

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO

GUSTAVO DE OLIVEIRA SANTOS

**QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA NA
INDÚSTRIA.**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ITATIBA
2012**

GUSTAVO DE OLIVEIRA SANTOS – R.A. 002200800034

QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA NA INDÚSTRIA.

Monografia apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. D.r Geraldo Peres Caixeta.

**ITATIBA
2012**

AGRADECIMENTOS

- A minha família pela compreensão, apoio e incentivo.
- Ao professor Geraldo Peres Caixeta, orientador deste trabalho, pelas recomendações dadas durante o andamento deste trabalho, motivação e relacionamento.
- A empresa “Maliber Ind. E Com. Têxtil”, pela disponibilidade de sua área para a elaboração do trabalho prático realizado.
- Aos meus amigos, colegas e professores pelo auxílio, ensinamento, incentivo e convivência harmoniosa.

*“A felicidade às vezes é uma bênção,
mas geralmente é uma conquista.”*

Paulo Coelho

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo elaborado de grande importância no quesito de qualidade de energia elétrica, pois com a circulação de transtornos elétricos na rede pode produzir interações nos equipamentos instalados provocando perturbações e gerando a ineficiência dos mesmos. O objetivo deste trabalho é apresentar quais são os tipos de falhas no sistema elétrico que prejudica o funcionamento das máquinas dentro de uma empresa, comprometendo a qualidade da energia elétrica e do material produzido. Neste estudo é abordado o conceito sobre harmônicos, inter-harmônicos, elevações de tensões, afundamentos de tensões, flutuação de tensões e desequilíbrios entre cargas distribuídas. Além destes, também apresenta alguns métodos de cálculos onde se possam obter valores para a identificação de problemas na rede elétrica e mostra algumas soluções a ser adotadas para eliminar tais falhas no sistema ou minimizar, para que ao final se consiga um resultado satisfatório. Também foi realizado um estudo prático a título de exemplo sobre o comportamento da energia elétrica em uma indústria, para isso foi utilizado um aparelho analisador de energia elétrica convencional onde foi possível detectar falhas no sistema e entender graficamente como a rede elétrica se comporta em pleno funcionamento das máquinas. É importante acrescentar que este estudo é algo complexo e deve ser tecnicamente interpretado, um estudo dedicado a qualidade de energia pode ter inúmeras dimensões, pois é um tema de grande abordagem nos dias atuais.

Palavras chaves: Qualidade de energia elétrica, transtornos elétricos, estudo complexo.

ABSTRACT

This work presents an elaborate study of great importance in the issue of power quality, because with the movement of electrical disturbances in the network interactions can produce the equipment installed causing disruption and inefficiency of generating the same. The objective of this paper is to present what are the types of faults in the electrical system that impairs the functioning of the machines within a company, compromising the power quality and the material produced. This study addresses the concept of harmonics, inter-harmonics, voltage rises, dips tensions, fluctuation of tensions and imbalances between distributed loads. Besides these, it also presents some methods of calculations where one can obtain values for identifying problems in the power grid and shows some solutions to be adopted to eliminate such loopholes or minimize to the end that a satisfactory outcome is achieved. There was also a practical study as an example of the behavior of electricity in an industry, it was used for a device analyzer conventional electricity where it was possible to detect system failures and graphically understand how the power grid behaves in full operation the machines. It is noteworthy that this study is complex and must be interpreted technically, a study dedicated power quality can have many dimensions, it is a matter of great approach.

Keywords: Quality of electricity, electrical disorders, complex study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: elevação de tensão detectada dentro da empresa	7
Figura 2: exemplo da cintilação Flicker	8
Figura 3: organograma de distribuição das máquinas	22
Figura 4: distribuição do sistema elétrico.....	23
Figura 5: relação de defasagem entre as fases do sistema.....	26
Figura 6: valor da tensão mínima e máxima entre as fases v1 e v2.	27
Figura 7: valor de tensão mínima e máxima entre as fases v2 e v3.	27
Figura 8: valor de tensão mínima e máxima entre as fases v1 e v3	27
Figura 9: corrente total referente à tabela 1.....	28
Figura 10: corrente total referente à tabela 2.....	28
Figura 11: referente à potência aparente da tabela 1.	29
Figura 12: referente à potência aparente da tabela 2.	29
Figura 13: referente à tabela 1, distorção harmônica total de tensão.	30
Figura 14: referente à tabela 2, distorção harmônica total de tensão.	30
Figura 15: referente à tabela 1, distorção harmônica total de corrente.....	31
Figura 16: referente à tabela 2, distorção harmônica total de corrente.....	31
Figura 17: referente à tabela 1 e 2, piores harmônicos de tensão obtido na linha de medição..	32
Figura 18: referente à tabela 1 e 2, piores harmônicos de corrente obtido na linha de medição	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Medição parte 1	24
Tabela 2: Medição parte 2	25

LISTA DE ABREVIATURAS

PST: Probabilidade de curto prazo.

PLT: Probabilidade de longo prazo.

DHT: Distorção Harmônica total.

DDT: Distorção demanda total

CLP: Controlador lógico programável.

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica.

C.A: Corrente alternada.

C.C: Corrente Contínua

Hz: Unidade de medida para Frequência.

QEE: Qualidade de Energia Elétrica.

ABNT: Associação Brasileira de Normas técnicas.

v: volts

A: amperes

w: watts

RMS: valor quadrático médio ou valor eficaz

SAG: Variação de tensão de curta duração

SURGE: Afundamento de tensão de curta duração

SWELL: Elevação de tensão de curta duração.

TAP: Regulador de tensão

FLICKER: Flutuação de tensão.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO.....	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE ABREVIATURAS.....	VII
1.0 INTRODUÇÃO	1
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 Qualidade da energia elétrica na indústria.....	2
2.2 Geração e distribuição	2
2.3 Consumo da energia elétrica.....	4
2.4 Problemas que afetam a qualidade da energia elétrica	5
2.4.1 Sags e Surges.	6
2.4.2 Subtensão e sobretensão.	6
2.4.3 Flicker.....	8
2.4.4 Harmônicos.....	8
2.5 Efeitos e consequências	10
3.0 METODOLOGIA.....	13
3.1 Detecção e registro de valores de tensão e corrente <i>rms</i>	15
3.2 Variações de tensões.....	16
3.3 Desequilíbrios de tensões	17

3.4 Harmônicos e interharmônicos.....	18
3.5 Flutuações de tensão.....	19
4.0 MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES.....	21
4.1 Análise prática sobre qualidade de energia elétrica.....	21
5.0 RESULTADOS OBTIDOS.....	33
5.1 Transformadores.....	33
5.2 Cargas distribuídas.....	34
5.3 Correntes Harmônicas.....	35
6.0 CONCLUSÕES FINAIS.....	36
7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

1.0 INTRODUÇÃO

Hoje em dia, com a modernização na área industrial, a qualidade de energia elétrica vem sofrendo grandes exigências devido a transtornos causados nos sistemas elétricos conectados a carga do consumidor final.

A garantia de uma energia sem alterações na sua forma senoidal é de grande importância e vem sendo cada vez mais estudados e exigidos dos fornecedores e consumidores. Aspectos fundamentais que antes eram desconsiderados hoje em dia são levados em consideração para garantir um sistema em pleno funcionamento.

No livro “Distúrbios da Qualidade de Energia Elétrica” o autor destaca como ponto principal que: “A qualidade de energia é a compatibilidade entre a fonte de energia e o equipamento elétrico ligado, e essa energia fornecida, é a forma que a eletricidade encontra de atender as necessidades de quem a utiliza”. (MARTINHO, 2009).

O conteúdo deste material tem como objetivo principal, relacionar os problemas de energia elétrica que encontramos nas indústrias e buscar soluções para tais falhas nos sistemas de uma forma geral, com objetivo de obter o bom funcionamento da rede elétrica, obtendo grandezas elétricas específicas de uma indústria em pleno funcionamento para se realizar um estudo da energia consumida a título de exercício prático.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Qualidade da energia elétrica na indústria.

Hoje em dia existem vários distúrbios que afetam a qualidade da energia elétrica, a título de exemplo destaca-se os transitórios impulsivos e oscilatórios, variações na tensão de curta e longa duração, interrupções, desequilíbrio de tensão, desequilíbrio entre cargas, harmônicos e demais fatores. Tais distúrbios são causados por descargas atmosféricas, manobras no sistema, cargas desequilibradas e não lineares partidas de motores e variações de cargas. Estes efeitos podem ter diferentes níveis de impactos dependendo da susceptibilidade do equipamento do usuário final. Para uma dada susceptibilidade do equipamento, o impacto dos distúrbios pode ser minimizado através proteções em gerais. Para a escolha da melhor opção se faz necessário um estudo econômico envolvendo custo benefício, pois a qualidade da energia, depois da segurança pessoal, tem como objetivo principal uma energia de baixo custo (*SANTOS apud RIBEIRO, 2001*).

2.2 Geração e distribuição

Desde a geração, passando pela transmissão, chegando à distribuição, a energia elétrica percorre um caminho muito longo, com isso, a possibilidade de ocorrer distúrbios na rede é muito grande, distúrbios como descargas atmosféricas, queda de arvores na rede de

transmissão, acidentes com animais silvestres, acidentes automobilísticos e alterações nas características dos condutores por temperatura ou rompimento de qualquer de um deles.

Essas situações podem causar problemas para o consumidor, pois na ocorrência da falha no sistema elétrico, o distúrbio lhe causa prejuízos, por este motivo é de grande importância o monitoramento da energia, desde a geração até o consumidor final, e sempre deve ter uma equipe especializada pronta para poder acatar tais ocorrências rapidamente, para que os efeitos sejam os menores possíveis.

A geração da energia elétrica é uma das principais fases da energia, pois é o ponto inicial, e deve estar dentro dos parâmetros mínimos de qualidade para que o problema não seja causado como um efeito dominó, isto é, deve ser controlado de forma a gerar uma energia adequada para a transmissão e distribuição, para que não se desvie da qualidade exigida.

A energia elétrica pode ser gerada por hidroelétricas que é a principal fonte de energia no Brasil, nuclear através da reação de urânio, eólica pelas forças do vento, solar pela captação em cristais de silício, carvão, gás como tantas outras, entretanto, independente da fonte de energia, os parâmetros de controle da qualidade são baseados no nível de tensão gerado, que deve ficar dentro de determinados valores máximos e mínimos, normalmente expresso em porcentagem, no sistema trifásico, pois é assim que a geração é normalmente realizada, portanto as fases do sistema devem estar simetricamente defasadas entre si, independente da forma da ligação de gerador, (estrela ou triângulo).

Outro fato importante na qualidade da energia gerada é a forma de onda, pois a geração na maioria dos casos deve ser de forma senoidal, e a senóide não pode sofrer deformações, também muito importante é o valor da frequência que é gerada a energia, de forma que garanta a funcionalidade dos equipamentos e dispositivos que serão interligados, controlados e protegidos nesse sistema de distribuição (no Brasil a frequência de oscilação da rede elétrica é padronizada como 60Hz).

2.3 Consumo da energia elétrica

O consumidor final é o maior desafio no que diz respeito ao controle da qualidade de energia, primeiramente porque muitas vezes desconhece o termo qualidade de energia e acaba acusando a distribuição ou “causas naturais” como responsáveis pelos problemas na rede elétrica, quando passa a se preocupar, esbarra em dois fatores que podem inviabilizar o tratamento.

O primeiro é a eventual parada de produção para uma avaliação e o tratamento adequado, por que muitas vezes a solução pode ser a adequação da instalação elétrica e cai sobre um segundo fator que é o custo da adequação.

O termo qualidade de energia não é muito de costume para o consumidor ele ainda não esta enquadrado nesta pronuncia, preocupar-se com a qualidade da energia deve ser consciente e mais do que isso uma necessidade. A qualidade da energia deve ser exigida cada vez mais nos próximos anos, já que a preocupação de muitos com a economia de energia e redução de custos, não é somente nos grandes consumidores, mas todos em geral, como baixo consumidores residenciais.

Porem são os grandes consumidores industriais, que carregam os maiores prejuízos, o custo da parada de produção por um afundamento de tensão ou interrupção de vinte segundos, pode ser enorme, também o custo de manutenção das máquinas e equipamentos que sofrem com os problemas de qualidade de energia, sem contar com o próprio desperdício de energia, e essa pode ser a forma mais prática de convencimento do investimento em uma avaliação e controle da qualidade da energia nos grandes consumidores.

2.4 Problemas que afetam a qualidade da energia elétrica

Para garantir qualidade da energia no sistema elétrico devem-se levar em consideração alguns fatores importantes como:

- ✓ Distorção harmônica de tensão.
- ✓ Distorção harmônica de corrente.
- ✓ Desbalanço de tensão.
- ✓ Efeito Flicker
- ✓ Flutuação de tensão
- ✓ Desequilíbrio de sistemas trifásicos.
- ✓ Desequilíbrio entre cargas distribuídas

Sendo estes de fundamental importância ao nível de qualidade de energia elétrica, existem outros fatores de distúrbios transitórios como as *variações de curta duração* sendo normalmente os maiores responsáveis por impactos na rede elétrica dos consumidores industriais.

As variações de tensão pode ser causada por inúmeras situações, uma bastante comum é o chaveamento de cargas de elevada potência que ao serem acionadas, absorvem uma grande quantidade de energia da rede, fazendo que muitas vezes cause uma redução de tensão, e quando essa carga é desligada devolve essa energia para a rede novamente, normalmente aumentando a tensão por um período de tempo. Outra causa é o acionamento de bancos de capacitores que, ao serem energizados exigem da rede uma capacidade maior de corrente, e com isso os dispositivos das redes acabam não conseguindo suprir a energia consumida e assim gerando uma redução significativa de tensão.

2.4.1 Sags e Surges.

A variação de tensão de curta duração é caracterizada pelo fenômeno de aumento ou redução da tensão em relação à tensão nominal, durante um período que compreende 0,5 ciclos em um minuto, ocorrem com muita frequência nas instalações elétricas, ocasionadas por chaveamento de cargas de alta potência, ou banco de capacitores e até mesmo descargas atmosféricas. As variações de tensão de curta duração são conhecidas pelos nomes de SAG e SWELL quando há uma elevação de tensão de curta duração. (MARTINHO, 2009).

2.4.2 Subtensão e sobretensão.

Subtensão é a diminuição na tensão C.A.*rms* para menos de 90% do valor nominal com duração superior a 1 minuto. Sobretensão é o aumento na tensão C.A.*rms* superior a 110% do valor nominal, com duração superior a 1 minuto.

As condições de Subtensão são causadas por instalações mal dimensionadas, taps incorretos de transformadores, reguladores de tensão desajustados ou sobrecarga não intencional na rede elétrica.

A Subtensão pode resultar em operações erráticas ou baixo desempenho dos equipamentos. Motores drenam mais correntes, operam com aquecimento excessivo e com menos eficiência sob condições de Subtensão.

A sobretensão resulta da baixa regulação no sistema elétrico, regulador desajustado ou por flutuação nas cargas demandadas e causa falhas nos equipamentos eletrônicos. A

flutuação de tensão CA em intervalos significativos é conhecida como Subtensão e sobretensão. (ALDABÓ, 2001).

A seguir será apresentada a figura gráfica de uma elevação de tensão detectada dentro da empresa estudada.

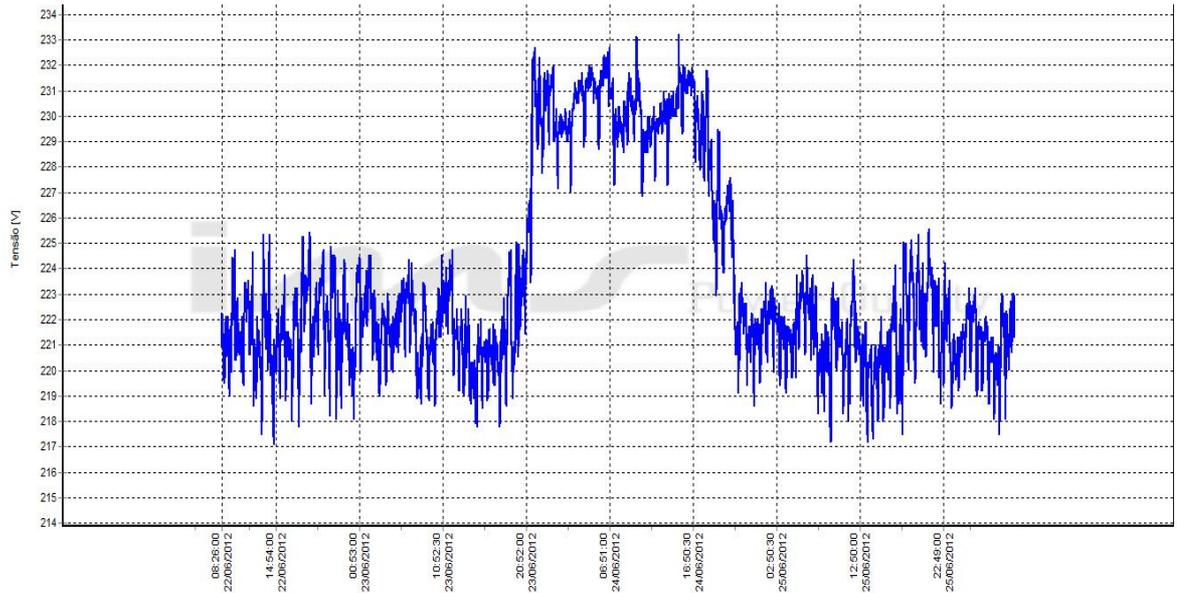


Figura 1: elevação de tensão detectada dentro da empresa

2.4.3 Flicker

Também conhecido como flutuação de tensão é a variação brusca e intermitente do valor eficaz de tensão de uma faixa entre 0,1 e 7%. O efeito Flicker pode ser notado pela sensação visual de que a luminosidade varia no tempo, esse efeito é também conhecido como cintilação. O efeito Flicker possui dois parâmetros de identificação, o primeiro denomina-se PST, que vem do termo Probability Short Term, e indica a severidade dos níveis de cintilação associados à flutuação de tensão verificada em um período de dez minutos. Esses valores servem para definir a intensidade do Flicker e decidir as ações a serem tomadas. O outro parâmetro, que é obtido a partir das variações das medições de PST, e o PLT, derivado do termo em inglês Probability Long Term. É a severidade dos níveis de cintilação associados à flutuação de tensão em um período de contínuo de duas horas. (MARTINHO, 2009).

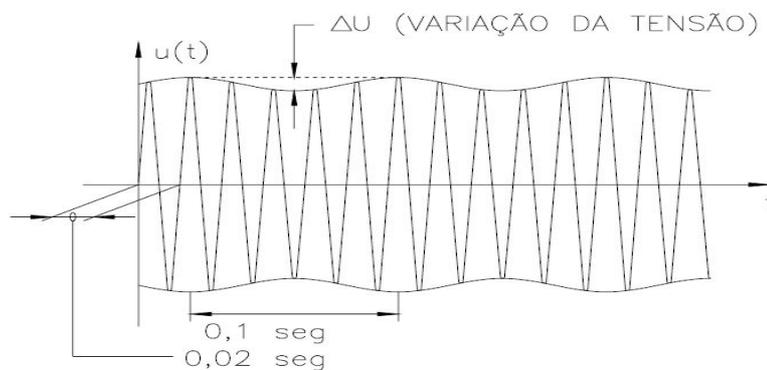


Figura 2: exemplo da cintilação Flicker

2.4.4 Harmônicos

Harmônicos são ondas de corrente ou tensão que possuem frequências múltiplas da frequência fundamental. As ondas de correntes ou tensões cujos formatos não são senoidais

podem ser obtidas a partir de um somatório de ondas senoidais em diversas frequências. Estas ondas senoidais, nas diversas frequências, são chamadas de componentes harmônicos da onda original. A série trigonométrica de Fourier é uma ferramenta matemática poderosa a qual permite que uma onda periódica qualquer, não senoidal, possa ser obtida pela soma de ondas senoidais em diversas frequências. (RIBEIRO, 2007).

Cargas tradicionais como lâmpadas incandescentes conectados a uma fonte de tensão senoidal drenam correntes também na forma senoidal, quando a forma de onda da corrente é igual à forma da tensão aplicada, ambas senoidais, não há presença de harmônicos, ou seja, uma forma de onda senoidal pura não contém harmônicos.

Quando a corrente é solicitada por cargas de equipamentos eletrônicos, tais como reatores de lâmpada fluorescente, computadores e demais, estes não espelha a forma de onda da tensão original, neste caso ocorre à presença de correntes não lineares, que são constituídas de harmônicos de ordem ímpar em relação à fundamental.

Harmônicos são integrais múltiplas da frequência de origem e formas de ondas não lineares, são constituídas de componentes de alta frequência. Para a onda senoidal de 60Hz, os harmônicos de ordem ímpar são a terceira (180 Hz), a quinta (300 Hz), a sétima (420 Hz) e assim por diante.

A presença de harmônicos numa instalação representa problema, sua presença interage com o sistema de distribuição, causando distorções e perdas na tensão. Outros tipos são o aquecimento e vibração excessivos em motores, aquecimentos e ruídos em transformadores, erros de frequência, nível de tensão elevado entre o neutro e o terra e campos magnéticos significativos ao redor de transformadores e disjuntores.

2.5 Efeitos e consequências

Tais distúrbios devem ser analisados individualmente em cada instalação com suas características fundamentais, o consumidor deve verificar a sensibilidade de seus equipamentos em utilização e as melhorias que possam ser realizadas para amenizar tais falhas no sistema será de grande importância.

A preocupação com a qualidade da energia dentro do segmento industrial é normalmente maior do que em outros segmentos, uma vez que o índice de automação das indústrias é muito elevado. Em consequência dessa automação, o impacto de problemas com relação à qualidade de energia passa a ser muito maior, pois paradas de máquinas e queima de equipamentos causam prejuízos financeiros enormes para o empresário e também para o usuário. A simples interrupção de um minuto pode causar prejuízos da ordem de milhares de dólares em alguns segmentos. (MARTINHO, 2009).

Por este motivo, o segmento industrial vem se preocupando com alguns itens relacionados à qualidade de energia, como é o caso da correção do fator de potência, distúrbios como surtos, variações de tensão, presença de harmônicas, estes casos fazem parte do dia a dia das equipes de projeto e manutenção das empresas. (MARTINHO, 2009).

Em uma empresa no ramo de fiação têxtil a garantia de uma energia de qualidade é bastante exigida devido à necessidade de seus equipamentos em operação, tais falhas como afundamentos de tensão de curta duração são grandes prejuízos ao sistema eletrônico assim comprometendo a qualidade do material produzido. Em uma empresa que visa rigorosamente à qualidade de seu produto, vê a necessidade de fazer investimentos para garantir que suas expectativas sejam alcançadas.

Segundo pesquisas realizadas alguns autores defendem a ideia de que distúrbios aparecem no sistema devido a fatores internos e externos. Os fatores externos são produzidos pelos subsistemas elétricos de geração, transmissão e distribuição, outros fatores internos são produzidos pelo próprio consumidor devidos o tipo de carga conectada a linha.

(ALDABO, 2001), Sendo assim algumas soluções para distúrbios elétricos são sugeridos pelo autor aos principais problemas da eletricidade, que é “fazer o casamento correto entre o dispositivo e ao problema, e algumas sugestões são de inserir na linha de transmissão equipamentos como”:

- ✓ Supressor de surto transiente de tensão.
- ✓ Filtro de linha.
- ✓ Filtro de ruídos.
- ✓ Filtro de harmônicos.
- ✓ Transformador de isolação.
- ✓ Reguladores de tensão.

Existem algumas clausulas da (ANEEL) que regulamentam e controlam a qualidade de energia fornecida, porem não são suficientes para viabilizar que a concessionária forneça uma energia de qualidade aos consumidores finais, mas já esta sendo estudadas melhorias que garante condições sobre o fornecimento de energia pela empresa responsável, até aos agentes compradores (consumidores finais), e estas melhorias prevê multas por violação das condições de energia previstas, com isso aumenta a necessidade do fornecimento com limites adequados, que possam satisfazer tanto o fornecedor como o consumidor sem maiores prejuízos devido às perdas inaceitáveis.

A variação de tensão é um dos distúrbios mais comum e conhecido da energia elétrica, e um dos principais causadores de problemas para os consumidores, pois é responsável por paradas de funcionamentos dos equipamentos, que causam perdas de produção, perda de dados, resultando em prejuízos enormes, o afundamento de tensão pode afetar equipamentos eletrônicos da seguinte maneira em uma indústria:

- ✓ Desprogramação de microprocessadores, CLP's;
- ✓ Desatracamentos de bobinas de contato e reles auxiliares e conseqüente desligamento de cargas e equipamentos
- ✓ Variação de velocidade de motores
- ✓ Desligamento por dispositivos de proteção
- ✓ Falhas de comutação
- ✓ Desligamento de lâmpadas a descarga

- ✓ E atuação de dispositivos de proteção contra sobre-corrente, principalmente em acionamentos CC no modo regenerativo.

Assim um afundamento de tensão pode ser causado por partidas de grandes cargas ao mesmo tempo, sendo assim deve ser tratada a causa do problema de uma forma geral, realizando partida de motores em intervalos de tempo consideráveis de uma para outra, e fazendo com que diminua a corrente de partida individual de cada carga através de ligações do tipo estrela – triângulo, autotransformador, soft-starter, com isso visando melhorias no sistema de partida de cargas com alto consumo de energia.

3.0 METODOLOGIA

O monitoramento da qualidade da energia elétrica se tornou mais eficaz com o surgimento de analisadores de energia durante os anos de 1970 a 1980 com aparelhos como osciloscópios que tinha sistemas de visualizações gráficas. (*Eletricidade Moderna, 2004*)

O método utilizado até hoje somente tiveram sua abrangência em grande escala durante o ano de 1990, devido ao fato dos avanços obtidos na área de processamento de sinais, redução de custos em sistemas de monitoração e o aumento no ganho de conhecimento técnico de pessoas no processamento de sinais em sistemas de potência. (*Eletricidade Moderna, 2004*)

O principal método para fazer uma análise de energia elétrica nos dias de hoje é a utilização de aparelhos analisadores de energia, este equipamento é capaz de medir variações de distúrbios desde muito pequenos na ordem de nanossegundos há muito longos vários dias, e registrar as ocorrências e apresentá-las em um microcomputador.

Basicamente existem dois tipos de analisadores o convencional e o de análise gráfica.

O primeiro deles apresenta um resumo das principais ocorrências, tais como: queda de tensão temporária (Sags), elevação de tensão (Swells), transientes (distúrbio na curva senoidal, resultando em um rápido aumento de tensão), harmônicos, fator de potência. Porém, devido ao pequeno número de amostras muitos distúrbios podem ocorrer sem serem detectados, visto que este tipo de instrumento analisa a rede em intervalos de tempo. Caso o fenômeno ocorra entre os tempos das amostras, ele não será detectado.

O analisador gráfico funciona de modo diferente, e monitora a rede em tempo real (sem intervalos), desta forma seu hardware é bem mais complexo (exige mais rapidez de processamento e mais espaços de memória).

Estes aparelhos são fornecidos por diversos fabricantes diferentes, porém na maioria deles se utiliza da mesma forma de calcular as grandezas elétricas, onde é feita uma

correlação entre o sistema trifásico mais o neutro de uma instalação e obtidos valores de medições importantes para uma análise teórica e prática correta da energia que esta sendo consumida em uma empresa. São métodos baseados em valores de tensões e correntes *rms*.

Neste trabalho vai ser utilizado o aparelho Medidor e Registrador de grandezas elétricas IMS POWER NET P-600 convencional, fabricante própria IMS, empresa especializado em aparelhos de medições e analisadores de energia. Este aparelho de análise trabalha em conjunto com seu software ANALISADOR e permite visualizar graficamente as medições realizadas e gerar relatórios de acordo com a resolução 505 da ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica vinculada ao Ministério de Minas e Energia do Brasil) e possui características suficientes para aplicações como:

- ✓ Medição e Análise do comportamento da rede elétrica.
- ✓ Levantamento de curva de carga
- ✓ Balanceamentos de redes
- ✓ Verificação de distúrbios de tensão e corrente
- ✓ Diagnósticos de sistemas de potência
- ✓ Consumo de energia por equipamento
- ✓ Leitura de harmônicos de 2° a 41° ordem

O software permite descarregar e visualizar os dados armazenados no equipamento através da porta serial RS-232, e tem capacidade de gerar gráficos com vários recursos como: zoom, configuração dos eixos, visualização em 3D, inserção de comentários nos relatórios e também programar intervalos de leitura entre 250ms a 60min, por período indeterminado ate que a soma dos arquivos coletados da rede não ultrapasse 1.2 Mbps, que é o tamanho da memória interna do registrador.

Os sinais de tensão e correntes são lidos no ciclo de rede para cada canal de entrada e sincronizados através da fase identificada com L1, que é definida como fase de referência. Após a aquisição das amostras o analisador calcula as grandezas elétricas para poderem ser visualizadas e registradas na memória. O menor tempo de intervalo para registros é de 250ms, quando não estão habilitados os registros de harmônicos, e 5 segundos quando habilitados os registros de harmônicos. Isto acontece devido ao processamento se mais “pesado” quando o analisador esta calculando as variáveis de THD e Harmônicos.

Ele vem com aferição regulamentada pelo Inmetro, e tem grande sensibilidade de medição podendo acarretar em valores erráticos mínimos possíveis em torno 0,5% para tensão, 1,5% para corrente e 2% para potência.

Na empresa será realizada atividade pratica onde será feito as medições das grandezas elétricas com as máquinas operando em plena carga, a medição será realizada em duas partes: primeira 50% do quadro geral de distribuição após mais 50%, devido às características do aparelho. Foi feita esta divisão por motivo do aparelho ter sua medição limitada a uma corrente de 1500A, sendo que no quadro geral da empresa a corrente total consumida em 440 V é em torno de 2500A.

No decorrer deste capítulo será apresentado os métodos de cálculos das grandezas elétricas a serem estudadas na empresa a título de exercício prático no trabalho a ser apresentado.

3.1 Detecção e registro de valores de tensão e corrente *rms*.

A detecção de eventos é realizada através da comparação dos valores *rms* do sinal monitorado através de 1 ou $\frac{1}{2}$ ciclo da componente fundamental. O processo inicia-se com a aquisição do sinal de tensão, estas informações entram no bloco de cálculo dos valores *rms* em tempo real, em seguida o bloco de extração de parâmetros captura as informações extraíndo a magnitude e a duração, assim coletando a ocorrência do distúrbio.

A expressão para o cálculo do valor *rms* para um conjunto de sinais de entrada é dada pela equação:

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N u(n)^2}$$

Onde $u(n)$ é o valor instantâneo de tensão ou corrente da amostra com n quantidades

3.2 Variações de tensões

A caracterização da variação de tensão de curta e longa duração é obtida basicamente calculando o valor médio quadrático (V_{RMS}). Os principais parâmetros para as variações de tensões são: data e hora da ocorrência, amplitude e duração do distúrbio (IEEE1159; 1995).

Esta técnica inicia-se com a captação dos valores instantâneos, que são constantemente capturados através de um conversor A/D, realiza-se o cálculo da tensão (V_{RMS}), utilizando-se 1, $\frac{1}{2}$ ou $\frac{1}{4}$ do ciclo da componente fundamental, após é verificado se os resultados dos períodos estão contidos dentro da faixa de tolerância estabelecida.

3.3 Desequilíbrios de tensões

A detecção dos desequilíbrios de tensão é realizada através do método do cálculo do valor médio quadrático da tensão. Basicamente calcula-se a diferença entre as tensões (V_{RMS}) de cada fase do circuito dividido pela media das tensões. O cálculo com os resultados dos períodos de integração de tensão (V_{RMS}) de cada fase é dado pela equação.

$$\Delta V_{RS\ rms} = \frac{V_{R\ rms} - V_{S\ rms}}{\left(\frac{V_{R\ rms} + V_{S\ rms} + V_{T\ rms}}{3}\right)} \quad [\%]$$

$$\Delta V_{ST\ rms} = \frac{V_{S\ rms} - V_{T\ rms}}{\left(\frac{V_{R\ rms} + V_{S\ rms} + V_{T\ rms}}{3}\right)} \quad [\%]$$

$$\Delta V_{TR\ rms} = \frac{V_{T\ rms} - V_{R\ rms}}{\left(\frac{V_{R\ rms} + V_{S\ rms} + V_{T\ rms}}{3}\right)} \quad [\%]$$

A variação do valor médio é constantemente monitorada a fim de detectar desequilíbrios de tensões. Considera-se um desequilíbrio de tensão quando a variação de tensão ultrapassa o limite de tolerância ($\Delta V_{RMS} > 0.5\%$). Considera-se que o distúrbio finaliza quando o índice de desequilíbrio de tensão estiver dentro da faixa de tolerância novamente. (MARTINHO, 2009).

3.4 Harmônicos e interharmônicos

Os harmônicos e interharmônicos em um sistema elétrico são geralmente feitos através da decomposição do sinal de corrente ou tensão por Séries de Fourier (soma dos senos ou cossenos). Usando a transformada discreta de Fourier de um sinal amostrado obtém-se uma série de módulos e ângulos referentes às frequências múltiplas da frequência fundamental. Assim, os níveis de distorção harmônica são caracterizados pelo espectro harmônico, com amplitude e ângulo de fase para cada componente harmônico individual.

Como a distorção harmônica se trata de um fenômeno de regime permanente, é necessário que os conjuntos de componentes harmônicas sejam capturados periodicamente durante um período de tempo mínimo.

Os níveis de distorção harmônica são caracterizados pelo espectro harmônico completo com amplitude e ângulo de fase de cada componente fundamental individual. Também é comum usar um único valor, a distorção harmônica total (*Total Harmonic Distortion – THD*), como uma medida do nível da distorção harmônica. (RIBEIRO, 2007).

$$DHT = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} (V_h)^2}}{V_n} \times 100\%$$

DHT- distorção harmônica total

V_h – valores eficazes de tensão das componentes harmônicas

h – ordem da harmônica

V_n – valor eficaz da tensão fundamental

As correntes harmônicas resultam da operação normal de dispositivos não lineares no sistema de energia elétrica. Os níveis de distorção da corrente podem ser caracterizados por

uma distorção harmônica total e isto pode freqüentemente ocasionar erros em controladores de velocidade para motores onde mostrarão valores elevados de DHT na corrente quando eles estão operando em cargas muito baixas. Para caracterização de correntes harmônicas de forma consistente, a recomendação da IEEE519 define outro termo como sendo a distorção de demanda total (*DDT*). (*RIBEIRO, 2007*).

$$DDT = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_l} \times 100\%$$

I_h – Amplitude dos componentes harmônicos individuais.

h – Ordem harmônica

I_l – valor eficaz da corrente de carga na demanda máxima.

3.5 Flutuações de tensão

A adequação da tensão é necessário devido às diferentes classes de tensões padronizadas. É conveniente expressar estas variações de tensão em termos percentuais da tensão de referência para poder comparar os resultados obtidos entre as diferentes classes de tensão.

$$\Delta V\% = \frac{(V - V_{ref})}{V_{ref}} \times 100\%$$

Onde, V é a tensão instantânea da rede e V_{ref} é a tensão referência do último minuto.

O indicador de curto prazo – PST representa a severidade dos níveis de cintilação associados à flutuação de tensão num período de dez minutos e é calculado a partir de dos níveis instantâneos de sensação de cintilação. (MARTINHO, 2009).

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}}$$

Onde P corresponde aos níveis de sensação flicker (Sf) que foi ultrapassado durante i % do tempo, (P50) representa o nível de (Sf) ultrapassado durante 50% do tempo).

O indicador de longo prazo – PLT representa a severidade dos níveis de cintilação associados à flutuação de tensão num período contínuo de duas horas sendo calculado a partir dos registos de *PST*. (MARTINHO, 2009).

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (P_{sti})^3}$$

4.0 MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES

A comparação dos resultados obtidos nas medições e simulações é de grande importância para o estudo de um sistema elétrico. A comparação dos resultados permite a validação das medições, verificando se os valores obtidos estão de acordo com o que era esperado nas medições. A comparação também é importante para a validação das simulações, pois uma vez conseguida a coerência entre resultados, novos estudos e análises em situações futuras podem ser realizadas sem a necessidade de se realizar novas medições.

4.1 Análise prática sobre qualidade de energia elétrica.

Na empresa em que foi desenvolvido o trabalho, é uma empresa no seguimento têxtil, onde esta situada na cidade de Itatiba, esta empresa esta dividida em quatro setores onde foi realizada a análise em um deles, o presente trabalho visou em coletar informações técnicas sobre as máquinas que operam e determinar qual seria o melhor meio de operar sem causar prejuízos à rede elétrica.

Foi realizado estudo prático no 4º setor de fiação da empresa onde se pretende obter informações técnicas sobre a energia elétrica consumida, neste local esta ocorrendo aquecimentos nos cabos elétricos e no quadro de distribuição geral do setor devido à presença de transtornos elétricos.

No local possui o quadro geral de distribuição, onde foi analisado, sua alimentação é proveniente de um transformador 11,8kV/440V de 2000kVA, onde esta situado na cabine principal de energia da empresa. Este transformador alimenta o quadro que faz a distribuição

da alimentação nos quadros secundários do local, que por sua vez alimenta as máquinas que operam no setor.

Os maquinários do setor estão divididos em cinco grupos:

O primeiro é o setor do filtro, este executa a aspiração e limpeza de resíduos das máquinas e subdivide os tipos de resíduos diferentes para fazer o descarte adequado.

O segundo é o setor de preparação do material a ser produzido, ele dá início ao processo de abertura e descarte do material, fazendo a divisão entre o material bom e ruim.

O terceiro setor é o de fiação onde é produzido o produto quase finalizado da empresa

O quarto setor é a etapa de finalização do material produzido, acabamento.

O quinto setor está dividido em dois grupos que são responsáveis pela iluminação, umidade e temperatura do ambiente onde é produzido o material.

A seguir é apresentado um organograma do local estudado, referente a distribuição das máquinas e equipamentos que consomem energia elétrica.

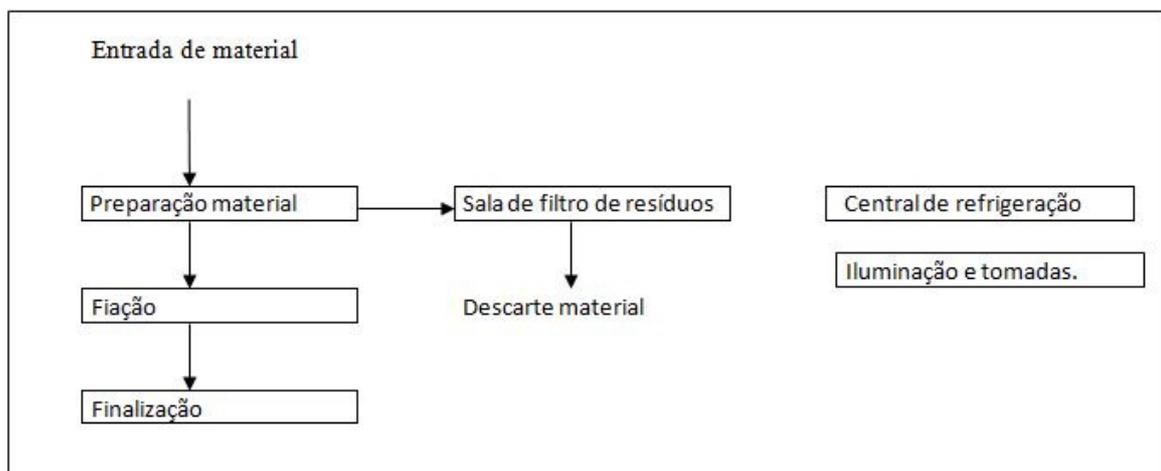


Figura 3: organograma de distribuição das máquinas

A parte de instalação e distribuição de energia elétrica esta dividida da seguinte forma:

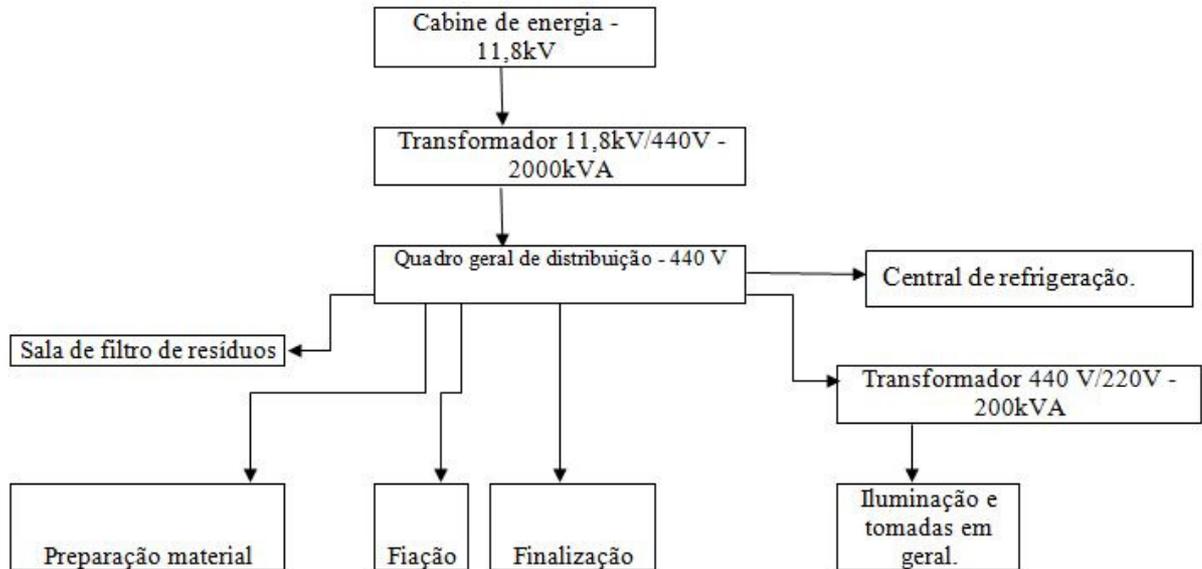


Figura 4: distribuição do sistema elétrico

As medições foram realizadas no quadro geral de distribuição 440 v, onde teve seu foco em analisar os harmônicos, fator de potência, valores de tensões máximos e mínimos, corrente, potência ativa e potência aparente. As primeiras medições foram dividida em duas etapas, primeira 50% do quadro geral de distribuição após mais 50% devido às características do aparelho, dessa forma obtendo 100% da distribuição e foram obtidos alguns valores como segue na tabela 1 e tabela 2.

A seguir é apresentada a tabela 1 e tabela 2 referente aos valores de medições obtidos através do aparelho analisador de energia elétrica, estas tabelas são geradas pelo próprio analisador e serão apresentadas como segue:

Tabela 1: Medição parte 1

Grandeza	Mínimo	Horário	Máximo	Horário
Tensão 1	451,2 V	15/06/2012 às 15:18:35:00	454,1 V	15/06/2012 às 15:26:00:00
	451,2 V	15/06/2012 às 15:18:40:00	454,1 V	15/06/2012 às 15:26:05:00
	451,2 V	15/06/2012 às 15:18:45:00	454,0 V	15/06/2012 às 15:25:55:00
Tensão 2	450,1 V	15/06/2012 às 15:18:35:00	452,7 V	15/06/2012 às 15:25:55:00
	450,1 V	15/06/2012 às 15:18:40:00	453,0 V	15/06/2012 às 15:26:00:00
	450,1 V	15/06/2012 às 15:18:45:00	453,0 V	15/06/2012 às 15:26:05:00
Tensão 3	446,1 V	15/06/2012 às 15:17:50:00	449,2 V	15/06/2012 às 15:26:00:00
	446,1 V	15/06/2012 às 15:17:55:00	448,9 V	15/06/2012 às 15:25:55:00
	446,1 V	15/06/2012 às 15:18:00:00	449,2 V	15/06/2012 às 15:26:05:00
Médias Fases (1,2,3)	452,4 V1	451,1 V2	447,1 V3	
Corrente 1	1053,20 A	15/06/2012 às 15:16:55:00	1115,30 A	15/06/2012 às 15:22:30:00
	1053,20 A	15/06/2012 às 15:17:00:00	1114,60 A	15/06/2012 às 15:22:35:00
	1053,20 A	15/06/2012 às 15:16:50:00	1115,30 A	15/06/2012 às 15:22:25:00
Corrente 2	1130,90 A	15/06/2012 às 15:16:55:00	1192,80 A	15/06/2012 às 15:22:30:00
	1130,90 A	15/06/2012 às 15:17:00:00	1192,10 A	15/06/2012 às 15:20:50:00
	1130,90 A	15/06/2012 às 15:16:50:00	1192,80 A	15/06/2012 às 15:22:25:00
Corrente 3	1289,00 A	15/06/2012 às 15:16:55:00	1330,90 A	15/06/2012 às 15:22:30:00
	1289,00 A	15/06/2012 às 15:17:00:00	1330,90 A	15/06/2012 às 15:22:25:00
	1289,00 A	15/06/2012 às 15:16:50:00	1330,70 A	15/06/2012 às 15:20:50:00
Médias Fases (1,2,3)	1084,29 A1	1162,11 A2	1311,51 A3	
Potência 1	255,871 kW	15/06/2012 às 15:16:55:00	272,969 kW	15/06/2012 às 15:22:30:00
	255,871 kW	15/06/2012 às 15:17:00:00	272,765 kW	15/06/2012 às 15:22:35:00
	255,871 kW	15/06/2012 às 15:16:50:00	272,969 kW	15/06/2012 às 15:22:25:00
Potência 2	282,265 kW	15/06/2012 às 15:16:55:00	298,574 kW	15/06/2012 às 15:22:30:00
	282,265 kW	15/06/2012 às 15:17:00:00	298,326 kW	15/06/2012 às 15:22:35:00
	282,265 kW	15/06/2012 às 15:16:50:00	298,574 kW	15/06/2012 às 15:22:25:00
Potência 3	314,095 kW	15/06/2012 às 15:16:55:00	326,273 kW	15/06/2012 às 15:22:30:00
	314,095 kW	15/06/2012 às 15:17:00:00	326,273 kW	15/06/2012 às 15:22:25:00
	314,095 kW	15/06/2012 às 15:16:50:00	326,180 kW	15/06/2012 às 15:22:35:00
VA 1	275,416 kVA	15/06/2012 às 15:16:55:00	291,201 kVA	15/06/2012 às 15:22:30:00
	275,416 kVA	15/06/2012 às 15:17:00:00	290,954 kVA	15/06/2012 às 15:22:35:00
	275,416 kVA	15/06/2012 às 15:16:50:00	291,201 kVA	15/06/2012 às 15:22:25:00
VA 2	294,682 kVA	15/06/2012 às 15:16:55:00	310,465 kVA	15/06/2012 às 15:22:30:00
	294,682 kVA	15/06/2012 às 15:17:00:00	310,144 kVA	15/06/2012 às 15:20:50:00
	294,682 kVA	15/06/2012 às 15:16:50:00	310,465 kVA	15/06/2012 às 15:22:25:00
VA 3	333,029 kVA	15/06/2012 às 15:16:55:00	343,312 kVA	15/06/2012 às 15:22:30:00
	333,029 kVA	15/06/2012 às 15:17:00:00	343,157 kVA	15/06/2012 às 15:22:35:00
	333,029 kVA	15/06/2012 às 15:16:50:00	343,312 kVA	15/06/2012 às 15:22:25:00
cos(Fi) 1	0,925	15/06/2012 às 15:17:05:00	0,938	15/06/2012 às 15:21:40:00
	0,925	15/06/2012 às 15:17:10:00	0,938	15/06/2012 às 15:21:45:00
	0,925	15/06/2012 às 15:17:15:00	0,938	15/06/2012 às 15:21:50:00
cos(Fi) 2	0,954	15/06/2012 às 15:17:05:00	0,962	15/06/2012 às 15:21:40:00
	0,954	15/06/2012 às 15:17:10:00	0,962	15/06/2012 às 15:21:45:00
	0,954	15/06/2012 às 15:17:15:00	0,962	15/06/2012 às 15:21:50:00
cos(Fi) 3	0,940	15/06/2012 às 15:17:05:00	0,951	15/06/2012 às 15:21:40:00
	0,940	15/06/2012 às 15:17:10:00	0,951	15/06/2012 às 15:21:30:00
	0,940	15/06/2012 às 15:17:15:00	0,951	15/06/2012 às 15:21:35:00
W Total	874,7 kW			
VA Total	924,4 kVA			
VAr Total	297,9 kVAr			
cos(Fi) Total	0,946			
Energia Ativa Direta	145,307 kWh	Energia Ativa Reversa	0,000 kWh	
Energia Indutiva Direta	49,472 kVArh	Energia Indutiva Reversa	0,000 kVArh	
Energia Capacitiva	0,000 kVArh	Energia Capacitiva Revers	0,000kVArh	

Tabela 2: Medição parte 2

Grandeza	Mínimo	Horário	Máximo	Horário
Tensão 1	451,7 V	15/06/2012 às 15:35:40:00	454,8 V	15/06/2012 às 15:39:40:00
	451,5 V	15/06/2012 às 15:35:45:00	455,0 V	15/06/2012 às 15:39:45:00
	451,5 V	15/06/2012 às 15:35:50:00	455,0 V	15/06/2012 às 15:39:50:00
Tensão 2	449,7 V	15/06/2012 às 15:35:45:00	453,4 V	15/06/2012 às 15:40:10:00
	449,7 V	15/06/2012 às 15:35:50:00	453,5 V	15/06/2012 às 15:39:50:00
	450,0 V	15/06/2012 às 15:35:40:00	453,5 V	15/06/2012 às 15:39:45:00
Tensão 3	446,1 V	15/06/2012 às 15:35:45:00	449,6 V	15/06/2012 às 15:39:50:00
	446,1 V	15/06/2012 às 15:35:50:00	449,6 V	15/06/2012 às 15:39:45:00
	446,4 V	15/06/2012 às 15:35:40:00	449,3 V	15/06/2012 às 15:39:40:00
Médias Fases (1,2,3)	453,4 V1	452,0 V2	448,1 V3	
Corrente 1	1063,20 A	15/06/2012 às 15:40:15:00	1107,70 A	15/06/2012 às 15:38:35:00
	1063,20 A	15/06/2012 às 15:40:10:00	1103,60 A	15/06/2012 às 15:38:30:00
	1065,70 A	15/06/2012 às 15:40:20:00	1107,70 A	15/06/2012 às 15:38:40:00
Corrente 2	977,50 A	15/06/2012 às 15:40:15:00	1017,70 A	15/06/2012 às 15:38:35:00
	977,50 A	15/06/2012 às 15:40:10:00	1017,70 A	15/06/2012 às 15:38:40:00
	980,00 A	15/06/2012 às 15:40:20:00	1014,30 A	15/06/2012 às 15:38:30:00
Corrente 3	1106,90 A	15/06/2012 às 15:40:10:00	1148,90 A	15/06/2012 às 15:38:35:00
	1106,90 A	15/06/2012 às 15:40:15:00	1145,10 A	15/06/2012 às 15:38:30:00
	1109,10 A	15/06/2012 às 15:40:20:00	1148,90 A	15/06/2012 às 15:38:40:00
Médias Fases (1,2,3)	1083,25 A1	998,61 A2	1126,94 A3	
Potência 1	236,331 kW	15/06/2012 às 15:40:15:00	248,131 kW	15/06/2012 às 15:38:35:00
	236,788 kW	15/06/2012 às 15:40:55:00	247,028 kW	15/06/2012 às 15:38:30:00
	236,331 kW	15/06/2012 às 15:40:10:00	248,131 kW	15/06/2012 às 15:38:40:00
Potência 2	243,238 kW	15/06/2012 às 15:40:15:00	253,396 kW	15/06/2012 às 15:38:35:00
	243,929 kW	15/06/2012 às 15:40:20:00	252,513 kW	15/06/2012 às 15:38:30:00
	243,238 kW	15/06/2012 às 15:40:10:00	253,396 kW	15/06/2012 às 15:38:40:00
Potência 3	252,532 kW	15/06/2012 às 15:40:15:00	263,172 kW	15/06/2012 às 15:38:35:00
	252,930 kW	15/06/2012 às 15:40:55:00	262,199 kW	15/06/2012 às 15:38:30:00
	252,532 kW	15/06/2012 às 15:40:10:00	263,172 kW	15/06/2012 às 15:38:40:00
VA 1	279,145 kVA	15/06/2012 às 15:40:15:00	290,184 kVA	15/06/2012 às 15:38:35:00
	279,452 kVA	15/06/2012 às 15:34:50:00	289,110 kVA	15/06/2012 às 15:38:30:00
	279,145 kVA	15/06/2012 às 15:40:10:00	290,184 kVA	15/06/2012 às 15:38:40:00
VA 2	255,905 kVA	15/06/2012 às 15:40:15:00	265,659 kVA	15/06/2012 às 15:38:35:00
	256,445 kVA	15/06/2012 às 15:40:20:00	264,772 kVA	15/06/2012 às 15:38:30:00
	255,905 kVA	15/06/2012 às 15:40:10:00	265,659 kVA	15/06/2012 às 15:38:40:00
VA 3	287,140 kVA	15/06/2012 às 15:40:15:00	297,233 kVA	15/06/2012 às 15:38:35:00
	287,582 kVA	15/06/2012 às 15:40:20:00	296,317 kVA	15/06/2012 às 15:38:30:00
	287,140 kVA	15/06/2012 às 15:40:10:00	297,233 kVA	15/06/2012 às 15:38:40:00
cos(Fi) 1	0,846	15/06/2012 às 15:40:15:00	0,858	15/06/2012 às 15:35:50:00
	0,847	15/06/2012 às 15:40:55:00	0,858	15/06/2012 às 15:35:45:00
	0,846	15/06/2012 às 15:40:10:00	0,858	15/06/2012 às 15:35:00:00
cos(Fi) 2	0,950	15/06/2012 às 15:41:00:00	0,955	15/06/2012 às 15:35:50:00
	0,950	15/06/2012 às 15:40:55:00	0,955	15/06/2012 às 15:35:05:00
	0,950	15/06/2012 às 15:37:00:00	0,955	15/06/2012 às 15:35:45:00
cos(Fi) 3	0,879	15/06/2012 às 15:41:00:00	0,887	15/06/2012 às 15:35:50:00
	0,879	15/06/2012 às 15:40:15:00	0,886	15/06/2012 às 15:35:00:00
	0,879	15/06/2012 às 15:40:55:00	0,887	15/06/2012 às 15:35:45:00
W Total	747,6 kW			
VA Total	835,7 kVA			
VAr Total	364,2 kVAr			
cos(Fi) Total	0,895			
Energia Ativa Direta	124,602 kWh	Energia Ativa Reversa	0,000 kWh	
Energia Indutiva Direta	60,696 kVArh	Energia Indutiva Reversa	0,000 kVArh	
Energia Capacitiva	0,000 kVArh	Energia Capacitiva Revers	0,000kVArh	

Os valores apresentados anteriormente se referem às tabelas que o analisador gera após concluir as medições, a partir delas é possível comparar as medições com os valores teóricos se estão de acordo com o esperado. Conforme a tabela 1 e 2 é possível observar que a tensão medida entre as fases estão acima do valor esperado em torno de 2,5%, a diferença de correntes entre as fases realizando o cálculo da corrente de maior valor menos a de menor valor esta na ordem de 227,2A isto se da devido ao desequilíbrio de cargas que estão operando no circuito, conseqüentemente como pode ser constatado na tabela das potências onde há uma diferença na ordem de 55kW, entre valores máximos e mínimos de potência real e de 58kVA de potência aparente.

A seguir serão apresentados os gráficos obtidos através das medições de tensões, correntes, potência aparente, distorção harmônica total de tensão, distorção harmônica total de corrente e os piores harmônicos detectados na linha de medição, isso será de fundamental importância para a análise do sistema elétrico.

Os primeiros gráficos apresentam as defasagens entre as fases no sistema elétrico, a primeira esta fazendo a relação entre fases e o segundo, terceiro e quarto estão apresentando valores máximos e mínimos nas oscilações da rede no período de medição.

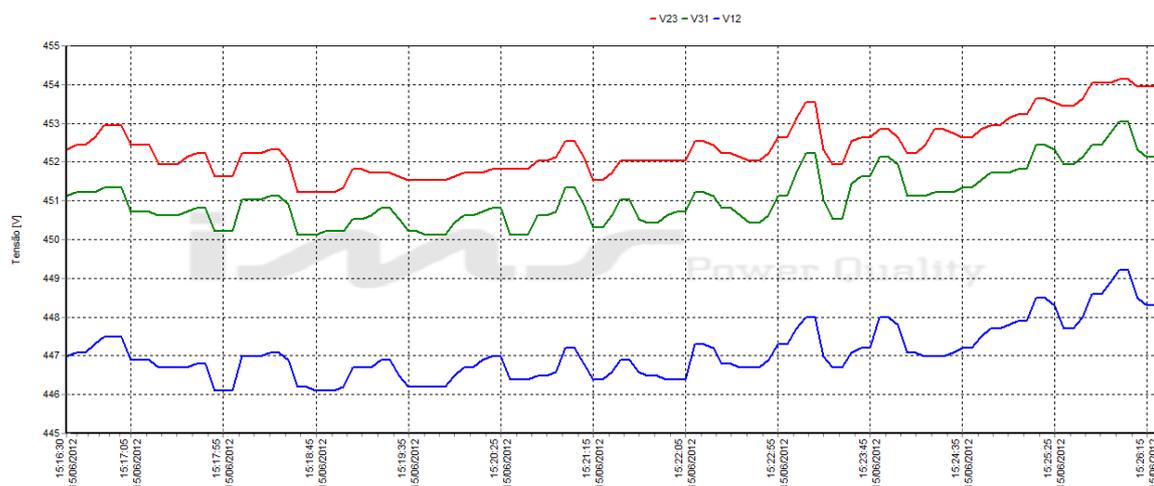


Figura 5: relação de defasagem entre as fases do sistema

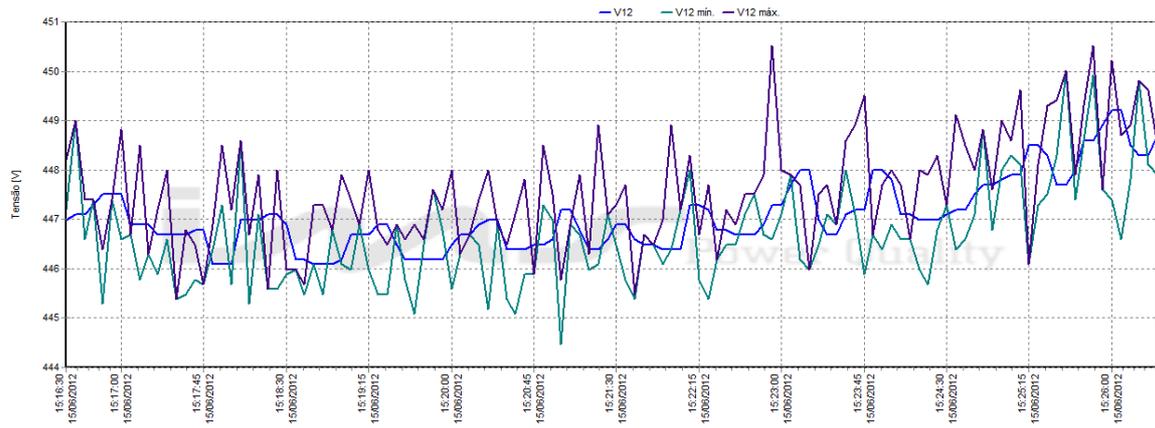


Figura 6: valor da tensão mínima e máxima entre as fases v1 e v2.

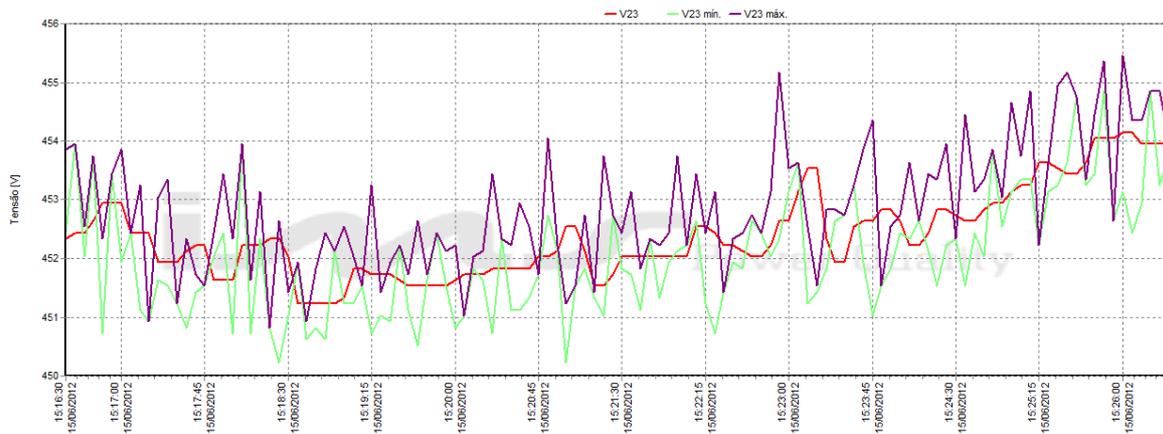


Figura 7: valor de tensão mínima e máxima entre as fases v2 e v3.

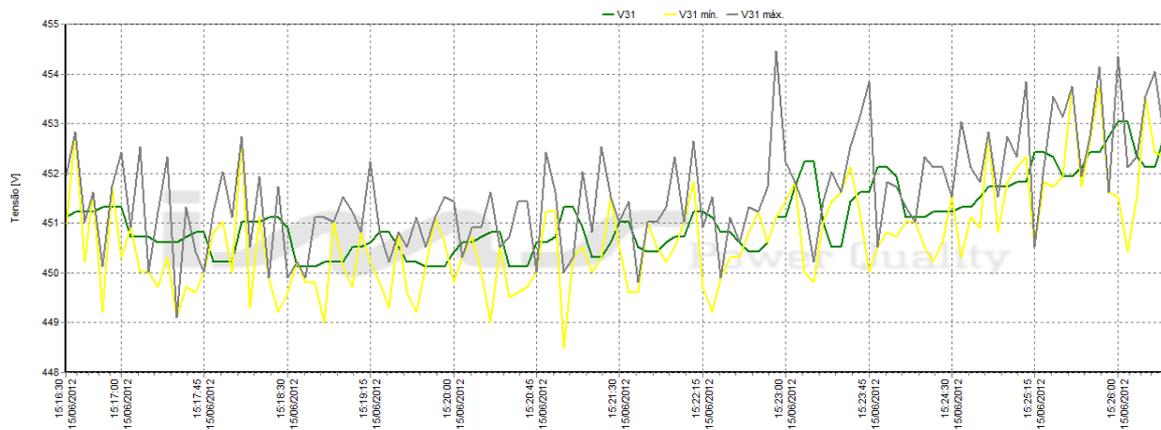


Figura 8: valor de tensão mínima e máxima entre as fases v1 e v3

A partir dos gráficos de tensões é possível observar as defasagens no sistema elétrico, e também constatar que a tensão esta acima da nominal que é 440 v, isto se da devido ao tap (*regulador de tensão*) do transformador de alta tensão para baixa tensão, estar desajustado.

Os dois próximos gráficos apresentam as defasagens entre as correntes totais do sistema, referente à tabela 1 e tabela 2, deve-se observar uma variação entre as correntes do mesmo circuito, isto é devido ao sistema de cargas desequilibradas, que acaba sobrecarregando sempre uma das fases, fazendo com que a corrente no condutor seja bem maior que em outro, conseqüentemente gerando aquecimento maior no condutor sobrecarregado

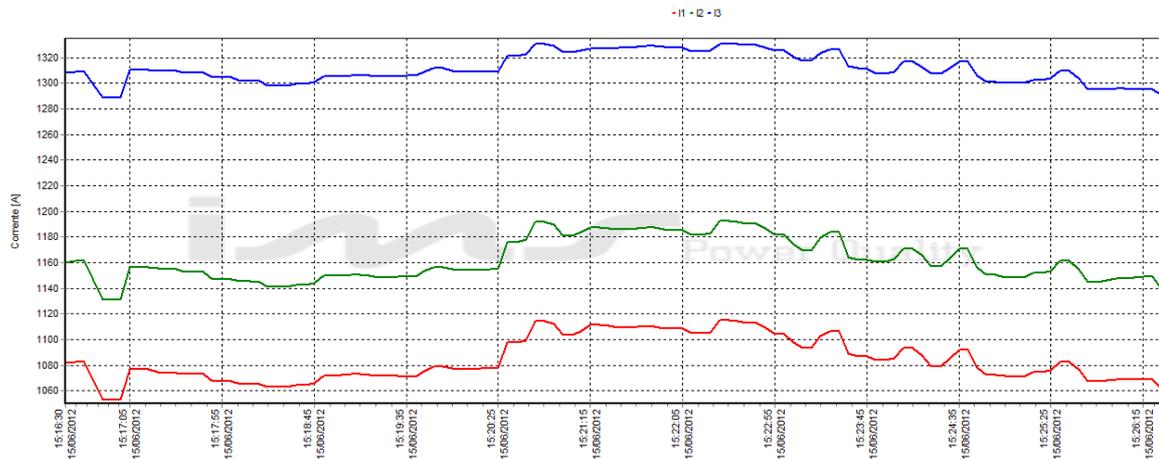


Figura 9: corrente total referente à tabela 1.

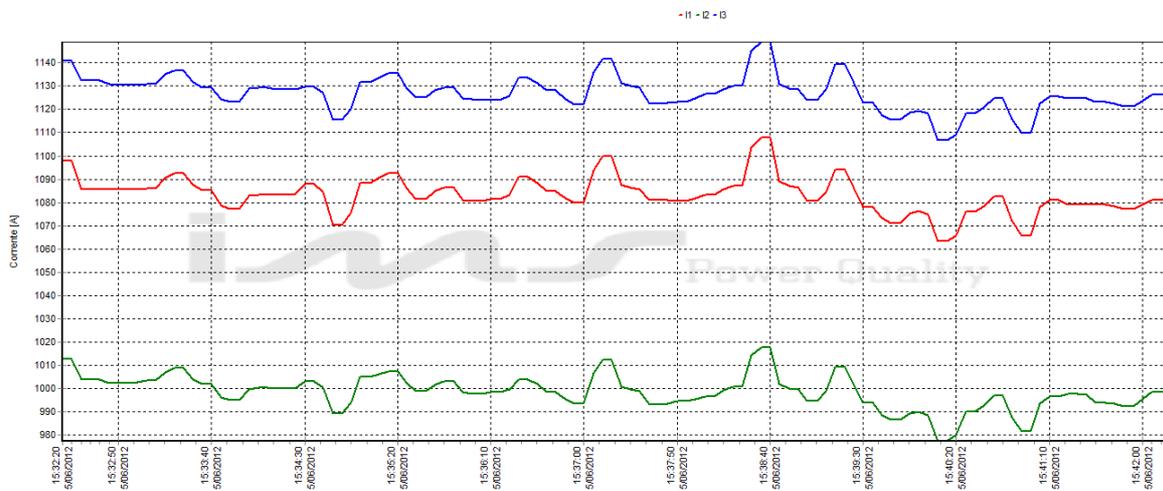


Figura 10: corrente total referente à tabela 2.

A seguir serão apresentados os gráficos das potências em relação às fases (1, 2 e 3), da tabela 1 e tabela 2, observe como uma delas está bem mais sobrecarregada que as outras, dessa forma consumindo mais corrente elétrica e gerando aquecimento no condutor sobrecarregado.

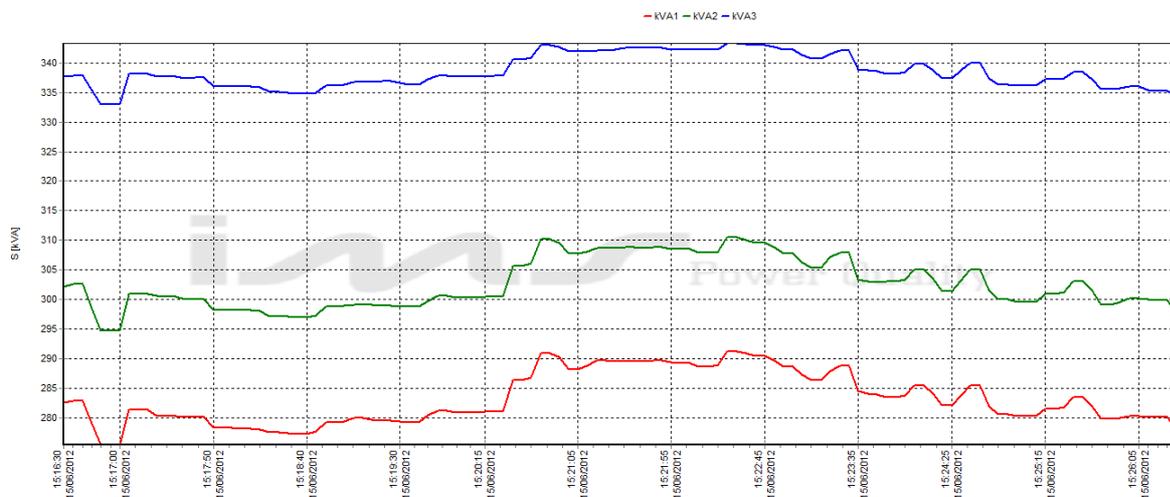


Figura 11: referente à potência aparente da tabela 1.

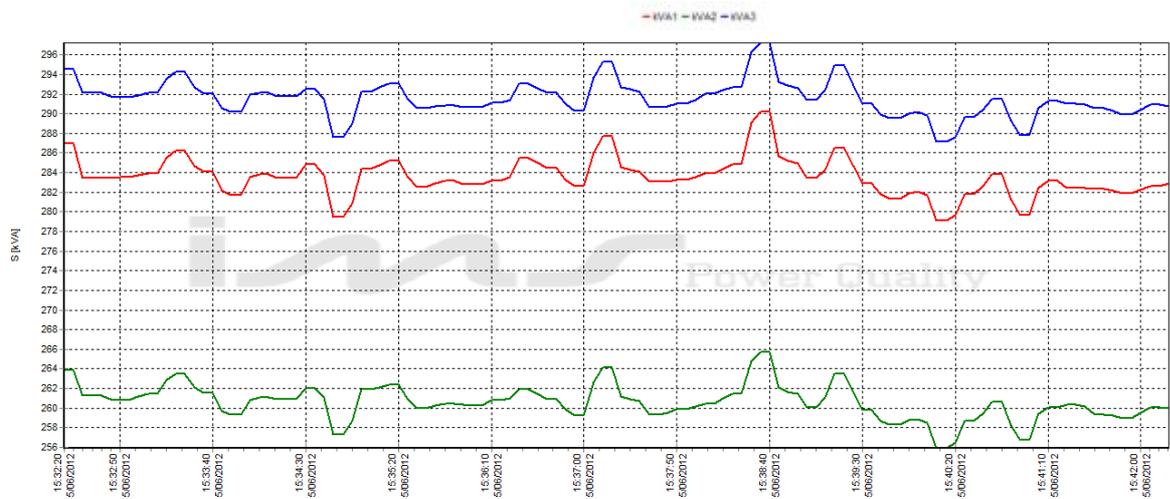


Figura 12: referente à potência aparente da tabela 2.

A seguir a distorção harmônica total de tensão que foi obtido no circuito analisado, observe que o *DHT* varia de 6,5 a 7,5%.

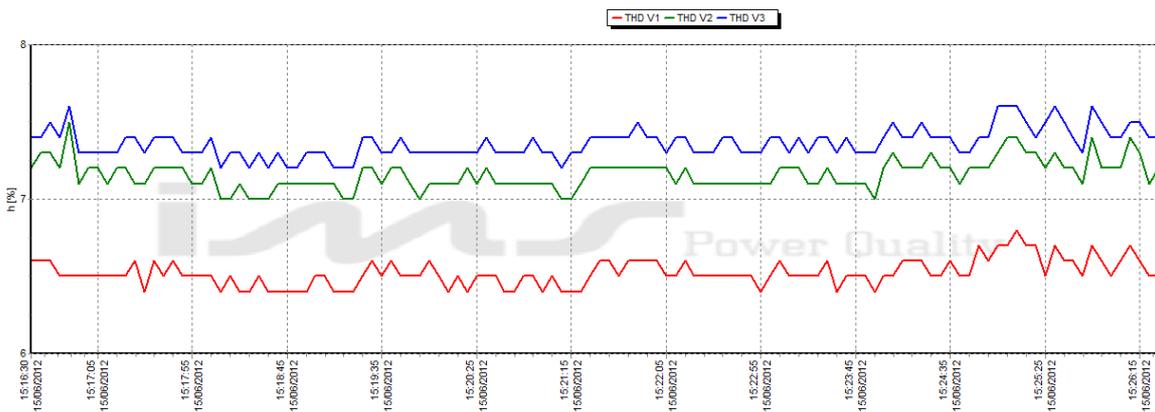


Figura 13: referente à tabela 1, distorção harmônica total de tensão.

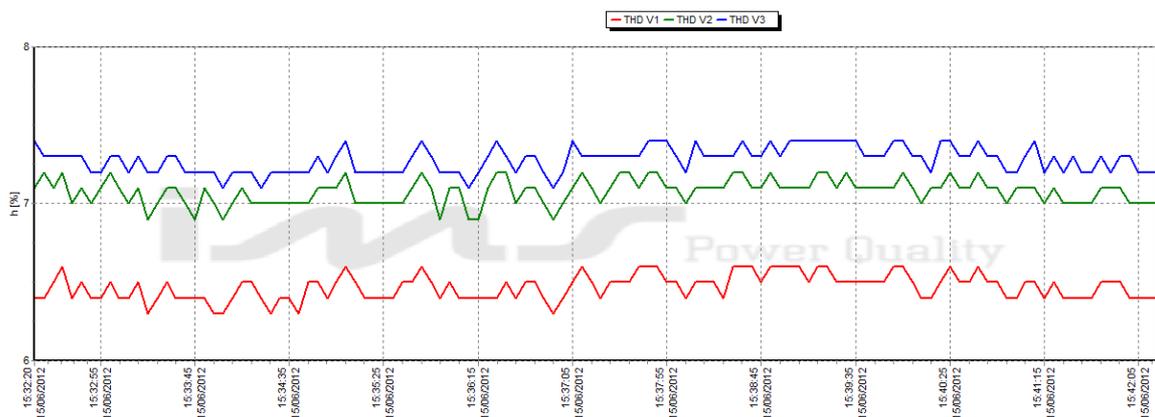


Figura 14: referente à tabela 2, distorção harmônica total de tensão.

Os gráficos onze e doze apresentam distorção harmônica total de corrente do circuito, também é possível observar que os valores de distorções variam entre 6 a 10%.

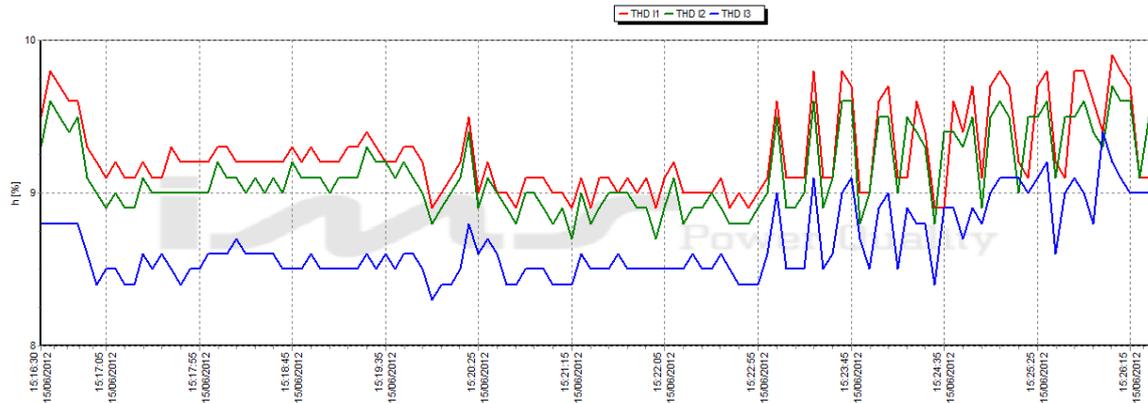


Figura 15: referente à tabela 1, distorção harmônica total de corrente.

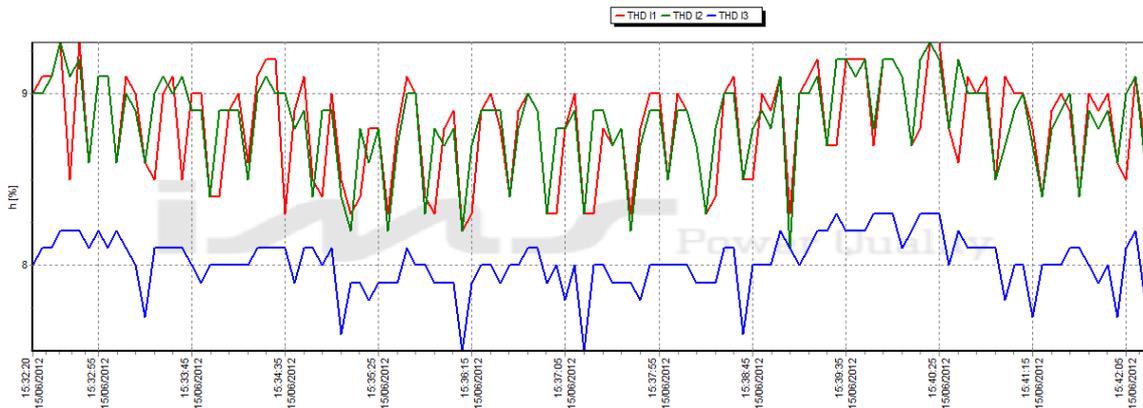


Figura 16: referente à tabela 2, distorção harmônica total de corrente.

Os maiores harmônicos encontrados na linha foram os de ordem (3, 5, 7, 9 e 11) sendo o 5º harmônico na faixa de 5,7% entre as fases 1, 2 e 3.

O primeiro gráfico refere-se aos harmônicos de tensão que esta indicando o pior que é de quinta ordem, onde o mesmo está entre 5 a 6%.

O segundo gráfico refere-se aos harmônicos de corrente que no caso esta indicando o pior harmônico de quinta ordem que esta entre 8 a 9%.

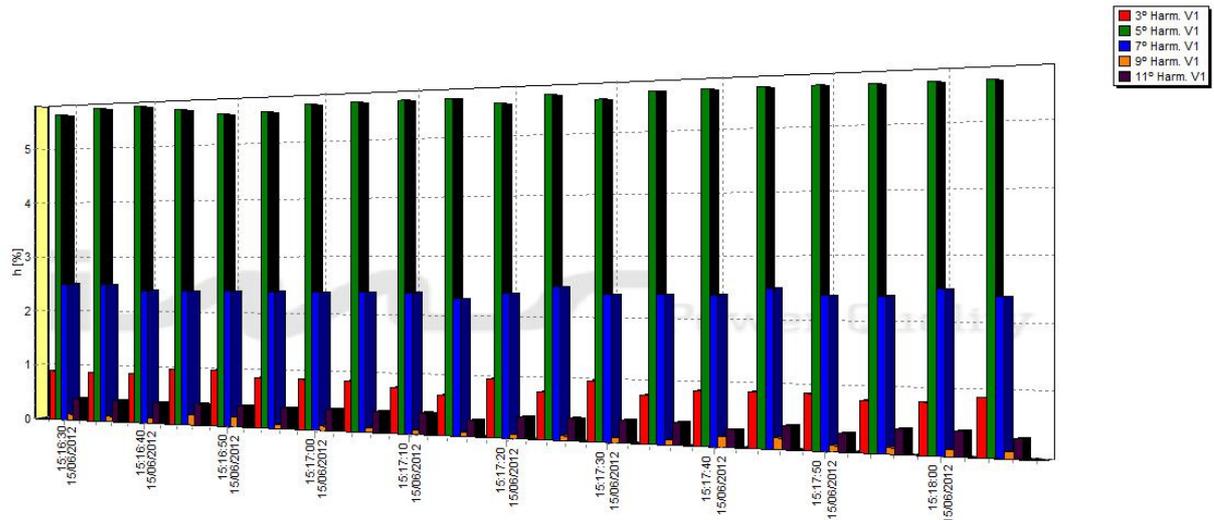


Figura 17: referente à tabela 1 e 2, pior harmônico de tensão obtido na linha de medição.

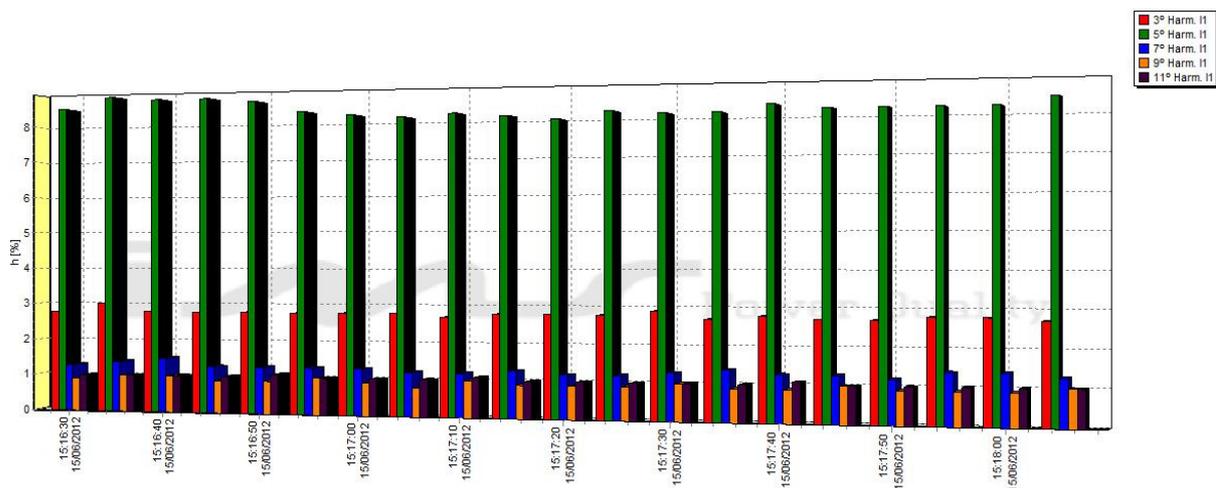


Figura 18: referentes à tabela 1 e 2, piores harmônicos de corrente obtido na linha de medição

5.0 RESULTADOS OBTIDOS

A partir destas medições foi constatado que ocorrem falhas neste sistema, dessa forma é possível apresentar soluções para tais ocorrências.

5.1 Transformadores

A maioria dos transformadores são projetados para trabalhar com cargas senoidais. A capacidade de um transformador trabalhar com cargas não lineares está em função do projeto e do material utilizado na fabricação do mesmo.

Os transformadores são muito tolerantes aos distúrbios elétricos, mas podem ser afetados por alguns eventos como:

- ✓ Distorção excessiva na tensão aplicada aumentara a temperatura de operação.
- ✓ Correntes harmônicas aumentam a temperatura de operação
- ✓ Sobretensão pode saturar o transformador
- ✓ Picos de correntes ou correntes harmônicas geradas pela carga podem interagir adversamente com a impedância do transformador, causando instabilidade e distorção de tensão.
- ✓ Cargas controladas por tiristor podem interagir com a impedância do transformador e gerar impulsos na tensão de saída.

Como foi observado no gráfico 1, o sistema esta defasado entre si, onde obteve valores de tensões mínimas de 446,1V e máximo de 454,1V; tal falha pode ocorrer devido problemas no enrolamento do transformador primário, desequilíbrio entre cargas mal distribuídas, mau

contato em conexões e chaves, desequilíbrio das fases na entrada do transformador que no caso seria de alta tensão 11,8kV, neste caso foi analisado e constatado que tal falha poderia estar sendo causada por danos do próprio transformador, visto que o mesmo já está em funcionamento há sete anos, assim está perdendo suas características físicas devido ao tempo de operação e também ao ambiente de trabalho onde possui baixa refrigeração e bastantes impurezas, desta forma, a recomendação é para realizar testes na qualidade do óleo refrigerante, teste de isolamento, teste de perdas no enrolamento e ferro do transformador, por uma empresa especializada, visto que este tipo de manutenção não é devido somente pelo fato do transformador apresentar tal defasagem, pode estar ocorrendo tais falhas ao sistema havendo um pequeno desequilíbrio na tensão de entrada do transformador, em consequência da linha de transmissão. Em segundo plano a orientação é para que opere o transformador em um ambiente limpo e refrigerado para que não se perca a vida útil cada vez mais.

Após ocorre o problema de a tensão estar acima da nominal de operação das máquinas, no caso desse sistema 440 v, a tensão de trabalho está em média trabalhando com 452 v, este fato é devido ao regulador de tensão do transformador (*tap*) estar desajustado, o ideal é regularizar de acordo com a tensão nominal da carga operante no setor, 440 v.

5.2 Cargas distribuídas

Os maiores problemas estão no sistema de carga distribuída da empresa, é possível observar o fato da corrente elétrica do circuito trifásico estar mais elevada em uma das fases, com isso sobrecarrega os condutores correspondentes. Nos gráficos apresentados foram constatados valores de correntes obtendo diferenças na ordem de 227A, para isso deve-se realizar uma medição de potência consumida máquina por máquina e refazer a distribuição no sistema trifásico para que o equilíbrio entre elas seja o máximo possível, regularizando o sistema adequadamente não permitindo a sobrecarga em apenas uma das fases do sistema.

5.3 Correntes Harmônicas

Em terceiro lugar esta o fato do sistema obter correntes harmônicas, isto ocorre devido ao sistema complexo de automação das máquinas operantes obter uma grande quantidade de inversores de frequência e demais circuitos eletrônicos que propiciam a geração de correntes harmônicas no sistema, o ideal é realizar a medição elaborada do sistema em respeito às correntes harmônicas e especificar filtros para controle das correntes mais elevadas influenciando a redução das mesmas.

Os filtros harmônicos eliminam a distorção harmônica causadas pelos equipamentos instalados e pode ser instalado na entrada do equipamento protegido ou na saída do dispositivo causador da distorção.

Os filtros harmônicos são compostos de capacitores, indutores e resistores compondo circuito capaz de desviar as correntes harmônicas para o condutor terra da instalação.

Os harmônicos causam formas de ondas não senoidais, que por sua vez produzem baixo fator de potência, o fator de potência reativo é corrigido por reatâncias balanceadas, o fator de potência induzido por harmônicos deve ser corrigidos através de dispositivos como reatores, filtros ativos e passivos.

6.0 CONCLUSÕES FINAIS

Com a presença de distúrbios elétricos na rede de alimentação é possível observar que o sistema entra em desequilíbrio, sobrecarregando os condutores, gerando perdas e aquecimentos nos transformadores, em consequência aumentando os gastos financeiros no quesito de bens materiais, fazendo com que se desgaste cada vez mais rapidamente com o decorrer do tempo.

Este trabalho foi concluído com êxito alcançando seus objetivos, demonstrando ao longo do texto elaborado a importância de obter o conhecimento de pessoas técnicas da área abordada, a fim de evitar perdas e ineficiências dos equipamentos operados em uma indústria onde, algumas falhas que ocorrem no sistema elétrico não são possíveis serem visualmente observada, pelo contrário deve ser medida e analisada, de forma correta para o bom rendimento e produtividade dos equipamentos elétricos dentro de uma empresa.

7.0 Referências Bibliográficas

1. ALDABÒ, Ricardo. Qualidade na energia elétrica. São Paulo: Artliber, 2001.252p.
2. MARTINHO, Edson. Distúrbio da energia elétrica. São Paulo: 2009. 144p.
3. Eletricidade Moderna. Eletricidade Moderna, São Paulo, V.33, nº367, out. 2004.
4. Eletricidade Moderna. Eletricidade Moderna, São Paulo, V.33, nº368, out. 2004.
5. RIBEIRO, Cristiano Felipe. Influencia dos harmônicos na qualidade da energia elétrica. 2007. 45p. Monografia de graduação em engenharia de controle e automação. Universidade Federal de Ouro Preto.
6. IEEE Standard 519, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 1992.
7. COGO, João Roberto. Análise da Qualidade da Tensão em Sistemas Elétricos. Apostila, Escola Federal de Itajubá, Itajubá-MG: Editora EFEI, Setembro de 1996.