

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**GUSTAVO LUIZ LUZ**

**QUALIDADE DE ENERGIA: um estudo de caso**

**Varginha**

**2018**

**GUSTAVO LUIZ LUZ**

**QUALIDADE DE ENERGIA: um estudo de caso**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel, sob orientação do Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni e coorientado pelo Prof. Me. Hérciner Vitor Ferreira

**Varginha**

**2018**

**GUSTAVO LUIZ LUZ**

**QUALIDADE DE ENERGIA: um estudo de caso**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica pela Banca Examinadora composta pelos membros.

Aprovado em: 07/12/2018

---

Prof.: Me. Eduardo Henrique Ferroni

---

Prof.: Me. Hugo Rodrigues Vieira

---

Prof.: Esp. Roberto Lazarino do Prado Mudesto

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a DEUS, por ser essencial em minha vida, autor do meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, a minha mãe Rosangela Aparecida Rodrigues Luz que com muito carinho e apoio, não mediu esforços para que chegasse até esta etapa de minha vida (guerreira), a meu pai Sebastião Luiz Luz, a minha avó Maria Das Graças Moreira Borim, a minha namorada Maryna Calheiros Maranhão e às pessoas com quem convivi nesses espaços ao longo desses anos. A experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos nesses espaços foram a melhor experiência da minha formação acadêmica.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar a oportunidade de chegar até aqui e sei que terei a oportunidade de ir além do que eu imaginava chegar. Ao Professor e Mestre Eduardo Henrique Ferroni, pela ajuda de todos esses 5 anos sendo transparente e aplicado, ajudando sempre e orientado todos para o melhor desempenho acadêmico possível, sendo eu grato por ser seu aluno todos esses longos anos, seu grande desprendimento em ajudar-nos e amizade sincera. Agradecimentos especiais ao Professor Adilson Amaro da Silva por suas aulas, procurando passar informações de grande valor mesmo que seja em um curto período de tempo, e amizade sincera. Ao Professor Hugo Vieira que não só foi um professor, foi também um amigo, um grande aliado para que esse dia tão esperado acontecesse. Agradecimentos também para o Professor Josué Alexandre Aquino que caminhou conosco quase que o curso inteiro, ajudando, ensinando, fazendo o possível e impossível para nos mostrar o valor de um professor na sala de aula, e foi de bom tamanho o que nos passou.

“O tempo uma vez gasto, nunca é recuperado, ele proporciona oportunidades iguais para todos”

Waitley

## RESUMO

Analisando a utilização e distribuição histórica da energia elétrica no Brasil pode ser demonstrada todos os fundamentos teóricos acerca dos parâmetros utilizados na análise da qualidade de energia e fenômenos eletromagnéticos causados por distúrbios, bem como ferramentas estatísticas para assegurar a confiabilidade dos dados coletados e qualificar os tratamentos destes dados em relatório e diagnóstico baseado no estudo dos indicadores. Existem diversas definições de qualidade da energia elétrica que descrevem o mesmo conjunto de fenômenos que afetam a amplitude e a forma de onda da tensão e corrente. Uma das principais definições afirmam que interferem na qualidade qualquer problema na tensão, na corrente ou desvio na frequência que venha culminar em alguma falha ou que prejudique a operação dos equipamentos. Outra definição importante é de que a frequência e severidade dos desvios na amplitude e forma de onda da tensão e da corrente interferem diretamente na qualidade. Tem-se ainda uma terceira definição pela qual é defendido que um sistema elétrico eficiente é aquele que apresenta por característica um fornecimento de energia em tensão com forma de onda senoidal limpa, sem alterações em sua amplitude e frequência, como se tivesse como origem uma fonte de potência infinita. Com base fundamentada nos elementos teóricos propostos, foi realizado um estudo de caso em empresa que atua no ramo hoteleiro localizada na cidade de Boa Esperança, Minas Gerais onde foi apresentado o problema de variação da qualidade de energia. Após coletar os dados realizou-se os tratamentos estatísticos e interpretações dos indicadores o que permitiu a implementação da solução do dispositivo que solucionou os problemas identificados indo ao encontro do objetivo central deste trabalho mostrando o papel fundamental do engenheiro eletricista na inspeção e execução de serviços relacionados com a qualidade da energia.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética. Fenômenos Eletromagnéticos. Qualidade de Energia.

## ***ABSTRACT***

Analyzing the use and distribution of electric power in Brazil can be demonstrated every theoretical principles about the parameters used in the analysis of power quality and electromagnetic phenomena caused by disturbances as well as statistical tools to ensure the reliability of the data collected and qualify these data on treatments and diagnostic report based on the study of the indicators. There are several definitions of power quality that describe the same set of phenomena that affect the amplitude and waveform of voltage and current. One of the main definitions claim that interfere in any quality problem in voltage, current or frequency deviation which culminate in failure come or detrimental to the operation of the equipment. Another important definition is that the frequency and severity of deviations in the amplitude and waveform of the voltage and current interfere directly in quality. There is a third definition it is argued that an efficient electrical system is one that presents for a characteristic voltage power supply with clean sine wave form, without changes in your scope and frequency, as if it had as a source of infinite power source. Based on theoretical elements proposed, we conducted a case study on company in a hotel division located in Boa Esperança, Minas Gerais, where he was presented with the problem of power quality variations. There were collected data and through them statistical treatments were conducted and interpretations of indicators allowing the proposed implementation of device that solve the problems identified.

***Keywords:*** *Energy Efficiency. Electromagnetic Phenomena. Power System Quality.*



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (01) .....	26
Equação (02) .....	36
Equação (03) .....	38
Equação (04) .....	38
Equação (05) .....	50
Equação (06) .....	50

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01–Energia Elétrica no Brasil.....	19
Figura 02–Triângulo de Potência.....	27
Figura03–Transitório impulsivo em corrente provocado por descarga atmosférica.....	29
Figura 04–Transitório oscilatório provocado pelo chaveamento de banco de capacitores.....	30
Figura 05–Interrupção de tensão decorrente de falha em sistema trifásico.....	32
Figura 06–Afundamento de tensão para 65% do valor nominal.....	33
Figura 07–Elevação de tensão para 120% do valor nominal.....	34
Figura 08–Desequilíbrio de tensão em consumidor residencial.....	37
Figura 09–Forma de onda da corrente e espectro de harmônicos em um sistema.....	41
Figura 10–Exemplo de recortes de tensão em conversor trifásico.....	42
Figura 11–Flutuação de Tensão.....	45
Figura12–Variações na frequência da rede em uma determinada fase A.....	46
Figura13– Fenômenos associados à QEE.....	46
Figura14–Analisador Power Logc ION750.....	53
Figura15–Instalação do Analisador Power Logc ION750.....	54

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01–Variação Da Tensão Elétrica Na Rede Analisada.....	56
Gráfico 02–Oscilação Da Tensão Elétrica No Dia de Pico. ....	57
Gráfico 03–Oscilação Da Corrente Elétrica Na Rede Analisada.....	58
Gráfico 04–Corrente Elétrica Media Analisada Nos Dias De Pico.....	58
Gráfico 05–Corrente Elétrica Analisada Em Cada Fase Nos Dias De Pico.....	59

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01–Etapas de formação do setor elétrico brasileiro.....	20
Quadro 02–Grupamentos de unidades consumidoras, em função da tensão fornecida.....	22
Quadro 03–Efeito de harmônicos em componentes do sistema elétrico.....	40
Quadro 04–Limites de recortes por tipo de aplicação.....	43
Quadro 05–Categorias e características dos fenômenos eletromagnéticos.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01–Limites globais harmônicos, em porcentagem da tensão fundamental.....	40
Tabela 02–Faixa de classificação para pontos de conexão em tensão nominal igual ou inferior a 1kV (220/127).....	55

## LISTA DE ABREVIACOES E UNIDADES

A	– Ampère
ANEEL	– Agência Nacional de Energia Elétrica
Eletrobras	– Centrais Elétricas Brasileiras
F	– Faraday, unidade de capacitância
Hz	– Hertz
n, $\mu$ , m, k, M, G	– Nano, micro, mili, kilo, mega e giga respectivamente
NOS	– Operador Nacional do Sistema
Pu	– <i>Per unit</i> , “por unidade”
Rad	– Radianos
V	– Volt
VA	– volt-Ampère
Var	– volt-Ampère reativo
W	– Watt

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO</b> .....	19
<b>2.1 Contexto histórico e evolução energética no Brasil</b> .....	20
<b>2.2 Fornecimento, tarifas e aspectos legais</b> .....	21
<b>3 FENÔMENOS E DISTÚRBIOS ELÉTRICOS</b> .....	25
<b>3.1 Fator de potência</b> .....	25
<b>3.2 Transitórios</b> .....	28
3.2.1 Transitório impulsivo .....	28
3.2.2 Transitório oscilatório .....	29
3.2.3 Variações de Tensões de curta duração.....	31
3.2.4 Interrupção .....	31
3.2.5 Afundamento de tensão .....	32
3.2.6 Elevação de tensão .....	34
3.2.7 Variação de tensão de longa duração .....	35
3.2.8 Interrupção sustentada.....	35
3.2.9 Subtensão.....	35
3.2.10 Sobretensão .....	36
3.2.11 Desequilíbrio de tensão .....	36
3.2.12 Distribuição na forma de onda.....	37
3.2.13 Offset corrente contínua .....	37
3.2.14 Harmônicos .....	38
3.2.15 Interharmônicos.....	41
3.2.16 Recortes .....	42
3.2.17 Ruídos.....	43
3.2.18 Flutuação de tensão .....	44
3.2.19 Variação de frequência .....	45
<b>3.3 Síntese das categorias e características dos fenômenos eletromagnéticos</b> .....	46
<b>4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ACERCA DA MODELAGEM ESTATÍSTICA DE INDICADORES E RESULTADOS</b> .....	49
<b>5 DESVIO PADRÃO AMOSTRAL</b> .....	50
<b>6. ESTUDO DE CASO</b> .....	52
<b>6.1 Identificando o problema</b> .....	52
<b>6.2 Metodologia e parâmetros de medição</b> .....	52
6.2.1 Sobre tensão e sub tensão .....	54
6.2.2 Níveis de tensão em regime permanente .....	55
6.2.3 Sobre corrente e subcorrente.....	55
<b>6.3 Coleta dos dados e análise dos resultados</b> .....	56
6.3.1 Análise de tensão nas fases .....	56
6.3.2 Análise de corrente nas fases .....	57
<b>6.4 Solução e proposta dos problemas identificados</b> .....	59
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	61
<b>8 CONCLUSÃO</b> .....	633
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	64





## 1 INTRODUÇÃO

Mesmo tendo uma história relativamente recente, a implementação e desenvolvimento dos sistemas de geração e transmissão de energia elétrica no Brasil está em constante evolução. Seu uso, introduzido em territórios nacionais em 1880, simultaneamente com a aplicação comercial da energia elétrica no exterior (GOMES E VIEIRA, 2008), foi a princípio empregado em prestações específicas de determinados serviços públicos e na indústria, permanecendo sob monopólio privado por 50 anos, submetendo-se desde então à regulação estatal, bem como a critérios cada vez mais rigorosos tanto na qualidade da energia entregue pelas concessionárias, quanto nas características dos consumidores e sua interação com o Sistema, de modo a inibir quaisquer deformações relevantes na energia transmitida e recebida.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e implementado pelas Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobrás) com o objetivo principal de contribuir para a redução do consumo e da demanda de energia elétrica no país.

A Eletrobrás/Procel mantém contato e trocas de informações com diversas outras organizações nacionais e internacionais que também possuem o propósito de melhorar o desempenho, além de garantir a eficiência dos aparatos elétricos ou eletrônicos. Dentre as diversas organizações parceiras pode-se destacar dentre estas organizações o Banco Mundial (BIRD) e o *Global Environment Facility* (GEF), que têm se constituído em importantes agentes financiadores de projetos na área da eficiência energética. Por intermédio do BIRD, o GEF doou recursos à Eletrobrás/Procel para o desenvolvimento de vários projetos, com destaque para a “Disseminação de Informações em Eficiência e Qualidade Energética”. Este projeto foi desenvolvido e coordenado pela Eletrobrás/Procel e realizado pelo Consórcio Efficientia/Fupai, com o apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

Com bases técnicas na Resolução Normativa 414 (2010) e no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST (2017), ambos da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, e seguindo a metodologia de parametrização das características e identificação de irregularidades na energia elétrica, demonstra-se neste trabalho o papel profissional do engenheiro electricista no âmbito de consultoria em qualidade de energia, através da realização de um estudo de caso em empresa localizada no sul de Minas Gerais, estabelecendo critérios e métodos de coleta de dados, tratamento de informações, e realização de diagnóstico que permita implementar soluções que

minimamente eliminem ou atenuem os efeitos de eventuais problemas identificados, que a primórdio foi uma sequencial queima de motores de banheira de hidromassagem comunicado pelo cliente, e, analisando os motores já instalados na planta da empresa do ramo hoteleiro, motores de ½ cv, percebeu-se que os mesmos eram de qualidades de isolamento precária, e não sendo o melhor equipamento a ser instalado na planta da empresa.

Sendo um cliente de zona rural bifásica com equipamentos de clientes de zona urbana a tensão fornecida para o cliente é de 240 volts, permitindo um percentual de variação de tensão entregue de 15 % abaixo ou acima da tensão fornecida, sendo essa variação oscilando na faixa de 204 á 276 volts. Com base no problema mencionado pelo cliente foi proposto pelo engenheiro responsável uma varredura completa na tensão e corrente que estava circulando nos condutores da empresa.

Para que os objetivos deste trabalho sejam alcançados, foi abordado o cenário energético nacional, mencionando momentos históricos relevantes e tratando das atuais legislações, normas e técnicas que são sumariamente seguidas para instalações elétricas industriais. Em seguida, são exploradas as referências teóricas relacionadas aos parâmetros de qualidade de energia, subdivididos na bibliografia pesquisada nas seguintes categorias de fenômenos eletromagnéticos:

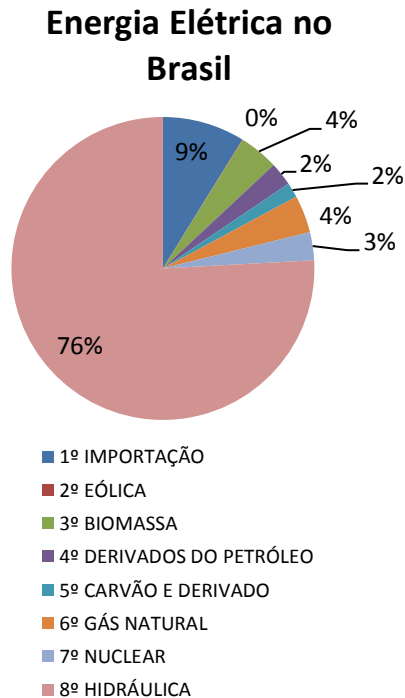
- a) Transitórios;
- b) Variação de tensão de curta ou longa duração;
- c) Desequilíbrio de tensão;
- d) Distorção da forma de onda;
- e) Flutuação de tensão;
- f) Variação de frequência.

A partir do estudo de cada uma das características mencionadas, é possível estabelecer um roteiro de análise no local da análise que possibilite a identificação correta dos fenômenos, bem como relacionar as causas dos distúrbios eletromagnéticos medidos e seus efeitos na planta. Os dados são coletados por meio de dispositivos específicos – no caso deste trabalho, através da utilização do medidor de qualidade de energia PowerLogic® ION 7650, de fabricação da empresa Schneider Electric. O tratamento destes dados, elaboração de gráficos demonstrativos e demais indicadores pertinentes à análise são feitos por meio de modelagem computacional utilizando ferramentas estatísticas, e que depois serão apresentados em diagnóstico a ser repassado para a empresa.

## 2 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

Para Gomes e Vieira (2008), mesmo se tratando de uma situação atual e cotidiana, se olharmos para a história da eletricidade no Brasil podemos perceber, principalmente a partir de 1880 em diante uma evolução contínua nas maneiras com as quais foram realizadas a implementação, difusão, controle estatal, crises e ajustes fiscais, que acabaram por direcionar e influenciar de maneira direta a forma como é tratada e comercializada a energia elétrica nos dias atuais. Atualmente, os equipamentos utilizados em residências, escritórios e empresas são em sua maioria – senão e sua totalidade – dependentes da eletricidade e encontra-se profundamente difundido no cotidiano das pessoas. Isso faz com que a energia elétrica seja vista e tratada como um bem essencial de consumo equiparado com a água e o alimento e é dependente apenas dos esforços e investimentos necessários para manter o acesso do indivíduo a este bem além de sua disponibilidade permanente. Pode-se analisar na Figura 01 quais as formas de geração de eletricidade no Brasil.

Figura 01 - Energia Elétrica no Brasil



Fonte: Capelli, (2013).

## 2.1 Contexto histórico e evolução energética no Brasil

Podemos ver no Quadro 01 como foi a evolução da responsabilidade de implementação e difusão do consumo de energia elétrica no Brasil e alguns dos momentos mais relevantes desse trabalho em todo o território nacional (GOMES;VIEIRA, 2018):

Quadro 01 - Etapas de formação do setor elétrico brasileiro

PERÍODO	PRINCIPAIS EVENTOS
1880–1930	<b>MONOPÓLIO PRIVADO</b> — Primórdios do uso da energia elétrica no Brasil, com a implantação dos primeiros empreendimentos nacionais e estrangeiros, dominados a partir da década de 1920 pelas empresas de capital estrangeiro. Corresponde ao período da República Velha.
1931–1945	<b>PRESENÇA DO ESTADO</b> — O estado elabora as primeiras regulamentações no setor, com destaque para a implantação do Código de Águas, em 1934. A aceleração do desenvolvimento econômico brasileiro corresponde a um aumento da demanda de energia que não tem contrapartida em investimentos. Corresponde ao governo de Getúlio Vargas.
1946–1962	<b>ESTADO INDUTOR</b> — Com a queda de Vargas, é estabelecida uma maior participação do estado no setor elétrico, com aumento dos investimentos públicos, especialmente nas concessionárias estaduais. Criação da Eletrobrás em 1962.
1963–1979	<b>MODELO ESTATAL</b> — A Eletrobrás é a empresa indutora do processo de nacionalização e estatização do setor elétrico, efetuando grandes investimentos. É consolidado um novo modelo institucional que atingiu seu ápice em 1979.
1980–1992	<b>CRISE INSTITUCIONAL</b> — Com a crise econômica se agravando, o crescimento do setor elétrico é afetado. Em 1992, a inadimplência é generalizada e o modelo estatal é questionado.
1993–2002	<b>MODELO HÍBRIDO</b> — Promulgada a lei no 8.631/93, que equaciona os débitos. Começam as mudanças institucionais no setor elétrico brasileiro. Ao final de 2002, a geração e a transmissão de energia eram, majoritariamente, de empresas estatais e a distribuição era principalmente privada.

Fonte: adaptado de Gomes; Vieira (2008).

Conforme lembra Gomes e Vieira, (2008), foi exatamente de acordo com as possibilidades e evoluções proporcionadas pelo Modelo Híbrido implementado no período compreendido entre 1993 a 2002 que foi criada a ANEEL. O objetivo da criação deste órgão foi fixado em fiscalizar, monitorar e legislar nos âmbitos de geração, transmissão e consumo de energia elétrica. Estes interesses comuns para a evolução da cadeia energética brasileira se tornaram possíveis graças aos ajustes na legislação vigente a partir de então e adequações técnicas ocorridas em toda a estrutura de geração e transmissão de energia elétrica.

De acordo com as normas e atribuições produzidas, para este trabalho serão priorizadas aquelas que dizem respeito aos aspectos relacionados à categorização das tarifas incidentes para um determinado tipo de consumidor, tendo como referência os dados relevantes ao estudo em questão para empresas comerciais e consumidor final além dos procedimentos exigidos pelas concessionárias para a entrega adequada da energia elétrica, baseada em parâmetros mínimos de qualidade.

Podemos destacar os seguintes documentos:

a) Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, que estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica;

Módulo 8 do PRODIST - Revisão 8, vigente a partir de 01/01/2017, o qual estabelece os procedimentos exigidos para assegurar a qualidade da energia elétrica entregue pelas concessionárias.

## **2.2 Fornecimento, tarifas e aspectos legais**

Para que fosse possível entender em qual grupo consumidor se enquadrava o consumidor no qual foram realizadas as análises da qualidade de energia, fora parâmetros relacionados ao fornecimento e tarifação de energia elétrica (CALDAS, 2006), foram estudadas as especificações individuais de cada perfil consumidor.

Sendo assim, a Agência Nacional de Energia Elétrica (2010, p. 9) descreve grupos de consumidores em função da tensão disponibilizada ou solicitada, conforme demonstrado no Quadro 02.

Quadro 02 - Grupamentos de unidades consumidoras, em função da tensão fornecida.

<b>Grupamentos</b>	<b>Descrição</b>
GRUPO A	Grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 KV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômia
Subgrupo A1 -	Igual ou superior a 230 KV
Subgrupo A2 -	88 KV a 138 KV
Subgrupo A3 -	69 KV
Subgrupo A3a -	30 KV a 44 KV
Subgrupo A4 -	2,3 KV a 25 KV
Subgrupo AS -	Inferior a 2,3 KV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição
GRUPO B	Grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 KV, caracterizado pela tarifa monômia
Subgrupo B1 -	Residencial
Subgrupo B2 -	Rural
Subgrupo B3 -	Demais classes
Subgrupo B4 -	Iluminação pública

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2010.

A compreensão destes grupos possui uma importância vital para o enquadramento adequado da unidade consumidora, já que um erro na designação da modalidade tarifária pode acarretar em custos elevados e desnecessários.

De acordo com a Resolução Normativa 414 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2006. p. 11), são modalidades tarifárias:

- a) Modalidade tarifária monômia: Aplicadas aos consumidores do grupo B, que são tarifados apenas em função do consumo de energia elétrica;
- b) Modalidade tarifária binômia: Aplicadas aos consumidores do grupo A que são tarifadas tanto em função do consumo de energia elétrica, quanto à demanda de potência contratada.

As modalidades tarifárias podem ser descritas em dois grupos distintos: modalidades convencional e horária. Para o modelo convencional de tarifação, a cobrança é calculada levando em conta o consumo independentemente dos momentos de utilização no dia.

Para os casos de tarifação no modelo horária (ou seja, com a alteração do valor cobrado por potência utilizada de acordo com os horários de consumo), são consideradas as seguintes modalidades:

- a) Modalidade tarifária horária branca: Compreende os consumidores definidos no grupo B, com exceção daqueles incluídos nos grupos B4 e B1 que forem considerados de baixa renda.

Para estes, a tarifa cobrada pelo consumo de energia elétrica é variável, em função do horário de utilização no dia;

- a) Modalidade tarifária horária verde: Compreende os consumidores definidos no grupo A. Aos que optam por esta modalidade tarifária, existe a contratação fixa de uma determinada demanda de potência, bem como a tarifação variável da energia elétrica consumida, em função do horário de utilização e da época do ano. Este modelo tarifário, escolhido pelo consumidor no ato da contratação da concessão, é indicado para as unidades contratantes com dinâmica de consumo variável, e que podem designar o período de utilização de energia nos horários chamados Fora de Ponta, que serão descritos a seguir;
- b) Modalidade tarifária horária azul: Compreende também os consumidores do grupo A. Neste caso, são tarifadas de maneira dinâmica tanto a demanda de potência contratada, quanto a energia elétrica consumida. Aqui, o valor da tarifa é ajustado de acordo com o horário de consumo / época do ano e, por este motivo, indicado para as unidades que consomem energia elétrica por períodos ininterruptos, ou de forma intermitente.

O consumidor final é quem opta pela escolha do modelo tarifário horário azul ou verde, estas duas modalidades são facultativas, onde o usuário é o responsável por identificar qual enquadramento é o mais vantajoso para a realidade do mesmo analisando o seu perfil de consumo. Neste caso, é importante uma análise e consultoria por parte do profissional engenheiro eletricista.

A norma também analisa e trata os horários e épocas do ano, e estas análises são critérios de atribuição de valor às tarifas enquadradas nas modalidades horárias.

Em função do horário de consumo no dia:

- a) Horário de ponta: Composto por três horas diárias e consecutivas, em que existe uma elevação generalizada de consumo por parte da população e instalações tipicamente residenciais e comerciais. Varia com horário de verão, finais de semana e feriados;
- b) Horário fora de ponta: Refere-se às demais horas do dia, que não são consideradas “Horário de ponta”.

Em função da época do ano:

- a) Período seco: Período de sete ciclos de faturamento sequenciais, compreendidos de maio a novembro. Recebe este nome por se tratar de período tipicamente mais seco, com menor reabastecimento dos reservatórios de usinas hidrelétricas;
- b) Período úmido: Período de cinco ciclos de faturamento sequenciais, de dezembro a abril. Recebe o nome por se tratar do período tipicamente mais chuvoso, com maior reabastecimento natural dos reservatórios de água das usinas hidrelétricas;

Ainda de acordo com a norma 414 da Agência Nacional de Energia Elétrica (2010), existem três mecanismos previstos para a atualização tarifária, os quais podem ser escolhidos pelas unidades consumidoras enquadradas nas modalidades tarifárias verde e azul, são eles:

a) Reajuste Anual, que restabelece o poder de compra da receita da concessionária, segundo fórmula prevista no contrato de concessão. Concedido anualmente na data de aniversário do contrato;

b) Revisão Tarifária Periódica, a qual permite a alteração do modelo tarifário após análise de custos eficientes, em intervalos de quatro ou cinco anos. Difere dos reajustes anuais por ser mais amplo e levar em conta todos os custos.

Revisão Tarifária Extraordinária, que é destinado a atender casos específicos e justificados de desequilíbrio tarifário. Ocorrem a qualquer tempo, quando mediante evento imprevisto que possa afetar o equilíbrio econômico-financeiro da concessão.



### 3 FENÔMENOS E DISTÚRBIOS ELÉTRICOS

É importante entender a dinâmica de cada um dos fenômenos ligados aos distúrbios existentes num meio elétrico para que se possa compreender a real influência de cada variação sobre a qualidade da energia elétrica analisada. Sendo assim, serão descritos brevemente os conceitos acerca de cada um dos fenômenos.

Para Dugan (2002), estes são os fenômenos que ocasionam os distúrbios eletromagnéticos e podemos organizá-los com as seguintes categorias e classificações:

1 – Transitórios;

- a) Impulsivos;
- b) Oscilatórios.

2 - Variações de Tensão de Curta Duração;

- a) Interrupção;
- b) Afundamento;
- c) Elevação.

3 - Variações de Tensão de Longa Duração;

- a) Interrupções Sustentadas;
- b) Subtensões;
- c) Sobreensões.

4 - Desequilíbrio de Tensão.

5 - Distorção na Forma de Onda;

- a) Offset CC ;
- b) Harmônicos;
- c) Interharmônicos;
- d) Recortes;
- e) Ruídos.

6 - Flutuação de Tensão.

7- Variação na Frequência.

#### 3.1 Fator de potência

De acordo com Sadiku (2012), a potência é o parâmetro mais importante em sistemas de energia elétrica, uma vez que este valor representa, quantitativamente, a real transferência

de energia entre dois pontos ligados eletricamente. Em uma análise mais dinâmica, é a potência elétrica gerada ou exigida por um sistema, que determina o trabalho realizado.

Sadiku (2012) destaca as seguintes definições para o fator de potência:

a) Potência Ativa: É medida em W (watts) e diz respeito a potência real absorvida por qualquer carga o que significa que é a única potência útil consumida. Em um cenário ideal, toda a potência exigida deve ser ativa.

b) Potência Reativa: É medida em VAR (volt-ampère reativo) onde a unidade de potência que quaisquer cargas reativas (sejam indutivas ou capacitivas) trocam com a unidade fornecedora e não representam de uma forma eficiente a realização do trabalho. Neste caso, ocorre que a carga exige valores de potência para funcionar, porém estes valores acabam por não serem percebidos na entrega do trabalho realizado e acabam não sendo tarifados pela concessionária por meio dos processos normais de controle e cobrança de consumo.

A Potência Aparente (forma escalar ou modular) ou complexa (forma fasorial) são medidas pelo VA (volt-ampère). Esta é a potência total exigida pela carga, e que trafega pela rede. Sendo assim, esta razão matemática entre a potência eficaz (ativa) e a potência aparente (complexa) é definida como Fator de Potência, podendo ser calculada de acordo com a Equação 01:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos (\theta_v - \theta_i) \quad (01)$$

Onde:

FP = Fator de Potência

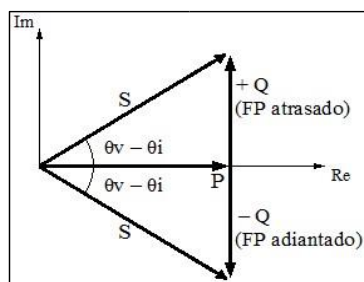
P = Potência Ativa [W]

S = Potência Aparente (composto pelo valor modular da potência complexa) [VA]

$\theta_v$  = Ângulo de fase da tensão [°]  $\theta_i$  = Ângulo de fase da corrente [°].

De acordo com a equação (1), pode-se entender o chamado Ângulo do Fator de Potência representado por  $\theta_v - \theta_i$ . A diferença entre os ângulos de fase da tensão e corrente correspondente, neste caso, representa geometricamente a relação fasorial entre as potências ativa e aparente. Esta relação geométrica pode ser vista no chamado Triângulo de Potência, apresentado na Figura 02 SADIKU, (2012).

Figura 02 - Triângulo de potências.



Fonte: SADIKU, (2012).

As evidências entre potências tratadas anteriormente são demonstradas neste diagrama vetorial onde  $S$  é o vetor que ilustra a Potência Aparente, e os vetores  $P$  e  $+/-Q$  representando as potências ativa e reativa, respectivamente. Analisando de uma maneira aprofundada entende-se Aprofundando esta análise fica clara a concepção de que, ao decompor o vetor  $S$  em vetores  $P$  e  $+/-Q$ , ortogonais entre si e paralelos aos eixos do plano cartesiano (descrito de forma a representar, em sua abscissa e ordenada, os valores real e imaginário da potência complexa em sua forma retangular), é possível determinar com perfeita exatidão, o comportamento e característica da demanda ligada à rede no instante em que os dados são coletados. Os sinais “+” e “-”, respectivamente, indicam se o FP verificado é atrasado (ou seja, a corrente está atrasada em relação à tensão, implicando na existência de cargas predominantemente indutivas) ou adiantado - em que a corrente está adiantada em relação à tensão, o que representa cargas predominantemente capacitivas ligadas ao circuito.(SADIKU, 2012).

Seguindo a Resolução Normativa 414/2010 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2010), o valor de referência para fator de potência é de 0,92. Isso significa que o módulo da potência ativa consumida deve ser igual ou maior do que 92% do valor modular da potência complexa entregue. Alterações neste valor indicam excesso de potência reativa e este problema deve ser corrigido.

Um fator de potência desbalanceado desencadeia diversas reações indesejadas em uma instalação tais como quedas de tensão, perdas e sobrecargas. O procedimento mais utilizado para evitar o consumo de energia reativa se trata de apenas desligar as cargas ociosas no sistema. Porém quando o fator de potência se torna um problema relacionado às características dos próprios dispositivos alimentados a solução deve ser outra, na maioria das vezes resolvido com um banco de capacitor. Um fator de potência desbalanceado proporciona perdas de energia elétrica em forma de calor. Como essa corrente cresce com o excesso de

energia reativa, estabelece-se uma relação entre o incremento das perdas e o baixo fator de potência, provocando o aumento do aquecimento de condutores e equipamentos, além disso um aumento da corrente devido ao excesso de energia reativa leva a quedas de tensão acentuadas, podendo ocasionar a interrupção do fornecimento de energia elétrica e a sobrecarga em certos elementos da rede. As quedas de tensão provocam ainda a diminuição da intensidade luminosa das lâmpadas e aumento da corrente nos motores. Com isso, um fator de potência desbalanceado sobrecarrega toda instalação elétrica, inviabilizando sua plena utilização, condicionando a instalação de novas cargas a investimentos que seriam evitados se o fator de potência apresentasse valores mais altos SADIKU,( 2012).

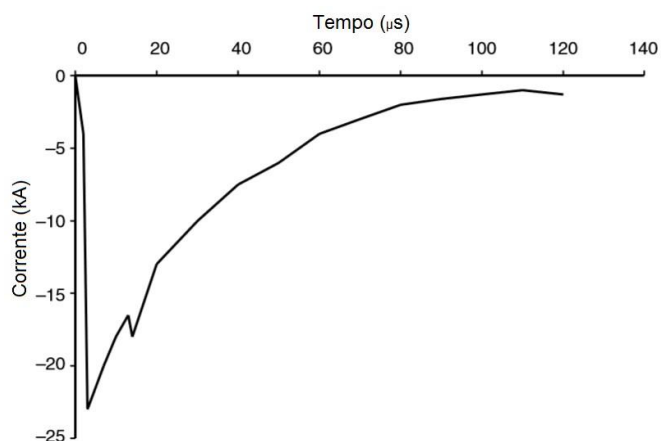
### **3.2 Transitórios**

Quando se trata de dispositivos e sistemas reais, ao realizar o chaveamento de componentes (principalmente aqueles com características reativas, seja indutivas ou capacitivas), ocorre um fenômeno de surgimento de uma perturbação indesejável seja em amplitude, frequência ou forma de onda do sinal elétrico no exato instante em que ocorre a mudança do estado. Somado a isso, existe ainda a necessidade de que qualquer transição entre um estado estacionário (permanente) e outro em um sistema ideal deve ocorrer de forma imediata e sem alterações evidentes. Este fenômeno que ocorre no momento onde ocorre todas estas perturbações se dá o nome de transitório. Pode-se dividir os transitórios em dois tipos básicos, relativos às características da perturbação do sinal DUGAN, (2002).

#### **3.2.1 Transitório impulsivo**

Dada às altas frequências envolvidas, como defende Dugan (2002), o aspecto da onda associada a este tipo de transitório pode sofrer alteração por componentes associados ao circuito que sofre esta perturbação, isto pode apresentar diferenças significantes em suas características quando são observados em pontos distintos de um sistema. Estes São transitórios de polaridade unidirecional, caracterizados pelo tempo de elevação e acomodação. É importante atentar para o fato de que os transitórios impulsivos acabam, normalmente, por não são percebidos em pontos muito distantes de sua origem, porém podem percorrer certas distâncias quando incidem sobre linhas de transmissão. O fenômeno mais comum para a geração dos transitórios impulsivos são os relâmpagos (descarga atmosférica) com seu aspecto ilustrado pela Figura 03 DUGAN, (2002).

Figura 03 - Transitório impulsivo em corrente, provocado por descarga atmosférica.



Fonte: DUGAN, (2002).

Conforme visto na Figura 03, uma descarga atmosférica provoca um transitório impulsivo no sistema, atingindo o ponto máximo do sinal com uma corrente elétrica de aproximadamente 23 kA com apenas 4 μs decorridos. Após o momento da descarga, esta amplitude é reduzida à metade do valor máximo decorridos 25 μs. O transitório reencontra a estabilidade por volta de 80 μs depois de ter sido provocado. (DUGAN, 2002).

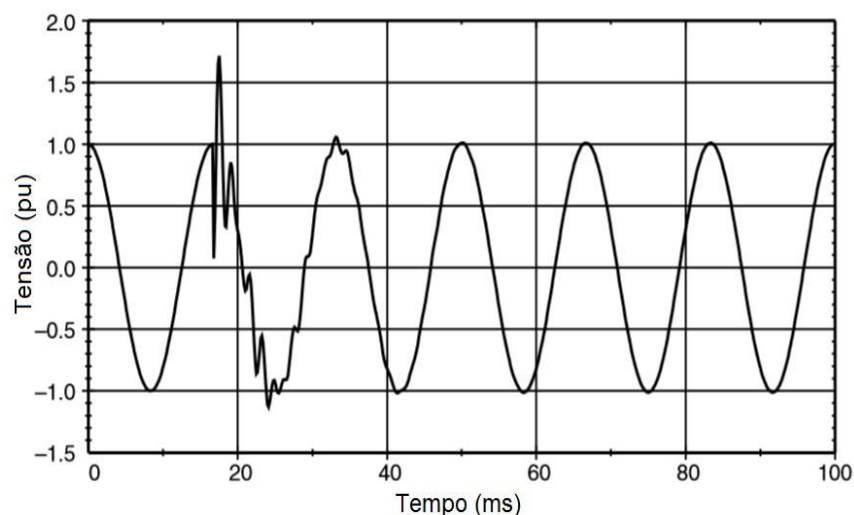
Os problemas comuns que afetam a qualidade da energia causados por estas correntes no sistema elétrico são a elevação do potencial do aterramento local, se comparado com outros sistemas de aterramento. Neste caso, equipamentos eletrônicos sensíveis que estejam conectados entre duas referências de terra (um computador conectado ao telefone por meio de um modem, por exemplo) podem falhar quando submetidos aos altos níveis de tensão; e, a indução de altas tensões nos condutores fase, no momento que estas correntes deslocam pelos cabos a caminho do terra. É importante entender que consumidores atendidos em tensão de transmissão que estejam estrategicamente localizados nas proximidades do ponto de descarga estarão sujeitos a todos os efeitos deste fenômeno. Quando atingidos por estes eventos, pode ocorrer danos em equipamentos que estejam conectados em suas instalações. Como principais medidas para mitigar os efeitos desses transitórios destacam-se o uso de filtros, supressores de surtos (para-raios) e transformadores isoladores MARTINHO, (2009).

### 3.2.2 Transitório oscilatório

Para Dugan (2002), os transitórios oscilatórios são caracterizados pela bidirecionalidade polar do sinal, o que o difere dos transitórios impulsivos. Este fenômeno

observado normalmente no chaveamento ou inserção instantânea de elementos reativos no sistema (bancos de capacitores, por exemplo), e podem também ser consequência de transitórios impulsivos. Na Figura 04 pode-se analisar uma situação de inserção de banco de capacitores em um sistema:

Figura 04 - Transitório oscilatório provocado pelo chaveamento de banco de capacitores.



Fonte: DUGAN, (2002).

A Figura 04 mostra a representação do comportamento de um sinal elétrico em um sistema qualquer, neste caso o acionamento de um banco de capacitores provoca a elevação máxima de aproximadamente 70% da tensão nominal do barramento em uma frequência mais alta que a frequência natural da linha. Neste exemplo temos uma transição que ocorre em um tempo de aproximadamente 10 ms, depois deste tempo observado a perturbação é amortecida e desaparece por volta de 20 ms após seu disparo (DUGAN, 2002).

Os transitórios oscilatórios podem gerar acoplamentos com os sistemas de comunicação, onde mesmo transitórios de baixa magnitude podem causar má operação ou ainda a falha de componentes. Nestes casos, devem-se utilizar tipos especiais de proteção específicos contra sobretensões transitórias como supressores de surto varistores, centelhadores, capacitores de surto, diodos tipo Zener, dentre outros, transformadores isoladores, filtros passa baixa e sistema para-raios (ZnO).

De acordo com Martinho (2009), a maneira comumente utilizada para limitar a magnitude da tensão transitória é transformar os bancos de capacitores do consumidor, utilizados para corrigir o fator de potência, em filtros harmônicos. Assim uma indutância em série com o capacitor irá reduzir a tensão transitória na barra do consumidor a níveis

aceitáveis. Já no sistema da concessionária, utiliza-se o chaveamento dos bancos com resistores de pré-inserção. Com a entrada destes resistores no circuito, o primeiro pico do transitório acaba amortecido e isto inibe a ação do fenômeno, que é o que causa maiores prejuízos.

### 3.2.3 Variações de tensões de curta duração

As variações de tensão de curta duração são ocasionadas por condições de falhas no sistema, mau contato, energização de grandes equipamentos que possuem a necessidade de alta corrente na partida ou ainda a desconexão intermitente de elementos do sistema. Em todos estes exemplos pode-se definir a existência da anomalia em função do período de duração em duas características distintas: momentâneas (inferior a 3 segundos) ou temporárias (3 segundos a 3 minutos). Estas variações na tensão da rede geram desbalanceamento da corrente no condutor que por sua vez pode provocar diversos problemas, como a queima de dispositivos, maior aquecimento das bobinas dos transformadores e motores, e assim reduzir sua vida útil. Estas anomalias podem ser caracterizadas observando a magnitude da variação de tensão que ocorre durante o período de variação. Sendo assim, as variações de tensão de curta duração são classificadas como interrupção, afundamento de tensão e elevação de tensão (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017).

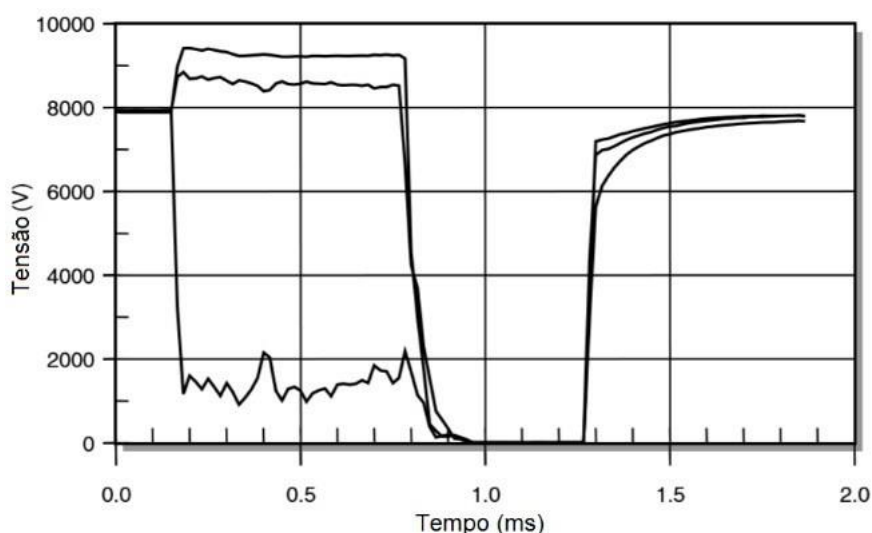
### 3.2.4 Interrupção

A interrupção ocorre quando a fonte de tensão ou a corrente na carga reduzem a 10% ou menos, dos valores nominais parametrizados. Para Dugan (2002), estes inconvenientes podem ter sua origem ocasionados por falhas no sistema, falha de equipamentos, ou defeitos em dispositivos de controle.

Martinho (2009) explica que, de acordo com estatísticas observadas no ano de 2003, aproximadamente 15% dos prejuízos envolvendo a perda de matéria prima em uma indústria que sofre uma interrupção, ocorrem nos primeiros instantes imediatamente após a falha, chegando a 60% dos custos se a interrupção se mantiver por mais tempo. Neste exemplo, Martinho (2009) utiliza como um segundo exemplo a interrupção de processos industriais relacionados à pintura e acabamento. Mesmo que seja uma interrupção atípica e inconstante ainda que dure poucos ciclos, a partir do momento em que o equipamento industrial interrompe seu funcionamento, todo o procedimento de retomada do processo produtivo pode

levar tempo, o que permitiria o ressecamento de tinta na estrutura do maquinário, demandando um prolongamento do período de parada para as limpezas e manutenções necessárias para a posta em marcha de toda a cadeia produtiva. A Figura 05 ilustra um momento de interrupção, provocado após um evento de afundamento de tensão.

Figura 05 - Interrupção de tensão decorrente de falha em sistema trifásico.



Fonte: DUGAN, (2002).

Conforme ilustra a figura 05, uma interrupção ocorrida em uma única fase de um sistema trifásico provocou o afundamento de aproximadamente 80% da tensão nominal da fase exposta ao evento, o que desencadeou uma instabilidade que se estendeu por aproximadamente 7 ms, provocando o acionamento de dispositivos de proteção, representados na leitura pela interrupção. Após decorrerem 4 ms, reativadores são acionados para restabelecer a conexão, e a tensão das três fases voltam aos valores nominais de operação, indicando que a falha foi solucionada após algum dispositivo (provavelmente o que provocou o evento inicial) ter sido desenergizado e religado DUGAN, (2002).

### 3.2.5 Afundamento de tensão

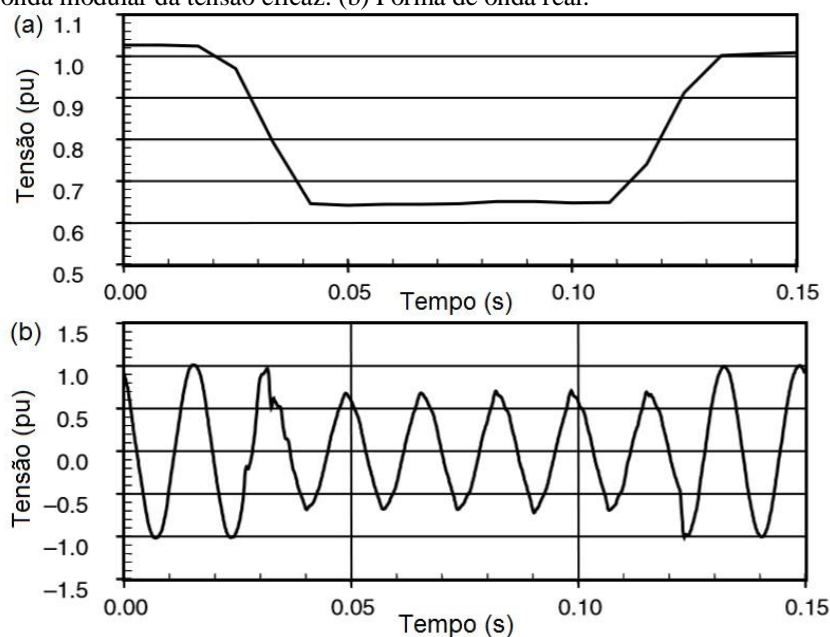
Trata-se da redução da tensão nominal na fonte ou corrente na carga para valores entre 10 e 90% desta referência. Afundamentos costumam estar relacionados com faltas no sistema de distribuição, mas podem também ser provocados pelo acionamento e energização de grandes cargas, como motores, linhas de produção em indústrias, e outros DUGAN, (2002).



Martinho (2009) alerta que este tipo de distúrbio pode afetar e comprometer o funcionamento, ou até mesmo a vida útil de equipamentos, principalmente aqueles micro controlados ou que dispõem de circuitos eletrônicos para seu funcionamento. Considerando ainda que dispositivos eletrônicos e computacionais fazem uso de memórias de acesso volátil, que se referem a memórias eletrônicas que são apagadas após serem desligadas qualquer comprometimento na energia que possa provocar o travamento ou o desligamento deste tipo de memória, levará à perda dos dados, o que pode comprometer o controle de processos, além da perda de segurança e produtividade o que também é defendido por Velloso (2011).

A Figura 06 ilustra graficamente o comportamento típico de um afundamento de tensão, apresentando as formas de onda do módulo da tensão eficaz, e a forma real da onda no sistema.

Figura 06 - Afundamento de tensão para 65% do valor nominal. (a) Forma de onda modular da tensão eficaz. (b) Forma de onda real.



Fonte: DUGAN, (2002).

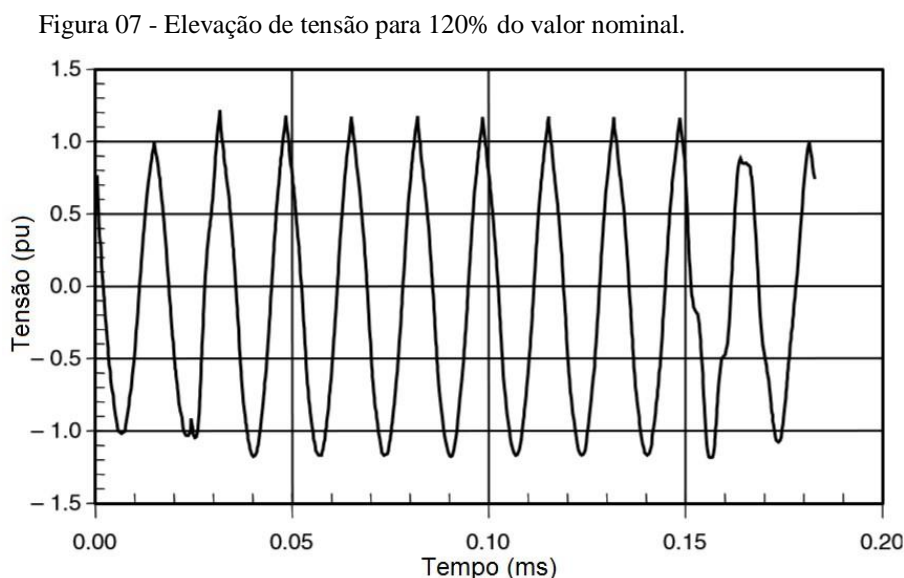
Este nível de afundamento é comum quando ocorrem faltas em alimentadores distintos dentro de um mesmo sistema de distribuição. Assim, no circuito diretamente ligado ao alimentador onde ocorreu a falta ocorre uma interrupção, e nos circuitos adjacentes ou indiretamente conectados ao ponto de falha pode ocorrer um afundamento, como o ilustrado na imagem. Com relação aos impactos provocados por afundamentos de tensão, Martinho (2009) comenta que dispositivos associados a Controladores Lógicos Programáveis – PLC's, dispositivos eletromecânicos, computadores, acionadores de corrente contínua, entre outros,

quando expostos a afundamentos de tensão, podem operar erroneamente, perdendo informações ou mesmo levando ao comprometimento dos processos a eles associados

### 3.2.6 Elevação de tensão

Também se refere a variação na tensão de fonte ou corrente de carga, mas para valores entre 110 e 180% do nominal, e podem acontecer durante uma falta de uma única fase em um sistema trifásico, como visto na Figura 5. Uma das fases sofreu um afundamento de tensão, enquanto as outras duas sofreram elevação (DUGAN, 2002).

A Figura 07 mostra o comportamento da tensão diante de uma falha monofásica em um sistema trifásico, visto em uma segunda fase ligada a este sistema.



Fonte: DUGAN, (2002).

A magnitude da elevação de tensão depende das condições de impedância do sistema, aterramento, e local da falta. Dugan (2002) cita que em um sistema não-aterrado, a tensão nominal das fases associadas a uma fase em curto-circuito chega a 1,73 pu. Em contrapartida, em uma situação de falta próxima a uma subestação de um sistema adequadamente aterrado, este efeito “resposta” de elevação de tensão chega a ser praticamente nulo, em que a tensão nominal das fases não afetadas pela falta não sofre qualquer variação relevante. A elevação da tensão pode ser extremamente destrutiva para um sistema elétrico podendo ocasionar queimas ou degradação de equipamentos.

### 3.2.7 Variação de tensão de longa duração

Todas as variações de tensão que ultrapassem 3 minutos, são tidas como variações de longa duração (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017). Neste caso, os parâmetros de definição do tipo de variação consideram as mesmas características da falha para eventos de curta duração, no entanto os eventos recebem nomes distintos, para diferenciá-los daqueles que incidem nas categorias do item anterior. Diferente do afundamento e elevação de tensão, os eventos de subtensão e sobretensão não são disparados por falhas pontuais no sistema. É mais comum que ocorram em decorrência de variações da própria carga ligada ao sistema, ou eventos de chaveamento de operação no sistema de distribuição.

### 3.2.8 Interrupção sustentada

A interrupção é assim chamada quando permanece por mais de 3 minutos. Normalmente, quando ocorrem são permanentes e requerem intervenção humana para restaurar o sistema à condição operacional. Martinho (2009) diferencia as interrupções sustentadas programadas das inesperadas. São programadas quando provocadas pelo agente de distribuição e fornecimento de energia, para procedimentos de manutenção ou determinadas manobras que demandam o desligamento do fornecimento. As interrupções inesperadas, por outro lado, ocorrem sem que possam ser antecipadas ou evitadas, como eventos decorrentes de descargas atmosféricas, ruptura de condutores por fenômeno natural ou acidente, entre outros.

Estas interrupções acarretam em paradas indesejadas de processos industriais e de sistemas.

### 3.2.9 Subtensão

Como sua contraparte de curta duração (afundamento de tensão), este evento representa a redução dos valores nominais de tensão para níveis de 10 a 90% deste valor, permanecendo nos baixos níveis por mais de 3 minutos. Os eventos mais comuns e que causam subtensão podem ser chaveamentos de carga, remoção de banco de capacitores de um sistema, ou até mesmo circuitos sobrecarregados. A queda de tensão pode, por exemplo, drenar a energia que um computador necessita para funcionar e causar diversos problemas,

como por exemplo congelamentos do sistema, panes inesperadas resultando em perda de dados, arquivos corrompidos ou comprometimento de uma determinada parte do computador.

### 3.2.10 Sobretensão

Abrange eventos de aumento da tensão nominal para valores que vão além de 110% do nominal, por mais de 3 minutos. Assim como as subtensões, as sobretensões podem ocorrer em função de chaveamento de grandes cargas, inserção de banco de capacitores na linha, impossibilitando a ação imediata de reguladores de tensão. Outros eventos que disparam sobretensões podem ser configurações incorretas de transformadores.

A exposição permanente ou prolongada a tensões elevadas costumam comprometer não apenas a estrutura elétrica das instalações comerciais, industriais ou residenciais, mas também afetam a vida útil dos equipamentos associados, podendo incidir em custos elevados de manutenção e substituição.

### 3.2.11 Desequilíbrio de tensão

Também chamado de Desbalanceamento de Tensão, refere-se à má distribuição das fases em um sistema, de forma que exista excesso de carga em uma ou mais fases, em relação à média geral do sistema DUGAN, (2002).

Parâmetro dado em valores percentuais, é possível ser calculado por meio da Equação 02 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017):

$$FD\% = \frac{V -}{V +} \times 100 \quad (2)$$

Sendo:

FD = Fator de Desequilíbrio

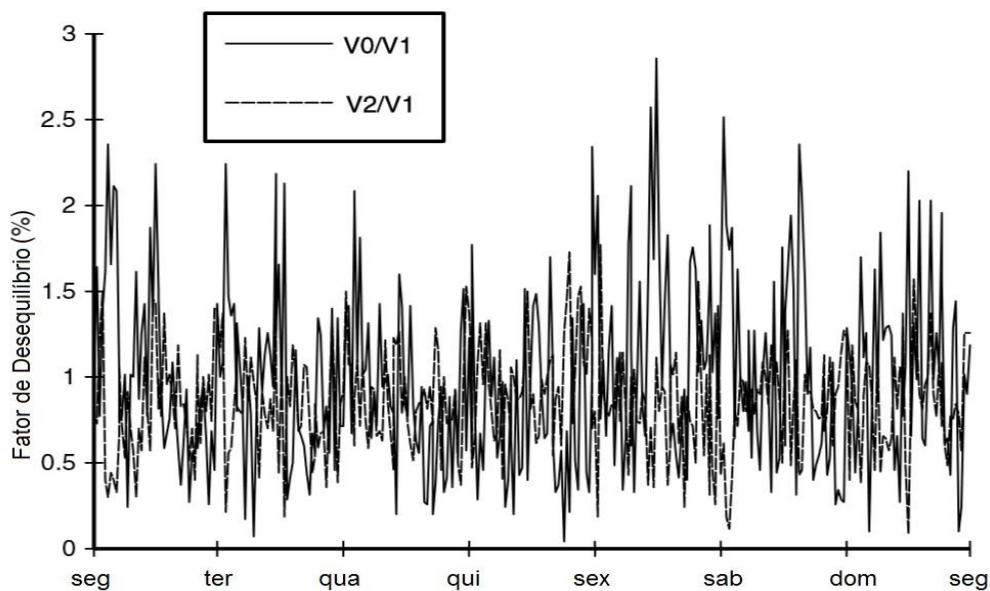
V<sub>-</sub> = Magnitude da tensão de seqüência negativa (eficaz) [V]

V<sub>+</sub> = Magnitude da tensão de seqüência positiva (eficaz) [V]

Deste desequilíbrio, podem resultar sobrecarga de componentes estruturais das instalações, o que exigiria investimentos além do necessário para condicionar o sistema a cargas que, se melhor distribuídas nos barramentos, poderiam ser evitados.

A Figura 08 apresenta um gráfico de desbalanceamento que alcança picos de quase 3%, em um consumidor residencial.

Figura 08 - Desequilíbrio de tensão em consumidor residencial



Fonte: DUGAN, (2002).

Este gráfico diferencia os valores relativos de tensão de duas fases (V0 e V2) em função de uma terceira fase (V1), usada como referência para este estudo específico de desequilíbrio de tensão. Para este tipo de descrição gráfica, ambas as linhas deveriam tender a permanecer em zero a maior parte do tempo, para que o sistema pudesse ser considerado ideal. Observando com mais atenção, percebe-se que a fase V0 tende a apresentar os maiores valores percentuais de desequilíbrio, chegando a aproximadamente 2,8% em determinados momentos entre sexta-feira e sábado.

### 3.2.12 Distribuição na forma de onda

Segundo Dugan (2002), trata-se de toda variação nas formas de onda em relação a uma fundamental, em termos de frequência, amplitude, forma, entre outros. Dentre os tipos de distorção na forma de onda, elencam-se os que seguem:

### 3.2.13 Offset corrente contínua

Refere-se à presença de sinal de tensão ou corrente contínua (CC) em um sistema de tensão ou corrente alternada (AC). A existência deste sinal característico faz com que a forma de onda seja deslocada sobre o eixo da amplitude, de modo que o valor médio de pico-a-pico, que em um sistema ideal seria zero, passe a ser um valor positivo ou negativo.

Pode resultar de distúrbios geomagnéticos, ou assimetria de conversores eletrônicos (DUGAN, 2002). Um exemplo é a presença de diodos retificadores de meia-onda em circuitos prolongadores da vida útil de lâmpadas incandescentes, os quais reduzem a tensão eficaz que chega à lâmpada. A existência de offset CC provoca o desgaste e redução da vida útil de transformadores, erosão eletrolítica em aterramentos em aterramentos e conectores.

### 3.2.14 Harmônicos

Pires (2010) afirma que harmônicos são, em essência, associados a perdas de energia e, por este motivo, além de terem limites estabelecidos dentro das normas nacionais e internacionais, devem ser considerados e controlados pelo consumidor. São alteração na frequência de sinais sinusoidais de tensão e corrente, em relação à frequência fundamental de operação referencial. A sobreposição de sinais harmônicos ao longo do sinal fundamental provoca alterações na forma de onda.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2017), utilizam-se as seguintes equações para medição da distorção harmônica individual (Equação 03) e total (Equação 04), para comparação com parâmetros preestabelecidos de referências globais.

$$DIT_h \% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (3)$$

$$DTT = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hMAX} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

$DIT_h$  = Distorção harmônica individual de tensão de ordem h

$DTT$  = Distorção harmônica total de

tensão  $V_h$  = Tensão harmônica de ordem h

[V]

$h$  = Ordem harmônica;

$h_{\text{máx}}$  = Ordem harmônica máxima

$V_1$  = Tensão fundamental medida [V]

A norma IEEE 519-1992 determina graus de tolerância de acordo com a susceptibilidade de cargas quando expostas a distorções harmônicas. Tratando de exemplos claros, cargas pouco susceptíveis são aquelas cuja operação é favorecida pela presença de harmônicos, como por exemplo cargas puramente resistivas, como duchas e aquecedores elétricos. Cargas muito sensíveis à presença de distorção harmônica são aquelas para as quais os projetos foram elaborados observando sinais puramente senoidais, e para as quais variações no espectro do sinal elétrico podem afetar a confiabilidade do trabalho realizado, como por exemplo circuitos eletrônicos de comunicação, processamento de dados, etc. O Quadro 03 apresenta uma síntese dos efeitos provocados pela presença de distorções harmônicas em elementos de um sistema elétrico. Todas as situações a seguir identificadas provocam não apenas o comprometimento da integridade física dos dispositivos ou dos processos a eles relacionados, mas também podem resultar diretamente em perdas financeiras (PIRES, 2010).

Quadro 03 - Efeito de harmônicos em componentes do sistema elétrico.

<b>Equipamento</b>	<b>Efeitos devido à presença de harmônicos</b>
Máquinas rotativas	Torque pulsante; ruído audível; sobreaquecimento; perda de vida útil do isolamento.
Condutores	Sobreaquecimento; diminuição na capacidade de condução de corrente.
Medidores de energia	Erro na tarifação.
Relés de proteção	Operação indevida; inoperância.
Capacitores	Ressonância; perda de vida útil do dielétrico.
Transformadores	Aumento das perdas nos enrolamentos, núcleo e componentes; sobreaquecimento.
Equipamentos eletrônicos	Maior susceptibilidade a afundamentos de tensão; perda de sincronismo em contadores digitais; imagens distorcidas nos tubos catódicos.
Iluminação	Diminuição da vida útil em lâmpadas incandescentes; ruídos audíveis em lâmpadas fluorescentes; flutuação de tensão.
Sistemas de telefonia	Ruídos audíveis

Fonte: Adaptado de Pires (2010).

Ainda segundo Pires (2010), as normas nacionais vigentes estabelecem índices e limites para a existência de distorções harmônicas na rede, os quais são descritos na Tabela 01 em função da ordem (múltiplo da frequência fundamental).

Tabela 01 - Limites globais harmônicos, em porcentagem da tensão fundamental.

<b>V &lt; 69 KV</b>			
<b>Ímpares</b>		<b>Pares</b>	
<b>Ordem</b>	<b>Valor por harm. (%)</b>	<b>Ordem</b>	<b>Valor por harm. (%)</b>
3, 5, 7	5	2, 4, 6	2
9, 11, 13			
15 a 25		≥ 8	1
≥ 27			

DTT = 6%

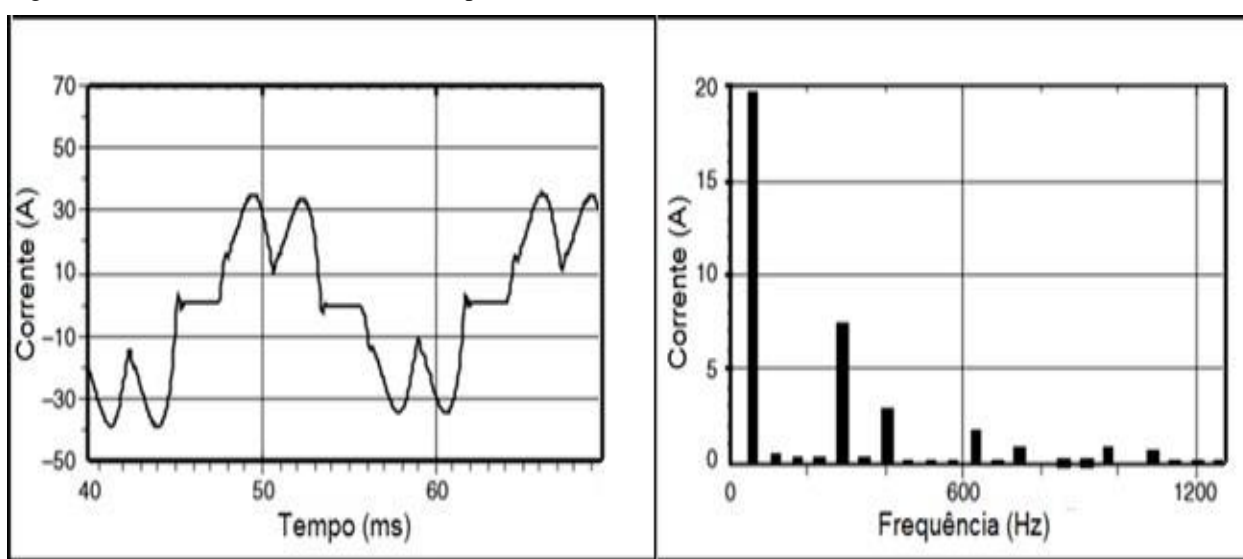
Fonte: adaptado de Pires (2010).



Pela tabela 01, as distorções totais de tensão em sistemas com valor nominal de tensão inferior a 69 KV não podem exceder em 6% do valor nominal e, para sistemas com tensão igual ou superior à tensão referenciada, os limites são reduzidos a 3%.

A Figura 09 demonstra a representação de harmônicos, descrevendo tanto a forma de onda da corrente no domínio do tempo (o que permite identificar a natureza periódica do sinal), quanto no domínio da frequência (permitindo identificar os valores modulares dos sinais harmônicos sobrepostos ao sinal fundamental).

Figura 09 - Forma de onda da corrente e espectro de harmônicos em um sistema.



Fonte: DUGAN, (2002).

Cada barra vertical do gráfico à direita representa o sinal em determinadas frequências (ordens), múltiplas da frequência fundamental e nominal da rede. Neste caso, tratamos como fundamental a frequência de 60 Hz. A primeira barra, mais longa, representa o valor do sinal em rms, sem distorções. A sobreposição dos sinais harmônicos associados ao sinal fundamental, criam a forma de onda ilustrada no gráfico à esquerda. (MARTINHO, 2009).

### 3.2.15 Interharmônicos

Este grupo compreende todos os harmônicos que não são múltiplos da frequência fundamental. Normalmente originados de conversores de frequência estática, fornos de indução, dispositivos que produzem arcos voltaicos, entre outros. Entre as percepções visíveis deste distúrbio, estão ruídos fracamente visíveis em lâmpadas fluorescentes, monitores, etc. DUGAN, (2002. p. 27)

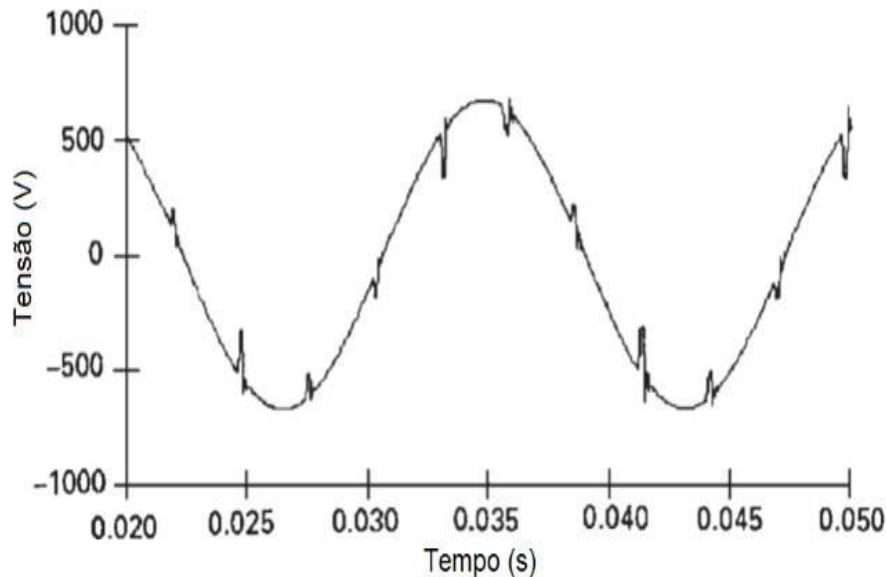
Por não serem múltiplos da frequência da rede, normalmente são desconsiderados em análises de qualidade de energia, devido à pequena influência em valores nominais e comerciais pertinentes às normas de tarifação e controle.

### 3.2.16 Recortes

De característica periódica, tratam-se de distúrbios oriundos da comutação da corrente entre fases diferentes. Por se tratar de um comportamento contínuo do sinal, o recorte é identificado por meio da análise de harmônicas, uma vez que ele próprio é também uma distorção harmônica. No entanto, por sua natureza e pelas altas frequências das componentes associadas, estes distúrbios podem não ser lidos corretamente por medidores de harmônicos e, por isso, costumam ser tratados como casos especiais. (MARTINHO, 2009).

Martinho (2009) também define o recorte como sendo micro variações percebidas no circuito ao longo de sua função senoidal. Estes podem ser percebidos graficamente na Figura 10.

Figura 10 - Exemplo de recortes de tensão em conversor trifásico.



Fonte: DUGAN, (2002).

Fica claro, ao observar o gráfico, que em determinados momentos de transposição de corrente entre fases do conversor trifásico, ocorre um curto circuito que tende a zerar a tensão, instantaneamente, comprometendo a qualidade do sinal. Em virtude do alto grau harmônico

associado a este efeito, o circuito sai do estado de recorte quase instantaneamente, não havendo tempo de zerar absolutamente o valor de tensão.

Entre seus efeitos indesejáveis, existe a interferência em altas frequências, o que pode afetar equipamentos mais sensíveis, podendo interromper seu funcionamento. O Quadro 04, elaborada por intermédio da IEEE-519-1992 trata dos limites máximos permitidos, da presença de recortes em consumidores individuais de baixa tensão. (MARTINHO, 2009).

Quadro 04 - Limites de recortes por tipo de aplicação.

<b>Classificação e limites de distorção de tensão para usuários individuais em baixa tensão</b>			
<b>Classe</b>	<b>DHT</b>	<b>Área (v-ms)</b>	<b>Recorte</b>
Aplicações especiais (hospitais, aeroportos)	3%	16400	10%
Aplicações gerais	5%	22800	20%
Aplicações dedicadas	10%	36500	50%

Fonte: MARTINHO, (2009)

Por solução, pode ser empregada a separação da carga que originam tal distúrbio, eliminando a presença do distúrbio do sistema como um todo. Esta ação, porém, não resolve o problema, apenas isola seus efeitos. Martinho (2009) também aconselha a substituição dos equipamentos causadores do distúrbio.

### 3.2.17 Ruídos

São definidos como sinais elétricos indesejáveis sobrepostos em condutores de sistemas de potência, ou encontrados em condutores neutros. Segundo Dugan (2002), podem ser provocados por dispositivos eletrônicos, circuitos de controle, cargas com retificador de estado sólido, entre outros. Basicamente, quaisquer distorções que não podem ser classificados como harmônicos ou transitórios, são tidos como ruídos. Este problema pode ser mitigado com o uso de filtros, transformadores isoladores, e condicionadores de linha como estabilizadores.

Difícilmente o ruído causa problemas muito graves em sistemas robustos. Os efeitos mais comuns são alguns travamentos no sistema, reinicializações esporádicas, distorções na imagem do monitor, etc. Porém, em um sistema informatizado os ruídos podem causar danos

aos dados analisados, recebidos ou enviados desencadeando assim uma má interpretação na leitura ou escrita de informações. Este fenômeno pode ainda produzir erros em arquivos.

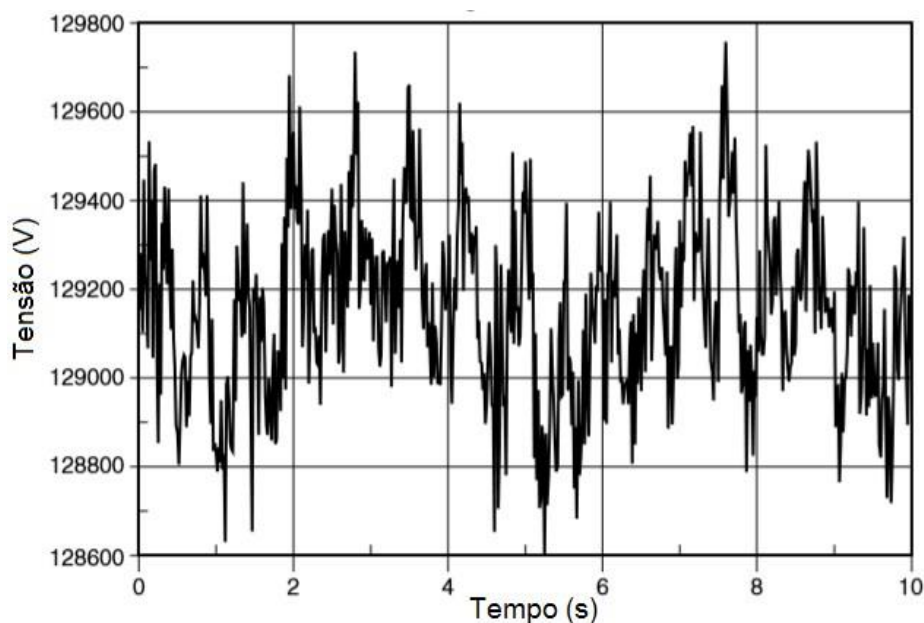
### 3.2.18 Flutuação de tensão

Referido na literatura também como *flicker* (DUGAN, 2002), termo derivado do inglês e que representa o efeito de “piscar” que lâmpadas apresentam quando o sistema onde estão inseridas recebe este tipo de distúrbio, trata-se de variações sistemáticas e intermitentes da forma de onda, ou mesmo mudanças aleatórias nas características da tensão, provocando um efeito oscilatório cíclico, percebido visualmente em dispositivos emissores de luz.

Quando se analisa a flutuação de tensão, as razões mais conhecidas para a existência destes fenômenos é a utilização de grandes cargas que consomem grandes volumes de energia reativa e que, quando não suportadas adequadamente pela potência de curto-circuito das redes, ocasionam afundamentos seguidos constantemente na tensão de alimentação. Uma outra razão é quando ocorre a mudança da fonte de alimentação, como a operação de uma mesma carga por geradores de “back-up” que possuem impedâncias maiores com uma potência de curto circuito menores que os transformadores que eles substituem em regime de geração de emergência.

O comportamento do sinal elétrico, em termos de valor eficaz, pode ser percebido na Figura 11. Pode-se perceber na imagem que o valor da tensão em um barramento oscila intensamente, dentro da faixa que compreende seu valor eficaz. Supondo um valor médio de 129,2 KV para o sistema simulado, tais variações chegam a aproximadamente 0,5% do valor referenciado, o que já é suficiente para provocar o *flicker*. Estas oscilações são normalmente originadas em equipamentos que operem por meio de arcos voltaicos, como por exemplo fornos industriais.

Figura 11 - Flutuação de Tensão.



Fonte: DUGAN, (2002)

A flutuação de tensão (cintilação), pode causar disfunções neurológicas e desconforto visual; quando uma pessoa é exposta de maneira contínua ao fenômeno pode sentir sintomas como dor de cabeça, cansaço visual, estresse mental e perda de concentração.

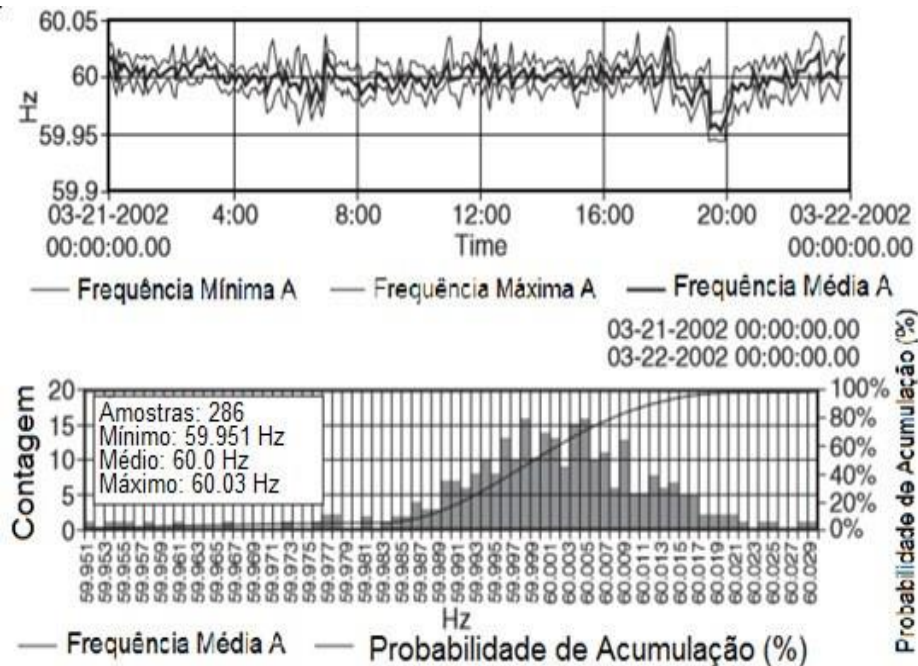
### 3.2.19 Variação de frequência

Diferente dos harmônicos, agrupados entre as Distorções de Forma de Onda, aqui as variações de frequência são tratadas a nível de geração. Para Dugan (2002), em redes de 50 ou 60 Hz, este fenômeno provoca ligeiras alterações nestes valores nominais, de modo a alterar completamente a forma como quaisquer dispositivos recebem os pulsos alternados da rede elétrica. A compreensão deste fenômeno fica clara na Figura 12.

Na Figura 12 percebemos as variações de frequência em um intervalo de 24 horas, em um determinado barramento de uma subestação. Enquanto o valor médio permanece em 60 Hz, pontualmente este valor oscila entre 59,95 e 60,05 Hz. Pode-se analisar também as descrições dos valores acumulados por faixa de frequência, ficando clara a predominância sobre o valor médio de 60 Hz.

Estas variações de frequência, mesmo que sejam incomuns e tratadas antes de chegar ao consumidor final, podem provocar erro em sistemas que dependem da frequência fundamental da rede para operações de controle.

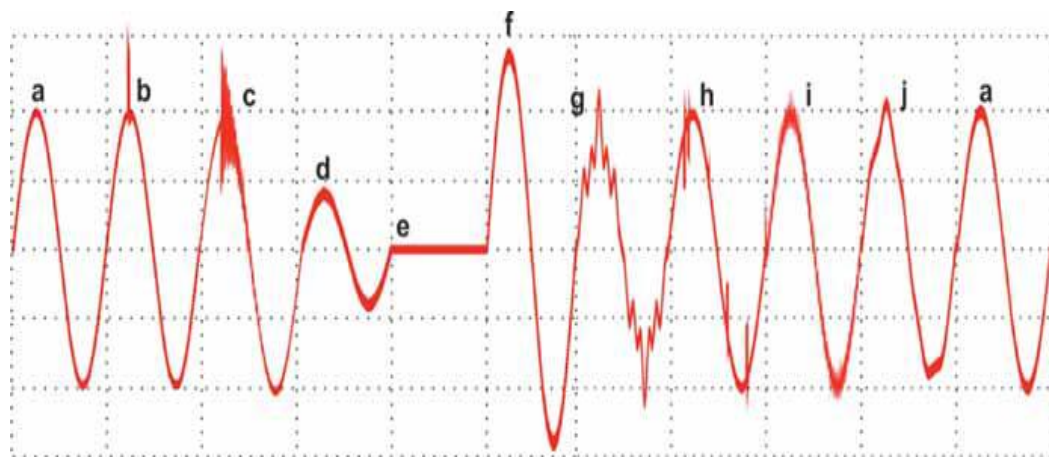
Figura 12 - Variações na frequência da rede em uma determinada fase A.



Fonte: DUGAN, (2002)

Sendo de fundamental importância entender os fenômenos, podem-se ver os principais fenômenos associados são mostrados na Figura 13.

Figura 13 – Fenômenos associados à QEE



Fonte: PAULILLO, G.; TEIXEIRA, M. D.; BACCA, (2010)

Pode-se observar que as letras a, b, c, d, e, f, g, h, i e j, representadas por, a) Tensão senoidal, b) Transitório impulsivo, c) Transitório oscilatório, d) Afundamento de tensão, e) Interrupção, f) salto de tensão, g) Harmônico, h) Recortes, i) Ruídos e j) Inter-harmônico. Com a figura 13 pode-se observar todas os fenômenos agrupados, e suas respectivas formas de onda.

### 3.3 Síntese das categorias e características dos fenômenos eletromagnéticos

O Quadro 05, apresentada por Dugan (2002), sintetiza de maneira clara todos os fenômenos tratados, com seus parâmetros típicos de duração e magnitude de tensão

Quadro 05 - Categorias e características dos fenômenos eletromagnéticos.

	Categorias	Duração Típica	Magnitude Típica de Tensão
1	Transitório		
1.1	Impulsivo - -		
1.1.1	Nanosegundos	<50ns	
1.1.2	Microsegundos	50 ns – 1 ms	
1.1.3	Milisegundos	> 1 ms	
1.2	Oscilatório - -		
1.2.1	Baixa frequência	0,3 – 50 ms	0 – 4 pu
1.2.2	1.2.2 Média frequência	20 $\mu$ s	0 – 8 pu
1.2.3	Alta frequência	5 $\mu$ s0 –	4 pu
2	Variação de curta duração - -		
2.1	Instantânea - -		
2.1.1	Interrupção	0,5 – 30 ciclos	< 0,1 pu
2.1.2	Afundamento	0,5 – 30 ciclos	0,1 – 0,9 pu
2.1.3	Elevação	0,5 – 30 ciclos	1,1 – 1,8 pu
2.2	Momentânea - -		
2.2.1	Interrupção	30 ciclos – 3 s	< 0,1 pu
2.2.2	Afundamento	30 ciclos – 3 s	0,1 – 0,9 pu
2.2.3	Elevação	30 ciclos – 3 s	1,1 – 1,4 pu
2.3	Temporária - -		
2.3.1	Interrupção	3 s – 1 min	< 0,1 pu
2.3.2	Afundamento	3 s – 1 min	0,1 – 0,9 pu
2.3.3	Elevação	3 s – 1 min	1,1 – 1,2 pu
3	Variação de longa duração - -		
3.1	Interrupção sustentada	> 1 min	0,0 pu
3.2	Subtensão	> 1 min 0,8 –	0,9 pu
3.3	Sobretensão	> 1 min 1,1 –	1,2 pu
4	Desbalanceamento de tensão Permanente	0,5 – 2%	

5	Distorção na forma de onda -	- 5.1	Offset CC	Permanente	0 0,1
	%				
5.2	Harmônicos			Permanente	0 – 20%
5.3	Interharmonicos			Permanente	0 – 2%
5.4	Recorte Permanente –				
5.5	5.5 Ruído			Permanente	0 – 1%
6	Flutuação de tensão	Intermitente	-		
7	Variações de frequência		< 10 s	-	

---

Fonte: DUGAN, (2002).

Cabe ressaltar que todos os fenômenos listados são analisados individualmente, no entanto ocorrem simultaneamente em sistemas reais e, por este motivo, é imprescindível a decomposição dos sinais medidos e a identificação clara de cada uma das situações descritas, de modo a assegurar a correta descrição de cada fenômenos



#### **4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ACERCA DA MODELAGEM ESTATÍSTICA DE INDICADORES E RESULTADOS**

Por meio da verificação das ocorrências de fenômenos eletromagnéticos que produzam os distúrbios descritos anteriormente é possível avaliar melhorias e implementar soluções que analisem os diversos indicadores considerados pelas normas vigentes, e em consequência há redução de custos e desperdícios no consumo de energia elétrica. No entanto, a simples coleta dos dados pertinentes sem o necessário tratamento não é suficiente para que os argumentos de melhorias possam ser apresentados à empresa, ou à parte interessada na análise. Martinho (2009) sugere que não basta apenas coletar os dados, mas também compreendê-los e, principalmente, torná-los compreensíveis às pessoas interessadas, as quais muitas vezes não possuem conhecimentos técnicos necessários para realizar esta interpretação ou tratamento dos valores levantados. Ainda, se faz importante o uso de ferramentas estatísticas no sentido de qualificar o grupamento dos dados coletados, assegurando a correta representação amostral de tais registros, configurando uma assertividade minimamente coerente com o tipo de informação produzida a partir destes dados tratados.

Neste ponto, cabe ao engenheiro que realiza a análise, ponderar os dados e trata-los no sentido de que possam ser apresentados de forma coerente e compreensível a um interlocutor potencialmente leigo nos termos técnicos, sendo mantida a confiabilidade dos dados representados. O tratamento dos dados pode ser realizado de diversas formas, mas que em essência partem de modelos estatísticos, sendo uma importante ferramenta estatística que permite atribuir confiabilidade ao processo de tratamento dos dados o chamado Desvio Padrão Amostral (MARTINHO 2009).

## 5 DESVIO PADRÃO AMOSTRAL

Trata-se de um tipo de medida de variação que, de acordo com Triola (2008), representa um desvio médio a partir da média aritmética, que por sua vez é um tipo de medida de centro. Em outras palavras, é uma representação da variação dos termos reais medidos, em torno da média aritmética destes valores. Necessariamente, um grupo elevado de valores reais coletados por meio de medição instrumental apresentará variações em termos de valores absolutos. Apresentar estes valores em um relatório ou laudo, de forma compreensível e compacta, demanda o tratamento dos dados. Assim, após a coleta e tabulação dos dados, estes são submetidas ao modelo estatístico representado pela Equação 05, que determinará sua média aritmética:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (05)$$

Onde:

$\bar{x}$  = Média aritmética dos valores amostrais;

$n$  = Quantidade de valores no conjunto de dados amostrais;

$\sum$  = Operador matemático Somatório;

$x_i$  = Cada um dos valores amostrais coletados.

Tais valores amostrais, submetido a um somatório e posterior divisão pela quantidade de dados, gera um único valor que representa a média aritmética de todo o conjunto de dados. Após o cálculo da média aritmética, e de posse de seu valor e dos dados originais, realiza-se uma nova operação estatística necessária para o cálculo do desvio padrão amostral, através da Equação 06:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (06)$$

Sendo:

$S$  = Desvio padrão amostral;

$\sum$  = Operador matemático Somatório;

$x_i$  = Cada um dos valores amostrais coletados;

$\bar{x}$  = Média aritmética dos valores amostrais;

$n$  = Quantidade de valores no conjunto de dados amostrais.

Por meio da definição de um valor médio dos conjuntos de dados amostrais, associado a um determinado desvio padrão amostral, é possível enquadrar estas médias aritméticas agrupadas dentro de indicadores e regras estabelecidas em norma. Toda informação numérica apresentada considerando um desvio padrão amostral, é capaz de melhor representar toda a população de dados relacionados à medição realizada, uma vez que considera, em torno da média aritmética, uma variação real de valores. Além disso, dados complexos tratados dessa forma, apresentados a pessoas que não tenham uma profunda compreensão técnica dos fenômenos, tornam-se intuitivamente compreensíveis.

Todos os dados coletados e tratados no estudo de caso a seguir foram submetidos às técnicas e ferramentas estatísticas apropriadas.

## **6 ESTUDO DE CASO**

Para que seja possível aplicar de uma maneira efetiva e conclusiva os conceitos propostos e os fenômenos estudados, foi realizado um estudo de caso numa empresa que atua no ramo hoteleiro oferecendo serviços de hospedagem localizada na cidade de Boa Esperança – MG. Sabendo que é grande a dificuldade de se observar e descrever todos os detalhes e fenômenos do estabelecimento estudado vale salientar que há no local diversas cargas indutivas como motores elétricos, aparelhos de ar condicionado, eletrodomésticos dentre outros utensílios elétricos utilizados no dia a dia.

### **6.1 Identificando o problema**

Depois de realizar análises na rede de distribuição interna do estabelecimento, foi verificado que havia muita queima de motores elétricos. Este problema estava trazendo muito prejuízo para o proprietário uma vez que era necessário a troca dos equipamentos em um curto espaço de tempo. Além da queima de motores, ocorria também o desligamento da rede na planta, o disjuntor principal do estabelecimento estava desarmando com a mesma intermitência com que se queimava os motores. Outra anomalia encontrada foi a intermitência dos eventos que não aconteciam o tempo todo, mas dias sim e dias não, o que justificou a utilização de uma aparelhagem específica com o intuito de encontrar discrepâncias na rede e solucionar de uma vez por todas estes problemas.

### **6.2 Metodologia e parâmetros de medição**

Para validar os dados e confirmar as anomalias e não conformidades na rede elétrica, foi utilizado o analisador de energia PowerLogic® ION7650, de fabricação da empresa Schneider Electric, conforme mostra a Figura 12 para a medição, coleta e armazenamento dos dados referentes a rede local.

Figura 14 - Analisador PowerLogic® ION7650.



Fonte: O autor.

Este equipamento foi instalado junto aos barramentos de entrada da empresa, após o medidor da concessionária de energia. Este local foi escolhido por concentrar todas as demandas de cargas do estabelecimento onde, por lógica, seriam percebidas todas as anomalias da rede, como um todo, já que todos os equipamentos apresentavam algum tipo de falha ou problema relacionados a carga de energia. A instalação do equipamento instalado pode ser vista na Figura 15.

Figura 15 – Instalação do analisador PowerLogic® ION7650.



Fonte: o autor.

De acordo com o módulo 8 do PRODIST, que estabelece os indicadores de qualidade de energia elétrica relacionados aos fenômenos eletromagnéticos, foram definidos os parâmetros a serem analisados e estudados e, dessa maneira, embasando-se na norma, foram selecionados os dados do local para relação das possíveis anomalias e problemas alegados pelos representantes da empresa, foram escolhidos os seguintes parâmetros para dar corpo ao estudo de caso:

- a) Sobre Tensão;
- b) Sub Tensão;
- c) Sobre corrente;
- d) Subcorrente.

Cada um dos parâmetros escolhidos obedece certos critérios, ou estão submetidos a determinados limites estabelecidos pela própria norma (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017). A seguir, encontram-se descritos cada um deles

#### 6.2.1 Sobre tensão e sub tensão

Pode-se definir como sobretensão quando a rede ou qualquer outra fonte de eletricidade excede o seu valor nominal. Sendo assim, por algum motivo, a tensão elétrica excede o valor previsto para uma determinada instalação e no momento em que houve esse pico de corrente ou aumento de tensão chama-se de sobretensão.

Já a sub tensão subtensão acontece quando a concessionária de energia local, por algum problema em seu sistema, esteja fornecendo uma energia abaixo dos limites padrões estabelecidos para a região. Exemplo: A tensão da região é 115V e na medição esteja chegando abaixo deste valor, como 100V, 90V etc.

### 6.2.2 Níveis de tensão em regime permanente

De acordo com o PRODIST no Módulo 8, são estabelecidas as faixas de valores de tensão, onde podem ser caracterizadas como adequada, precária ou crítica, conforme mostra a Tabela 02:

Tabela 02 - Faixa de classificação para pontos de conexão em tensão nominal igual ou inferior a 1kV (240/127).

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) (Volts)
Adequada	$(221 \leq TL \leq 252) / (110 \leq TL \leq 126)$
Precária	$(209 \leq TL < 221 \text{ ou } 252 < TL \leq 254) / (104 \leq TL < 110 \text{ ou } 126 < TL \leq 127)$
Crítica	$(TL < 209 \text{ ou } TL > 254) / (TL < 104 \text{ ou } TL > 127)$

Fonte: (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2017).

### 6.2.3 Sobre corrente e subcorrente

De acordo com o PRODIST pode-se denominar corrente elétrica todo movimento ordenado de partículas eletrizadas. Para que esses movimentos ocorram é necessário haver tais partículas – íons ou elétrons – livres no interior dos corpos. Corpos que possuem partículas eletrizadas livres em quantidades razoáveis são denominados condutores, pois essa característica permite estabelecer corrente elétrica em seu interior.

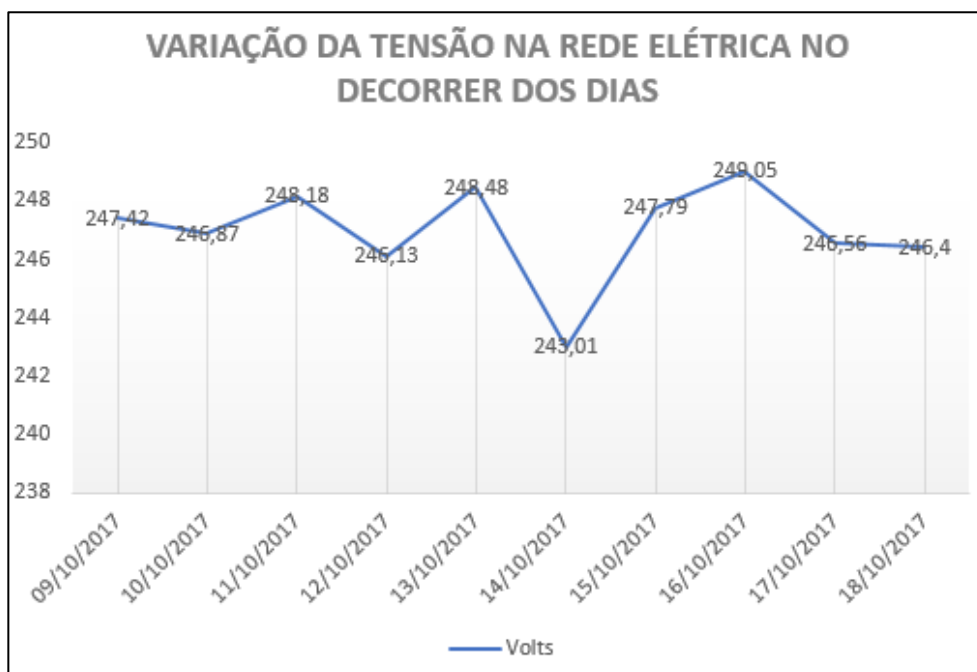
Sendo assim, sobre corrente é toda anomalia na rede relacionada a variação da corrente para um valor mais alto que o esperado para um circuito.

Com isso, subcorrente é o fenômeno inverso, quando a variação do fluxo de elétrons ocorre em um valor inferior ao que está determinado para a rede em uso.

### 6.3 Coleta dos dados e análise dos resultados

Foi instalado o equipamento medidor logo nos barramentos de entrada da empresa, à jusante do medidor da concessionária para a coleta dos dados a serem analisados onde permaneceu por 8 dias. Este período se deve ao fato de que, em diversos momentos, a norma pondera sobre o número de leituras válidas para avaliar determinado fenômeno. O período considerado para análise é de 09/10/2017 a 18/10/2017.

Gráfico 01 – Variação Da Tensão Elétrica Na Rede Analisada



Fonte: O autor

#### 6.3.1 Análise de tensão nas fases

Os dados coletados foram agrupados em termos de horas do dia conforme apresentados no Gráfico 01, possibilitados pela leitura da rede realizada com o analisador apropriado. Neste gráfico pode-se analisar que não há discrepância nos valores de tensão medidos, mesmo que a tensão se comporta em um valor acima dos 240 Volts que a concessionária entrega, ainda assim tem-se uma tensão média em torno de 245 Volts com valores oscilando entre 243 Volts a 247 Volts aproximadamente, que está dentro do range de 15% que a concessionária



permite . Já no Gráfico 02, analisando a tensão na rede em dia e horários de pico, a oscilação de tensão fica entre 243 Volts e 249 Volts.

Se relacionarmos as análises realizadas no local em seus horários de funcionamento consegue-se perceber que, mesmo em alta demanda, a tensão sofre o mínimo de variação em relação ao seu valor entregue pela concessionária, 08 Volts em média. Percebe-se que no horário das 18:00 horas é o ponto de maior queda de tensão, isso acontece nos horários ponta que todas as redes elétrica são de maior exigência, e de contra partida às 6:00 horas da manhã possui um pico de tensão de 248 volts, e isso provém de uma menor exigência podendo chegar até em 276 volts, que é o acréscimo que a concessionária especifica para clientes de zona rural. Gráfico 02 deve-se observar, neste caso, que mesmo mantendo uma média de tensão, o valor está 13% acima do valor nominal de cada aparelho elétrico do estabelecimento, mais que está dentro do percentual que a concessionária pode oscilar.

Gráfico 02 – Oscilação Da Tensão Elétrica No Dia de Pico

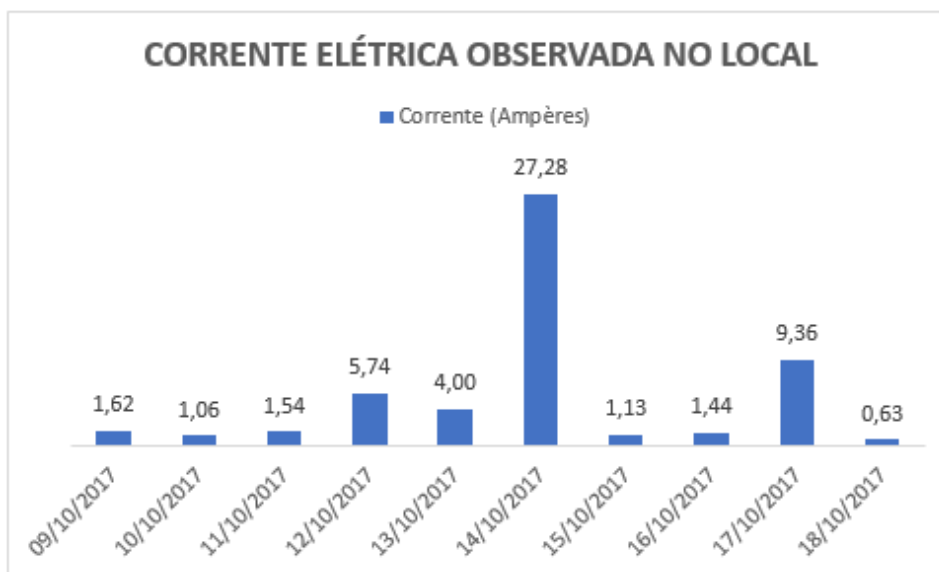


Fonte: O autor.

### 6.3.2 Análise de corrente nas fases

Nos gráficos 3, 4 e 5 podemos analisar a corrente elétrica encontrada no local como uma média e em cada fase, o que acaba revelando algumas oscilações. O Gráfico 03 nos mostra a corrente média consumida no estabelecimento em todo o tempo de análise o que proporciona uma visão mais ampla e detalhada dos dias de maior e menor consumo.

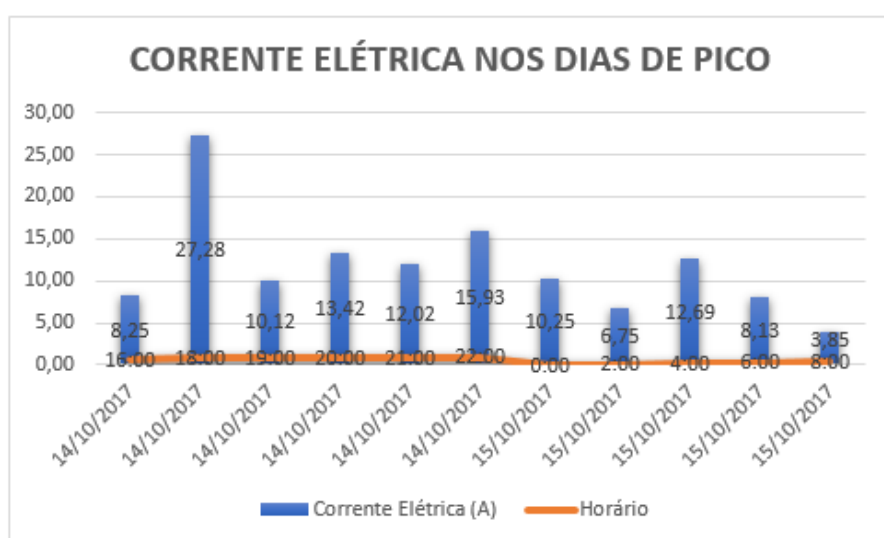
Gráfico 03 – Oscilação Da Corrente Elétrica Na Rede Analisada



Fonte: O autor.

No dia 14/10/2017 pode se observar um acréscimo na corrente causado por um “dia de pico”, ou seja, esse aumento aconteceu em uma sábado em que o estabelecimento estava com maior demanda de clientes, que por sua vez, esse aumento é simbolizado. A corrente média consumida no estabelecimento pode ser vista no Gráfico 04 e conseguimos ver também em quais horários ocorreram, maiores demandas, que por sua vez, no horário das 18:00 horas já existiam clientes no estabelecimento e acionamentos de elétricos eletrônicos, lâmpadas e maquinas de uso doméstico.

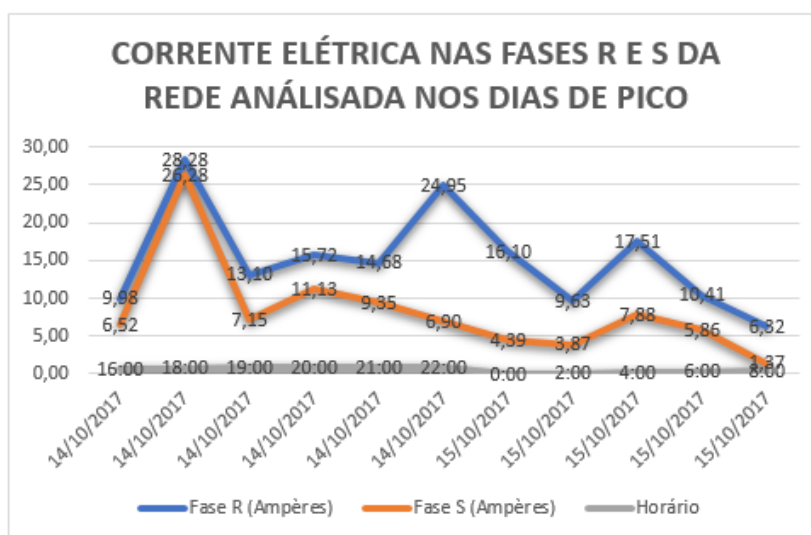
Gráfico 04 – Corrente Elétrica Media Analisada Nos Dias De Pico



Fonte: O autor.

Já o Gráfico 05 nos mostra o comportamento da corrente elétrica mediada em cada fase e, neste caso, nos horários de pico e ao longo do dia pode-se observar o distanciamento da corrente elétrica entre as fases principalmente nos horários em que houve uma maior utilização dos utensílios do estabelecimento. Este tipo de desbalanceamento na rede se reflete ao um mau dimensionamento entre as fases, que por sua vez pode-se fazer uma análise futura, mais se tratando de um horário específico se reflete a utilização de suítes que esta fechada em grupo de uma determinada fase ou mais específico a “fase R”. Descrevendo melhor o gráfico 5, esse desbalanceamento foi devido ao horário de pico que certamente cargas diferentes acionadas em fases diferentes da instalação.

Gráfico 05 – Corrente Elétrica Analisada Em Cada Fase Nos Dias De Pico



Fonte: O autor.

#### 6.4 Solução e proposta dos problemas identificados

Como solução para os problemas encontrados, foi acertado com o cliente que, de início, substituísse seus motores queimados por uma marca com maior credibilidade no mercado. Sendo assim o cliente optou por experimentar motores da marca WEG. Essa solução foi indicada por entender que os motores utilizados até então apresentavam uma baixa isolamento o que propiciava uma queima das bobinas de maneira mais fácil. Depois de substituir os motores não houve mais queima destes, porém continuou a ocorrer o desarme dos disjuntores. Foi solicitado então, junto a concessionária de energia, uma análise da rede elétrica sob responsabilidade da mesma onde foi encontrado não conformidades em uma cruzeta isoladora em um dos postes de eletricidade próximos ao estabelecimento. Outro

problema encontrado na rede foi a presença de vegetação densa o que acabava por fechar curto circuito com a rede e está sobrecorrente acabava por descarregar nos motores dentro do estabelecimento proporcionando a queima dos motores.

Como solução, a concessionária substituiu a cruzeta e os isoladores da rede no poste com defeito e cortaram a vegetação que estava encostando nos cabos. Estas medidas, somadas com as medidas de melhoria dentro do estabelecimento como a troca de equipamentos por marcas de melhor credibilidade acabaram por eliminar todas as queimas de motores no estabelecimento.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em função dos danos do local serem queimas de motores, e, em nenhum momento na fatura foi identificado algum tipo de reativo, o engenheiro que acompanhou optou em fazer uma varredura detalhada apenas na tensão e na corrente, e, foi feita então uma análise voltada para tensão e corrente pois somente pico de tensões ou pico de correntes poderiam ocasionar a queimas de motores.

De acordo com todo o conhecimento adquirido com o referencial teórico e estudos sobre o tema apresentado, espera-se como resultado, encontrar a presença de sub tensão, sobretensão, subcorrente e sobrecorrente na rede elétrica analisada além de entender o comportamento da eletricidade nos dispositivos encontrados no referido estabelecimento. Havia no estabelecimento analisado uma alta demanda de compra de equipamentos novos ocasionada por queima de motores elétricos e dispositivo eletroeletrônicos onde se especulava a existência de uma suposta sobrecorrente ou subtensão na rede do local. A princípio, com uma pré análise no local, ficou entendido que poderia estar ocorrendo algum tipo de curto circuito entre as fases desencadeando os problemas relatados que, dessa forma, explicaria uma sobrecorrente nos terminais de ligação destes equipamentos. Sendo assim, para melhor atender o cliente foi solicitado a troca dos motores que estavam instalados na planta da empresa, com isolamento ruim e diminuindo sua vida útil, quando falamos em diminuição da vida útil do motor, não nos referimos as temperaturas elevadas, quando o isolante se queima e o enrolamento é destruído repentinamente.

Vida útil da isolação ( em termos de temperatura de trabalho, bem abaixo daquela em que o material se queima ), refere-se ao envelhecimento gradual do isolante, que vai se tornando ressecado, perdendo o poder isolante, ate que não suporte mais a tensão aplicada e produza o curto-circuito.

Para motores que compõem as seguintes características, motores da marca WEG de ½ cv, 4 pólos, 60Hz, tensão em 220V, motores com sobrelevação de temperatura  $\Delta T$  (105k) e com o sistema de isolação para atender as varias exigências do mercado e aplicações específicas, aliadas a um excelente desempenho técnico, nove sistemas de isolação são utilizados nos diversos motores WEG. O fio circular esmaltado é um dos componentes mais importantes do motor, pois é a corrente elétrica circulando por ele que cria o campo magnético necessário para o funcionamento do moto. Durante a fabricação do motor, os fios são submetidos a esforços mecânicos de tração, flexão e abrasão. Em funcionamento, os efeitos térmicos e elétricos agem também sobre o material isolante do fio. Por essa razão, ele

deve ter uma boa isolamento mecânica, térmica e elétrica. O esmalte utilizado atualmente nos fios garante essas propriedades, sendo a propriedade mecânica assegurada pela camada externa do esmalte que resiste a forças de abrasão durante a inserção do mesmo nas ranhuras do estator. A camada de esmalte interna garante alta rigidez dielétrica e o conjunto atribui classe 200 °C ao fio (UL File E234451). Esse fio é utilizado em todos os motores classe B, F e H, com exceção dos motores acionados por inversores de frequência.

## 8 CONCLUSÃO

Para um planeta que demanda cada vez mais o consumo de energia, neste caso, a elétrica, é necessário uma busca contínua por sistemas mais eficientes de geração, transmissão e distribuição. Esta necessidade é importante principalmente para o consumidor para que possam desfrutar de uma energia elétrica dentro dos padrões de qualidades estabelecidos e que, além disso, consigam aproveitar melhor todos os recursos e tecnologias disponíveis para garantir que a energia elétrica possa atender toda a sua demanda sem interrupções.

No presente trabalho foi realizado um estudo sobre a qualidade da energia em um estabelecimento comercial e, de acordo com os problemas e falhas encontrados no local, feito uma análise de como todas estas anomalias poderiam ser solucionadas para garantir a melhor qualidade da energia, o melhor aproveitamento da energia entregue e o melhor dimensionamento de todas as unidades consumidoras desta eletricidade no estabelecimento. No decorrer das análises e observações no local foram encontradas quedas de energia, fuga de corrente elétrica, picos de correntes e quedas singelas de tensão na rede. Todos estes eventos foram condizentes com as demandas de energia em diferentes horários de funcionamento. No período de análise não houve queda de tensão nem queima de equipamentos porem este era um problema recorrente e deveria ser solucionado.

Para a solução, foi proposta uma verificação da rede de distribuição externa pelos profissionais da concessionária distribuidora de energia no local onde verificaram a presença de galhos e trepadeiras em postes de sua responsabilidade que, quando havia chuvas e ventos, drenavam parte da energia nos cabos ou ocasionavam curto circuito na rede próxima ao estabelecimento.

Feito a manutenção por parte da concessionária não houve mais problemas de queima de motores conforme vinha ocorrendo no estabelecimento e, dessa maneira, corrigido com uma alternativa relativamente simples e altamente funcional, com uma manutenção preventiva na rede de distribuição externa e aterramento correto em equipamentos internos.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST**. Revisão 10 de 01/01/2018. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8\\_Revis%C3%A3o\\_7.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_7.pdf)>. Acesso em: 10 de Maio de 2018
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>>. Acesso em: 11 de outubro de 2017.
- CALDAS, Geraldo P. **Concessões de Serviços Públicos de Energia Elétrica face à Constituição Federal de 1988 e o Interesse Público**. 2. ed. Curitiba: Juruá. 2006. 276 p.
- DUGAN, R. C. et al. **Electrical Power Systems Quality**. 2. ed. New York: McGrawHill. 2002. 521 p.
- GOMES, João P. P.; VIEIRA, Marcelo M. F. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. **Revista de Administração Pública**. Rio de Janeiro: V. 43, N.2. p. 295 – 321, 2009. Disponível em: <<http://WWW.sielo.br/pdf/rap/43n2/43n2a02.pdf>> Acesso em 2017.
- MARTINHO, Edson. **Distúrbios da energia elétrica**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2009. 140 p.
- PIRES, Igor A. Efeitos de harmônicos no sistema de distribuição e limites segundo as principais normas nacionais e internacionais. **Revista O Setor Elétrico**, edições 49, 50 e 51. Atitude Editorial Publicações Técnica Ltda. 2010. p. 36 – 41. Disponível em <<https://www.osetoelettrico.com.br/capitulo-ii-efeitos-de-harmonicos-no-sistema-de-distribuicao-e-limites-segundo-as-principais-normas-nacionais-e-internacionais-parte-i/>> Acesso em 2017
- SADIKU, Matthew N. O. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 874 p.
- TRIOLA, Mario F. **Introdução à Estatística**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 696 p.
- WEG. **Capacitores para correção do fator de potência**, 2016. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-capacitores-para-correcao-do-fator-de-potencia50009818-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 06 de outubro de 2017.
- WEG. **Motores elétricos W21**, 2018. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net:80/files/wegnet/WEG-w22-motor-trifasico-tecnico-mercado-brasil-50023622-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 31 de outubro de 2018.
- PAULILLO, G.; TEIXEIRA, M. D.; BACCA, I. Qualidade da energia elétrica, 2010. **Revista O Setor Elétrico**, edição 93. Atitude Editorial Publicações Técnica Ltda. 2013. P.44 Disponível em <[http://www.osetoelettrico.com.br/wp-content/uploads/2013/11/ed-93\\_Fasciculo\\_Cap-X-Qualidade-de-energia.pdf](http://www.osetoelettrico.com.br/wp-content/uploads/2013/11/ed-93_Fasciculo_Cap-X-Qualidade-de-energia.pdf)> Acesso em 2018.