

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA ELÉTRICA
WELLITON PEREIRA VILELA

ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO

Varginha

2018

WELLITON PEREIRA VILELA

ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas- UNIS como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Me. Eduardo Ferroni.

Varginha
2018

WELLITON PEREIRA VILELA

ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Sul de Minas como pré requisito para obtenção do grau de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: / /

Me. Eduardo Henrique Ferroni

Prof. Adilene Soares Tirelli

Prof. Hugo Rodrigues Vieira

OBS:

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por todas as vitórias alcançadas até aqui, pela força de vontade e perseverança de acreditar que sempre é possível, a todos os professores e coordenadores do curso, e a todos os amigos e familiares que sempre me apoiaram e me deram forças para continuar.

“Quem nunca cometeu um erro, nunca tentou algo novo.”

Albert Einstein

RESUMO

A energia elétrica é considerada um produto comercial, e como todo produto comercial, sua qualidade é exigida pelos consumidores, principalmente os consumidores de maiores potências, que são responsáveis por uma parte considerável do consumo de energia elétrica. A sensibilidade de alguns equipamentos utilizados em determinados setores da eletroeletrônica colocam a prova a qualidade da energia, esses equipamentos são sensíveis a variações nos parâmetros que definem a qualidade de energia elétrica, é necessário que a energia elétrica seja contínua, livre de variações e distúrbios. A energia é distribuída e comercializada por concessionárias, que para fornecer energia com qualidade, são regulamentadas por um órgão nacional, no Brasil, este órgão é denominado como Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A ANEEL estabelece os procedimentos necessários para que as concessionárias comercializem a energia elétrica. Este trabalho foi desenvolvido para avaliar o consumo de energia elétrica de uma empresa de comércio de café, em relação ao consumo aferido pela concessionária. De acordo com a empresa o valor aferido pela concessionária é excessivo em relação a planta elétrica instalada. Esta monográfica foi elaborada a partir estudos bibliográficos, e com embasamento nos procedimentos exigidos pelo órgão regulamentador em vigência, e apresentando através de um estudo de caso os resultados de uma análise de qualidade de energia no Quando de Distribuição Geral (Q.D.G.) da empresa. A fim de realizar uma avaliação de possíveis melhorias, e sugerir a eficiência energética como uma opção para a redução de consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Energia Elétrica, Qualidade de Energia, Eficiência Energética.

ABSTRACT

Electricity is considered a commercial product, and like any commercial product, its quality is demanded by consumers, mainly the consumers of higher powers, who are responsible for a considerable part of the consumption of electric energy. The sensitivity of some equipment used in certain sectors of the electroelectronics test the quality of the energy, these equipments are sensitive to variations in the parameters that define the quality of electric energy, it is necessary that the electric energy is continuous, free of variations and disturbances. The energy is distributed and marketed by concessionaires, who to supply energy with quality, are regulated by a national body, in Brazil, this body is denominated as National Agency of Electric Energy (ANEEL). ANEEL establishes the necessary procedures for the concessionaires to commercialize electric energy. This work was developed to evaluate the consumption of electric energy of a coffee trading company, in relation to consumption measured by the concessionaire. According to the company, the value measured by the concessionaire is excessive in relation to the installed electric plant. This monograph was prepared based on bibliographic studies, based on the procedures required by the regulatory agency in effect, and presenting, through a case study, the results of an energy quality analysis at the company's General Distribution Point (Q.D.G.). In order to carry out an assessment of possible improvements, and suggest energy efficiency as an option for reducing electricity consumption.

Keywords: Electric Power, Energy Quality, Energy Efficiency.

LISTA DE ABREVIACÕES

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica.
AT- Alta Tensão.
BT - Baixa Tensão.
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.
CMSE - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico.
CNPE-Conselho Nacional de Política Energética.
CUSD - Contratos de Uso do Sistema de Distribuição.
DNAEE-Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica.
EE- Energia Elétrica.
EPE - Empresa de Pesquisa Energética.
FP- Fator de Potência.
HZ= Hertz, Unidade de Medida da Frequência.
ICC- Índice de Unidades Consumidoras com Tensão Critica.
K – Representa a quantidade de $nx10^3$, ou seja, $Nx1000$.
KV- KXVolts.
MAE- Mercado Atacadista de Energia Elétrica.
MEE - Ministério de Minas e Energia.
MT-Media Tensão.
NOS - Operador Nacional do Sistema Elétrico.
PU- Unidade de medida Por Unidade de grandezas elétricas.
QEE- Qualidade de Energia Elétrica.
RESEB - Projeto Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro.
SEP- Sistema Elétrica de Potência.
SIN - Sistema Interligado Nacional.
TC- Transformador de Corrente.
TP- Transformador de Potência.
TR- Tensão de referência.
VA- Volt Ampere.
VAR – Volt Aparente Reativo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa organizacional do PRODIST.....	16
Figura 2 – Triângulo das potências.....	26
Figura 3 – Harmônicas.....	32
Figura 4 – Gerador trifásico.....	33
Figura 5 – Tensões ABC defasadas em 120°	33
Figura 6 – Flutuação de tensão.....	35
Figura 7 – Medidor da concessionária parâmetro 3.....	42
Figura 8 – Medidor da concessionária no parâmetro 24.....	42
Figura 9 – Potências e Fator de potência registros com intervalos de 10 minutos.....	46
Figura 10 – Potência e Fator de potência.....	46
Figura 11 – Harmônicas em um período de 24 horas.....	47
Figura 12 – Harmônicas em um período de aproximadamente 9 dias.....	47
Figura 13 – Tensões de fase, amplitude e simetria das tensões.....	48
Figura 14 – Medidor da concessionária no parâmetro 3 após o registro das amostras.....	48
Figura 15 – Medidor da concessionária no parâmetro 24 após o registro das amostras.....	49
Figura 16 – Luminária LED	52
Figura 17 – Especificações técnicas.....	52
Figura 18 – Especificações elétricas.....	53
Figura 19 – Potência elétrica da luminária.....	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1– Distribuição das tensões.....	38
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Tensões: Adequada, precária inferior, precária superior, critica inferior e critica superior.....	24
Quadro 2 – Terminologia das Harmônicas.....	29
Quadro 3 – Valores de referência globais das distorções harmônicas totais.....	31
Quadro 4 – Terminologia para o desequilíbrio de tensão.....	34
Quadro 5 – Consumo da luminária vapor metálico.....	50
Quadro 6 – Consumo da luminária LED 120 W.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distorção de Harmônicas.....	27
Tabela 2 – Relatório do resultado das amostras de tensão.....	37
Tabela 3 – Distribuição das tensões.....	37
Tabela 4 – Consumo/ Fator de potência.....	42
Tabela 5 – Consumo mensal de lâmpadas vapor metálico 400W.....	50
Tabela 6 – Consumo luminárias de vapor metálico x consumo luminárias LED.....	52
Tabela 7 – Custo benefício das luminárias LED.....	52

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	20
Equação 2.....	21
Equação 3.....	21
Equação 4.....	21
Equação 5.....	21
Equação 6.....	22
Equação 7.....	24
Equação 8.....	25
Equação 9.....	26
Equação 10.....	26
Equação 11.....	28
Equação 12.....	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 NORMATIZAÇÃO E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA	17
3 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA	21
3.1 Distúrbios que afetam diretamente a qualidade da energia elétrica	21
3.2 Condições adequadas para o funcionamento do sistema elétrico.....	22
3.2.1 Tensão em regime permanente	22
3.2.2 Fator de Potência	26
3.2.3 Harmônicas	28
3.2.4 Desequilíbrio de Tensão	32
3.2.5 Flutuação de tensão	33
3.2.6 Variação de Frequência	34
3.3 Detecção de distúrbios e variações na rede elétrica	35
3.3.1 Instrumentos de medição	36
3.3.2 Analisadores de Qualidade da Energia.....	36
4 ESTUDO DE CASO	38
4.1 Informações da instalação	38
4.2 Equipamentos	39
4.3 Realizações dos registros e na análise da qualidade da energia elétrica	40
4.3.1 Verificação da tensão em regime permanente.....	40
4.3.2 Análise do Fator de Potência e correntes da instalação.....	42
4.3.3 Análise das harmônicas	43
4.3.4 Demanda de energia consumida durante as leituras.....	45
4.3.5 Proposta para solução do alto consumo da empresa.....	47
5 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Desde a sua descoberta a Energia Elétrica (E.E) é considerada como um dos principais recursos utilizados para satisfazer as diversas necessidades primordiais para a qualidade de vida e conforto dos seres humanos, ela tem papel importante e imensurável para a sociedade e entre muitas utilidades, alguns equipamentos e aplicações estão entre os mais comuns no dia-a-dia das pessoas: Chuveiro elétrico, geladeira, lâmpada, computadores, celulares, motores, etc.

A importância de uma energia de qualidade entregue ao consumidor final se tornou visível no século XIX com a aplicação as primeiras experiências comerciais do Sistema Elétrico de Potência (SEP) que é responsável pela geração, transmissão e distribuição. No Brasil especificamente no ano de 1934 foram estabelecidos primeiros indicadores de qualidade de energia com a implementação do Código de Águas (ANEEL, 2016).

Atualmente Energia Elétrica é indispensável para a humanidade e sua aplicação vai além de necessidade básicas do ser humano, ela engloba também uma serie de atuações em setores industriais, hospitalares e tecnológicos no mundo, e conseqüentemente movimente uma parte significativa da economia no mundo.

O constante crescimento da demanda energética tornou a energia elétrica um produto comercial, este é comercializado por diferentes empresas privadas e estatais, que são responsáveis por: gerar, transmitir, e distribuir; a energia elétrica para os diversos tipos de consumidores conectados a rede. O comercio de energia elétrica tornou visível a necessidade de se regulamentar e fiscalizar a qualidade e a garantia de seu fornecimento aos consumidores finais sendo estes consumidores residenciais, comerciais e industriais. Essas normatizações e fiscalizações por sua vez são realizadas pela Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que é órgão máximo do setor no Brasil (ANEEL, 2016).

Como a aplicabilidade da Energia Elétrica é existente em vários processos de âmbitos industriais, hospitalares, tecnológicos e muitos outros, a E.E não deve oferecer variações ou distúrbios em seus parâmetros, uma vez que existem muitos componentes sensíveis e que podem ser danificados por muitos destes problemas. Diante deste problema e da importância de fornecer uma Energia Elétrica de qualidade aos consumidores, tornou-se necessário que a E.E apresente níveis de qualidade satisfatórios a fim de melhor atender seus consumidores.

O surgimento de deformidades nas formas de onda da tensão e corrente influenciam diretamente a qualidade da energia elétrica. Essas deformidades são definidas pelo *International Electrotechnical Commission (IEC)*. Estes problemas são caracterizados como

fenômenos eletromagnéticos, tais como: harmônicos, interharmônicos, flutuações de tensão, afundamentos, transitórios, entre outros; Estes distúrbios estão relacionados com diversos eventos nos SEP, uma parte é ocasionada através do chaveamento de banco de capacitores e entrada e saída de cargas lineares e não lineares, a outra parte pode ser gerada através de eventos não operacionais do SEP, tais como descargas atmosféricas e falhas na rede elétrica. (FERREIRA, 2009).

A Qualidade de Energia Elétrica é indispensável para o funcionamento de diversos equipamentos elétricos e eletrônicos, o que torna a energia elétrica responsável por movimentar setores da economia de indústrias. A importância da qualidade da energia elétrica incentiva a elaboração deste trabalho com o intuito de demonstrar a importância do tema e apresentar através de um estudo de caso os problemas encontrados e propor uma solução para os mesmos.

De acordo com Ferreira (2009), a Qualidade da Energia Elétrica (QEE) esta diretamente ligada as variáveis que a compõem e as cargas conectadas ao Sistema Elétrico de Potência (SEP), e é definida pelas formas de onda da tensão e corrente elétricas do sistema, e alguns pontos se destacam como influenciadores na importância da análise e estudo da qualidade de energia elétrica:

- a) Utilização de equipamentos computadorizados e sensíveis a perturbações nas formas de onda da tensão e da corrente.
- b) Exigências dos consumidores em geral.
- c) O crescimento do setor de componentes de características não lineares tais como fontes chaveadas, sistemas microprocessados e etc..
- d) Regulamentação do Setor Elétrico.

Enfim, de acordo com os itens anteriores é justificável um estudo mais detalhado sobre a Qualidade da Energia Elétrica, através de estudos detalhados com medições em diversos horários e dias da semana, a fim de filtrar e solucionar problemas na rede e em equipamentos instalados na mesma.

Este trabalho será realizado através de pesquisas bibliográficas com embasamento nas normas e orientações dos agentes reguladores da Qualidade de Energia Elétrica no Brasil, e um estudo de caso em uma instalação de uma indústria de comercialização de café, que se encontra em funcionamento, na qual apresenta problemas de consumo elevado de E.E, a fim de no final da análise apresentar uma proposta de correção dos problemas encontrados na instalação.

2 NORMATIZAÇÃO E MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA

A Energia Elétrica é um insumo indispensável para o desenvolvimento socioeconômico em todo o mundo. No Brasil a principal fonte de geração de E.E são as usinas hidrelétricas, que correspondem por 62% da geração de energia no país, aproximadamente 28% da energia é gerada em termelétricas, e 10% são produzidas por usinas eólicas, fotovoltaicas e importações de outros países (ANEEL, 2018).

As primeiras normas em relação à prestação de serviços de energia elétrica em geral foram estabelecidas pelo Código de Águas, que foi modificado em um novo decreto e nomeado como Regulamento dos Serviços de Energia Elétrica (RSEE), que durou por cerca de duas décadas como principal norma no setor. Já em 17 de novembro de 1965 foi estabelecido o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). (ANEEL, 2016).

Segundo a ANEEL, a preocupação inicial no SEP foi minimizar o tempo de interrupção da energia elétrica, porém, devido ao crescimento das indústrias e consequentemente o aumento do consumo de energia nas décadas de 1970 e 1980, tornou-se necessário realizar pesquisas para analisar a qualidade da energia através de estudos de distorções de harmônicos e efeito flicker, que é caracterizado pela cintilação luminosa. A partir desses estudos foram criados vários procedimentos para definir os critérios para a instalação de novas cargas no sistema, entretanto sem uma legislação sobre estes procedimentos.

A partir da necessidade de se obter uma melhor qualidade de energia para os consumidores, e também concessionárias devido as grandes perdas provocadas pela má qualidade da E.E, tornou-se necessário a criação de órgãos responsáveis por auxiliar no controle e fiscalização de diversas áreas do setor de energia, sendo os principais citados pela ANEEL nos seus Procedimentos de Distribuição (PRODIST) em seu MODULO 1 (ANEEL, 2016):

- a) Ministério de Minas e Energia (MME): O MME é responsável pela formulação, planejamento e implementação de iniciativas do governo federal na política energética nacional.
- b) Conselho Nacional de Política Energética (CNPE): Órgão de assessoramento do Presidente da República para formulação de políticas nacionais e diretrizes de energia, que visa, dentre outros, o aproveitamento racional dos recursos energéticos do país, a revisão

periódica da matriz energética e o estabelecimento de diretrizes para programas específicos. É órgão interministerial presidido pelo Ministro de Minas e Energia.

- c) Empresa de Pesquisa Energética (EPE): Empresa pública federal dotada de personalidade jurídica de direito privado e vinculada ao MME. Tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Elabora os planos de expansão da geração e transmissão da energia elétrica.
- d) Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE): Constituído no âmbito do MME e sob sua coordenação direta, tem a função de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional.
- e) Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS): Entidade jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, sob-regulação e fiscalização da ANEEL, responsável pelas atividades de coordenação e controle da operação da geração e da transmissão de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN).
- f) Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE): Entidade jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, sob-regulação e fiscalização da ANEEL, tem a finalidade de viabilizar a comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e de administrar os contratos de compra e venda de energia elétrica, sua contabilização e liquidação.
- g) Agência Nacional de Energia Elétrica: ANEEL: Autarquia sob regime especial, vinculada ao MME, tem a finalidade de regular e fiscalizar a produção, a transmissão, a distribuição e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal. É o órgão responsável pela elaboração, aplicação e atualização dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST).

De acordo com a ANEEL em 1996 o Ministério de Minas e Energia (MME) iniciou por meio do Projeto Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro (RESEB), estudos para melhorar a organização do setor, tendo dois principais objetivos: concentrar as ações do estado no planejamento, formulação, regulamentação e fiscalização da política e também as atividades; e deixar para a iniciativa privada os investimentos e operação do setor.

As principais mudanças sugeridas pelo MME no Projeto Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro são: (ANEEL, 2016).

- a) Criação de novos agentes setoriais, aos quais foi assegurado o livre acesso aos sistemas de transmissão e de distribuição.
- b) A criação da ANEEL, com a finalidade de regulação e fiscalização das atividades de energia elétrica, inclusive dos serviços de distribuição.

- c) Livre comercialização e a criação do Mercado Atacadista de Energia Elétrica – MAE
- d) Criação do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS para desenvolvimento das atividades de coordenação e controle da operação da geração e transmissão de energia elétrica nos sistemas interligados.

Logo após estes feitos, os trabalhadores do setor observaram a necessidade de regulamentar e padronizar a execução dos serviços no setor, com essa necessidade foram estabelecidas as normas de regulamentação do PRODIST (Procedimentos de Distribuição), que são documentos criados pela ANEEL com a participação de agentes de distribuição, associações do setor de eletricidade nacional e outras entidades a fim de normatizar e padronizar as atividades técnicas relacionadas com o desempenho e funcionamento do sistema elétrico (ANEEL, 2016).

Segundo a ANEEL as principais funções do PRODIST são:

- a) Garantir a segurança, qualidade, confiabilidade e a continuidade do SEP.
- b) Permitir o acesso aos sistemas de distribuição, garantindo o tratamento igualitário entre agentes.
- c) Orientar e exigir o atendimento aos procedimentos técnicos das atividades de planejamento de expansão, operação dos sistemas de distribuição, medição e qualidade da energia elétrica distribuída.
- d) Definir itens para serem cumpridos em intercâmbios de informações entre os agentes dos setores.
- e) Assegurar o fluxo de informações de acordo com a ANEEL.
- f) Disciplinar nos requisitos técnicos na interface com a rede básica, complementando de forma harmônica os procedimentos da mesma.

Em conjunto com estes órgãos a ANEEL desempenha o controle das ações em âmbito geral do sistema elétrico nacional, e tem em seus documentos do PRODIST as principais orientações e exigências para os agentes setoriais da distribuição de energia em geral para tensões abaixo de 230 KV, tanto em baixa tensão (BT), média (MT) e alta tensão (AT). ANEEL (2016).

Entre os grupos de setores que ao PRODIST disciplina estão:

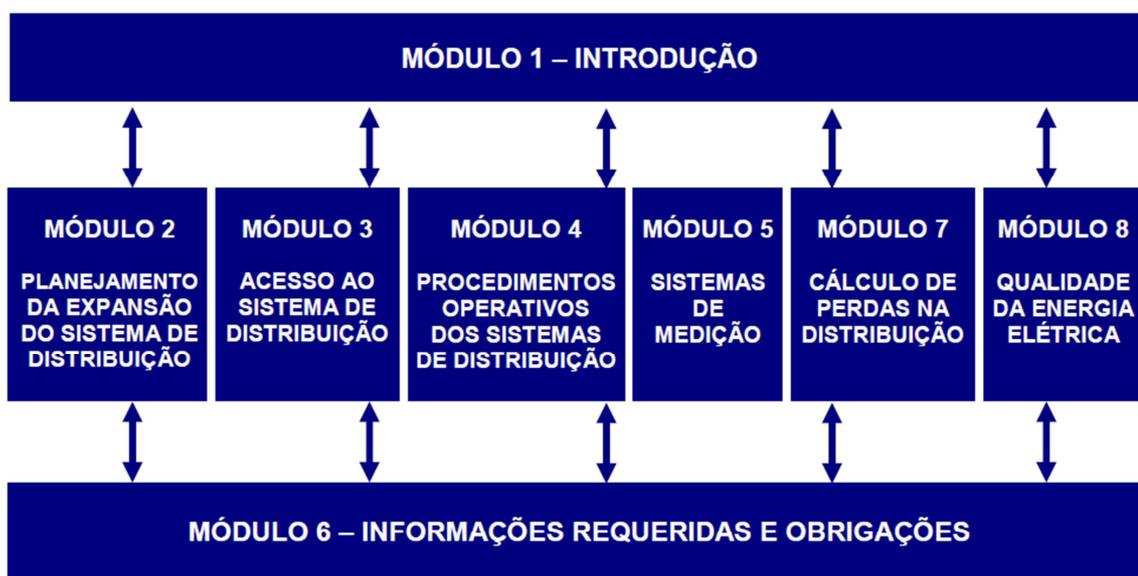
- a) Concessionárias, permissionárias e autorizadas dos serviços de geração distribuída e de distribuição de energia elétrica;
- b) Consumidores de energia elétrica com instalações conectadas ao sistema de distribuição, em qualquer classe de tensão; baixa tensão (BT) média tensão (MT), alta tensão (AT),

inclusive consumidor ou conjunto de consumidores reunidos por comunhão de interesses de fato, ou de direito;

- c) Agente importador ou exportador de energia elétrica conectada ao sistema de distribuição;
- d) Transmissoras detentoras de DIT;
- e) ONS.

Estes agentes são organizados por diferentes documentos do PRODIST, atualmente existem 8 documentos no qual são divididos em módulos e que regem a organização destes setores conforme descritos na Figura 1.

Figura 1 – Mapa organizacional do PRODIST



Fonte: (ANEEL, 2018).

Diante das normas estabelecidas pelo PRODIST, existem as penalidades e estas podem ser aplicadas tanto para as concessionárias quanto para os consumidores que infringirem às regras, tais penalidades estão previstas para os consumidores nos Contratos de Uso do Sistema de Distribuição-CUSD e nos contratos de Conexão ao Sistema de Distribuição-CCD, já para as concessionárias ou acessados estão previstas na Resolução ANEEL nº 63/2004.

As concessionárias ou acessados podem receber como penalidades: advertências, multas, embargo de obras, suspensão temporária de participação em licitações para obtenção de novas concessões, renovação de autorização, intervenção administrativa e caducidade da concessão ou da autorização.

3 QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica é um produto comercial e essencial para o conforto e desenvolvimento do homem, com a necessidade e a importância da energia elétrica, foram necessárias as normas para regulamentar a sua qualidade, de acordo com os estudos de Belinovski (2009) aproximadamente de 46% do consumo de energia elétrica é representado por indústrias, e uma grande quantidade dessa energia é desperdiçada. Mamede (2007) afirma que os motores elétricos em uma instalação industrial são responsáveis por consumir em média 75 % da energia de demanda.

Segundo Lourenço (2009), uma alternativa para avaliar o consumo de energia é a auditoria energética, analisando a eficiência energética dos equipamentos e suas perdas em relação ao consumo, através de uma técnica avançada de análise com a intenção de reduzir os gastos sem comprometer a produção.

A análise da qualidade da energia elétrica se faz necessária no momento em que os consumidores finais constatarem interrupções em seu fornecimento e também quando são notáveis altos consumos ou falhas em equipamentos (MEHL, 2012). Alguns outros fatores que influenciam diretamente na qualidade da energia são a continuidade e a conformidade da energia. Existem muitos fatores que são considerados para a análise tais como: desequilíbrio de sistemas trifásicos, flutuação de tensão, harmônicos etc. (ANEEL, 2016).

Contudo, para realizarmos uma boa análise da qualidade da energia elétrica precisamos conhecer os padrões considerados adequados para uma boa qualidade de E.E.

3.1 Distúrbios que afetam diretamente a qualidade da energia elétrica

É considerado como um distúrbio de qualidade de energia elétrica qualquer anomalia referente à corrente elétrica, frequência ou tensão, na qual ocasiona problemas no funcionamento de qualquer equipamento elétrico. Sendo assim, estes estão diretamente relacionados às questões econômicas, já que estes distúrbios são responsáveis por acarretar uma série de problemas nos equipamentos gerando um prejuízo financeiro para o consumidor, tanto em relação ao consumo dos equipamentos quanto a perdas de equipamentos (LIMA, 2009).

De acordo com Cruz (2007), quando a qualidade da energia elétrica não se encaixa nos padrões básicos estipulados pelo PRODIST (Procedimentos de Distribuição estabelecidas pela ANEEL) - Modulo 8, é notável a existência de perdas tanto na produção quanto nos

equipamentos instalados e que estiverem em funcionamento uma vez que apresente uma falha no fornecimento de energia.

Diante dos diversos fatores apresentados, é notável a necessidade de se analisar a qualidade da energia elétrica, e faz-se necessário estudar os distúrbios que influenciam diretamente no resultado final da qualidade da energia elétrica, com intuito de encontrá-los, para que sejam tomadas as medidas necessárias para a correção dos mesmos proporcionando uma energia de melhor qualidade para os consumidores. As condições adequadas para os parâmetros que definem a qualidade de energia elétrica são definidas pela ANEEL no PRODIST 5 módulo 8 (ANEEL, 2018).

3.2 Condições adequadas para o funcionamento do sistema elétrico

No sistema elétrico existem características imprescindíveis que precisam ser mantidas para obter o melhor desempenho possível de um sistema elétrico, são estabelecidas as condições mínimas para uma subestação garantir o funcionamento em regime permanente, apresentando um resultado satisfatório para o consumidor. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica os principais itens a serem observados para a qualidade da energia elétrica são: tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão, variações de tensão de curta duração e a variação da frequência (ANEEL, 2018).

3.2.1 Tensão em regime permanente

Os equipamentos elétricos são projetados para operar em uma faixa de tensão necessária para suprir o seu devido funcionamento, uma vez que a tensão aplicada ao equipamento não é compatível com a projetada este equipamento, ele pode sofrer avarias, ou até mesmo a queima de componentes, o que ocorre no não funcionamento do mesmo, a partir deste fato, torna-se necessário regulamentar a tensão em regime permanente.

Devido sua importância e de problemas apresentados e que podem existir nas instalações, é necessário realizar medições e controlar, a fim de garantir continuidade e garantir a qualidade da energia, diante disto a ANEEL (2018) estabeleceu seus níveis mínimos e máximos em uma faixa aceitável de variações não prejudiciais para o sistema, são estipulados também os parâmetros para a regularização depois de constatadas as variações de tensão.

A tensão em regime permanente é avaliada através de leituras efetuadas por um equipamento de medição apropriado e regulamentado de acordo com os indicadores individuais e coletivos estipulados pela ANEEL. Esta leitura deve ser realizada nos pontos de conexão a Rede de Distribuição, nos pontos de conexão entre distribuidoras e nos pontos de conexão com consumidores disciplinados de acordo com as regulamentações do PRODIST-MODULO-8.

Os valores obtidos através das medições são comparados a valores de referencia estabelecidos pelo PRODIST-MODULO-8 e de acordo com a tensão contratada no ponto de conexão. Existem três classificações para as tensões aferidas e são: adequadas, precárias ou críticas. De acordo com a ANEEL (2018) quando existir interrupções de faltas de energia, afundamentos ou elevações momentâneas de tensão, o intervalo de 10 minutos onde ocorreram as leituras deve ser excluído e substituído pelo mesmo numero de leituras válidas.

O conjunto de leituras para gerar os indicadores individuais deverá compreender o registro de 1008 (mil e oito) leituras válidas obtidas em intervalos consecutivos (período de integralização) de 10 minutos cada, salvo as que eventualmente sejam expurgadas conforme item 2.6.2. No intuito de se obter 1008 (mil e oito) leituras válidas, intervalos adicionais devem ser agregados, sempre consecutivamente (ANEEL, 2018).

Após a obtenção do conjunto de leituras válidas, deve ser calculado o índice de duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) e o índice para tensão crítica (DRC). Para se caracterizar a tensão precária e a tensão crítica, define-se, primeiramente, o conceito de tensão de atendimento. Esta é o valor eficaz de tensão no ponto de entrega ou de conexão, obtido por meio de medição, pode ser classificada como adequada, precária ou crítica (UTFPR, 2016).

Quadro 1 – Tensões: Adequada, precária inferior, precária superior, critica inferior e critica superior.

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de variação da Tensão de Leitura (TL) 220/127 V
Adequada	$201 \leq TL \leq 231$ ou $116 \leq TL \leq 133$
Precária Inferior	$189 \leq TL \leq 201$ ou $109 \leq TL \leq 116$
Precária Superior	$231 \leq TL \leq 233$ ou $133 \leq TL \leq 140$
Crítica Inferior	$TL \leq 189$ ou $TL \leq 109$
Crítica Superior	$TL \leq 233$ ou $TL \leq 140$

Fonte: (ANEEL 2018).

O nível de tensão contratada pelas distribuidoras são tensões superiores ou iguais a 230 KV e sua medição deverá ser exata, ou seja, igual a contratada, e em tensões inferiores a 230 KV a faixa aceitável estipulada é de 95% a 105% da tensão contratada no ponto de conexão (ANEEL, 2018).

Após serem realizados o conjunto de leituras válidas, quando de medições oriundas por reclamação ou amostras, devem ser calculados o índice de duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) e para tensão crítica (DRC) de acordo com as Equações 1 e 2:

$$DRP = \frac{nlp}{1008} \times 100[\%] \quad (1)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} \times 100[\%] \quad (2)$$

Onde nlp e nlc representam o maior valor nominal entre as fases do número de leituras situadas nas faixas precárias e críticas, respectivamente.

A partir destes parâmetros estipulados pela ANEEL conclui-se que a Duração Relativa da Transgressão Máxima de Tensão Precária (DRPM) aceitável é de 3%. Já a Duração relativa da Transgressão Máxima da Tensão Crítica (DRCM) tem o valor máximo admissível em 0,5 %.

De acordo com as medições amostrais executadas em determinado trimestre, é calculado o Índice de Unidades Consumidoras com Tensão Crítica (ICC), de acordo com a Equação 3 a seguir:

$$ICC = \frac{Nc}{Nl} \times 100[\%] \quad (3)$$

Onde:

NC = total de unidades consumidoras com DRC não nulo;

NL = total trimestral de unidades consumidoras objeto de medição.

Para a determinação de Índices Equivalentes por Consumidor, devem ser calculados o índice de duração relativa da transgressão para tensão precária equivalente (DRPE) e o índice de duração relativa da transgressão para tensão crítica equivalente (DRCE), de acordo com as Equações 4 e 5:

$$DRPe = \sum \frac{DRPi}{NL} [\%] \quad (4)$$

$$DRCe = \sum \frac{DRCi}{NL} [\%] \quad (5)$$

Onde:

DRPi = duração relativa de transgressão de tensão precária individual da unidade consumidora (i);

DRCi = duração relativa de transgressão de tensão crítica individual da unidade consumidora (i);

DRPE = duração relativa de transgressão de tensão precária equivalente;

DRCE = duração relativa de transgressão de tensão crítica equivalente;

NL = número total de unidades consumidoras da amostra.

Utilizando as normas e os índices utilizados para medir a qualidade da tensão entregue ao consumidor a ANEEL estabeleceu prazos para determinar a correção da variação da tensão e conforme não atendidos estes ocasionam uma compensação financeira para o consumidor de acordo com o consumo e o tempo de falha.

Para calcularmos a compensação utilizamos a Equação 6 :

$$Valor = \left[\left(\frac{DRPm - DRP}{100} \right) \cdot k1 + \left(\frac{DRC - DRCm}{100} \right) \cdot k2 \right] \cdot k3 \quad (6)$$

Onde:

k1 = 0, se $DRP \leq DRPm$;

k1 = 3, se $DRP > DRPm$;

k2 = 0, se $DRC \leq DRCm$;

k2 = 7, para unidades consumidoras atendidas em Baixa Tensão, se $DRC > DRCm$;

k2 = 5, para unidades consumidoras atendidas em Média Tensão, $DRC > DRCm$;

k2 = 3, para unidades consumidoras atendidas em Alta Tensão, $DRC > DRCm$;

DRP = valor do DRP expresso em %, apurado na última medição;

DRPm = 3 %;

DRC = valor do DRC expresso em %, apurado na última medição;

DRCm = 0,5 %;

k3 = valor do encargo de uso do sistema de distribuição, considerando também as demandas e energias reativas excedentes, referente ao mês de apuração.

A compensação financeira continua sendo calculada até que sejam normalizados os índices sendo que o DRP não pode ser superior ao DRPm ou indicado DRC também não pode ser superior ao DRCm.

3.2.2 Fator de Potência

Segundo Silva (2009) o fator de potência é uma unidade utilizada para medir o índice de utilização da energia elétrica e é importante não apenas sob o ponto de vista energético, quanto financeiro, pois seu valor interfere diretamente na forma de onda da corrente elétrica. A necessidade de sua medição surgiu de acordo com o aumento da demanda e quanto para exigir o monitoramento dos sistemas de medição das concessionárias, e que determina um valor significativo em tarifas de energia dependendo do valor apresentado no local do consumido.

O Fator de potência é o cosseno da diferença de fase entre tensão e corrente. Ele também é o cosseno do ângulo da impedância da carga. (SADIKU, 2013).

Atualmente as cargas consumidoras de potência, principalmente nas indústrias apresentam em suas instalações elétricas são de reativos e indutivos, elas possuem elementos que utilizam campo magnético para desempenhar suas atividades, tais como motores, transformadores, lâmpadas de descarga, fornos de indução e etc. A sua operação também depende outra grandeza, a potência ativa que neste trabalho baseando-se nas bibliografias está sendo simbolizada pela letra P (SADIKU, 2013).

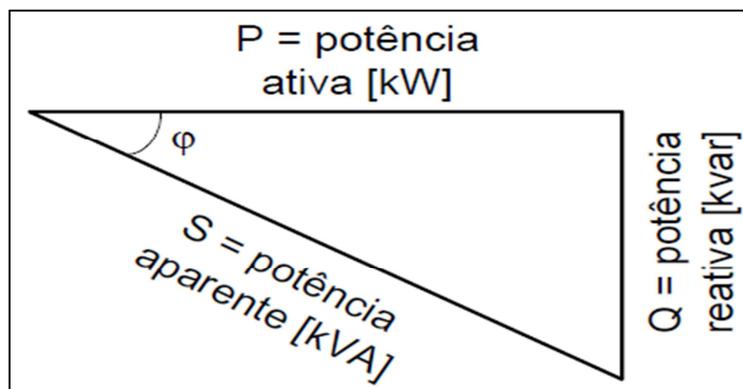
A potência ativa é responsável por realizar o trabalho, ou seja, ela é uma potência eficaz para o sistema, sua unidade de medida é em watt (W), em tensões e correntes senoidais ela é representada pela parte real da potência complexa. O que não ocorre para tensões e correntes não senoidais, nesse caso a potência ativa é dada pela soma das potências dos componentes contínuos, dos componentes fundamentais e dos harmônicos. (BORDIM, 2011).

A potência reativa, representada nas bibliografias como Q, essa por sua vez é caracterizada por gerar e manter os campos magnéticos das cargas indutivas, mais especificamente motores e transformadores entre outros, sua unidade de medida é o volt ampere reativo (Var), como essa potência é reativa ela não produz trabalho e percorre um ciclo entre a carga e a fonte, o que ocupa um espaço no sistema que poderia ser destinado a potência ativa. (EDMINISTER, 2001).

Existe também uma terceira potência a ser atribuída que é a potência aparente, que é a potência total do circuito, esta é representada pela letra S e sua unidade de medida é o volt-

ampere (VA), ela é dada pelo produto dos valores eficazes da tensão e da corrente. A Figura 2 ilustra o triângulo das potências.

Figura 2: Triângulo das potências



Fonte: (DUAILIBE, 2000).

O ângulo que se forma entre a potência total e a potência ativa, é representada pelo ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente, ou também, o ângulo de fase, sendo que este ângulo vai variar em função do tipo da carga que está sendo alimentada (BORDIM, 2011).

A Equação 7 apresenta a fórmula para o cálculo do fator de potência.

$$FP = \frac{P}{S} = \cos\varphi = \cos\left(\arctg\frac{Q}{P}\right) \quad (7)$$

Pode-se definir o fator de potência como sendo a relação entre potência ativa e a potência aparente. Já em um circuito puramente senoidal, entende-se que o fator de potência é igual ao *COS* do ângulo entre a tensão e a corrente eficaz, que utilizando o triângulo das potências obtemos outra forma de solução, em que o cosseno do arco tangente (ou tangente inversa em algumas bibliografias) da divisão entre potência reativa e potência ativa (BORDIM, 2011).

O fator de potência mostra uma porcentagem de potência aparente fornecida em VA e que é transformada em potência ativa (W), ou seja, ele indica nível de eficiência do uso do sistema elétrico. Define-se então que quanto mais próximo de um valor unitário de fator de potência do sistema, melhor é aproveitada a energia elétrica, por outro lado quanto menor o fator de potência menor é o aproveitamento do sistema e maior a carga. (DUAILIBE, 2000).

De acordo com as normas da ANEEL descritas no PRODIST-MODULO 8 o fator de potência deve ser registrado pelas distribuidoras através dos instrumentos adequados, de

preferencia eletrônicos com amostragem digital e aprovados pelo órgão responsável pela conformidade metrológica. Os valores do fator de potência utilizado pela ANEEL no PRODIST são calculados a partir dos valores de potência ativa e reativa registrado nos medidores utilizando a Equação 8.

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \text{ ou } \frac{EA}{\sqrt{EA^2+ER^2}} \quad (8)$$

Para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo, de acordo com regulamentação vigente (ANEEL, 2018).

Embora as concessionárias de energia elétrica usem métodos diversos para cobrarem a energia elétrica consumida, a tarifa ou o preço para um consumidor geralmente é composto por duas partes. A primeira é fixa e corresponde ao custo de geração, transmissão e distribuição de eletricidade para atender às necessidades de carga dos consumidores. Essa parte da tarifa geralmente é expressa como certo preço por kW de demanda máxima, ou ela pode se basear em kVA de demanda máxima, para levar em conta o fator de potência (FP) do consumidor. Uma multa do FP pode ser imposta sobre o consumidor, segundo a qual determinada porcentagem da demanda máxima em kW ou kVA é alterada a cada 0,01 de queda no FP abaixo de um valor predeterminado, como 0,85 ou 0,9. Por outro lado, poderia ser dado um crédito de FP para cada 0,01 que o FP exceder o valor predeterminado. (SADIKU, 2013).

3.2.3 Harmônicas

Uma corrente ou tensão pode ser definida como harmônicas quando um sinal senoidal tem a frequência como múltiplo inteiro da frequência fundamental do sinal de alimentação. Define-se que os sinais periódicos contêm harmônicas quando estes apresentam uma forma de onda não senoidal, ou seja, ele é deformado em relação a um sinal senoidal. (Instituto do Cobre, 2001). As distorções harmônicas são fenômenos associados com deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental (ANEEL, 2018).

Existem vários efeitos causados pelas harmônicas na rede, alguns podem ser notados

visualmente, outros podem ser ouvidos, alguns são registrados por medidores de temperatura e em casos específicos é necessário o uso de equipamentos especiais para encontrá-los.

Os principais efeitos das harmônicas em instalações que estão expostas as harmônicas são: aquecimentos excessivos de equipamentos como motores transformadores; disparos de dispositivos de proteção; ressonância; vibrações e acoplamentos; aumento da queda de tensão e redução do fator de potência, tensão elevada entre neutro e terra.

A ANEEL disponibilizou através do PRODIST quadros e fórmulas para calcular as distorções de harmônicas na rede, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Terminologia das Harmônicas.

Identificação da Grandeza	Símbolo
Distorção harmônica individual de tensão de ordem h	DITh %
Distorção harmônica total de tensão	DTT %
Tensão harmônica de ordem h	Vh
Ordem harmônica	H
Ordem harmônica máxima	Hmáx
Ordem harmônica mínima	Hmin
Tensão fundamental medida	V1

Fonte: (ANEEL 2018).

As Equações 9 e 10 apresentam o cálculo das grandezas DITh% e DTT % :

$$DITh\% = \frac{Vh}{V1} \times 100 \quad (9)$$

$$DTT = \sqrt{\sum_{h=2}^{hmax} Vh^2} \times 100 \quad (10)$$

De acordo com a ANEEL (2018), as medições utilizadas para monitorar as harmônicas da rede devem ser de modo que possam ser processadas com recursos computacionais e a capacidade de armazenamento de dados devem atender requisitos estabelecidos pela ANEEL

no PRODIST 5 destinado a medição.

Para os sistemas elétricos trifásicos, as medições de distorção harmônica devem ser feitas através das tensões fase-neutro para sistemas estrela aterrada e fase-fase para as demais configurações (ANEEL 2018).

O espectro harmônico a ser considerado para fins do cálculo da distorção total deve compreender uma faixa de frequências que considere desde a componente fundamental até, no mínimo, a 25ª ordem harmônica ($h_{min} = 25$) (ANEEL, 2018).

Os valores de referência para as distorções harmônicas totais estão indicados no Quadro 3. Estes valores servem como referência do planejamento elétrico em termos de QEE e que, regulamentamente, serão estabelecidos em resolução específica, após período experimental de coleta de dados.

Quadro 3 – Valores de referência globais das distorções harmônicas totais.

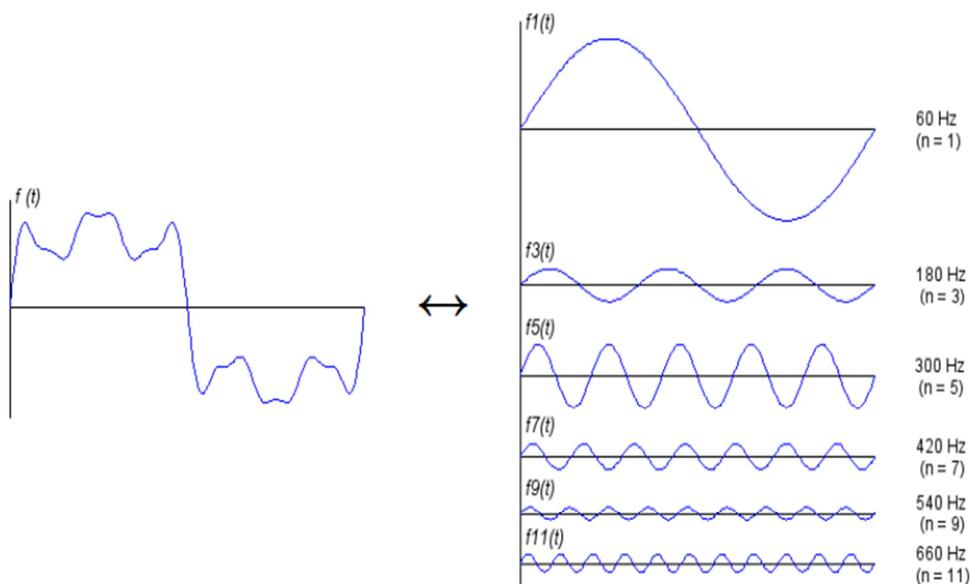
Tensão nominal do Barramento	Distorção Harmônica Total de Tensão (DTT) [%]
$V_N \leq 1 \text{KV}$	10
$1 \text{KV} < V_N \leq 13,8 \text{KV}$	8
$13,8 \text{KV} < V_N \leq 69 \text{KV}$	6
$69 \text{KV} < V_N < 230 \text{KV}$	3

Fonte: (ANEEL 2018).

Um sinal com distorção harmônica é composto de senóides, com frequências harmônicas de diferentes valores múltiplos inteiros da fundamental w_0 . Como exemplo, a onda $f(t)$ é decomposta nas variações da frequência harmônica em 1, 3, 5, 7, 9, 11.

A Figura 3 ilustra as formas de onda influenciadas por frequências harmônicas em suas diversas ordens.

Figura 3: Harmônicas.



Fonte: (OLIVEIRA, 2009).

Também são estabelecidos os valores das distorções harmônicas individuais indicadas na Tabela 1:

Tabela 1 – Distorção de Harmônicas.

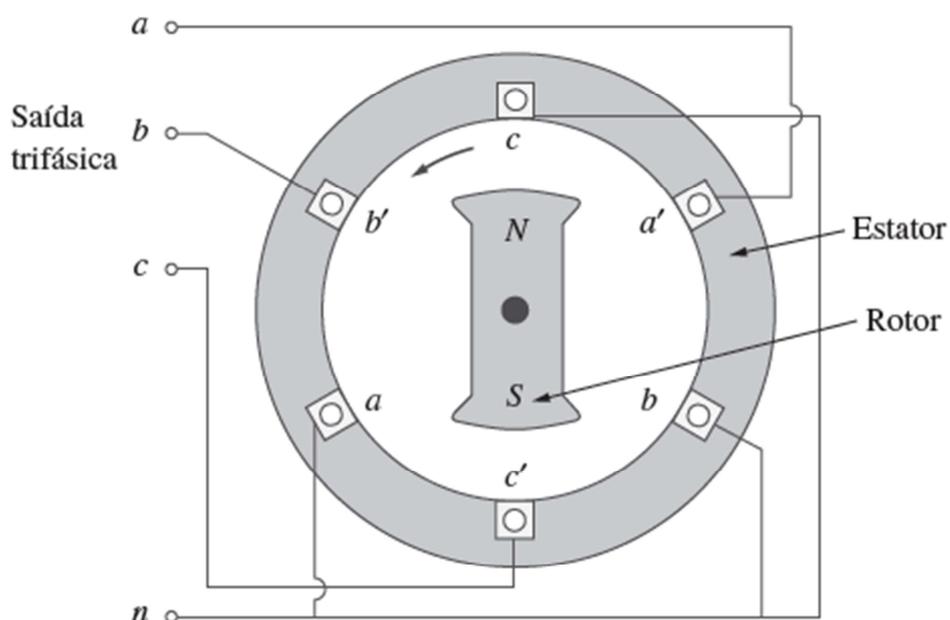
ORDEM HARMONICA	Distorção de Harmônica Individual de Tensão [%]				
	$V_n \leq 1 \text{ KV}$		$1 \text{ KV} < V_n \leq 13,8 \text{ KV}$	$13,8 \text{ KV} < V_n \leq 69 \text{ KV}$	$69 \text{ KV} < V_n < 230 \text{ KV}$
Ímpares não múltiplas de 3	5	7,5	6	4,5	2,5
	7	6,5	5	4	2
	11	4,5	3,5	3	1,5
	13	4	3	2,5	1,5
	17	2,5	2	1,5	1
	19	2	1,5	1,5	1
	23	2	1,5	1,5	1
	25	2	1,5	1,5	1
>25	1,5	1	1	0,5	
Ímpares Múltiplos de 3	3	6,5	5	4	2
	9	2	1,5	1,5	1
	15	1	0,5	0,5	0,5
	21	1	0,5	0,5	0,5
	>21	1	0,5	0,5	0,5
Pares	2	2,5	2	1,5	1
	4	1,5	1	1	0,5
	6	1	0,5	0,5	0,5
	8	1	0,5	0,5	0,5
	10	1	0,5	0,5	0,5
	12	1	0,5	0,5	0,5
	>12	1	0,5	0,5	0,5

Fonte: (ANEEL 2018)

3.2.4 Desequilíbrio de Tensão

As tensões trifásicas são produzidas por um gerador trifásico de Corrente Alternada (CA). Assim a tensão gerada nos terminais do gerador são iguais em magnitude, porém defasadas em 120° . Onde suas bobinas são defasadas fisicamente em 120° . O gerador é composto basicamente pelo rotor (ímã rotativo) e um estator (enrolamento de fios, composto por três bobinas). A Figura 4 exemplifica a disposição das bobinas do gerador.

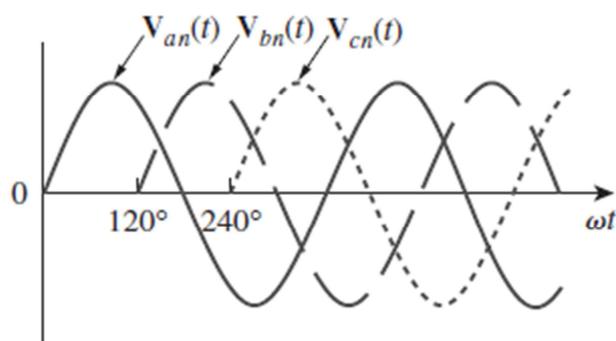
Figura 4: Gerador Trifásico



Fonte: (SADIKU, 2013).

A Figura 5 apresenta a disposição das formas de ondas da tensão com defasagem de 120° .

Figura 5: Tensões ABC defasadas em 120° .



Fonte: (SADIKU, 2013).

O desequilíbrio de tensão se dá pela variação desigual da amplitude das tensões trifásicas. Ocorre devido a má distribuição das fases em consumidores monofásicos o que gera uma sequência negativa, e/ou nos consumidores trifásicos que não utilizam adequadamente o balanceamento das fases em suas instalações (OLIVEIRA, 2009).

Devido aos problemas associados ao desequilíbrio de tensão da rede, a ANEEL estabeleceu as normas necessárias a fim de disciplinar os distribuidores e consumidores nesse sentido, o Quadro 4 demonstra a terminologia para os cálculos de desequilíbrio de tensão estabelecidos pela ANEEL.

Quadro 4: Terminologia para o desequilíbrio de tensão.

IDENTIFICAÇÃO DA GRANDEZA	SÍMBOLO
Fator de desequilíbrio	FD
Magnitude da tensão de sequência negativa (RMS)	V-
Magnitude da tensão de sequência positiva (RMS)	V+
Magnitude das tensões trifásicas de linha (RMS)	Vab, Vbc e Vca

Fonte: (ANEEL, 2016).

A expressão para o cálculo do desequilíbrio de tensão é:

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} 100 \quad (11)$$

O valor de referência nos barramentos do sistema de distribuição, com exceção da BT, deve ser igual ou inferior a 2% em amplitude e simetria. Esse valor serve para referência do planejamento elétrico em termos de Qualidade de Energia Elétrica (QEE) e que, regulamentamente, será estabelecido em resolução específica, após período experimental de coleta de dados (ANEEL, 2018).

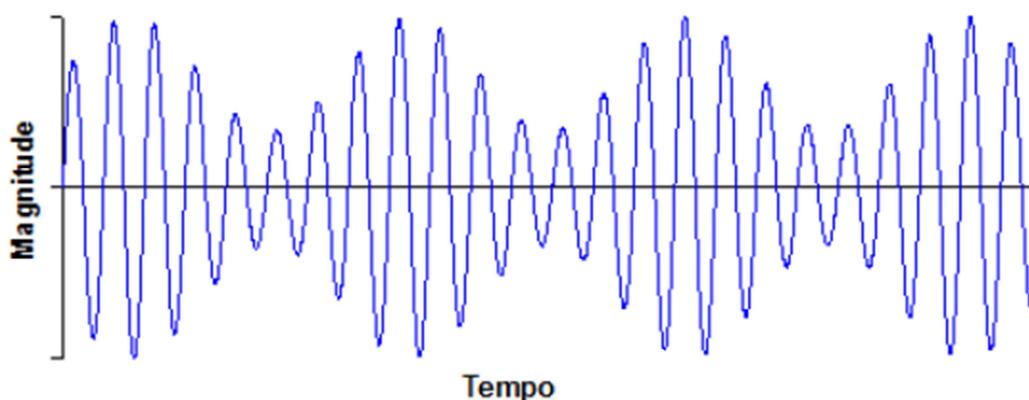
3.2.5 Flutuação de tensão

De acordo com OLIVEIRA (2009) a flutuação de tensão é diagnosticada como a variação sistemática de envoltória da tensão ou uma série de variações aleatórias, em que sua magnitude se mantém entre 0,9 pu (por unidade) e 1,1 pu, e é ocasionada por variações de

carga no sistema, como por exemplo, os causados por elevadores, fornos a arco, bombas e compressores. Essas flutuações causam oscilações de potência e de torque em motores elétricos, perda de rendimento de equipamentos, interferências em sistemas de proteção e o famoso efeito de cintilação luminosa ou *flicker*.

A Figura 6 demonstra a forma de onda no momento da flutuação de tensão.

Figura 6: Flutuação de tensão.



Fonte: (OLIVEIRA, 2009).

A determinação da qualidade da tensão de um barramento do sistema de distribuição quanto à flutuação de tensão tem por objetivo avaliar o incômodo provocado pelo efeito da cintilação luminosa no consumidor, que tenha em sua unidade consumidora pontos de iluminação alimentados em baixa tensão (ANEEL, 2018).

De acordo com a ANEEL uma das principais causas da flutuação de tensão é o efeito de cintilação luminosa, e o mesmo é controlado através de medições e cálculos a partir das medições.

3.2.6 Variação de Frequência

As variações na frequência são reconhecidas como desvios no valor aferido da frequência do sistema elétrico, valor este que é definido pelo órgão que rege o setor, no Brasil a ANEEL adota o padrão de 60 Hertz (HZ) (OLIVEIRA, 2009).

A frequência é um parâmetro que corresponde a velocidade de rotação dos geradores que alimentam o sistema, mínimas variações na frequência são vistas como resultado do balanço entre carga e geração. A amplitude da variação e o tempo desta diretamente

ligada as características da carga e da regulação de velocidade instalada na geração (ARRUDA, 2003).

Quando existem variações que ultrapassam a faixa aceitável frequência, estas geralmente são provocadas pelo acréscimo ou retirada de cargas com alto consumo de potência do sistema ou falhas na transmissão (ARRUDA, 2003).

Devido à grande importância da estabilidade da frequência a ANEEL (2018) incluiu no Modulo 8 do PRODIST os requisitos mínimos de frequência para a funcionalidade do sistema elétrico no Brasil, de acordo com ela a frequência deve ter no máximo uma variação de 59,9 e 60,1 Hz, sem que uma variação fora dessa faixa por mais de 30 segundos pode causar danos irreparáveis ao sistema e aos consumidores. Caso necessário pode haver o corte de geração para grandes cargas a fim da retomada de equilíbrio no sistema, o que não pode ocorrer de forma alguma é a variação acima de 66 Hz ou inferior a 56,5 Hz em condições externas, e o máximo de tempo permitido sem prejuízos para o sistema em 62 Hz é de 30 segundo, e acima de 63,5 Hz no máximo 10 segundos. Já para frequências baixas pode permanecer abaixo de 58,5 Hz por no máximo 10 (dez) segundos e abaixo de 57,5 Hz por no máximo 05 (cinco) segundos (ANEEL, 2018).

3.3 Detecção de distúrbios e variações na rede elétrica

Após conhecer as condições mínimas de funcionamento e os distúrbios que prejudicam a qualidade da energia elétrica é necessário saber como identifica-los para posteriormente corrigi-los. (FERREIRA, 2010).

Uma das principais preocupações com a qualidade de energia elétrica são os distúrbios, para detecta-los é necessário utilizar equipamentos que possam armazenar os dados aferidos da rede. Porém, este tipo de medição gera arquivos extenso, com isso é importante a utilização de instrumentos que realizam a detecção do distúrbio para posteriormente estudá-lo através do armazenamento de dados, classificando, identificando e localizando os mesmos. Essa etapa é efetuada de modo desconectado da rede, utilizando apenas os dados coletados, contudo deve ser realizado em tempo real, o que exige sistemas com rápido processamento de sinais e ótimo desempenho (FERREIRA, 2010).

No geral a detecção dos distúrbios é denominada pela extração de parâmetros e aplicação de algoritmos que sejam capazes de identificar através de parâmetros extraídos. Os parâmetros são extraídos da rede e armazenados para posteriormente serem analisados com

referencia em sinais de rede sem distúrbios, ou seja, pegando um sinal de uma rede e comparando com um sinal padrão de uma rede sem distúrbios (FERREIRA, 2010).

3.3.1 Instrumentos de medição

Os instrumentos de medição são equipamentos capazes de auxiliar nos monitoramentos e nas descobertas de problemas na energia elétrica, existem diversos tipos de diversas marcas para atividades distintas, abordaremos aqui os principais deles.

Atualmente existem vários equipamentos utilizados para encontrar os distúrbios e variações que prejudicam o sistema elétrico, alguns para detectar o fator de potência, harmônicos, voltímetros, wattímetros, amperímetros, Transformadores de corrente (Tc's), transformadores de potência (Tp's) entre outros equipamentos de instrumentação.

A ANEEL estipulou em seu PRODIST- Modulo 8 algumas das exigências para os equipamentos de medição:

- a) taxa amostral: 16 amostras/ciclo;
- b) conversor A/D (análogo/digital) de sinal de tensão: 12 bits;
- c) precisão: até 1% da leitura.

3.3.2 Analisadores de Qualidade da Energia

O equipamento ideal desenvolvido com âmbito para atender a análise da qualidade de energia elétrica é o analisador de qualidade de energia, que também é conhecido como registrador de energia, que como uma de suas principais características é a capacidade de armazenar os dados aferidos em tempo real, registrando-os a fim de se realizar a comparação com as características de uma rede considerada dentro dos padrões de qualidade estabelecidos previamente pela ANEEL (OLIVEIRA, 2009).

Os analisadores de qualidade de energia inteligentes podem coletar os dados, convertê-los em informações que podem ser repassadas aos usuários permitindo a identificação de problemas, e antecipar a futuros transtornos com a qualidade de energia. Atualmente são capazes de diagnosticar através de monitoramento as condições anormais da rede, as quais podem levar a danos em equipamentos e na própria rede (OLIVEIRA, 2009).

As principais funções dos analisadores de qualidade de energia disponíveis no mercado são:

- a) Capturam e armazenam dados de diversas grandezas elétricas, como tensão, corrente, frequência;
- b) Realizam cálculos de energia e de demanda (medição de faturamento);
- c) Registram eventos de qualidade de energia, como transitórios, afundamentos e elevações de tensão, e interrupções de fornecimento de energia elétrica;
- d) Fazem a análise espectral dos sinais, mostrando as suas harmônicas, além de calcular a taxa de distorção harmônica;
- e) Fazem a análise fasorial e de componentes simétricas, registrando formas de onda de tensões e de correntes;
- f) Possuem diversos protocolos de comunicação, tornando mais simples a disponibilização e a centralização dos dados;
- g) Possuem dispositivos de entrada/saída, admitindo a tomada de ações de controle;
- h) Proporcionam a visualização dos dados em tempo real.

4 ESTUDO DE CASO

Para identificar os diversos problemas que afetam a qualidade da energia elétrica é necessário um estudo de caso, com o auxílio dos equipamentos de medições necessários.

Este estudo de caso foi elaborado com embasamento nos módulos 1 e 8 do PRODIST, a fim de identificar e propor as soluções necessárias a partir das reclamações do cliente em relação a qualidade de energia elétrica em momentos de pico de consumo, onde a empresa alega estar apresentando um consumo de energia elevado em relação a sua demanda instalada.

A análise de qualidade de energia foi realizada em uma empresa do ramo de comércio de café localizada na cidade de Três Corações-MG, onde o registrador foi instalado no dia 15/03/2018 as 09:51 da manhã, e removido no dia 23/03/2018 as 17:35.

Foram realizados registros completos dos principais parâmetros de qualidade de energia elétrica, tais como: tensões, correntes, potências ativas, reativas, aparentes, fator de potência, consumo, e distorções harmônicas totais. Através de um registrador microprocessado, com o auxílio de um *software* e aplicado em um intervalo de integração de 20 segundos.

4.1 Informações da instalação

A empresa na qual foi realizado o estudo de caso possui em suas dependências um transformador de 112.5 kVA, e um Q.D.G. energia trifásico de 300 A, com tensão nominal de 220 V, no qual apresentava no início da medição uma leitura de consumo de 1026 KWh informado no parâmetro 03 do medidor da concessionária, e 349KVARh conforme indicação no parâmetro 24 do medidor. As Figuras 7 e 8 demonstram os parâmetros de consumo apresentados pelo medidor da concessionária:

Figura 7 – Medidor da concessionária no parâmetro 3.



Fonte: “O Autor”.

Figura 8 – Medidor da concessionária no parâmetro 24.



Fonte: “O Autor”.

4.2 Equipamentos

Para realizar este estudo de caso, foi utilizado um registrador eletrônico de energia MARH-VI da marca RMS Sistemas Eletrônicos, que possui taxa de amostragem de 64 amostras por ciclo, o que atende as especificações estabelecidas pela ANEEL no PRODIST, segue abaixo algumas informações do equipamento e software utilizados:

- a) MARH-VI: Equipamento Medidor/Registrador Eletrônico, em tempo real, para instalação junto às unidades consumidoras ou distribuidoras de energia elétrica.
- b) ANAWIN: Programa para coleta e análise de dados de registradores padrão RMS em ambiente *Windows*. MARH-VI: Equipamento Medidor/Registrador Eletrônico, em tempo

- real, para instalação junto às unidades consumidoras ou distribuidoras de energia elétrica.
- c) Memória de Massa (MM): Memória onde são armazenados os valores medidos para posterior coleta pelo PC.
 - d) Bateria Externa: Bateria para alimentação do Registrador em locais ou situações onde não seja possível alimentá-lo pela rede elétrica.
 - e) Bateria Interna: Bateria cuja função é a preservação dos dados registrados quando o Registrador está desligado da fonte de alimentação externa.
 - f) Supercap: Capacitor cuja finalidade é a mesma da Bateria Interna.
 - g) Alicates de Corrente: Acessório para medição de corrente; TC portátil e de núcleo partido para inserção no circuito onde se deseja medir a corrente.
 - h) Entradas Auxiliares: Entradas para sinais de 4 a 20 mA provenientes de transdutores (de temperatura, pressão, ruído, etc.).

4.3 Realizações dos registros e na análise da qualidade da energia elétrica

Observe na sequência os dados das leituras realizados no período de medição na empresa de comércio de café. O desenvolvimento será apresentado por meio de tópicos a fim de facilitar o entendimento dos parâmetros analisados.

4.3.1 Verificação da tensão em regime permanente

De acordo com o PRODIST-Modulo 8, a tensão deve estar em regime permanente e estabelece que é necessário realizar 1008 registros em intervalos consecutivos de 10 minutos cada, nesta análise foram realizados 31680 leituras em intervalos de 20 segundos, sendo que dessas leituras 2448 foram excluídas por se tratarem de momentos de VMT e faltas de energia, ou seja 29232 foram válidas para avaliar a qualidade de energia.

Tabela 2 – Relatório do resultado das amostras de tensão.

RMS (97101020, 02.15): QDG Principal de Baixa Tensão 300A/220V						
Período: 09:35:00 15/03/2018 QUI a 17:35:00 22/03/2018 QUI						
Tensão Nominal: 127.00V Tensão Mínima: 0.00V (Intervalo: 20 seg, origem: 20 seg)						
Faixa Adequada: 117.00V =< Tensão <= 133.00V						
Faixa(s) Precária(s): 110.00V =< Tensão < 117.00V ; 133.00V < Tensão <= 135.00V						
Faixas Críticas: < 110.00V ou > 135.00V						
Leituras =	31680					
		Va		Vb		Vc
Abaixo Mínima	(0)	0.00%	(0)	0.00%	(0)	0.00%
Faltas de Energia	(2446)	7.72%	(2446)	7.72%	(2448)	7.73%
vmt	(0)	0.00%	(2)	0.01%	(3)	0.01%
Expurgadas	(2448)	7.73%	(2448)	7.73%	(2448)	7.73%
LEITURAS VÁLIDAS	(29232)	92.27%	(29232)	92.27%	(29232)	92.27%
Adequadas	(29051)	99.38%	(29171)	99.79%	(29086)	99.50%
Precária Inferior	(0)	0.00%	(0)	0.00%	(2)	0.01%
Precária Superior	(179)	0.61%	(59)	0.20%	(141)	0.48%
Precária Total	(179)	0.61%	(59)	0.20%	(143)	0.49%
Crítica Inferior	(0)	0.00%	(1)	0.00%	(1)	0.00%
Crítica Superior	(2)	0.01%	(1)	0.00%	(2)	0.01%
Crítica Total	(2)	0.01%	(2)	0.01%	(3)	0.01%
Tensão Média (V)		131.79		131.31		131.60
Tensão Máxima (V)	15:09:00 16/03	135.62	15:09:00 16/03	135.03	15:09:00 16/03	135.46
Tensão Mínima (V)	19:42:40 17/03	128.92	13:54:20 21/03	82.48	13:54:20 21/03	86.31
Consumo (kWh)		0.00		0.00		0.00
Inclui: Sábados Domingos Feriados VMT						

Fonte: "O Autor".

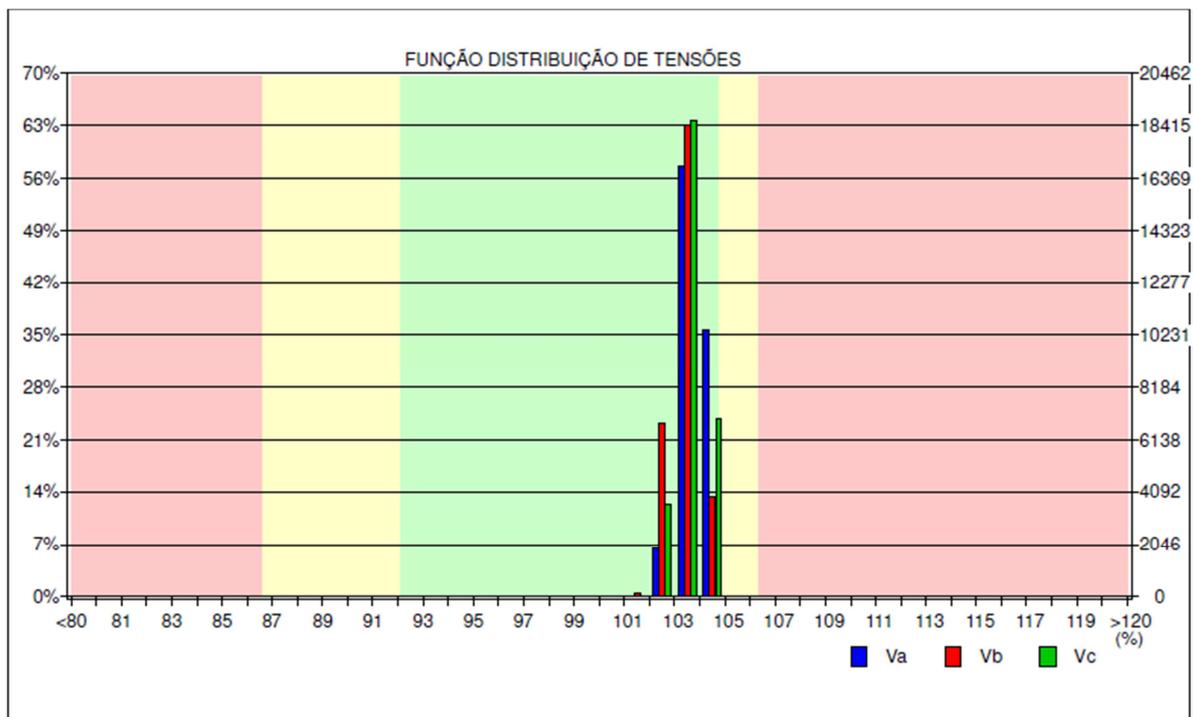
Tabela 3 – Distribuição das tensões.

FAIXAS		Va		Vb		Vc		FAIXAS		Va		Vb		Vc	
%	V	reg.	%	reg.	%	reg.	%	%	V	reg.	%	reg.	%	reg.	%
<80%	101.60	0	0%	1	0.00%	1	0.00%	100%	127.00	0	0%	0	0%	0	0%
80%	101.60	0	0%	0	0%	0	0%	101%	128.27	1	0.00%	131	0.45%	5	0.02%
81%	102.87	0	0%	0	0%	0	0%	102%	129.54	1937	6.63%	6777	23.2%	3615	12.4%
82%	104.14	0	0%	0	0%	0	0%	103%	130.81	16846	57.6%	18402	63.0%	18596	63.6%
83%	105.41	0	0%	0	0%	0	0%	104%	132.08	10427	35.7%	3909	13.4%	6975	23.9%
84%	106.68	0	0%	0	0%	0	0%	105%	133.35	17	0.06%	10	0.03%	36	0.12%
85%	107.95	0	0%	0	0%	0	0%	106%	134.62	4	0.01%	1	0.00%	2	0.01%
86%	109.22	0	0%	0	0%	0	0%	107%	135.89	0	0%	0	0%	0	0%
87%	110.49	0	0%	0	0%	0	0%	108%	137.16	0	0%	0	0%	0	0%
88%	111.76	0	0%	0	0%	1	0.00%	109%	138.43	0	0%	0	0%	0	0%
89%	113.03	0	0%	0	0%	0	0%	110%	139.70	0	0%	0	0%	0	0%
90%	114.30	0	0%	0	0%	0	0%	111%	140.97	0	0%	0	0%	0	0%
91%	115.57	0	0%	0	0%	1	0.00%	112%	142.24	0	0%	0	0%	0	0%
92%	116.84	0	0%	0	0%	0	0%	113%	143.51	0	0%	0	0%	0	0%
93%	118.11	0	0%	0	0%	0	0%	114%	144.78	0	0%	0	0%	0	0%
94%	119.38	0	0%	0	0%	0	0%	115%	146.05	0	0%	0	0%	0	0%
95%	120.65	0	0%	0	0%	0	0%	116%	147.32	0	0%	0	0%	0	0%
96%	121.92	0	0%	0	0%	0	0%	117%	148.59	0	0%	0	0%	0	0%
97%	123.19	0	0%	1	0.00%	0	0%	118%	149.86	0	0%	0	0%	0	0%
98%	124.46	0	0%	0	0%	0	0%	119%	151.13	0	0%	0	0%	0	0%
99%	125.73	0	0%	0	0%	0	0%	>120%	152.40	0	0%	0	0%	0	0%

Fonte: "O Autor".

A partir dos dados das Tabelas 2 e 3, conclui-se que as tensões em regime permanente estão dentro dos valores aceitáveis pelo PRODIST, visto que as fases A,B e C apresentaram valores adequados respectivamente em 99.38, 99.79 e 99.50 % das amostras. O Gráfico 1 demonstra que a tensão esteve entre 100 e 105 % do seu valor de referencia fase para neutro (127 V), o que indica que a mesma atende os requisitos do DRP e DRC.

Gráfico 1 – Distribuição das tensões.

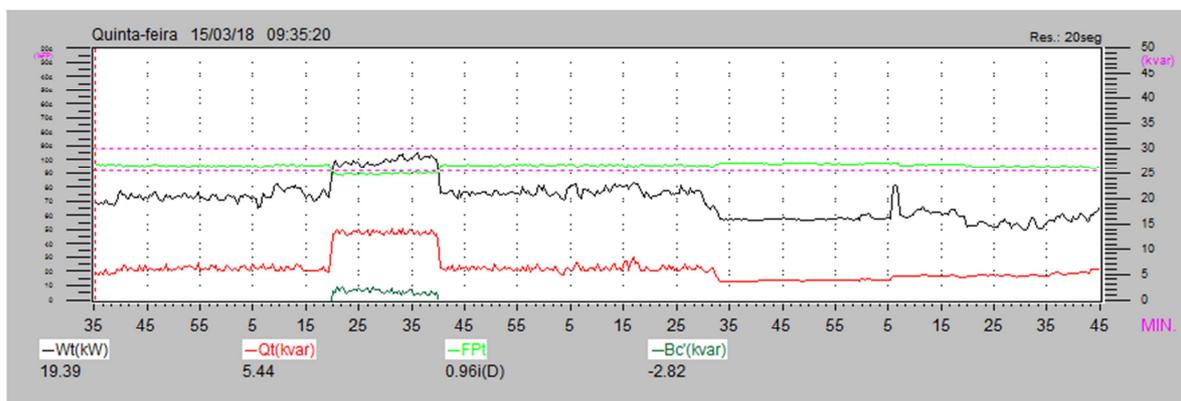


Fonte: “O Autor”.

4.3.2 Análise do Fator de Potência e correntes da instalação

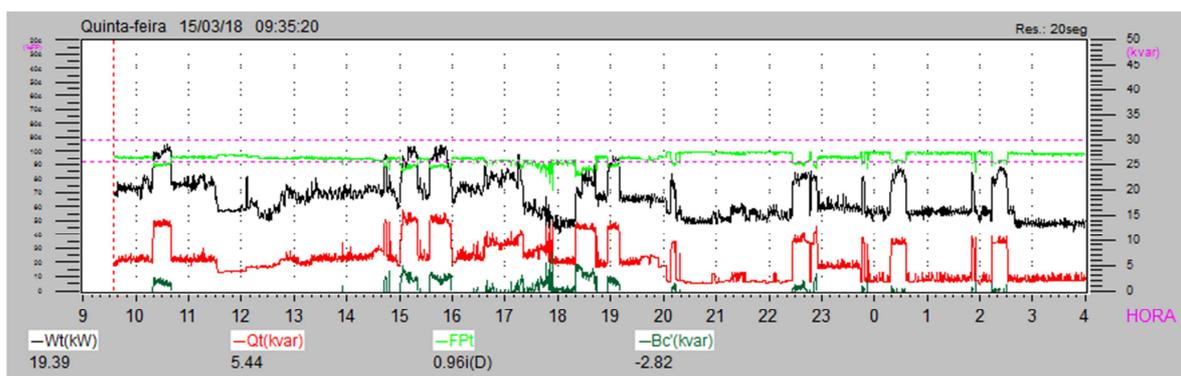
O fator de potência é um dos parâmetros que definem a qualidade da energia, visto que o mesmo deve apresentar um valor o mais próximo do unitário possível.

Figura 9 – Potências e Fator de potência registros com intervalos de 10 minutos.



Fonte : “O Autor”.

Figura 10 – Potência e Fator de potência.



Fonte : “O Autor”.

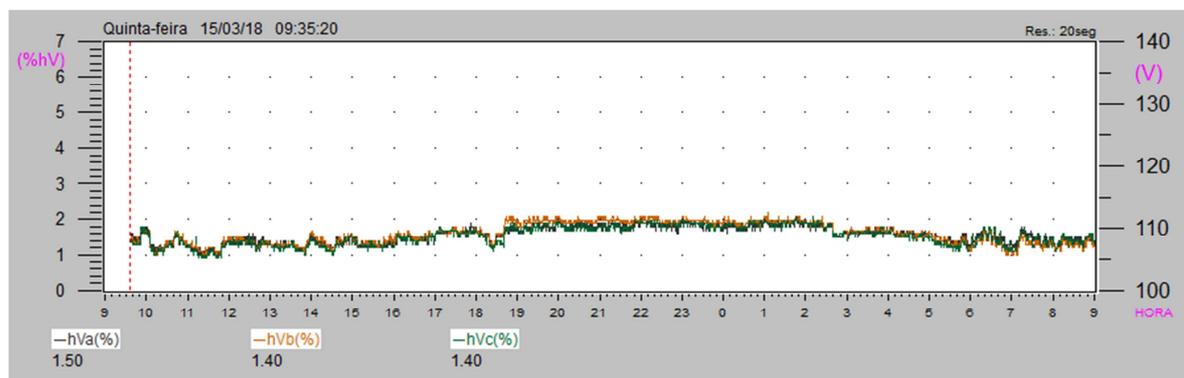
Diante dos dados coletados nas Figuras 9 e 10, conclui-se que o fator de potência total se encontra dentro dos parâmetros estabelecidos pela ANEEL no PRODIST módulo 8, ele se encaixa no grupo de consumidores com tensão nominal inferior a 230 kV, e mantém o fator de potência em 0,96, apesar de variar em momentos de picos de potência, que podem ser considerados como entrada de cargas maiores no sistema; O valor aceitável para o fator de potência deve ser de 0,92 a 1,00.

Outro parâmetro apresentado, a corrente esta apresentando valores encontrados nas leituras são considerados moderados, não apresentando desequilíbrio de corrente entre si.

4.3.3 Análise das harmônicas

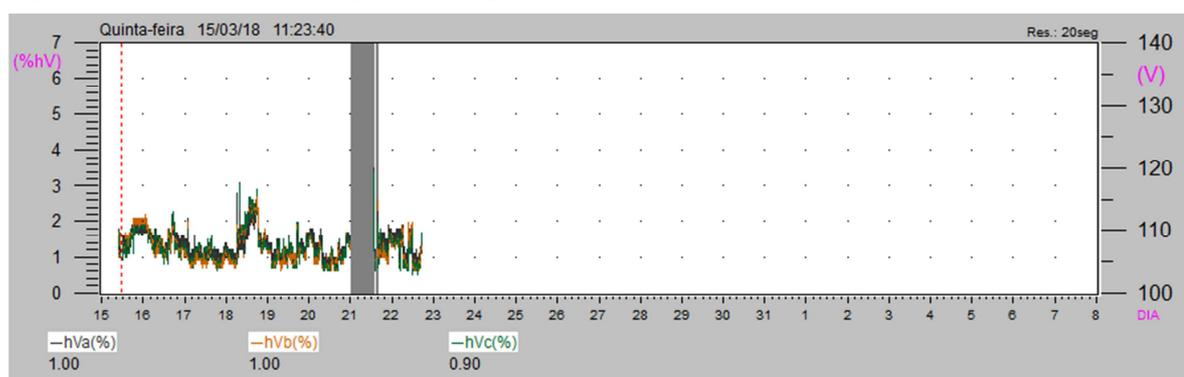
Os Gráficos 4 e 5 representam os harmônicos em relação a tensão aferida pelo registrador.

Figura 11 – Harmônicas em um período de 24 horas.



Fonte : “O Autor”.

Figura 12 – Harmônicas em um período de aproximadamente 9 dias.



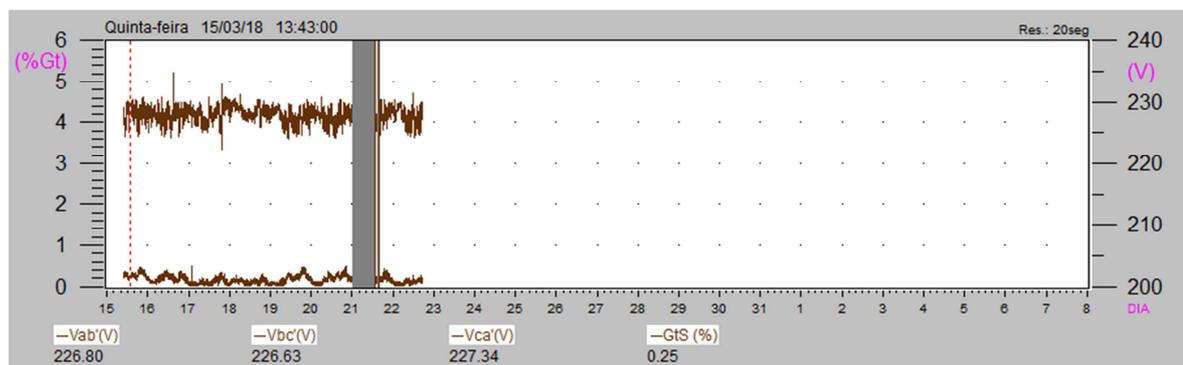
Fonte : “O Autor”.

Segundo a ANEEL os valores de distorções harmônicas devem estar abaixo de 10%, e conforme pode ser observado nas Figuras 11 e 12, as harmônicas das 3 fases apresentaram valores abaixo do especificado pelo órgão regulador.

5.3.4 Análise do desequilíbrio de tensão

A Figura 13 representa os valores de leituras realizadas entre as fases e também a variação da amplitude e simetria da tensão.

Figura 13 – Tensões de fase, amplitude e simetria das tensões.



Fonte : “O Autor”.

A partir dos dados obtidos através das leituras conclui-se que as tensões não apresentam desequilíbrio considerável, e possuem valor de variação de amplitude e simetria menores que os 2% estabelecidos pelo PRODIST.

4.3.4 Demanda de energia consumida durante as leituras.

Diante da solicitação do cliente, este tópico será utilizado para analisar o consumo de energia elétrica registrado pela concessionária em relação ao aferido pelo registrador de qualidade de energia utilizado neste processo. A leitura apresentada pelo medidor da concessionária no início do estudo era de 1026 kWh conforme apresentado na Figura , e 349 kVarh apresentado na Figura .

As Figuras 5 e 6 são referentes à leitura realizada pela concessionária após a aferição:

Figura 14 – Medidor da concessionária no parâmetro 3 após o registro das amostras.



Fonte : “O Autor”.

Figura 15 – Medidor da concessionária no parâmetro 24 após o registro das amostras.



Fonte: “O Autor”.

Com os valores de consumo aferidos no início e final das medições, calcular-se a potência consumida neste período: $1084 \text{ kWh} - 1026 \text{ kWh} = 58 \text{ kWh}$; Também é possível realizar o cálculo em kVarh: $370 \text{ kVarh} - 349 \text{ kVarh} = 21 \text{ kVarh}$.

O próximo passo para analisar se o consumo informado pela concessionária é o valor real do consumo do cliente, é necessário comparar com os valores de consumo aferidos pelo registrador.

Tabela 4 – Consumo/ Fator de potência

0.17	03:54:40	22/03/18	0.01	13:54:20	21/03/18	98.69						
	03:54:20	22/03/18	0.01	15:27:40	21/03/18	13.75						
	03:51:20	22/03/18	0.01	15:27:20	21/03/18	6.93						
<u>Consumos / Fator de Potência</u>												
	FORA PONTA			PONTA			RESERVADO			TOTAL		
	kvarh	kWh	FP	kvarh	kWh	FP	kvarh	kWh	FP	kvarh	kWh	FP
A	0.000	0.000	1.00i	0.000	0.000	1.00i	0.000	0.000	1.00i	0.000	0.000	1.00i
B	0.000	0.000	1.00i	0.000	0.000	1.00i	0.000	0.000	1.00i	0.000	0.000	1.00i
C	0.000	0.000	1.00i	0.000	0.000	1.00i	0.000	0.000	1.00i	0.000	0.000	1.00i
TOTAL	733.78	2130.26	0.95i	63.570	202.54	0.95i	0.000	0.000	1.00i	797.35	2332.80	0.95i

Fonte : “O Autor”.

De acordo com a Tabela 4 o consumo no período da análise foi de 2332.8 kWh, porém estes valores foram aferidos através de Tc's de 300/5, neste tipo de medição é necessário dividir os valores encontrados pela relação de transformação, que neste estudo o utilizado nos

TC's foi: 40. Diante disso: $2332.8k/40 = 58.32$ kWh.

Os dados obtidos através da leitura efetuados pelo medidor da concessionária são de 58 kWh, os dados obtidos no registrador de energia são: 58,32 kWh . Conclui-se que o consumo aferido pela concessionária em kWh foi de 0,55% menor em relação ao consumo aferido pelo registrador de energia. Essa pequena diferença representa que o medidor de energia da concessionária esta registrando corretamente a energia consumida na empresa.

4.3.5 Proposta para solução do alto consumo da empresa.

Conforme aferido e apresentado, não foram encontradas variações consideráveis nas medições realizadas pelo medidor da concessionária, o que significa que o consumo da empresa está correto em relação á medição. Porém, é de interesse da empresa reduzir o consumo de energia elétrica, para a redução do consumo de energia elétrica da empresa é necessário reavaliar as condições das instalações internas da empresa, nos seguintes aspectos: dimensionamento de cabeios e equipamentos e verificar as atuais condições dos motores e dispositivos de chaveamentos e controle nos processos industriais.

Uma alternativa para a redução do consumo de imediato é a substituição das luminárias utilizadas atualmente na empresa por lâmpadas LED. Atualmente a empresa utiliza 57 lâmpadas em seu galpão principal, estas lâmpadas possuem potência nominal de 250 W de consumo, uma tensão de 220 V e uma corrente de aproximadamente 1,81 A.

O Quadro 5 apresenta um breve demonstrativo do consumo de energia elétrica realizado pelas lâmpadas nas instalações atuais.

Quadro 5 – Consumo da luminária vapor metálico.

Potência	Tensão	Corrente	Tempo de utilização	Quantidade de	Dias de utilização	Consumo total/luminária
250 W	220 V	1,81 A	12 h/dia	57	24dias/mês	72 kW/lamp

Fonte: "O Autor".

De acordo com os cálculos a empresa trabalha cerca de 12 horas diariamente, por aproximadamente 24 dias no mês, estes valores variam de acordo com o mês, porém são bem próximos, são 288 horas utilizando o sistema de iluminação, com uma potência de 250 W por luminária.

A Equação 12 apresenta o cálculo da potência consumida pela luminária de 250 W no período de um mês.

$$\frac{P.n.t.d}{1000} \quad (12)$$

Onde:

- a) P= Potência nominal.
- b) N=Quantidade de equipamentos.
- c) t = Tempo em horas.
- d) d = Dias.

A partir da Equação 12 calcula-se o consumo mensal das lâmpadas da empresa, outro detalhe, é que esta luminária utiliza um reator para acender a lâmpada, e seu consumo deve ser considerado, o reator utilizado consome 30 W de potência, sendo assim, o consumo por luminária passa a ser de 280 W, calcula-se então:

$$P = \frac{280.1.12.24}{1000} = 80,64 \text{ kW/h}$$

A potência consumida em um mês por uma luminária de vapor metálico é de 80,64 kW/h, a empresa utiliza 57 luminárias deste mesmo modelo, o que totalizam 4.596,48 kW/h de potência consumida pelo sistema de iluminação do galpão da empresa. Atualmente o valor do kW/h é de aproximadamente 0.96208452 R\$, a empresa gasta atualmente cerca de 4.422 R\$.

A luminária LED escolhida para a substituição das luminárias de vapor metálico foi a luminária de 120 W, fabricada pela *Philips*.

A Figura 16 ilustra a luminária escolhida.

Figura 16 – Luminária LED 120 W.



Fonte: (Philips, 2019).

A Figura 17 apresenta as especificações técnicas da luminária.

Figura 17 – Especificações técnicas.

Especificações

General Information

Light source color	840	Cable	C3000 (C3K)
Light source replaceable	Não	Protection class IEC	CL1 (I)
Number of gear units	1	Glow-wire test	650/5 [650/5]
Driver/power unit/transformer	PSD [Fonte de alimentação com interface DALI]	Flammability mark	F [F]
Driver included	Sim	CE mark	CE
Optic type	WB [Facho largo]	Warranty period	3 years
Luminaire light beam spread	100°	Fluxo luminoso constante	No
Control interface	DALI	Number of products on MCB	8
Connection	Flying leads/wires		

Fonte: (Philips, 2019).

A Figura 18 apresenta as especificações elétricas da luminária.

Figura 18 – Especificações elétricas.

Operating and Electrical

Input Voltage	220-240 V	Inrush time	0.3 ms
Input Frequency	50-60 Hz	Power Factor (Min)	0.95
Inrush current	53 A		

Fonte: (Philips, 2019).

A Figura 19 demonstra a potência nominal da luminária.

Figura 19 – Potência elétrica da luminária.

Initial Performance (IEC Compliant)

Initial luminous flux	16000 lm	Init. Índice de reprodução de cor	>80
Luminous flux tolerance	+/-10%	Initial chromaticity	(0.38,0.38)SDCM<5
Initial LED luminaire efficacy	133 lm/W	Initial input power	120 W
Init. Corr. Temperatura de cor	4000 K	Power consumption tolerance	+/-10%

Fonte: (Philips, 2019).

Devido ao fato da empresa ser internacional as especificações estão todos em inglês. O Quadro 6 apresenta uma breve simulação do consumo de energia elétrica das lâmpadas nas instalações da empresa.

Quadro 6 – Consumo da luminária LED 120 W.

Potência	Tensão	Corrente	Tempo de utilização	Quantidade de	Dias de utilização	Consumo total/luminária
120 W	220 V	0,54 A	12 h/dia	57	24dias/mês	34,56 kW/lamp

Fonte: “O autor”.

Com auxílio da Equação 12, calcula-se o consumo mensal realizado por uma luminária LED 120 W.

$$P = \frac{120 \cdot 1 \cdot 12 \cdot 24}{1000} = 34,56 \text{ kW/h}$$

A potência consumida em um mês por uma luminária LED de 120 W seria de 34,56 kW/h, a empresa utiliza 57 luminárias, com a substituição das luminárias o consumo seria de 1969,92 kW/h de potência, o que representa uma de 58% do consumo atual, o valor do kW/h é de aproximadamente 0.96208452 R\$, o valor gasto com iluminação será de 1.895,22 R\$ a empresa iria economizar aproximadamente 2.526,77 R\$ por mês.

A Tabela 6 representa um comparativo do consumo das luminárias de vapor metálico em relação as luminárias LED.

Tabela 6 – Consumo luminárias de vapor metálico x consumo luminárias LED.

Tipo de Iluminação	Quantidade	Potência	Consumo mensal (288 h)	Custo mensal
Vapor metálico	57	250 W	4.596,48 kW/h	4.422 R\$
LED	57	120 W	1.969,92 kW/h	1895.22 R\$

Fonte: “O autor”.

A Tabela 7 apresenta o tempo de retorno do investimento nas luminárias LED.

Tabela 7 – Custo x benefício.

Luminária	Quantidade	Potência	Preço (unidade)	Preço (total)	Redução do consumo (mensal)	Tempo de retorno
LED	57	120 W	1120 R\$	63.840,00 R\$	2526,77 R\$	25

Fonte: “O autor”.

O preço médio deste modelo de luminária é de 1120 R\$, o custo para a substituição de todas as 57 luminárias será de: $57 \times 1120 = 63.840$ R\$, e com uma economia de 2526,77 R\$, o valor se pagará em aproximadamente 25 meses, sem considerar as economias proporcionadas pela qualidade do equipamento, e a redução de manutenção, pois sua durabilidade é melhor.

5 CONCLUSÃO

O notável crescimento dos vários setores tecnológicos da sociedade e conseqüentemente o aumento da demanda de energia, nos permite concluir que a exigência por uma energia de qualidade vai crescer constantemente, tanto por parte dos consumidores, quanto por parte dos órgãos regulamentadores, exigindo um maior empenho das concessionárias e empresas de energia.

Este trabalho foi desenvolvido a fim de demonstrar a importância da análise de qualidade de energia, apresentando os diversos fatores que podem interferir na qualidade da energia, destacando os principais parâmetros a serem observados, e seguindo uma linha de exigências estabelecidas pela ANEEL em seus procedimentos de distribuição.

Também foram apresentados vários instrumentos de medição das diversas grandezas que formam a energia elétrica, destacando o registrador de qualidade de energia, que foi o equipamento utilizado para realizar as medições.

Diante dos estudos e medições realizadas conclui-se que a energia elétrica aferida no QDG de baixa tensão da empresa não apresentou grandes variações nos parâmetros que definem a qualidade de energia, tais como: tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicas, flutuação de tensão e desequilíbrio de tensão. Conclui-se também que a reclamação da empresa em relação ao consumo não procede, visto que os valores de consumo aferidos pela concessionária foram aproximadamente os mesmos avaliados na análise de qualidade de energia. Contudo, a solução em curto prazo apresentada para a empresa, foi realizar a substituição das lâmpadas utilizadas atualmente em alguns setores por lâmpadas LED, onde no estudo realizado foi apresentada uma possibilidade de redução do consumo de energia em 58%, com o valor investido recuperado em 25 meses após sua instalação.

Enfim, a análise de qualidade de energia realizada neste estudo de caso teve efeito satisfatório, pois foi apresentado que a energia entregue ao consumidor está atendendo os padrões exigidos pela ANEEL, apresentando algumas variações, porém sempre em faixas aceitáveis pela regulamentação.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **PRODIST – Módulo 8: Sistemas de Medição. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.** Brasília, DF: ANEEL, 2018. Disponível em: Acesso em: <http://www.aneel.gov.br/modulo-8>. Acesso em 12 de junho. 2018

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **PRODIST Módulo 1: Introdução.** Brasília, DF: ANEEL, 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/modulo-1>. Acesso em: 10 de outubro. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **PRODIST Módulo 5: Sistemas de Medição. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional.** Brasília, DF: ANEEL, 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/modulo-5>. Acesso em: 11 de junho. 2018

ALEXANDER, Charles K; SADIKU, Matthew N. O. **Fundamentos de circuitos elétricos.** 5 ed. Porto Alegre : AMGH, 2013.

ANAWIN – PROGRAMA DE ANÁLISE ANAWIN. **Manual.** Rio Grande do Sul, 2018.

ARRUDA, Elcio Franklin. **Análise de distúrbios relacionados com a qualidade da energia elétrica utilizando a transformada *wavelet*.** Monografia (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo- Escola de engenharia de São Carlos- Departamento de engenharia elétrica, 2003.

BELINOVSKI, Kleber D; BISPO, Décio; SILVA, Sergio Ferreira de Paula. **Análise de eficiência energética em uma indústria de palitos.** Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

BORDIM, João Ricardo Graminha. **Instalação de banco de capacitores em sistemas de distribuição de energia elétrica para correção de fator de potência e regulação de tensão: projeto e simulação computacional.** 2011. 105 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia elétrica) - Universidade de São Paulo- Escola de engenharia de São Carlos- Departamento de engenharia elétrica, 2011.

CEMIG- Companhia Energética de Minas Gerais S.A. **Distribuição para baixa e média tensão**. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/sites/Imprensa/pt-br/Paginas/cemig-bandeira-tarifaria-verde-abril.aspx>. Acessado em 29 de maio de 2016.

Copel - Companhia Paranaense de Energia. **Manual de eficiência energética na indústria**. Paraná, 2005

CRUZ, Matheus Palma. **Metodologia para avaliação dos impactos econômico-cos associados a problemas de qualidade de energia**. 2007. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2007.

DUAILIBE, Paulo. **Capacitores: instalação e correção de fator de potência**. Consultoria para uso de energia elétrica- Centro federal de educação tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2000.

DUGAN, R. C., MCGRANAGHAN, M. F., SANTOSO, S., BEATY, H. W. **Electrical Power Systems Quality**. 2 a ed. New York: McGraw-Hill, 2004.

EDMINISTER, Joseph A. **Circuitos elétricos**. 5 ed. São Paulo, Brasil, Bookman, 2001.

FERREIRA, Danton Diego. MARQUES, Cristiano Augusto Gomes. CERQUEIRA, Augusto Santiago. DUQUE, Carlos Augusto. RIBEIRO, Moisés Vidal. **Sistema Automático de Detecção e Classificação de Distúrbios Elétricos em Qualidade de Energia Elétrica**, Sociedade Brasileira de Automática, v. 20. Campinas, 2009.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION . IEC 60364-1. **Low-voltage electrical installations- Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions**. 5 ed. Genebra, 2005.

LIMA, Marcelo Antônio Alves. **Uma nova metodologia para análise da qualidade da energia elétrica sob condições de ocorrência de múltiplos distúrbios**. 2009. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, 2009.

LOURENÇO, Felipa Bezelga de Melo. **Optimização Energética numa Unidade Industrial**. 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Elétrica e de Computadores). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de equipamentos elétricos**. São Paulo, LTC, 2007.

MEHL, Ewaldo L. M. **Qualidade da energia elétrica**. Universidade Federal do Paraná, 2012.

OLIVEIRA, Caio Gomes de; SATO, Fujio; RUPPERT FILHO, Ernesto; KUBO, Marcio Massakiti. Estudo de caso de eficiência energética e qualidade de energia elétrica. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE APLICAÇÕES INDUSTRIAIS, 2008, Minas Gerais Poços de Caldas: UNIFEI, 2008.

OLIVEIRA, Caio Gomes de; SATO, Fujio; RUPPERT FILHO, Ernesto; KUBO, Marcio Massakiti. Análise da eficiência energética e da qualidade de energia elétrica na Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA. 2008, Minas Gerais, Juiz de Fora: UFJF, 2008.

OLIVEIRA, Caio Gomes de; SATO, Fujio; RUPPERT FILHO, Ernesto; KUBO, Marcio Massakiti. Implantação de um programa de conservação e qualidade de energia elétrica na Unicamp. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 7. (AGRENER GD 2008). Fortaleza 2008 : UNIFOR, 2008. *Power Quality and Utilisation*. USA: 2007.

PHILIPS-LIGHTING- **Luminárias Interiores**. Disponível em: https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp911401514731-pss-pt_br. Acessado em 10 de janeiro de 2019.

PROCOBRE - Instituto Brasileiro do Cobre. **Harmônicas nas instalações elétricas, causas, efeitos e soluções**. São Paulo, 2001.

VEGA, Tomas Yebra. ROIG, Vicente Fuster. SEGUNDO, Hector. *Beltran San. Evolution of signal processing techniques in power quality. 9th International Conference on Electrical*