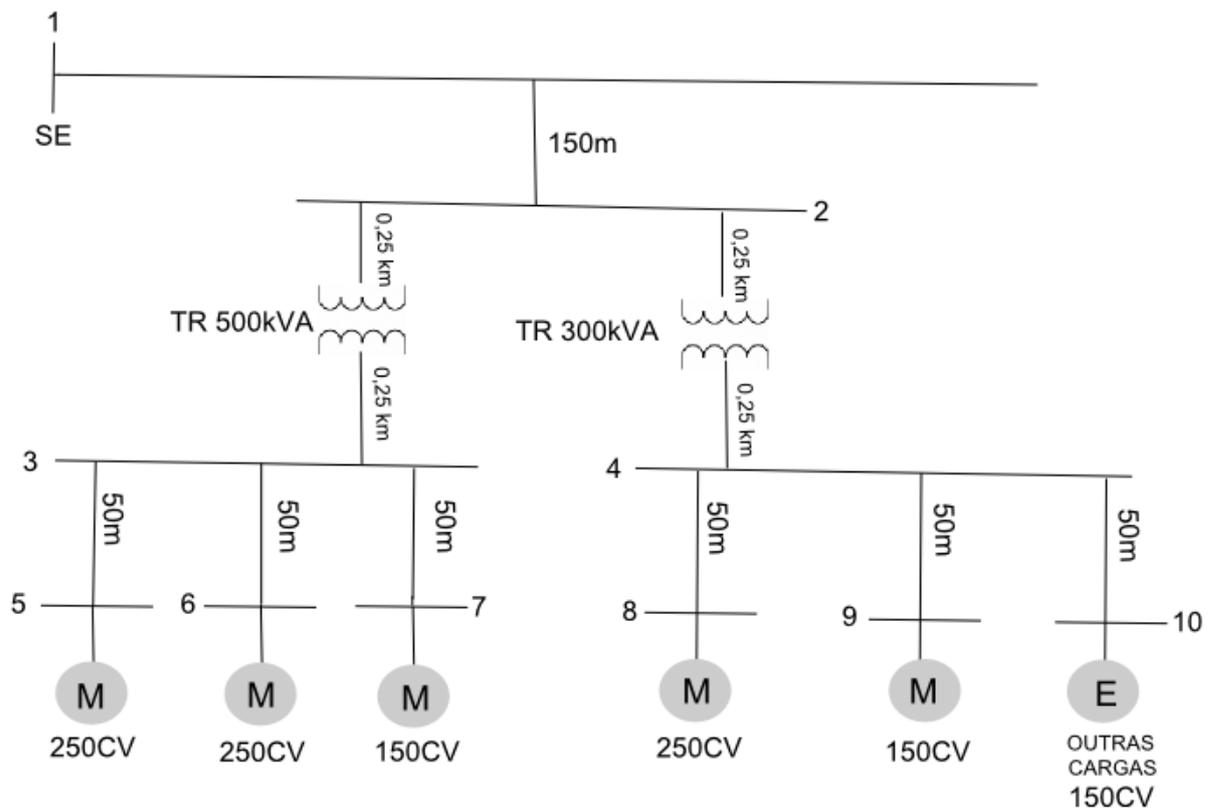


Figura 5 - Distribuição das cargas instaladas.

Fonte: Autoria Própria.

Com o levantamento das cargas feito a próxima etapa é a análise da fatura de energia elétrica junto a concessionária de energia responsável pelo serviço que no estado do Paraná é a Copel.

Verificando o contrato de fornecimento de energia observamos que o enquadramento no qual a indústria está vinculada é o horosazonal –verde que nos diz que a empresa necessita de uma demanda contratada junto a concessionaria para poder operar corretamente sendo diferenciado nos períodos úmido e seco. Através do contrato de fornecimento de energia podemos identificar a demanda contratada pela empresa que é de 610 kW.

3.1 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA DA INDÚSTRIA

Fazendo o levantamento da energia contratada pela empresa constatou-se que a indústria utiliza menos energia do que contrata junto a Copel, implicando em uma má adequação da utilização de energia pois o valor de energia não consumido é pago da mesma maneira pela empresa sendo somente descontado o ICMS desse valor. A tabela 3 demonstra os valores gastos pela indústria nos meses de janeiro, fevereiro, março de 2015 retirados da fatura de energia elétrica calculada pela Copel.

Tabela 3 - Valores de faturamento da indústria referente ao mês 01/15

	Valor Medido	Contratado (kW)	Valor da Tarifa (R\$)	Total (R\$)
Consumo Fora de Ponta	29.751 kWh	610	0,2674	7.955,81
Consumo na Ponta	273 kWh		0,7326	200,80
Demanda	446,68 kW		8,8270	3.942,87
Demanda Isenta ICMS	163,32 kW		6,1467	1.003,88
Energia Reat. Exced. FP	1350 VAr		0,2824	381,34
Energia Reat. Exced. P	147 VAr		0,2824	41,52
Energia AD. Band. Verm.				1.662,21

FONTE: COPEL.
Tabela feita pelo autor.

Tabela 4 - Valores de faturamento da indústria referente ao mês 02/15

	Valor Medido	Contratado (kW)	Valor da Tarifa (R\$)	Total (R\$)
Consumo Fora de Ponta	35.987 kWh	610	0,2719	9.787,19
Consumo na Ponta	242 kWh		0,7451	180,32
Demanda	491,61 kW		8,9772	4.413,33
Demanda Isenta ICMS	118,39kW		6,2191	736,28
Energia Reat. Exced. FP	447 VAr		0,2824	128,40
Energia Reat. Exced. P	147 VAr		0,2824	41,52
Energia AD. Band. Verm.				1662,21

Tabela 5 - Valores de faturamento da indústria referente ao mês 03/15

	Valor Medido	Contratado (kW)	Valor da Tarifa (R\$)	Total (R\$)
Consumo Fora de Ponta	54.157 kWh	610	0,3303	17.888,77
Consumo na Ponta	319 kWh		0,8146	259,87
Demanda	509,76 kW		9,0307	4.603,53
Demanda Isenta ICMS	100,24 kW		6,2447	625,28
Energia Reat. Exced. FP	465 VAr		0,3484	162,01
Energia Reat.	120 VAr		0,2824	33,88

Exced. P			
Energia AD.			4.160,50
Band. Verm.			

Através dos dados contidos nas tabelas 3, 4 e 5 podemos observar principalmente que o valor da demanda consumida pela empresa no mês de janeiro foi de 446,68 kW, com isso restando 163,32 kW que serão pagos pelo proprietário sem o uso da demanda efetivamente. Fazendo uma média dos 3 meses analisados, podemos observar que a demanda média utilizada pela empresa é de 482,69 kW.

Podemos perceber também que há uma utilização correta da energia entre os horários de Ponta (3h consecutivas onde o valor do kWh = 0,7327) e o horário fora de ponta (as outras 21h onde o valor do kWh = 0,2674), fazendo com que a empresa não sofra financeiramente esse impacto por não operar nos horários corretos. Podemos observar que a empresa possui controladores de fator de potência os quais estão na maior parte do tempo com seu FP = 0,92 ou maior, as perdas de energia reativa excedente não possuem valores tão altos, mas podem ser diminuídos com medidas de eficiência energética no controle do FP. Nas figuras 6 e 7 poderemos ter uma noção mais geral de como é utilizado o consumo e a demanda da indústria afim de ter uma percepção melhor da situação da empresa.

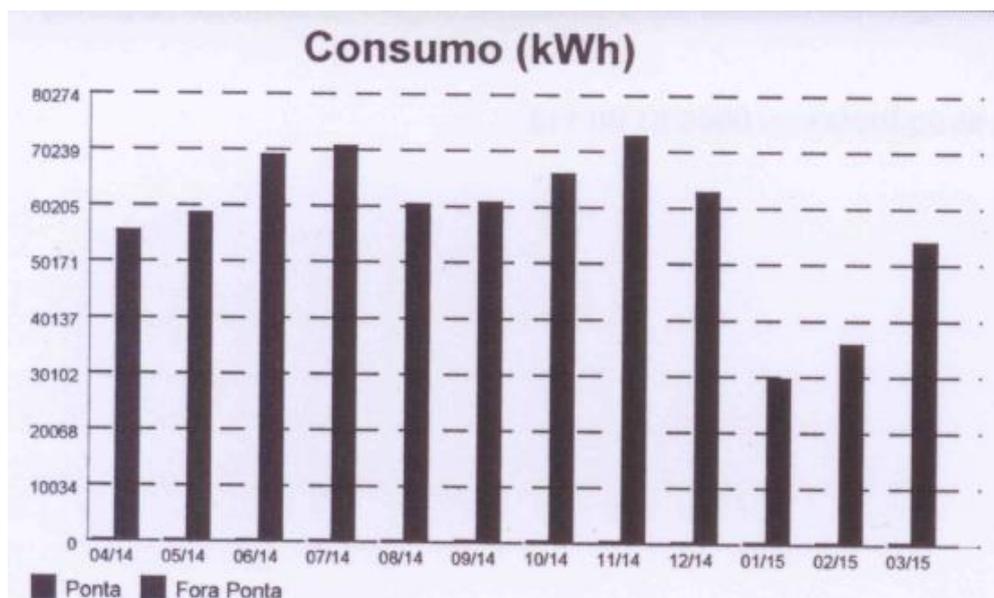


Figura 6 - Consumo em kWh da indústria.
Fonte: COPEL

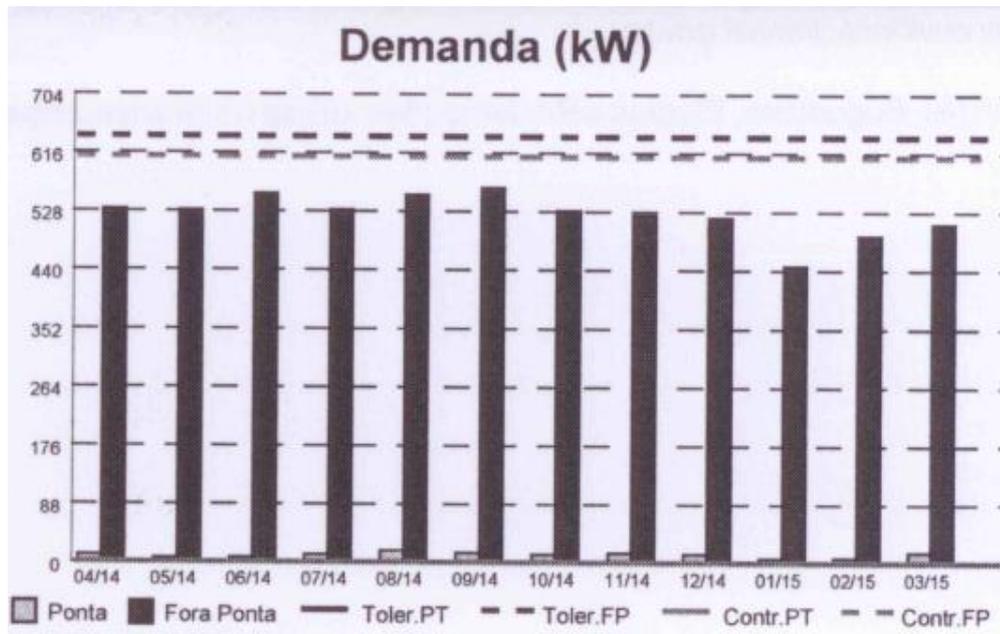


Figura 7 - Demanda em kW utilizada pela indústria.
Fonte: COPEL.

Observando os dados das figuras 6 e 7 notamos que uma média do consumo em kWh entre os meses de janeiro a março girou em torno de 39.965,00 kWh por mês e a sua demanda utilizada girou em torno de 482,68 kWh ao mês, com isso percebemos que a empresa utiliza menos energia que contrata, onde pela figura 7 podemos perceber que o valor da energia contratada é de 610 kW.

Podemos perceber então com o estudo de eficiência energética pode-se reduzir esse gasto a mais que a empresa está tendo com a utilização inadequada de energia tendo que pagar pela energia que não utiliza mais que contrata.

3.2 ESTUDO DO FLUXO DE POTÊNCIA PARA INDÚSTRIA.

Para a análise do fluxo de potência ser feita, tivemos que partir desde o ponto de levantamento do diagrama unifilar da indústria, pois a mesma não dispunha do diagrama para tirarmos os dados de impedância dos cabos e materiais, bem como suas distâncias. Assim, primeiramente foi levantado o diagrama unifilar aproximado da indústria.

Através da figura 5 podemos perceber que o nosso sistema está dividido em 10 barras. Supõe-se, ainda que a tensão de fornecimento concedida pela concessionária de energia, na barra de entrada do sistema seja constante e com valor de 1,025 pu (2,5% acima da nominal). A Figura 8 é o diagrama unifilar da indústria considerada na qual podemos verificar as impedâncias em cada trecho do sistema bem como as impedâncias dos equipamentos .

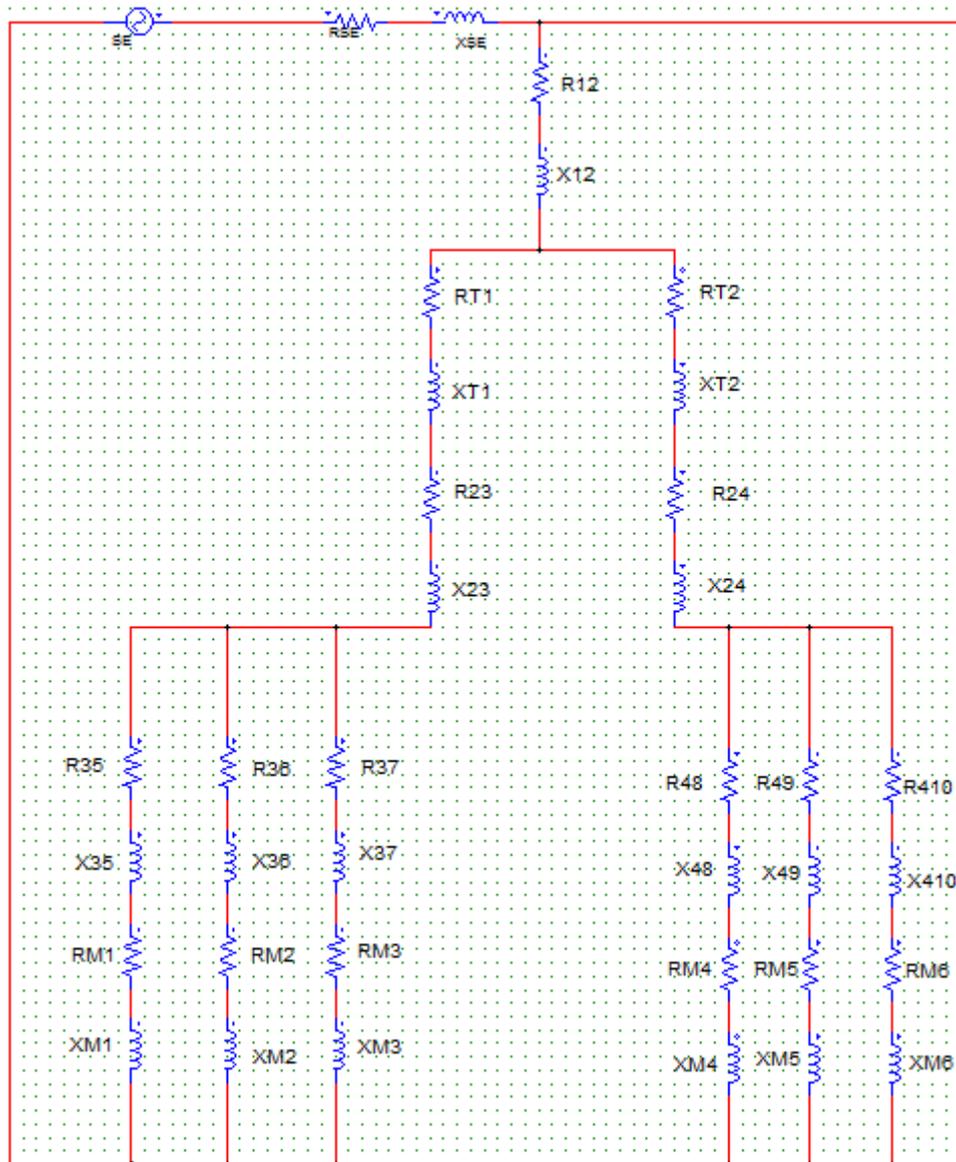


Figura 8 - Diagrama unifilar da indústria.
Fonte: Autoria Própria.

3.3 ESPECIFICAÇÃO DOS CONDUTORES

Para poder encontrar os valores das impedâncias dos condutores da instalação elétrica industrial, foram efetuadas medições das seções transversais (mm^2) dos cabos condutores. Durante a vistoria na empresa constatou-se que o cabo da rede de distribuição que chega para a instalação é um cabo do tipo 02 AWG CA (cabo de alumínio), onde possui uma resistência de $0,8507 \text{ } \Omega/\text{km}$ e reatância de $0,3566 \text{ } \Omega/\text{km}$, também através do levantamento em campo feito observamos que o tipo de cabo encontrado dentro da instalação industrial (cabos subterrâneos) é um cabo de cobre isolado PVC 4/0 com 120 mm^2 de espessura com resistência de $0,1868 \text{ } \Omega/\text{km}$ e reatância de $0,1076 \text{ } \Omega/\text{km}$ (MAMEDE,2008).

Quando conhecemos o comprimento total dos cabos entre as barras podemos obter a impedância total em cada trecho do nosso sistema de potência, onde podemos pegar esse comprimento medido entre as barras do sistema e multiplicamos pela impedância e o número de cabos existente por fase, essa fórmula é expressa através da equação 9.

$$Z_T = L \times Z \quad (9)$$

Onde:

Z_T = Impedância total em cada trecho do sistema (Ohm);

L = Distância entre as barras (km);

Z = Impedância entre as barras do sistema (Ohm/Km);

Observando o diagrama unifilar aproximado e as informações obtidas no levantamento em campo, podemos encontrar as impedâncias totais em cada trecho do sistema, as quais estão expressas na tabela 4.

Tabela 6 - Impedância total por trecho do sistema.

Trecho L(km)	Cabo	Impedância Z (Ω/km)	Impedância Total Z_T (Ω)
$L_{12} = 0,150$	02 AWG	$0,8507 + j0,3566$	$0,1276 + j0,0535$
$L_{35} = L_{36} = 0,050$	4/0 CA	$0,1868 + j0,1076$	$0,0093 + j0,0054$

$L_{37}=L_{48} =$ 0,050	4/0 CA	0,1868 + j0,1076	0,0093 + j0,0054
$L_{49} =$ $L_{410} =$ 0,050	4/0 CA	0,1868 + j0,1076	0,0093 + j0,0054

3.4 CÁLCULO DAS TENSÕES NAS BARRAS DO SISTEMA ELÉTRICO INDUSTRIAL

Como descrito no item 2.4, foi adotado o método da soma das correntes para encontrar as tensões em todas as barras da instalação elétrica, a fim de descobrir se existem sobtensões em alguns pontos da rede e possíveis sobrecargas nos componentes da rede elétrica. Também, como é bem conhecido, o estudo de fluxo permite verificar as perdas na rede elétrica.

Inicialmente para calcularmos as tensões nas barras atribuímos a barra de referência o valor de $1 \angle 0^\circ$, sendo essa tensão no momento inicial sendo válida para as demais barras.

Através da equação 4 obtemos os valores das correntes em cada trecho do sistema, esses valores de corrente podem ser vistos através da tabela 5.

Tabela 7 - Correntes nos trechos do sistema.

Caminho da Corrente	Valor (pu)
$I_{12}^{(0)}$	$2,4 \angle -36,86^\circ$
$I_{23}^{(0)}$	$1,3 \angle -36,86^\circ$
$I_{24}^{(0)}$	$1,1 \angle -36,86^\circ$
$I_{35}^{(0)}$	$0,5 \angle -36,86^\circ$
$I_{36}^{(0)}$	$0,5 \angle -36,86^\circ$
$I_{37}^{(0)}$	$0,3 \angle -36,86^\circ$
$I_{48}^{(0)}$	$0,5 \angle -36,86^\circ$
$I_{49}^{(0)}$	$0,3 \angle -36,86^\circ$

$I_{410}^{(0)}$	$0,3 \angle -36,86^\circ$
-----------------	---------------------------

Com os valores das correntes calculados podemos utilizar a equação 5 para obter os valores de tensão em cada barra do sistema. A tensão na barra 1 foi considerada $V_1 = 1,025 + j0$ p.u., ela estando assim 2,5% acima da tensão nominal. Os resultados das tensões nas demais barras do sistema podem ser vistas na tabela 6. O sobreíndice (1) significa que foi efetuada uma iteração no estudo de fluxo, depois de estimados os valores iniciais para as tensões.

Tabela 8 - Valores das tensões em pu.

Tensão na Barra	Valor (pu)
$V_2^{(1)}$	$1,0242 \angle 1,1186^\circ$
$V_3^{(1)}$	$0,9785 \angle -2,0791^\circ$
$V_4^{(1)}$	$0,9598 \angle -2,9682^\circ$
$V_5^{(1)}$	$0,9599 \angle -1,9819^\circ$
$V_6^{(1)}$	$0,9599 \angle -1,9819,^\circ$
$V_7^{(1)}$	$0,9674 \angle -2,0200^\circ$
$V_8^{(1)}$	$0,9411 \angle -2,8867^\circ$
$V_9^{(1)}$	$0,9486 \angle -2,9185^\circ$
$V_{10}^{(1)}$	$0,9486 \angle -2,9185^\circ$

Convertendo os valores da tabela 6 para valores reais de tensão obtemos os seguintes resultados:

Tabela 9 - Valores das amplitudes de tensão em V.

Tensão na Barra	Valor (V)	Queda de Tensão ($\Delta V\%$)
$V_2^{(1)}$	$14.130 \angle 4,0549^\circ$	+1,41%
$V_3^{(1)}$	$371,86 \angle -0,3204^\circ$	2,15%
$V_4^{(1)}$	$364,73 \angle -0,4665^\circ$	4,02%

$V_5^{(1)}$	$364,79 \text{ V} - 0,3109^\circ$	4,01%
$V_6^{(1)}$	$364,79 \text{ V} - 0,3109^\circ$	4,01%
$V_7^{(1)}$	$367,61 \text{ V} - 0,3148^\circ$	3,30%
$V_8^{(1)}$	$357,66 \text{ V} - 0,4629^\circ$	5,88%
$V_9^{(1)}$	$360,49 \text{ V} - 0,4610^\circ$	5,14%
$V_{10}^{(1)}$	$360,49 \text{ V} - 0,4610^\circ$	5,14%

As tensões resultantes ficaram praticamente dentro da faixa de tolerância permitida pela norma NBR 5410 que é de 7% de queda de tensão, sendo que a menor verificada (barra 8) está com 5,88% abaixo da nominal. Pode-se concluir que a rede elétrica está bem dimensionada (particularmente transformadores e condutores).

3.5 CÁLCULO DAS PERDAS NA REDE ELÉTRICA

Como já comentado no item 2.4.1 iremos calcular as perdas de energia elétrica presentes em nosso sistema, com isso utilizando a equação 7 estão apresentadas as perdas elétricas que acontecem em cada trecho do nosso sistema em estudo. Na tabela 8 encontramos os valores das perdas em pu para cada trecho do sistema.

Tabela 10 - Perdas elétricas em pu.

Perdas nos trechos	Valor (pu)
S_{L12}	0,0013 - j 0,0016
S_{L23}	0,0262 - j 0,0898
S_{L24}	0,0317 - j 0,0166
S_{L35}	0,0067 - j 0,0065
S_{L36}	0,0067 - j 0,0065
S_{L37}	0,024 - j 0,0023
S_{L48}	0,0067 - j 0,0065
S_{L49}	0,024 - j 0,0023

S_{L410}	0,024 – j 0,0023
------------	------------------

Convertendo os valores da tabela 8 em valores reais de potência, obtemos os seguintes resultados:

Tabela 11 – Perdas Elétricas em VA.

Perdas nos trechos	Valor (VA)
S_{L12}	657,21 – j 818,31
S_{L23}	13100,54 – j 44916,14
S_{L24}	15869,63 – j 8322,13
S_{L35}	3367,41 – j 3228,90
S_{L36}	3367,41 – j 3228,90
S_{L37}	1212,26 – j 1162,40
S_{L48}	3367,41 – j 3228,90
S_{L49}	1212,26 – j 1162,40
S_{L410}	1212,26 – j 1162,40

3.6 MOTORES ELÉTRICOS

Os motores elétricos são responsáveis por boa parte do consumo de energia elétrica no setor industrial esse valor chega a ser de 50 a 60% da energia elétrica consumida na indústria. Feito o levantamento de carga na unidade em análise, foi verificado que alguns motores eram muito antigos, sendo que por serem motores antigos consomem mais energia elétrica e possuem um baixo fator de potência comparado a motores tipicamente utilizados hoje em dia, com isso sugeriu-se a utilização de motores de alto rendimento (WEG, 2015).

Os motores de alto rendimento comparado aos motores de linha padrão consomem menos energia porem tem um custo maior de aquisição, esse custo maior na compra de motores de alto rendimento é compensado pelo menor custo operacional, sendo que o tempo para retorno desse investimento se paga rapidamente pois a economia de energia gerada por ele é muito maior comparado aos motores de linha padrão (ELETROBRÁS, 2002).

4. PROPOSIÇÃO DO ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Com a obtenção dos resultados da avaliação do estudo de eficiência energética na instalação elétrica industrial foi feito um diagnóstico para fins de viabilizar o estudo, através dos resultados obtidos no trabalho podemos constatar as seguintes oportunidades.

- Redução na demanda contratada junto a concessionária, afim de ter uma economia financeiramente, levando em consideração o estudo do consumo e demanda de energia apresentado.
- Diagnóstico das quedas de tensão nas barras e as perdas ocasionadas por elas e os equipamentos.
- Possibilidade de substituição de motores antigos, por outros de alto rendimento afim de diminuir custos com energia elétrica e energia reativa excedente.

4.1 REDUÇÃO DA DEMANDA CONTRATADA

Como visto através dos dados das faturas de energia elétrica fornecidas pela concessionária de energia elétrica do paraná a indústria utiliza a demanda contratada de forma incorreta, fazendo com que se tenha um prejuízo financeiro para a empresa. Dessa forma foram feitas simulações no site da concessionaria e constatou-se que o melhor enquadramento tarifário que a indústria poderia se adequar é o horo sazonal verde, como a empresa já está enquadrada nesse grupo tarifário não se necessita fazer alterações nesse item, porem um ponto chave é a demanda contratada feita por ela, essa sim terá que ser reanalisada afim de diminuir os gastos com a energia que a empresa não utiliza mas paga da mesma forma pois a contratou.

Como podemos observar através da figura 7 a demanda contratada se considerarmos os últimos três meses está sendo utilizada de maneira incorreta, se fizermos uma média essa demanda realmente utilizada gira em torno de 482,69 kW um consumo relativamente menor comparado aos 610 kW contratados pela empresa junto a concessionaria. Dessa maneira, foi proposto uma redução dessa demanda

contratada em torno de 15% fazendo com que esse valor fosse para 520 kW. Com essa redução a empresa teria uma economia em sua tarifa em torno de R\$ 800,00 fazendo com isso que o excedente pago pela não utilização da demanda contratada fosse praticamente eliminado. Para que essa mudança no enquadramento possa ser realmente efetiva o representante legal da indústria deve protocolar o pedido de redução da demanda contratada com 180 dias de antecedência junto a Copel para que assim possa ser alterado para o novo valor calculado.

4.2 ANÁLISE DO FLUXO DE POTÊNCIA

Através das amplitudes de tensão calculadas no item 3.4 pode se avaliar de uma maneira eficaz como a instalação industrial elétrica está dimensionada e se ocorrem grandes perdas por um mal dimensionamento da mesma já que conseguimos analisar todos os níveis de tensão em cada barra do sistema em comparação com a tensão nominal.

Observando os valores da tabela 6 constatamos que os valores de tensão estão de acordo com os níveis de tensão exigidos em norma, pois se é exigido que não ocorra uma grande variação nesses níveis de tensão, caso ocorra essa variação pode ser levado a operações inesperadas e comprometendo assim o funcionamento do sistema como um todo.

Através da tabela 9 podemos constatar as perdas existentes nos trechos do sistema, podemos perceber que os trechos L_{23} e L_{24} são os trechos do sistema que apresentam o maior valor de perdas por aquecimento, isso se dá pelo fato de existir nesses trechos transformadores conectados a eles e com isso esses equipamentos no processo de transferência de energia geram perdas as quais dependem da construção do transformador bem como do tempo contínuo de funcionamento.

Algumas medidas que podem ser tomadas para diminuir essas perdas nos trechos conectados pelos transformadores é a elevação do fator de potência da indústria, como a indústria opera praticamente o tempo todo com o seu $FP = 0,92$ com isso livre de pagar financeiramente por excesso de reativos gerado no sistema, outra solução viável seria uma distribuição adequada das cargas entre os transformadores

a fim de equilibra-los de maneira que não apresentem perdas pelo carregamento elevado. Já os demais trechos do sistema que possuem motores e outros tipos de cargas conectadas a ele podem ser minimizadas observando se as conexões entre os cabos condutores e equipamentos estão feitas de maneira correta caso não estejam feitas de maneira correta ocasionaram uma passagem de resistência de contato a qual terá perdas por aquecimento devido a passagem da corrente elétrica resultando em um desperdício de energia elétrica. Outras maneiras de limitar essas perdas em condutores seria utilizar materiais de baixa resistividade que no caso da indústria em estudo utiliza cabos de cobre que possui uma baixa resistividade, também utilizar cabos com seções transversais maiores, como esses cabos são relativamente caros, o correto é dimensionar de maneira que os cabos atendam as normas técnicas.

4.3 UTILIZAÇÃO DE MOTORES DE ALTO RENDIMENTO

Na indústria se observarmos a tabela 1 encontramos motores de 250 CV e 150 CV alguns desses motores já estão a muito tempo em operação, com isso suas trocas podem gerar uma economia de demanda considerável juntamente com a redução de potência reativa excedente cobrado na fatura de energia elétrica. Através da equação 10 podemos descrever a energia economizada (ELETROBRÁS, 2002).

$$E = 0,736 \times H \times P \times \left[\frac{1}{\eta_{lp}} - \frac{1}{\eta_{AR}} \right] \quad (10)$$

Onde:

E = Energia elétrica economizada (kWh).

H = Horas de operação do motor no ano.

P = Potência elétrica do motor em cv.

η_{lp} = motor de linha padrão.

η_{AR} = motor de alto rendimento.

Sabendo do bom dimensionamento da instalação, inicialmente faremos o cálculo para os motores de 150 CV, pois como já foi visto anteriormente o custo inicial para implementação desses motores é maior comparado aos motores de linha padrão,

porém o retorno do seu investimento se paga com o tempo. Calcula-se então a economia de energia através da equação 10.

$$E = 0,736 \times 2400 \times 150 \times \left[\frac{1}{0,846} - \frac{1}{0,95} \right]$$

$$E = 34,45 \text{ kWh/ano}$$

Podemos perceber que a economia gerada pela troca dos motores antigos por motores de alto rendimento gira em torno de 34,45 kWh por ano.

Utilizando o simulador da WEG, o tempo de retorno do investimento de um motor de 150cv estipulando um investimento de \$5.000,00 é de 1,25 anos. Através da tabela 10 podemos observar o retorno do investimento da instalação de um motor de alto rendimento e a economia de energia no ano de 40.13 kWh/ano.

Tabela 12 - Tempo de retorno do Investimento de um motor de 150 CV.

Economia (kWh/ano)	40.130,89	Economia (\$/ano)	\$ 4.013,09
Investimento Total (\$)	\$ 5.000,00	Tempo do Retorno do Investimento (anos)	1,25 ano(s)

5. RESULTADOS DO PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Após a determinação dos possíveis pontos de eficiência energética a serem explorados na empresa obtivemos resultados satisfatórios no que se diz respeito ao consumo correto de energia elétrica, sem desperdícios e de maneira eficiente. Ao apresentar os dados a empresa descrevemos cada etapa do estudo de eficiência energética, afim da empresa aderir as soluções.

Primeiramente foram demonstradas as melhoras do sistema e economicamente que a redução da demanda contratada traria para a instalação já citados no trabalho nos itens 3.1 e 4.1. Com essa redução na demanda contratada podemos observar que o dinheiro gasto com a má utilização dessa demanda praticamente foi eliminado, lembrando que a redução foi de 15% do valor da demanda contratada que era de 610 kW passou para 520 kW gerando assim uma economia de

aproximadamente R\$ 800,00 por mês depois da troca e melhora da utilização da energia. A Comparação do histórico de consumo antes e após a mudança está ilustrado através das figuras 9 e 10:

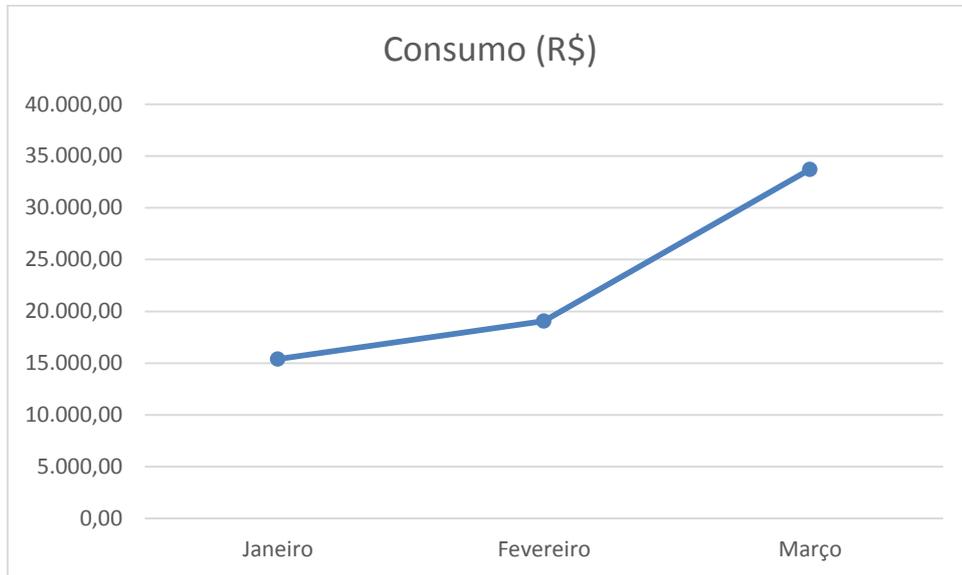


Figura 9 - Consumo antes da redução de demanda.
Fonte: COPEL

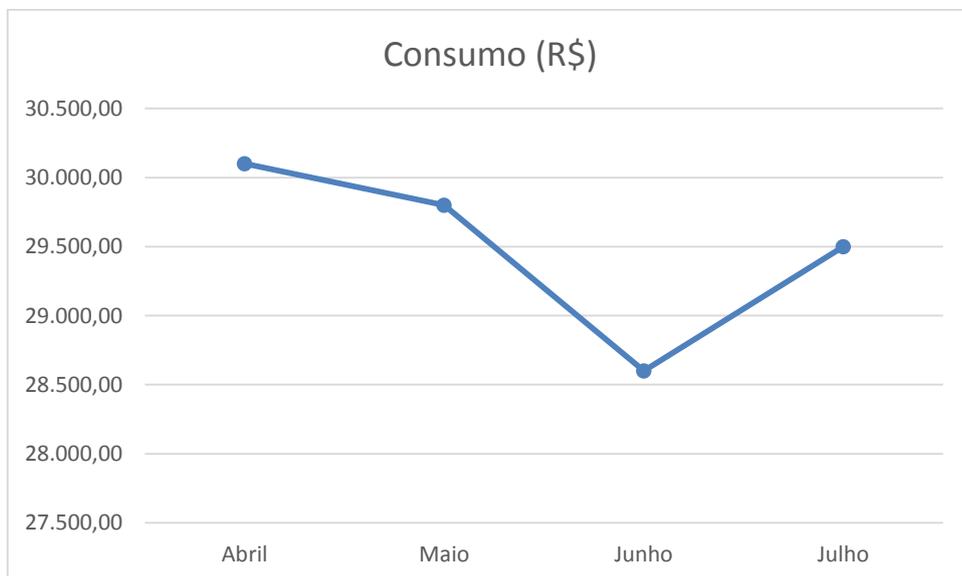


Figura 10 - Consumo depois da redução da demanda.
Fonte: COPEL

Fazendo uma estimativa de redução de custos com a nova demanda contratada e estimando valores da fatura dos meses de abril, maio, junho e julho

estima-se que em torno de 6 meses o valor economizado na fatura de energia elétrica gire em torno de R\$ 5.000,00, comprovando assim o benefício do cálculo correto de demanda a ser contratada junto a concessionária de energia elétrica.

Os resultados do estudo de fluxo de potência da instalação elétrica industrial também foram satisfatórios pois através dos cálculos das amplitudes de tensão podemos estimar que a instalação não sofria com problemas de sobtensões e sobrecargas em equipamentos da mesma, podemos também observar as perdas decorrentes por efeito joule calculadas nos trechos do sistema e foi observado que o trecho que sofria com a maior perda era justamente os trechos onde os transformadores estavam conectados, com isso foi proposto medidas a serem tomadas para minimizar tanto essas perdas nesses trechos ligado nos transformadores como as demais perdas nos trechos do sistema de potência.

A aplicação da substituição dos motores antigos por motores de alto rendimento teve um resultado interessante, pois o seu retorno do investimento se paga rapidamente, em torno de 1,25 anos.

Sabendo também que a instalação não possui grandes perdas nos motores seja por aquecimento ou por excesso de reativos. Com essa substituição a economia de energia ao ano será de aproximadamente 34,45 kWh, com isso ficando a cargo da empresa optar ou não pela substituição dos motores antigos.

6. CONCLUSÃO

Feito o estudo de eficiência energética no Britador Dal Ross localizado no sudoeste do Paraná, a empresa recebeu com bons olhos o estudo para analisar e aplicar os possíveis pontos de conservação de energia. Os resultados foram satisfatórios principalmente os relacionados a mudança da demanda contratada sendo o item que teve maior economia de energia e financeira para a indústria.

O trabalho permitiu a utilização de vários conhecimentos adquiridos durante o curso de muitas disciplinas, como por exemplo Conservação de energia elétrica, Instalações Elétricas Industriais, Análise de redes de distribuição e Análise de sistemas de Potência.

Pode-se verificar através do trabalho que a empresa quando se fala do consumo de energia elétrica tem pontos que podem ser revistos para que se tenha

um melhor aproveitamento da energia elétrica e conseqüentemente redução de custos. Na tarifa como visto em itens anteriores foi identificado pontos de conservação de energia, onde a empresa está contratando uma demanda de 610 kW e utilizando em média 482,68 kW nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2015.

O estudo do fluxo de potência também trouxe resultados satisfatórios, pois através dele podemos perceber que a empresa em geral possui sua rede elétrica bem dimensionada, não possuindo pontos com grande sobrecarga e nem altos desperdícios de energia elétrica, tendo como ponto de máxima queda de tensão no sistema sendo a barra 8 que está 5,88% abaixo da tensão nominal, valor que atende os critérios estabelecidos por norma para queda de tensão.

Outro resultado também observado através do método do fluxo de potência são as perdas existentes nos trechos do sistema, com esses valores calculados foi proposto melhorias para que essas perdas fossem minimizadas como em trechos que possuem transformadores e demais cargas mantendo seu fator de potência sempre igual ou acima de 0,92 para que não se tenha um acréscimo na conta de energia por excesso de reativos no sistema, ter uma distribuição de carga correta para que os equipamentos e condutores não sofram com sobrecarga e que não fiquem superdimensionados.

A implantação dos motores de alto rendimento pensando na economia de energia obteve resultados satisfatórios pois com a implementação desses motores a economia de energia seria maior. Outro dado apresentado a empresa que chamou a atenção foi o tempo de retorno do investimento que através dos cálculos da WEG gira em torno de 1,5 anos, com isso uma medida que futuramente poderá ser implementada.

Com o programa de eficiência energética feito, foi estabelecido uma boa base para futuros programas na área de eficiência energética em outras empresas incluindo o estudo de fluxo de potência que muitas vezes passa despercebido mas tem resultados muito interessantes quando se está interessado em economia de energia através de programas de conservação de energia. Contando também com a experiência obtida no desenvolvimento do trabalho que poderá ser muito útil após a graduação. Fazendo assim com que esse trabalho sirva como referência para futuros programas desenvolvidos na área.

Espera-se que todas as medidas desenvolvidas nesse trabalho possam ser implementadas pela empresa, e com os resultados obtidos possa se ter a economia de energia e a redução da fatura de energia elétrica esperados.

REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência N. D. E. E., **Resolução n 414**. Brasília, DF, 2010.

ANEEL, Agência N. D. E. E. **Tarifas de Fornecimento de Energia Elétrica**. Brasília, DF: [s.n.], 2005.

BORNE, Lucas S. **Eficiência Energética em Instalações Elétricas**. [s.n.], UFRGS, Monografia (grau de Engenheiro Eletricista - Universidade Federal do Rio Grande do Sul), Porto Alegre, 2010.

COPEL, COMPANHIA P. D. E. **Manual de Eficiência Energética na Industria**. 2011. [s.n.], 2005.

ELETROBRÁS, PROCEL, CEPEL. **Motor de Alto Rendimento**. [s.n.], 2002.

ENERGIA, BRASIL. M. D. M. **Plano Nacional de Eficiência Energética** .[s.n.], 2011.

EPE, ENERGÉTICA E. P. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**. Rio de Janeiro, 2015.

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.

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

MARQUES, Milton C. S. et al. **Eficiência Energética - Teoria e Prática**. 1^a ed. Itajubá, MG: [s.n.], 2007.

MARQUES, Milton C. S. et al. **Conservação de Energia - Eficiência de Equipamentos e Instalações**. 3^a ed. Itajubá, MG: [s.n.], 2006.

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

PORTOLANN, C. A. et all, **Aumento de Fator de Carga Industrial com**

Redistribuição de Cargas e Restrição de Forno Elétrico, IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, Juiz de Fora - MG, 28 - 31 Agosto, 2011.

PROCEL, Programa N. C. E. E, **Manual de Tarifação de Energia Elétrica**. [s.n], 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT 1990.

WEG. Disponível em:

<<http://www.weg.net/eficienciaenergetica/substituicao-de-motores/>>. Acesso em: 15 Abril 2015

PROCEL. Disponível em:

<<http://www.eletronbras.com/pci/data/Pages/LUMIS30C25D87PTBRIE.htm>>. Acesso em: 25 Setembro 2014.

