

**FACULDADE DOCTUM  
ISRAEL KENNEDY LIMA SILVA**

**ESTUDO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES: ANÁLISE DE  
QUALIDADE E SEGURANÇA**

Juiz de Fora  
2019

**ISRAEL KENNEDY LIMA SILVA**

**ESTUDO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES: ANÁLISE DE  
QUALIDADE E SEGURANÇA**

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial para conclusão do curso de Engenharia Elétrica

Orientação: Prof<sup>a</sup>. Kamila Peres Rocha

Juiz de Fora  
2019

**Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Faculdade Doctum/JF**

SILVA, Israel Kennedy Lima.  
Estudo de Instalações Elétricas Hospitalares: Análise de  
Qualidade e Segurança  
Israel Kennedy Lima Silva, Juiz de Fora, 2019  
64f.

Monografia (Curso de Engenharia Elétrica) –  
Faculdade Doctum Juiz de Fora.

1. Instalação Elétrica. 2. Qualidade e Segurança  
I. Estudo de Instalações Elétricas Hospitalares: Análise  
de Estudo e Segurança. II Faculdade Doctum Juiz de  
Fora

**ISRAEL KENNEDY LIMA SILVA**

**ESTUDO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES: ANÁLISE DE  
QUALIDADE E SEGURANÇA**

Monografia de Conclusão de Curso,  
submetida à Faculdade Doctum de Juiz de  
Fora, como requisito parcial à obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia Elétrica e  
aprovada pela seguinte banca  
examinadora.

---

Prof<sup>a</sup>. Orientador (a) (MSc. Kamila Peres Rocha)  
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

---

Prof<sup>a</sup>. (MSc. Daniele Pires Magalhães)  
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

---

Prof. (Me. Mozart Ferreira Braga Júnior)  
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Examinada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_.

## **AGRADECIMENTOS**

Os meus agradecimentos primeiramente a Deus que me proporcionou saúde, força e inteligência. Aos meus pais Carlos e Madalena pelo amor, carinho e apoio que recebi para a realização desse sonho e à minha irmã Eng.(a) Prod. Carla Polyana pelas palavras de incentivo.

## RESUMO

ESTUDO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS HOSPITALARES: ANÁLISE DE QUALIDADE E SEGURANÇA. 64f. Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2019.

Cabe ao hospital prestar serviços relacionados à saúde, na prevenção e restauração da saúde. Portanto, o ambiente hospitalar é cercado de situações que podem prejudicar e pôr em risco a saúde dos pacientes, pois qualquer equipamento hospitalar, no momento da cirurgia, pode ocorrer falhas em seu funcionamento e expor os pacientes a microchoques. Tais riscos estão relacionados à infraestrutura das instalações elétricas dos hospitais, e consequência disso o funcionamento correto dos equipamentos médico-hospitalares ficam prejudicados. Para que não ocorra este tipo de situação nos equipamentos eletromédicos, devem ser levados em considerações todos os requisitos para a obtenção de uma boa instalação elétrica e, assim, uma melhor utilização dos equipamentos médico-hospitalar. Assim, a harmonia do sistema elétrico ocorrerá em um funcionamento adequado dos equipamentos eletromédicos e, acima de tudo, garantirá segurança para os pacientes e para aqueles profissionais que estarão utilizando tais equipamentos. Este trabalho aborda os principais conceitos sobre normas técnicas e teorias fundamentais para a compreensão da qualidade de energia, relativo à instalação elétrica hospitalar, e com ênfase na proteção e segurança das pessoas. O termo qualidade de energia se faz necessário tanto para as concessionárias distribuidoras de energia elétrica quanto para consumidores finais. Pretende-se que este trabalho auxilie de forma técnica os estabelecimentos de saúde no país e que os resultados obtidos despertem o interesse pelo desenvolvimento de uma instalação elétrica adequada voltado para a normas que a regem. Espera-se também que este trabalho venha a tornar-se uma referência para futuros trabalhos e que os resultados desse estudo venha a contribuir para a melhoria do sistema de saúde no Brasil.

**Palavras-chave:** Instalação Elétrica Hospitalar. Qualidade de Energia. Segurança. Normas. Equipamento Eletromédico.

## **ABSTRACT**

It is up to the hospital to provide health-related services, health prevention and restoration. Therefore, the hospital environment is surrounded by situations that can harm and endanger patient's health, because any hospital equipment, at surgery failures in their functioning may occur and expose patients to microshocks. Such risks are related to the infrastructure of hospital electrical installations, and the consequence of this, the correct functioning of medical and hospital equipment is impaired. In order not to occur this type of situation in electromedical equipment, should be taken into consideration all requirements for obtaining good electrical installation and thus, better use of medical and hospital equipment. Thus, the harmony of the electrical system will occur in a proper operation of electromedical equipment and, above all, ensure safety for patients and for those professionals who will be using such equipment. This paper addresses the main concepts on technical norms and fundamental theories for understanding energy quality, hospital electrical installation, and with as emphasis on protecting and safety of people. The term energy quality is necessary for both electric and final consumers. It is intended that this work technically assists health facilities in the country and that the results obtained arouse interest in the development of an adequate electrical installation focused on the standards governing it. It is also expected that this work will become a reference for future work and that the results of this study will contribute to the improvement of the health system in Brazil.

**KEYWORDS:** Hospital Electrical Facility. Energy Quality. Security. Standards. Electromedical Equipment.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Onda Senoidal de uma Tensão Alternada .....	18
Figura 2 - Forma de onda de tensões e correntes elétricas de um sistema ideal ....	21
Figura 3 - Transitório Impulsivo .....	22
Figura 4 - Transitório Oscilatório .....	22
Figura 5 - Desequilíbrio de Tensão .....	23
Figura 6 - Frequência Fundamental 60 Hz .....	25
Figura 7 - Forma de Onda com Harmônico .....	26
Figura 8 - Forma de Onda com Inter Harmônicos .....	26
Figura 9 - Forma de Onda em Nível CC.....	27
Figura 10 - Forma de Onda com Recortes de Comutação.....	27
Figura 11 - Presença de Ruído na Tensão Alternada Senoidal .....	28
Figura 12 - Simbologia de condutores de proteção .....	37
Figura 13 - Sistema TN-S.....	38
Figura 14 - Sistema TN-C .....	39
Figura 15 - Sistema TN-C-S .....	39
Figura 16 - Sistema TT .....	40
Figura 17 - Sistema IT .....	41
Figura 18 - Sistema IT-Médico .....	42
Figura 19 - SPDA em Estruturas .....	48
Figura 20 - Aparelho de Tomografia Computadorizada .....	49
Figura 21 – Forma de onda da Tensão e Corrente durante o funcionamento em operação contínua.....	50
Figura 22 - Espectro de Harmônico de corrente durante o funcionamento contínuo	51
Figura 23 - Esquema de Ligação de um Transformador Delta- Estrela .....	52
Figura 24 - Fonte de Tensão <i>Pacific</i> .....	53
Figura 25 - Fonte de Tensão Porto-Sag.....	54
Figura 26 - Afundamento de Tensão de Curta Duração Aplicado à Equipamentos Eletromédicos.....	55
Figura 27 - Conexão Típico de um Filtro Shunt.....	56
Figura 28 - Sistema com Banco de Capacitores .....	57
Figura 29 - Custo de um Filtro Sintonizado .....	59



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Efeitos da Corrente Alternada no corpo humano .....	36
Quadro 2 - Origem e Evolução da NBR 5410 .....	43
Quadro 3 - Classificação por GRUPO de locais para fins médicos .....	44

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	19
Equação 2 .....	20
Equação 3 .....	51
Equação 4 .....	52
Equação 5 .....	57
Equação 6 .....	58

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	13
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 Objetivo Geral .....	14
1.1.2 Objetivos Específicos .....	14
1.1.3 Justificativa.....	15
2 METODOLOGIA.....	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
4 QUALIDADE DE ENERGIA.....	18
4.1 CONDIÇÕES IDEAIS DE OPERAÇÃO DE UM SISTEMA ELÉTRICO .....	18
4.1.1 Forma de Onda Senoidal .....	18
4.1.2 Amplitude Constante .....	19
4.1.3 Frequência Constante .....	19
4.1.4 Fases Equilibradas.....	19
4.1.5 Fator de Potência Unitário.....	20
4.1.6 Perdas mínimas .....	20
4.1.7 Condições Reais de Operação .....	20
4.2 PRINCIPAIS DISTÚRBIOS ASSOCIADOS À QUALIDADE DA ENERGIA.....	21
4.2.1 Transitório .....	21
4.2.2 Variações de Tensão de Curta Duração .....	22
4.2.3 Variações de Tensão de Longa Duração .....	23
4.2.4 Desequilíbrio de Tensão .....	23
4.2.5 Flutuação de Tensão.....	24
4.2.6 Variação da Frequência .....	24
4.2.7 Distorção na Forma de Onda .....	24
4.3 CONSEQUÊNCIAS DE ALGUNS DISTÚRBIOS RELACIONADOS COM A QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA (QEE).....	28
4.3.1 Transitórios .....	28
4.3.2 Depressão de Tensão .....	28
4.3.3 Harmônicos .....	29
4.3.3.1 Perdas Adicionais e Aquecimentos em Máquinas Elétricas e Capacitores .....	29
4.3.3.2 Interferências .....	29
4.3.3.3 Aumento da Corrente de Neutro .....	30
4.3.3.4 Aumento de Perdas em Condutores .....	30
4.4 ALGUMAS MEDIDAS TÉCNICAS E OPERACIONAIS DE MITIGAÇÃO DE ALGUNS DISTÚRBIOS DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA.....	30
4.5 NORMAS REFERENTES À QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA .....	31
5 Instalação elétrica hospitalar .....	33
5.1 COMPONENTES DO SISTEMA ELÉTRICO HOSPITALAR.....	33
5.1.1 Instalações em Média Tensão (MT) .....	33

5.1.2 Subestação Abaixadora de Tensão .....	33
5.1.3 Sistema de Geração e co-geração de energia.....	33
5.1.4 Sistema No-Breaks .....	34
5.1.5 Distribuição de Energia em Baixa Tensão .....	34
5.1.6 Sistema de Aterramento Equipotencial .....	34
5.1.7 Protetores de Surtos .....	34
5.1.8 Seletividade.....	35
5.2 PROTEÇÃO.....	35
5.2.1 Aterramento .....	35
5.2.1.2 Sistema TN .....	38
5.2.1.3 Sistema TT .....	40
5.2.1.4 Sistema IT .....	40
5.2.2 IT Médico .....	41
5.3 NORMAS APLICÁVEIS .....	43
5.3.1 NBR 5410 – Instalação Elétrica de Baixa Tensão (2008) .....	43
5.3.2 NBR 13534 – Instalação Elétrica em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (2008) .....	44
5.3.3 NBR ISO/CIE 8995-1 (2013).....	45
5.3.4 RDC Nº 50 (2002) .....	45
5.3.5 NBR 10898 (2013) .....	46
5.3.6 NBR 5419 (2015) .....	47
6 Estudo de caso.....	49
6.1 TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA .....	49
6.1.1 Transformador.....	51
6.1.2 Teste Realizado .....	53
6.2 CORREÇÃO DE HARMÔNICOS .....	55
6.2.1 Custo de filtros .....	58
6.3 ATERRAMENTO.....	59
7 Conclusão .....	60
8 REFERÊNCIAS.....	61

## 1 INTRODUÇÃO

Cabe ao hospital prestar serviços relacionados à saúde, na prevenção, restauração da saúde, incentivo ao ensino e ao campo assistencial (COSTA e PANOZZO, 2017). Por isso, oferecer um diagnóstico e um serviço de excelente qualidade é dever de todos os profissionais que estão capacitados para exercer tal função, pois segundo o (Código de Ética Médica, 2009) o objetivo principal do médico é a saúde do ser humano.

Uma infraestrutura elétrica, para o setor hospitalar, deve garantir a qualidade e a segurança dos equipamentos eletromédicos e ainda ser capaz de prever e eliminar os distúrbios oriundos da rede elétrica, para se obter um padrão na qualidade de energia. Isto porque, muitos equipamentos eletromédicos de tecnologia avançada vem sendo utilizado por hospitais no intuito de proporcionar um melhor atendimento aos pacientes, mas muitas das vezes esses equipamentos não passam por uma vistoria adequada não garantindo uma segurança para as pessoas (SÔNEGO, 2007).

Sendo assim, o ambiente hospitalar é cercado de situações que podem prejudicar e pôr em risco a saúde dos pacientes, pois segundo (Spalding et al., 2015) qualquer equipamento hospitalar, no momento da cirurgia, pode ocorrer falhas em seu funcionamento e expor os pacientes a microchoques. Este tipo de falha deve ser observado pelos profissionais técnicos da área de manutenção elétrica, evitando o risco de microchoques que envolvem diretamente as pessoas e os equipamentos eletromédicos, pois tais equipamentos devem estar certificados de acordo com as normas de segurança (MACIEL e RODRIGUES, 1998).

Tais riscos estão relacionados à infraestrutura das instalações elétricas dos hospitais, e consequência disso o funcionamento correto dos equipamentos médico-hospitalares ficam prejudicados. Unidades públicas de saúde necessitam adequar se aos parâmetros de segurança exigidos pelas normas brasileiras envolvendo as instalações elétricas, proteção e um sistema de aterramento adequado ao sistema elétrico (MORALES, 2017). Diante disso, os hospitais públicos enfrentam desafios na falta de investimentos, manutenção preventivas e corretivas e falta de mão de obra qualificada para este tipo de serviço.

Por outro lado, para que não ocorra este tipo de situação nos equipamentos eletromédicos, devem ser levado em consideração todos os requisitos para a obtenção de uma boa instalação elétrica e, assim, uma melhor utilização dos

equipamentos médico-hospitalar. O sistema elétrico brasileiro abrange normas específicas relacionadas a projetos e instalações elétricas, como é o caso da NBR 5410 (Instalações Elétricas de Baixa Tensão, 2004), NBR 13534 (Instalações Elétricas em Estabelecimento Assistenciais de Saúde – Requisitos para Segurança, 2008), NBR IEC 60601-1 (Equipamento Eletromédico – Parte 1 – Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial, 2010).

Logo, a “NBR 5410 fixa as condições a que as instalações de baixa tensão devem atender, a fim de garantir seu funcionamento adequado, a segurança de pessoas e conservação dos bens” (ABNT, 2004, p.1). No Brasil, com os avanços na tecnologia, os equipamentos hospitalares necessitam de uma vistoria adequada, pois com o aprimoramento dos equipamentos pacientes estão submetidos a situações de risco (MORALES, 2017). Assim, a harmonia do sistema elétrico ocorrerá em um funcionamento adequado dos equipamentos eletromédicos e, acima de tudo, garantirá segurança para os pacientes e para aqueles profissionais que estarão utilizando tais equipamentos.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Esse trabalho tem como principal objetivo apresentar um estudo referente à segurança das instalações elétricas hospitalares quanto a qualidade de energia disposta para os equipamento de centro cirúrgico de hospitais, públicos e privados.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Desenvolver um estudo referente as Instalações Elétricas Hospitalares quanto a qualidade de energia e as condições de segurança;
- Apresentar um estudo sobre o sistema de aterramento como requisito de segurança para as pessoas e equipamentos eletromédicos;

### 1.1.3 Justificativa

As normas brasileiras referentes às Instalações Elétricas preveem condições para que a segurança das pessoas sejam preservadas. No âmbito nacional, faltam estudos que apontam falhas no setor elétrico hospitalar e também as possíveis soluções para problemas relacionados aos estabelecimentos assistenciais de saúde. Com o objetivo de alertar sobre as condições atuais das Instalações Elétricas dos hospitais, tanto públicos como privados, o trabalho apresentará informações sobre os sistemas adequados de aterramento, qualidade de energia elétrica e seus complementos em ambientes hospitalares para uma maior segurança tanto dos pacientes como dos profissionais da saúde. Espera-se que este estudo incentive novas pesquisas na área da Engenharia Clínica, e que os resultados venham contribuir para a melhoria do sistema de saúde no Brasil.

## **2 METODOLOGIA**

A metodologia aplicada a este estudo, é uma análise qualitativa de dados secundários, constituindo um estudo sistematizado, com características essencialmente exploratórias, elaborado a partir de materiais publicados, como artigos científicos, revistas, livros, dissertações e Normas Técnicas Brasileiras.

A metodologia deste trabalho aborda os principais conceitos acerca de teorias fundamentais para a compreensão da Qualidade de Energia relacionados à hospitais públicos e privados, com ênfase na proteção e segurança das pessoas. Dentro desse contexto, as bibliografias foram extraídas de livros específicos da área da Engenharia Elétrica e de artigos nacionais e internacionais que estão relacionados nas áreas de instalações elétricas hospitalares.

Ainda, a bibliografia desse trabalho contém normas técnicas elaboradas pela ABNT, como por exemplo a NBR 5410, que definem regras específicas para padronizar as instalações elétricas nos estabelecimento comerciais e industrias em todo território nacional e atender os critérios de segurança para pessoas e animais. As demais ferramentas de pesquisas para este trabalho foram extraídas de sites acadêmicos e de bibliotecas eletrônicas científicas.



### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este trabalho está dividido em 7 capítulos. O 1º está descrito a introdução do trabalho e os objetivos geral e específico, na qual o trabalho pretende atingir, e pôr fim a justificativa do trabalho.

O conteúdo teórico do trabalho se encontra a partir do capítulo 4 que aborda os principais conceitos sobre Qualidade de Energia Elétrica e a relação com a eficiência do sistema elétrico. Serão descritos os principais distúrbios relacionados à qualidade de energia elétrica e também as condições de operação ideais para o sistema elétrico. Tanto a rede elétrica como as cargas podem ser causadores de distúrbios que prejudicam a qualidade da energia.

O capítulo 5 aborda conteúdos relacionados à Instalações Elétricas Hospitalares, pois tais instalações se diferem dos ambientes residenciais, industriais e comerciais. Com isso, será apresentado as normas que estabelecem as condições para as Instalações Elétricas Hospitalares e as exigências para tal ambiente, em especial o sistema de aterramento como requisito de segurança para as pessoas e usuários.

O capítulo 6 deste trabalho aborda um estudo de caso de um teste realizado a um equipamento eletromédico (tomografia computadorizada) e o comportamento de tal equipamento frente aos distúrbios oriundos da rede elétrica, e também mostra uma solução para tal problema. E por fim será apresentado a conclusão deste trabalho.

## 4 QUALIDADE DE ENERGIA

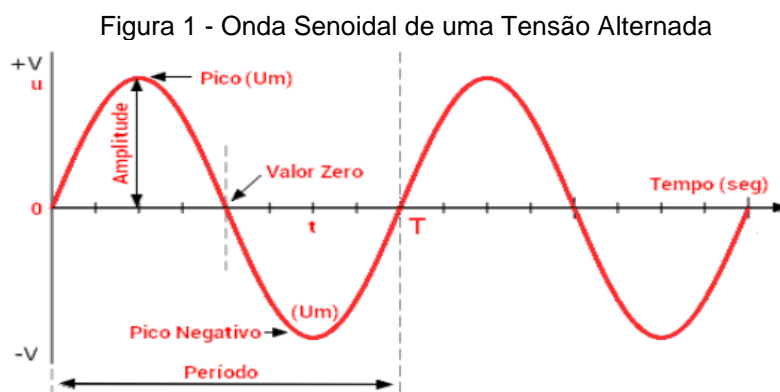
A NBR ISO 9000 (2005), estabelece medidas quanto a padronização de produtos e serviços que uma organização necessita demonstrar, para satisfazer as necessidades dos clientes. O termo “qualidade de energia” se faz necessário tanto para as concessionárias distribuidoras de energia elétrica quanto para consumidores finais. Portanto, o sistema de alimentação deve satisfazer as necessidades e os requisitos, imposto pelas normas, para o correto funcionamento dos equipamentos, sem alterar o desempenho do mesmo.

Em sua definição, qualidade de energia elétrica (QEE) é a ausência das variações de tensão que é provocado pelo sistema da concessionárias como forma de continuidade de suprimento de energia (DECKMANN e POMILIO, 2018). A necessidade de se ter um energia elétrica de qualidade está relacionado com a sensibilidade dos equipamentos modernos, pois os mesmo necessitam de um funcionamento contínuo e adequado em sua totalidade sem que haja distúrbios nas redes que prejudicam o seu funcionamento (LIMA, 2017).

### 4.1 Condições Ideais de Operação de um Sistema Elétrico

#### 4.1.1 Forma de Onda Senoidal

A tensão de alimentação em um circuito elétrico determina a forma de onda e a intensidade em relação a corrente percorrida por um circuito. Os circuitos de corrente alternada (CA) possui uma característica na tensão da fonte de alimentação variar valores positivos e negativos em sua forma de onda, com isso a corrente assume o mesmo comportamento ora circula um sentido ora circula um sentido oposto. Graficamente essa forma de onda se dá o nome de Onda Senoidal representado na Figura 1.



FONTE: DESTERRO ELETRICIDADE (2019)

A tensão senoidal pode ser expressa conforme a equação 1:

$$\begin{array}{l} \text{Equação 1} \\ v(t) = A \operatorname{sen}(2\pi ft + \theta) \end{array} \quad (1)$$

Onde:

A: Amplitude da Onda Senoidal (V);  
f: Frequência (Hz);  
 $\theta$ : Ângulo de fase (rad).

#### 4.1.2 Amplitude Constante

A amplitude da tensão está relacionado com o nível de isolamento proposto e também ao nível de uma corrente para uma dada impedância ou potência. Com isso, para um determinado isolamento a amplitude da tensão garante a potência desejada para cargas passivas de impedância (LIMA, 2017).

#### 4.1.3 Frequência Constante

A frequência é uma grandeza dada em Hertz (Hz) e em sua definição corresponde ao número de ciclos por segundo que ocorre na corrente elétrica. Em condições normais de operação a frequência deve operar em um intervalo de 59,9 Hz e 60,1 Hz e há a necessidade do controle da frequência para que o sistema das instalações elétricas operem de forma estável (PRODIST, 2016).

#### 4.1.4 Fases Equilibradas

No sistema trifásico há a necessidade das potências entre as fases estarem distribuídas igualmente. As cargas devem possuir as mesmas características elétricas e as tensões possuir a mesma amplitude e defasagem, com a finalidade de assegurar o sistema equilibrado. Uma vantagem de se ter um sistema equilibrado é que ela impede a circulação de potência desnecessária (perdas) no circuito, pois o fluxo de potência é unidirecional e constante impedindo assim a sobrecarga de uma fase a outra (LIMA, 2017). As equações 2 referem-se as condições que satisfazem o equilíbrio entre as fases.

## Equação 2

$$\begin{aligned}v_a(t) &= A \operatorname{sen}(2\pi ft + \theta) \\v_b(t) &= A \operatorname{sen}(2\pi ft + \theta - 2\pi/3) \\v_c(t) &= A \operatorname{sen}(2\pi ft + \theta + 2\pi/3)\end{aligned}\tag{2}$$

#### 4.1.5 Fator de Potência Unitário

Na energia elétrica, através das máquinas e equipamentos, são necessárias as potências ativas e reativas para o correto funcionamento. A energia reativa em si não realiza trabalho, mas é necessário para o funcionamento de motores que utiliza do campo eletromagnético oriundo da energia reativa, já a energia ativa em si realiza trabalho. O fator de potência é uma relação entre energia ativa e aparente, com isso o fator de potência deve ser mantido mais próximo de 1, mas no Brasil é permitido o valor mínimo de 0,92. Com isso as perdas de transmissão são mínimas e auxilia na capacidade de regulação de tensão (COPEL, 2019).

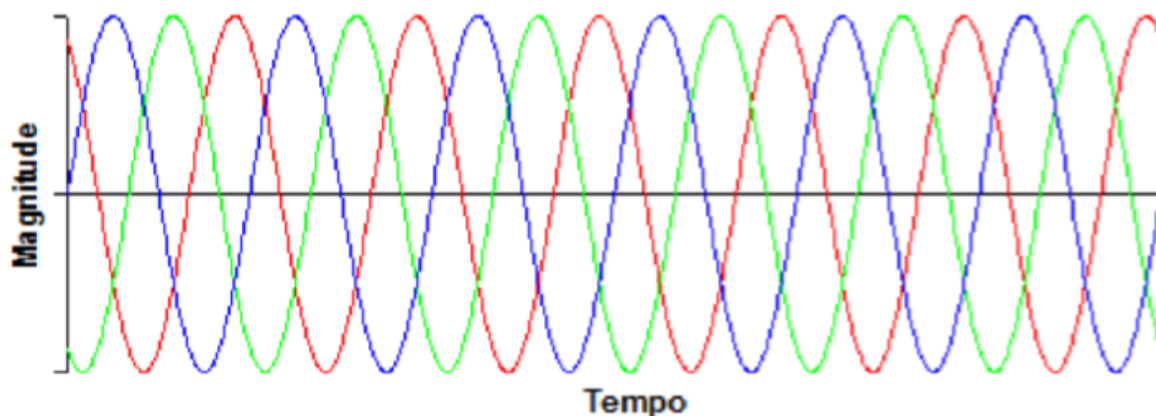
#### 4.1.6 Perdas mínimas

A eficiência no transporte de energia elétrica deve satisfazer as condições para que tenha o mínimo de perdas no transporte. Portanto, as resistências contidas no sistema garante a atenuação de transitórios e o amortecimento. Com isso, cerca de 3 a 5% de perda no sistema proporciona uma operação adequada (LIMA, 2017).

#### 4.1.7 Condições Reais de Operação

As redes elétricas estão sujeitas a falhas e perturbações e com isso tais condições dificilmente são satisfeitas. Porém é muito importante adotar a condição de operação de um sistema ideal como sendo uma referência em uma determinada avaliação na qualidade de energia em comparação ao sistema real. A Figura 2 mostra a forma de onda ideal para um sistema ideal.

Figura 2 - Forma de onda de tensões e correntes elétricas de um sistema ideal



FONTE: OLIVEIRA, 2009

## 4.2 Principais Distúrbios Associados à Qualidade da Energia

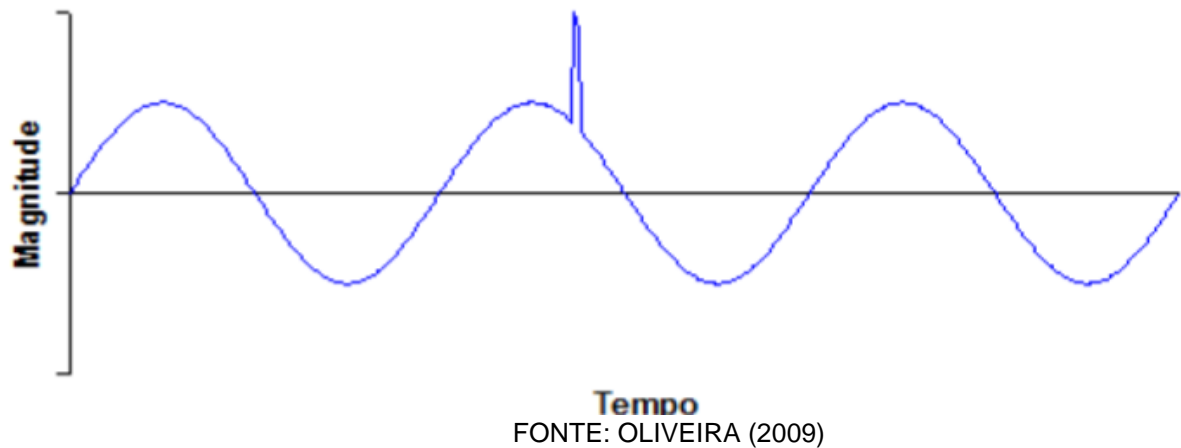
### 4.2.1 Transitório

Em sua definição, transitórios são perturbações que possuem curta duração seja para tensão ou corrente e podem ser medidas através de equipamentos específicos, tal como osciloscópios. Essas durações podem durar alguns milissegundos, mas tais perturbações possuem magnitude alta com um tempo de subida na forma de onda muito alto. Ocorrem principalmente por dois fenômenos: tais como as descargas atmosféricas que podem ser classificados como transitórios impulsivos e o outro por chaveamento de cargas de valor considerável que são classificados como transitórios oscilatórios (ROCHA, 2016).

#### a) Transitório Impulsivo

O Transitório Impulsivo é uma brusca alteração nas condições do regime permanente da corrente ou da tensão. A duração pode variar na casa dos milissegundos e a direção pode ser tanto positiva como negativa, outra característica é o valor da frequência que difere da frequência de 60 Hz. Esses transitórios podem causar perdas e até danificar equipamento. A Figura 3 mostra o comportamento da onda quando sofre um transitório impulsivo (ROCHA, 2016).

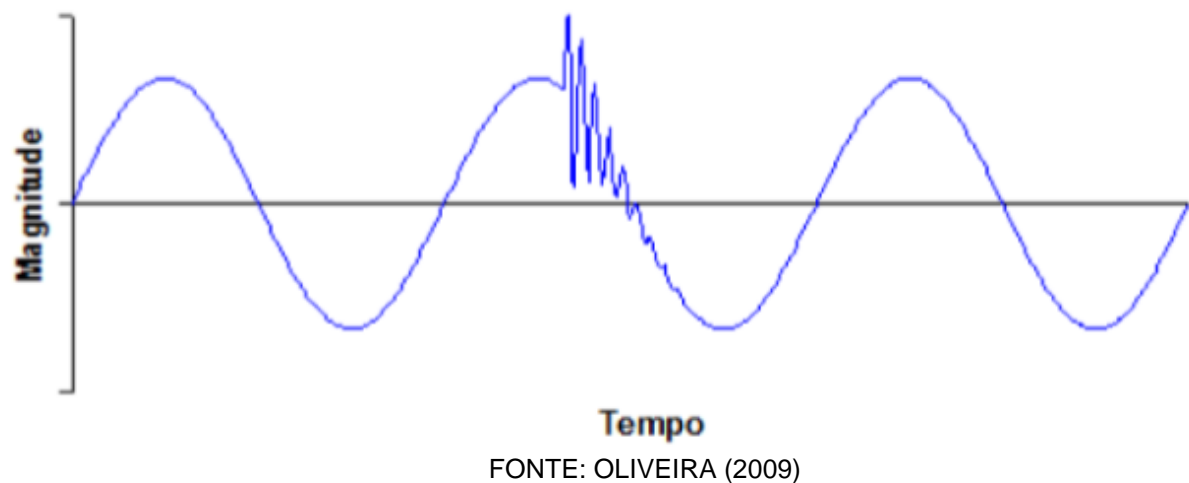
Figura 3 - Transitório Impulsivo



#### b) Transitório Oscilatório

Assim como o Transitório Impulsivo o Transitório Oscilatório também é uma alteração repentina nas condições do regime permanente da corrente ou da tensão. No momento do transitório oscilatório também possui oscilações positivas e negativas e é causado por chaveamento de capacitores ou de transformadores, entre outros. A Figura 4 mostra o comportamento da onda quando sofre um transitório oscilatório (LIMA, 2009).

Figura 4 - Transitório Oscilatório



#### 4.2.2 Variações de Tensão de Curta Duração

Variações de tensão de curta duração podem ser definidas como alterações temporárias, momentâneas ou instantâneas. Possuem duração menor que 1 minuto

e magnitudes da tensão inferior ou superior a faixa de tolerância  $\pm 10\%$  do valor eficaz. São causadas por falhas em equipamentos, energização de grandes carga com alta corrente de partida, chaveamentos capacitivos ou indutivos. As variações de tensão de curta duração são classificadas em função das elevações, duração do evento podem ser instantâneo, temporário ou momentâneo e ainda afundamentos ou interrupções (FERREIRA, 2002).

#### 4.2.3 Variações de Tensão de Longa Duração

A variação de tensão de longa duração, diferente da variação de tensão de curta duração, possui duração superior a 1 minuto e são desvios do valor eficaz da tensão. São causados por perdas de fases, retirada de grandes cargas do sistema entre outras. Os tipos de variações de tensão podem ser classificadas como sobretensão, interrupção sustentada e operações de chaveamento sobre o sistema (RODRIGUES, 2008).

#### 4.2.4 Desequilíbrio de Tensão

O conceito de desequilíbrio de tensão está relacionado na distribuição inadequadas entre as fases no sistema trifásico. As fases apresentam diferente valores de tensão e apresentam uma defasagem angular diferente de  $120^\circ$  elétricos. As consequências do desequilíbrio de tensão são o funcionamento inadequado de alguns equipamentos elétricos comprometendo o seu desempenho e a sua vida útil. A Figura 5 mostra o sistema trifásico com uma das fases em desequilíbrio prejudicando a vida útil de alguns equipamentos elétricos (PAULILO, 2013).



FONTE: OLIVEIRA (2009)

#### 4.2.5 Flutuação de Tensão

Outro tipo de variações são as flutuações de tensão que são alterações do sistema de valores eficazes da tensão. As flutuações de tensão podem manifestar de várias formas e são causadas por cargas industriais que são elas:

- a) Flutuações repetitivas: são causadas por máquinas de solda, ferrovias, laminadores.
- b) Flutuações aleatórias: são causadas principalmente por fornos a arco.
- c) Flutuações esporádicas: são causados por partidas diretas de motores de grande porte.

Tais variações citadas ocasionam efeitos na rede elétrica que são oscilações no torque das máquinas, oscilações na potência, queda de rendimento, cintilação luminosa, efeito *flicker*, entre outros (LIMA, 2017).

#### 4.2.6 Variação da Frequência

Uma das características a serem avaliadas na operação de um sistema elétrico é a frequência. A frequência está associada à velocidade de rotação dos geradores que abastecem todo o sistema elétrico. O PRODIST, módulo 8, estabelece uma frequência que deve ser respeitada pelo sistema de distribuição entre 59,1 Hz e 60,1 Hz em condições normais de operação. Deve-se manter o controle constante dessa frequência e haver um equilíbrio entre consumo de energia e a geração. Em regime permanente as variações de frequência podem ultrapassar os limites de operação, e podem ser causadas por uma saída de uma carga expressiva do sistema de operação ou até mesmo a saída de uma fonte de geração da operação. Com o desenvolvimento da tecnologia e a eletrônica de potência permite que conversores de frequência adequem as necessidades do processo das instalações industriais (ROCHA, 2016).

#### 4.2.7 Distorção na Forma de Onda

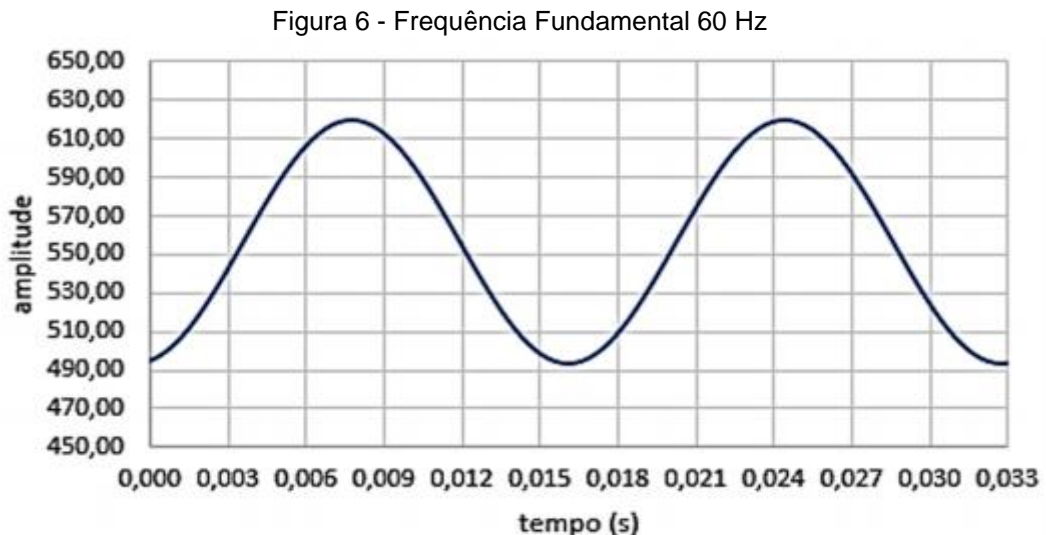
Considerando um regime permanente, uma distorção na forma de onda é caracterizada por um desvio em sua forma de onda puramente senoidal que é manifestado em cada ciclo da frequência fundamental (LIMA, 2017). Os principais



tipos de distorções na forma de ondas serão apresentados a seguir: Harmônicos, Inter harmônicos, Nível CC, Recortes de Comutação e Ruídos.

a) Harmônicos:

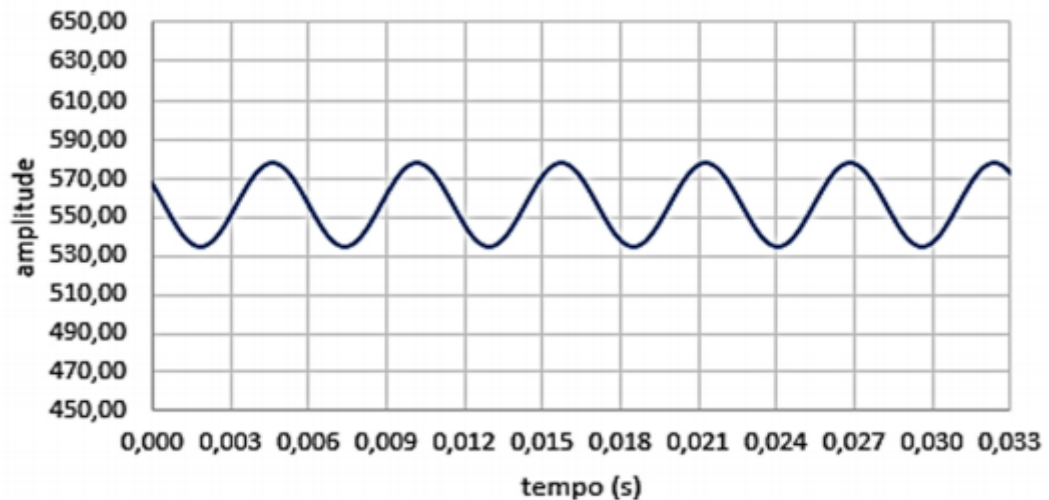
Um harmônico é toda parte de uma onda periódica, de tensão ou corrente senoidal, cuja a frequência seja um múltiplo inteiro da frequência fundamenta (o sistema brasileiro na distribuição de energia é padronizado uma frequência fundamental de 60 Hz). Pode-se então dizer que os harmônicos distorcem a forma de onda, tanto da corrente como da tensão, e é causado por equipamentos e cargas não lineares instalados na rede elétrica (RODRIGUES, 2009). Na Figura 6 é apresentado a forma de onda puramente senoidal na frequência de 60 Hz.



Fonte: DIONISIO, SPALDING (2017)

A Figura 7 apresenta a forma de onda com a influência do 3º harmônico na frequência de 180 Hz.

Figura 7 - Forma de Onda com Harmônico

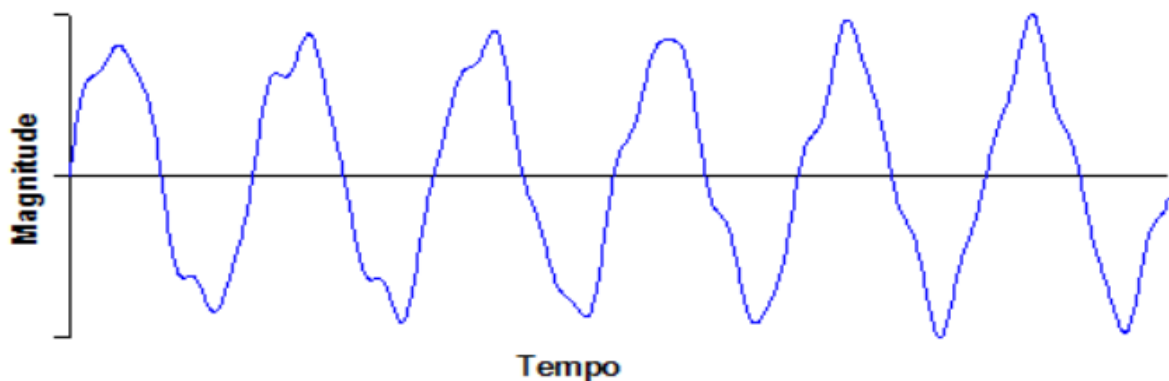


Fonte: DIONISIO, SPALDING (2017)

b) Inter Harmônico:

Diferente dos harmônicos o Inter Harmônico são os componentes que não são múltiplos da frequência fundamental (60 Hz), seja para tensão ou corrente. Podem surgir como uma faixa espectral na forma de onda. Os principais componentes que causam o Inter Harmônico são: motores indução, cicloconversores, equipamentos a arco, entre outros. A Figura 8 mostra o efeito causado na onda senoidal com Inter Harmônicos (OLIVEIRA, 2009).

Figura 8 - Forma de Onda com Inter Harmônicos



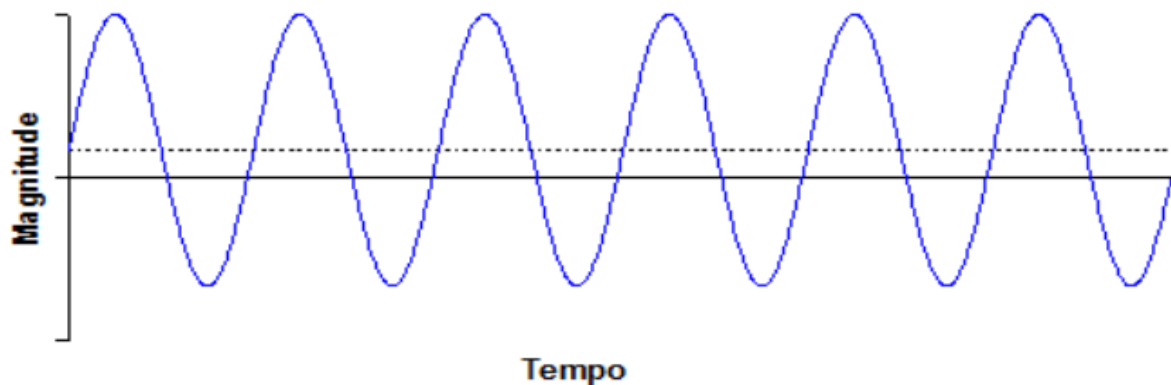
Fonte: OLIVEIRA (2009)

c) Nível CC:

A introdução de corrente ou tensão CC (Corrente Contínua) na rede elétrica em CA é qualificado como DC offset e como qualquer outra distorção o Nível CC provoca

alterações na forma de onda senoidal. Este tipo de distorção ocorre em equipamentos na qual utilizam da Corrente Contínua para o seu funcionamento como é o caso do retificadores de meia-onda. Uns dos problemas da inserção de CC em redes em CA é a saturação dos transformadores, ocasionando a redução na vida útil (LIMA, 2017).

Figura 9 - Forma de Onda em Nível CC

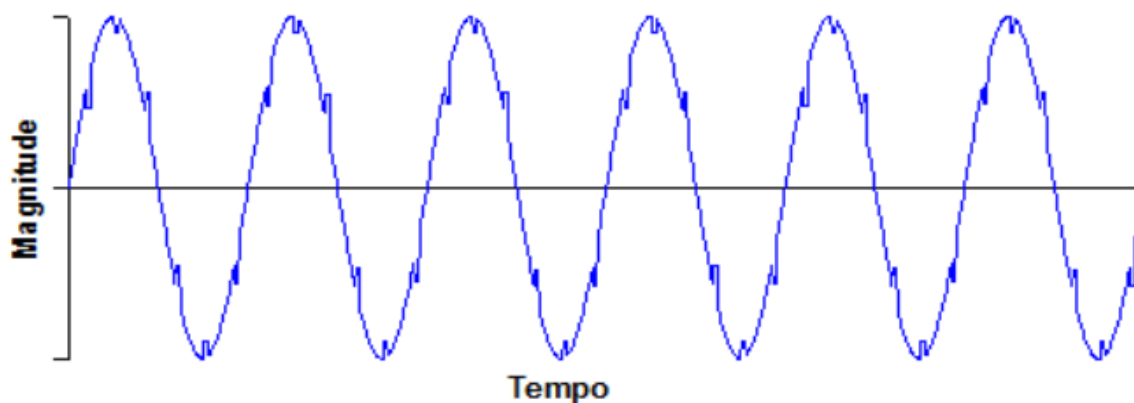


Fonte: OLIVEIRA (2009)

d) Recortes de Comutação:

O recorte de comutação é conhecido também como *notching*, esse tipo de distorção é causado pelas transições brusca e sucessivas de corrente ou tensão entre diferentes níveis. É causado principalmente pela operação de equipamentos que utiliza eletrônica de potência no instante que a corrente é comutada de uma fase para outra (LIMA, 2009).

Figura 10 - Forma de Onda com Recortes de Comutação



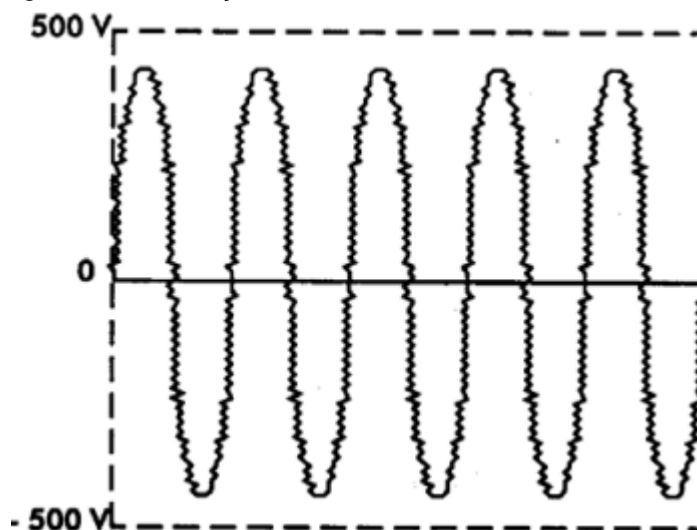
Fonte: OLIV EIRA (2009)

e) Ruídos:

O ruído é um tipo de sinal elétrico que é indesejado e ocorre através da superposição do sinal de alta frequência na ordem de MHz, e contém uma larga faixa

espectral. São classificados em dois tipos ruído de modo comum e de modo normal. Os ruídos são causados por equipamentos eletrônicos de potência, fontes chaveadas, entre outros e estão relacionados com aterramentos impróprios (MEHL, 2012).

Figura 11 - Presença de Ruído na Tensão Alternada Senoidal



Fonte: MEHL (2012)

### **4.3 Consequências de alguns Distúrbios Relacionados com a Qualidade de Energia Elétrica (QEE)**

Alguns distúrbios afetam diretamente os consumidores e prejudicam a qualidade de energia que são eles: transitórios, depressões de tensão e os harmônicos. Tais distúrbios podem provocar os seguintes danos:

#### **4.3.1 Transitórios**

O transitórios podem ser divididos em dois subgrupos os transitórios impulsivos e os transitórios oscilatórios. Os chamados transitórios impulsivos são os efeitos das descargas atmosféricas e como consequência disso provocam danos aos equipamentos, perdas ou corrupção de dados, falhas em fontes eletrônicas. Já os transitórios oscilatórios podem ser causadas por chaveamentos de capacitores e consequência disso podem provocar falhas em equipamentos e danos aos materiais de isolamento dos equipamentos elétricos (ROCHA, 2016).

#### **4.3.2 Depressão de Tensão**

A depressão de tensão podem ocasionar riscos na instalações elétrica e interferir na qualidade de energia, pois provocam a operação inadequada dos CLP's

Controladores Lógicos Programáveis, que são equipamentos utilizados nas industriais. Os CLP's são responsáveis pelo controle de processos industriais, microprocessadores que são componentes responsáveis pelo controle, relés com a função da proteção do sistema elétrico. A depressão de tensão tem impacto significativo nos motores, pois podem provocar sua parada e interferir na variação da velocidade (LIMA, 2017).

### 4.3.3 Harmônicos

As consequência envolvendo os harmônicos causam problemas na instalação elétrica e problemas nos equipamentos ligada aos sistema elétrico, e são classificados em:

#### 4.3.3.1 Perdas Adicionais e Aquecimentos em Máquinas Elétricas e Capacitores

Em um sistema CA (corrente alternada), fontes de harmônicas ligadas ao sistema elétrico ocasionam a circulação de correntes harmônicas. Problemas relacionados a esse fator podem ocasionar aquecimento de máquinas, sobreaquecimento de bancos de capacitores, queima de fusíveis, falha no sistema de proteção, entre outros reflexos negativos ocasionados pela correntes harmônicas (DIAS, 2002).

#### 4.3.3.2 Interferências

Uma carga que produz harmônicos afetam outras cargas se uma distorção foi produzida, com isso um dos efeitos da distorção harmônica é a Interferência em sistemas de controle, em circuitos telefônicos e em circuitos de proteção. Correntes harmônicas são significativas nessas interferências e conduzem em caminhos expostos ao da comunicação e o efeito principal é chamado de interferência telefônica. Interferências telefônicas dependem de outros fatores além da corrente harmônicas, mas também da densidade de circuitos telefônicos, resistividade do solo e desequilíbrio entre fases (DIAS, 2002).

Devido a corrente harmônica existir no sistema tal corrente provoca o aquecimento dos condutores elétricos, e devido ao aquecimento os disjuntores

termomagnéticos possuir uma sensibilidade quanto ao aquecimento dos condutores eles atuam protegendo o circuito (LIMA, 2017).

#### 4.3.3.3 Aumento da Corrente de Neutro

Segundo a NBR 5410 para as instalações elétricas com circuitos trifásicos a 4 condutores, sendo 3 fases e 1 neutro, a taxa de 3ª harmônica for maior que 33% essa corrente de neutro é superior à corrente das fases, neste caso a seção nominal do condutor neutro deve satisfazer as conformidades da norma. Corrente de neutro em excesso causa sobreaquecimento da barra de neutro, sobreaquecimento do condutor e causa também queda de tensão no circuito.

Para as instalações elétricas contendo cargas monofásicas não lineares, principalmente em edifícios comerciais, na qual possuem iluminação fluorescente significativa e microcomputadores há a presença de corrente de neutro caso não esteja devidamente equilibrado (LIMA, 2017). O desequilíbrio entre as fases podem ocasionar perturbações e comprometer a instalação elétrica e gerar harmônicos na rede (NBR 5410, 2008).

#### 4.3.3.4 Aumento de Perdas em Condutores

As correntes harmônicas podem causar aquecimento nos condutores e esses valores podem ser acima dos valores da corrente fundamental. Segundo Santos, A. (2006) possuem duas formas de aumento de perdas em condutores através da corrente harmônica. São ela o efeito pelicular e o efeito de proximidade.

a) Efeito Pelicular: tem a característica de possuir uma concentração na camada externa do condutor, com isso a resistência aumenta. Com o aumento do diâmetro do condutor e a frequência este efeito tende a aumentar.

b) Efeito de Proximidade: o campo magnético de condutores próximos causam uma distorção sobre a corrente do condutor.

### **4.4 Algumas Medidas Técnicas e Operacionais de Mitigação de Alguns Distúrbios da Qualidade de Energia Elétrica**

a) Utilização de *No-Breaks* no sistema: possui a característica de fornecer energia de forma ininterrupta, este procedimento faz com que o equipamento

protegido não sofra com os distúrbios elétricos. São muito empregados em instalações hospitalares que fazem do no-break com a finalidade de prevenir a falta de energia em caso de falhas no fornecimento de energia (MARCELO, 2010).

b) Utilização de Filtros Harmônicos: o objetivo principal do filtro harmônico é reduzir a amplitude de corrente e tensão de uma frequência harmônica. Filtros Harmônicos também impedem as correntes harmônicas entrem no circuito elétrico, com o arranjo o filtro consiste no paralelo de um capacitor com um indutor isso faz com que crie uma alta impedância impedindo o harmônico na instalação elétrica (PIRES, 2010).

c) Utilização de Condicionadores de Potência: em casos de ocorrência de distúrbios com a depressão de tensão tais equipamentos fornecem potências altas num intervalo de tempo pequeno (SANTOS, A., 2006).

d) Mudanças do Sistema de Distribuição: a isolação de determinadas frequências harmônicas do sistema se torna possível com a mudança da ligação dos transformadores dos sistemas de distribuição (SANTOS, A., 2006).

e) Utilização de Equipamentos não Geradores de Distúrbios: equipamentos que produzem distorções na rede, cargas não lineares, podem ser substituídos por equipamentos que não causam tão poluição no sistema, com isso reduziria distorções na instalação elétrica.

## 4.5 Normas Referentes à Qualidade de Energia Elétrica

Uma lista contendo as normas específicas referentes à qualidade de energia é apresentada a seguir.

- IEC 61000-4-15: esta norma apresenta os requisitos para construção de um medidor *flicker* (cintilação luminosa), na qual os resultados quantificam a amplitude da flutuação de tensão;
- IEC 61000-4-7: é uma norma referente à medição de grandezas como distorções harmônicas de tensão e corrente;

- IEEE 519: considera as mesmas premissas da norma IEC 61000-4-7 medições de distorções harmônicas;
- EN50160: está norma cobre o flicker, variações de tensão e inter-harmônica;
- IEEE 1159: prática recomendada pela IEEE de interpretação e monitoração dos fenômenos que prejudicam a qualidade de energia;
- CBEMA: *Computer and Business Equipment Manufacturers Association*, sendo no ano de 1994 passou a ser ITI (*Information Technology Industry Council*). CBEMA é a medição de distúrbios associado a uma curva que define o nível que um determinado equipamento suporta, em função da duração do distúrbio e a magnitude da tensão, os equipamentos podem sofrer danos caso os distúrbios ultrapasse o valor da curva.
- ITI: organização que defende direitos e políticas de empresas inovadoras no mundo.



## **5 INSTALAÇÃO ELÉTRICA HOSPITALAR**

### **5.1 Componentes do Sistema Elétrico Hospitalar**

Segundo Coutinho (2016) alguns componentes para o setor elétrico hospitalar devem ser dimensionados, tais como:

#### **5.1.1 Instalações em Média Tensão (MT)**

No Brasil, geralmente as concessionárias de energia elétrica disponibilizam uma infra-estrutura, para hospitais, em média tensão de 13,8kV, 21kV e 34,5kV.

#### **5.1.2 Subestação Abaixadora de Tensão**

A subestação rebaixadora de tensão recebe uma tensão nominal de entrada e tem a função de reduzir essa tensão a um valor comercial, definida e distribuída pelas concessionárias de energia, e são entregues aos Hospitais como valor fixo de tensão de 380V, 220V e 127V.

#### **5.1.3 Sistema de Geração e co-geração de energia**

O setor hospitalar é um ambiente na qual a falta de energia pode ocasionar sérios risco a vida dos pacientes. Algumas medidas podem ser tomadas a fim de evitar a falta de energia, são as formas alternativas de gerar energias, sendo:

- Geração em horário de ponta – Geração de Energia em horários de ponta em paralelismo com a Concessionária;
- Co-Geração de Energia – Geração de energia com reaproveitamento térmico;
- Geração Stand By – Sistema de Geração própria de Energia em caso de falta ou Emergência;
- Geração PRIME – Incentivo à geração renovável de energia elétrica.

Segundo as normas vigentes o setor hospitalar deve possuir Sistema de Geração Emergência e Geração Stand-By, com a finalidade de reestabelecer a energia em até 15 segundos para setores considerado críticos.

#### 5.1.4 Sistema No-Breaks

É um tipo de sistema de energia condicionada este tipo de sistema deve atender áreas denominadas críticas dos hospitais. Os No-Breaks fornecem proteção tanto para equipamentos como para os pacientes, e podem ser instalados de forma a prover energia aos equipamentos eletromédicos essenciais à manutenção a vida.

#### 5.1.5 Distribuição de Energia em Baixa Tensão

A distribuição de energia elétrica nos aposentos, dependências, salas, centro cirúrgicos dos hospitais são feitos através de quadro geral de baixa tensão, quadro de distribuição terminal, cabos flexíveis, distribuição de tomadas em régua eletromédicas, régua estativas entre outros acessórios de apoio.

#### 5.1.6 Sistema de Aterramento Equipotencial

Para que um sistema elétrico seja confiável deve ser instalado um aterramento adequado, com a finalidade de todas as instalações terem o mesmo referencial (equipotencialização), com isso reduz o risco de choques elétricos, mau funcionamento dos equipamentos eletromédicos e danos à equipamentos eletrônicos. Diferente do aterramento de proteção que necessita que as massas tenham contato direto com a terra, a equipotencialização consiste em interligar todas as partes metálicas de uma instalação e todos os aterramentos a um único barramento conhecido como BEP (Barramento de Equipotencialização Principal) estabelecendo assim um mesmo potencial entre as massas.

#### 5.1.7 Protetores de Surtos

No setor elétrico hospitalar é necessário um sistema de proteção confiável. Os Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS) devem ser instalados a fim de proteger equipamentos e cargas importantes. Os Dispositivos de proteção contra surtos (DPS) atuam quando uma descarga atmosférica entra em contato com a instalação elétrica causando pulsos de alta-tensão, que é a causa mais frequente entre perdas de equipamentos eletrônicos.

### 5.1.8 Seletividade

Seletividade é um atributo que uma instalação deve possuir, pois caso ocorra um curto circuito ou falta de energia elétrica deve-se atuar o dispositivo de proteção que estiver mais próximo da falta elétrica. Com isto, a parte do circuito danificada fica inoperante sem que haja a necessidade de desativar os outros circuitos, assim a seletividade permite selecionar a parte danificada resultando numa confiabilidade maior à instalação elétrica.

## 5.2 Proteção

A NBR 5419 – (Proteção de Estruturas Contra Descargas Atmosféricas, 2015) fixa as condições desejáveis do projeto e instalação de um Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) visando a proteção de pessoas, estruturas metálicas, e das instalações elétrica no parâmetro físico.

Além da NBR 5419 (2015) destinados à proteção contra descargas atmosféricas os Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS) devem seguir as exigências, quanto à proteção, das normas NBR 5410 (2008), acrescida das observações da NBR 13534 (2008). Que refere-se as seguintes proteções que devem ser projetadas contra:

- a) Choques elétricos;
- b) Sobrecorrentes;
- c) Sobretensões;
- d) Efeitos térmicos;
- e) Circulação de correntes de falta;

Devem ser observadas também os projetos de Seccionamento e Serviços de segurança.

### 5.2.1 Aterramento

Um Aterramento Elétrico se refere à terra propriamente dito e na prática é dizer que uma massa está ligado diretamente à terra. Em geral, nos sistemas elétricos a

terra é representada como uma referência ou um potencial zero, com isso o fato de aterrar o sistema, na prática, é ligar o condutor fase ou o neutro à terra com o objetivo de controlar a tensão (MORENO e COSTA, 1999).

O Aterramento é um dos pontos do projeto elétrico que deve ser observado com atenção, pois além de assegurar o correto funcionamento da instalação elétrica garante também a segurança das pessoas contra curto-circuito ou choques elétricos (MORENO et al., 2011). Entre outras funções, o aterramento tem por finalidade descarregar e facilitar a passagem da corrente elétrica por um caminho ligado à terra protegendo assim todo tipo de equipamento ou maquinário que podem ser classificados como massas (CAPELLI, 2000).

Sejam em indústrias ou hospitais, os acidentes que ocorrem com mais frequência são aqueles em que as pessoas estão submetidas a trabalharem com equipamentos energizados, pois se o operador tocar acidentalmente em uma parte energizada o seu corpo pode sofrer riscos proveniente da corrente elétrica (FILHO, 2017). O Quadro 1 mostra os efeitos da Corrente Alternada no corpo humano. Segundo NBR IEC 60601 (2012) especifica que equipamentos elétricos hospitalares podem causar choques elétricos sem a devida manutenção e sem a devida proteção do aterramento ou por não estiverem funcionando.

Quadro 1 - Efeitos da Corrente Alternada no corpo humano

Limite de Corrente Alternada suportada pelo ser humano é de 25mA	
Intensidade de Corrente Alternada (A)	Efeitos
Entre 15 e 25 mA	O indivíduo sente dificuldade de soltar o objeto energizado.
Entre 15 e 80 mA	O indivíduo é acometido a grandes contrações e asfixia.
Acima de 80 Ma	O indivíduo sofre graves lesões musculares e queimaduras, além de asfixia imediata.

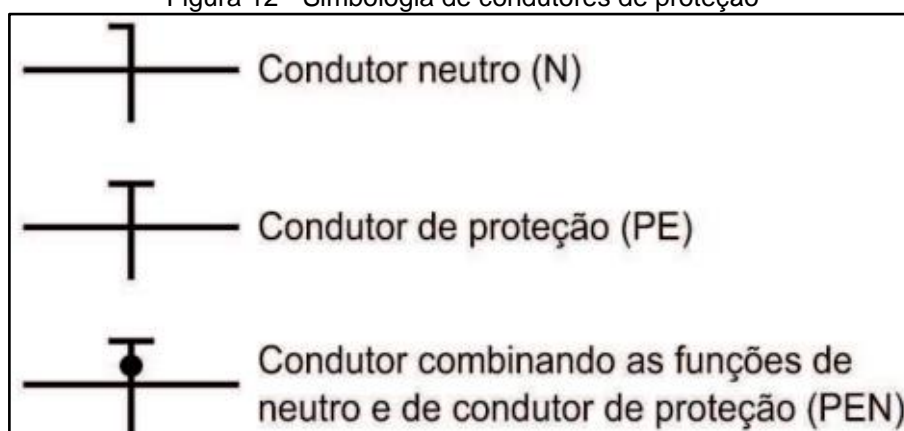
Fonte: FILHO (2017)

A gravidade das lesões depende do tempo em que o operador fica exposto a Corrente Alternada passando pelo seu corpo.

### 5.2.1.1 Classificação dos Sistemas de Aterramento

Segundo a ABNT NBR 5410, publicada em 2008, existem diferentes tipos de aterramentos conforme cada aplicação. E os projetos de Instalações Elétricas de Baixa Tensão tanto residenciais como industriais, no Brasil, devem estar de acordo com as especificações das normas. Os esquemas de aterramento devem ser classificados através de letras e as seguintes simbologias da Figura 12.

Figura 12 - Simbologia de condutores de proteção



Fonte: ABNT NBR 5410 (2008)

Os Sistemas de Aterramento são classificados por letras. A primeira letra aponta a situação da alimentação em relação à terra e que podem ser representadas por T ou I.

- T - Ponto aterrado diretamente ao solo;
- I – Isolação das massas em relação a terra;

A segunda letra aponta a situação do aterramento das massas em relação à terra, que podem ser representados pelas letras T, N, I, S ou C.

- T: Massas diretamente aterradas;
- N: Massas aterrada a alimentação;
- I: Não aterrada as massas;

As demais letras especificam como o aterramento vai ser utilizado, ou seja, se vai ser separado (S) ou comum (C).

- S: função de neutro e proteção separado, ou seja, o condutor de proteção (PE) é realizado separadamente do condutor neutro (N);

- C: função de neutro e proteção combinados, ou seja, o condutor de proteção (PE) tem o mesmo ponto do condutor neutro (N), com essa junção o condutor recebe a nomenclatura de (PEN);

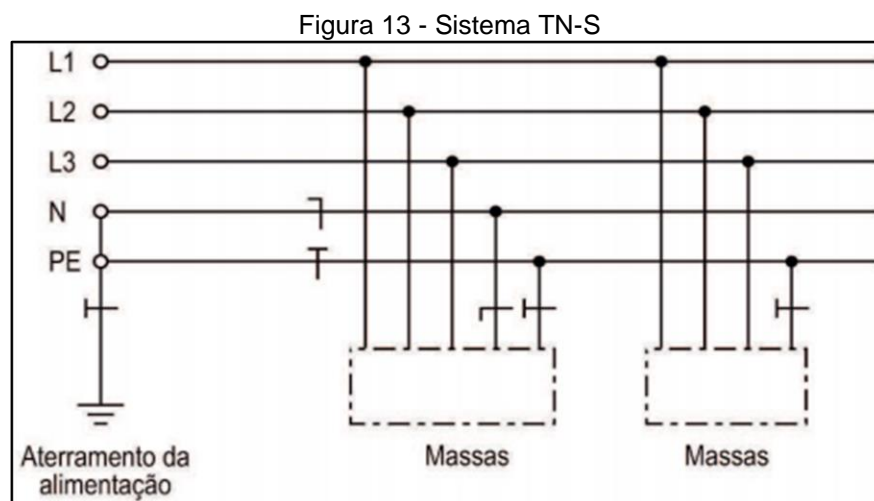
Com essas combinações de letras, são definidos os tipos de ligações TT, TN e IT descritos a seguir.

### 5.2.1.2 Sistema TN

Os sistemas TN é caracterizado por um ponto aterrado diretamente ao solo (T) e as massas são aterradas pelo ponto da alimentação através do condutor de proteção (N). Os sistemas TN podem ser divididos em três partes: TN-S, TN-C e TN-C-S.

#### a) Sistema TN-S

O condutor neutro e o condutor de proteção não estão ligados diretamente, pois são distintos e a conexão é feita no secundário do transformador. A Figura 13 mostra o tipo de ligação TN-S, o condutor de proteção (PE) está conectado a malha terra no secundário do transformador e é responsável por conduzir a corrente de defeito entre fase e a massa (motores, transformadores, quadro de distribuição, entre outros equipamentos) à terra.

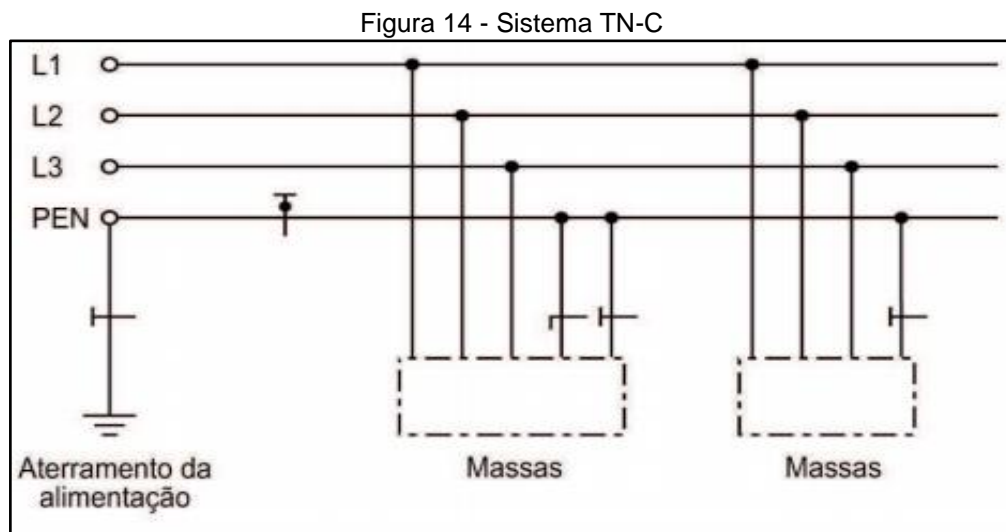


Fonte: ABNT NBR 5410 (2008)

A segurança das pessoas devem ser preservadas, desta forma todas as massas da indústria ou hospitais devem ser conectadas ao condutor de proteção, logo o condutor de proteção deve ser ligado a uma haste de aterramento ligado diretamente no solo (FILHO,2010).

### b) Sistema TN-C

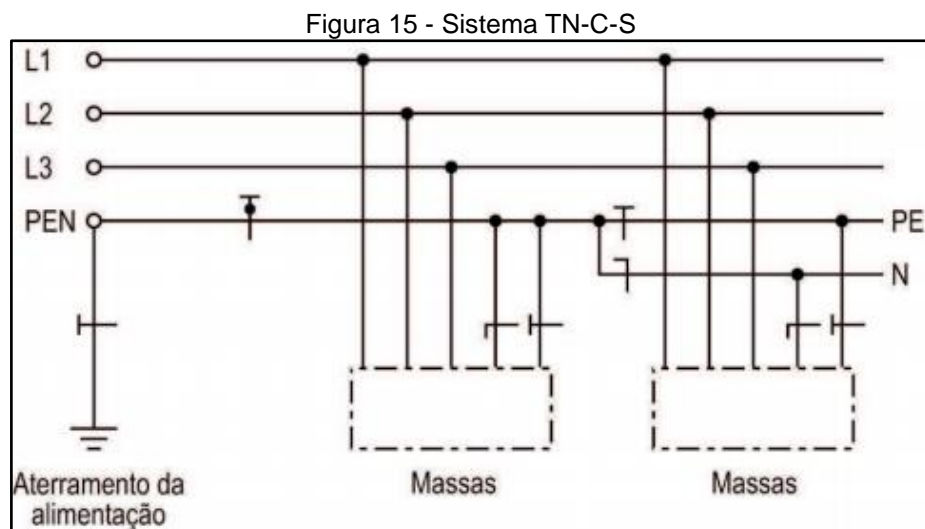
Neste sistema a função do neutro se combina com a do condutor de proteção, desta forma, se faz necessário apenas um condutor conhecido como (PEN) interligando todo o sistema das massas. O neutro além de conduzir a corrente de desequilíbrio também tem a função de conduzir a corrente de defeito até à terra. O problema desse sistema é se o condutor neutro (N) se romper as massas ficarão com o mesmo potencial da fase, colocando a vida dos operadores em risco (MORENO, 2011).



Fonte: ABNT NBR 5410 (2008)

### c) Sistema TN-C-S

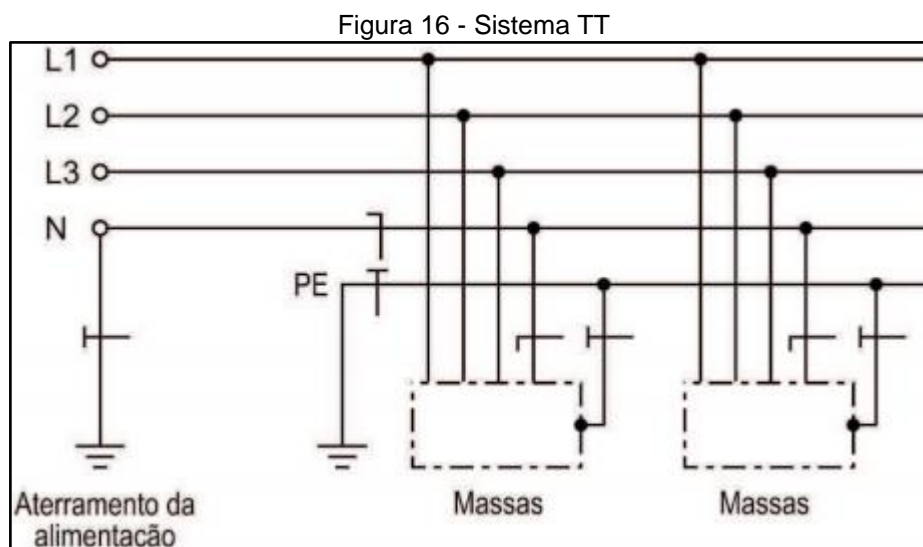
Este sistema o neutro e o condutor de proteção são combinados em um único condutor numa única parte do sistema.



Fonte: ABNT NBR 5410 (2008)

### 5.2.1.3 Sistema TT

Os sistemas TT é caracterizado pelo ponto de alimentação aterrado (T) com as massas aterradas e conectadas a um eletrodo de aterramento (T) podendo na instalação possuir vários eletrodos de acordo com o projeto. O aterramento da alimentação é independente do eletrodo das massas.



A corrente resultante de um curto-circuito está relacionada a qualidade do aterramento tanto da fase quanto das massas. Se o aterramento não for adequado em um possível curto-circuito a proteção corre o risco de não atuar no tempo estimado, colocando a vida das pessoas em risco. Neste tipo de sistema é ideal a instalação de um dispositivo de proteção conhecido como (DR) diferencial-residual que é instalado no quadro de distribuição do sistema elétrico (MORENO, 2011).

### 5.2.1.4 Sistema IT

Os sistemas IT é caracterizado pelo aterramento por impedâncias de valor elevado (I) e as massas ou partes não energizadas aterradas por meio de eletrodos (T) e outra característica é que o ponto de alimentação não está diretamente aterrado.

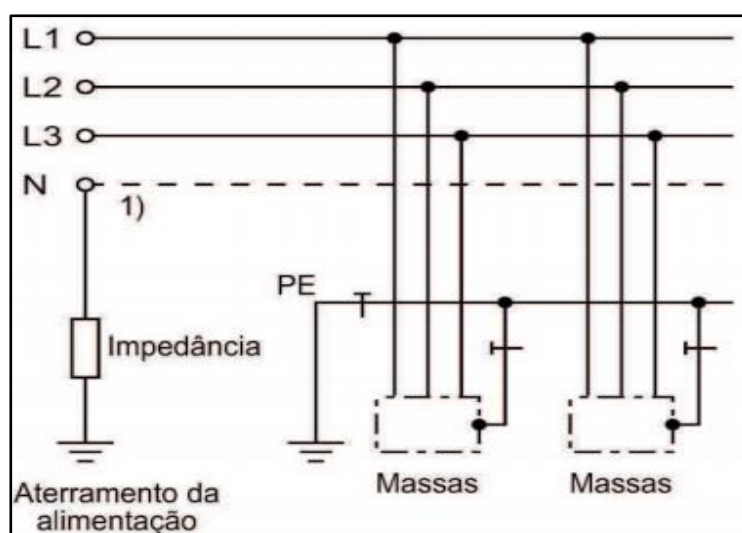
No sistema IT não possui uma corrente proveniente de uma falta fase-massa, pois o que seria suficiente para a proteção dos dispositivos atuarem, mas o fato da proteção não atuar representa um perigo para os operadores ou para as pessoas que



estiverem em contato com as massas energizadas. A proteção somente irá atuar em casos de dupla falta fase-massa, pois a corrente de curto-circuito será maior (MORENO, 2011).

Com isso, para a proteção do sistema IT deve se levar em consideração um dispositivo de supervisão de isolamento (DSI) que indica a ocorrência do primeiro defeito entre fase e massa, sem a necessidade de desligar o circuito, atua por efeito visual ou sonoro, e possui a vantagem do operador continuar a produção (FILHO, 2010).

Figura 17 - Sistema IT



Fonte: ABNT NBR 5410 (2008)

Como mostra a

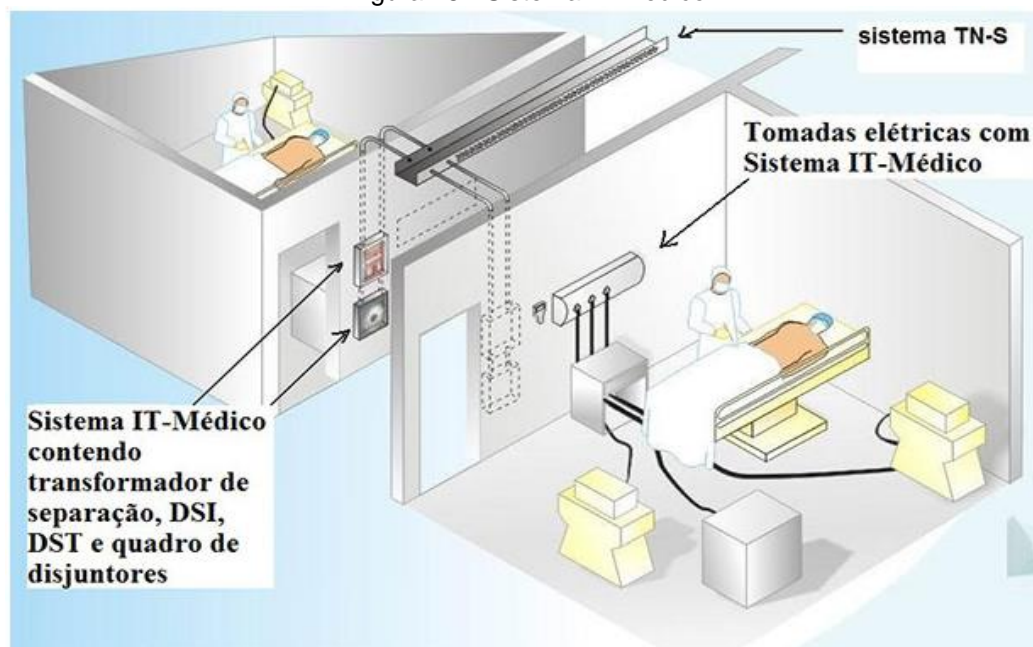
Figura 17, a fonte está aterrada através de impedâncias e as massas estão todas aterradas, pois segundo a ABNT 2004, as massas possuem um eletrodo de aterramento próprio. Uma outra característica desse sistema é o neutro (N) derivado do transformador em estrela (Y) que está aterrado através de uma impedância (Z). Esse valor da impedância deve ser elevado, afim de reduzir a corrente de curto circuito entre fase e massa (FILHO, 2010).

### 5.2.2 IT Médico

Esse sistema é utilizado e ideais para os locais do grupo 2 e tem a característica de prever falhas elétricas antes mesmo que aconteça. Em locais onde a segurança deve ser preservada, como em salas de cirurgias, o IT médico protege tanto a vida

dos pacientes como também os equipamentos eletromédicos (ALVES et al., 2017). A Figura 18 mostra o IT médico instalado em uma determinada área de cirurgia do hospital, exemplificando o tipo da instalação elétrica.

Figura 18 - Sistema IT-Médico



Fonte: ELOMED (2017)

Por questões de segurança é recomendado a utilização do sistema IT-Médico exclusivo em cada sala de cirurgia. Como citado na figura acima para efeito de maior proteção, os sistemas que compõem o IT-Médico são, Transformador de separação, DSI (Dispositivo Supervisor de Isolamento) e quadro de disjuntores e ainda é composto por sistema de sinalização (NBR 13534, 2008).

Segundo Castellari, 2013 as regras gerais para o IT-Médico são:

- Potência do Transformador de Separação de 8KVA a 10KVA;
- Transformador Monofásico de no máximo 10KVA;
- Disjuntor Bipolares de 127V ou 220V;
- Utilizar piso antiestático em salas onde contém o sistema IT-Médico;
- Não utilizar DRs;
- O local da instalação dos quadros elétricos devem ser perto da sala de cirurgia e UTI;

Uma vantagem desse sistema se ocorrer uma primeira falha ou um curto-circuito não influenciará no equipamento eletromédico e com isso não afetará o paciente nem o profissional da saúde contra choques elétricos. Com isso, esse

Sistema IT-Médico se torna uma das opções de proteção contra choques elétricos em pacientes em sistemas hospitalares como recomenda a NBR 13534.

### 5.3 Normas Aplicáveis

A ABNT é a única entidade reconhecida no Brasil responsável por edições e publicações das normas técnicas brasileiras. Criada em 1940, a ABNT publicou em 1941 a NBR 5410, que trata das Instalações Elétricas de Baixa Tensão, válida em todo o território nacional e que passou por edições e revisões em sua elaboração (Guia EM da NBR 5410, 2001). O Quadro 2 exemplifica o contexto histórico e as publicações dos primeiros documentos da NBR 5410.

Quadro 2 - Origem e Evolução da NBR 5410

Origem	
Data	Publicação
1914	Na Cidade do Rio de Janeiro, então Capital Federal, foi publicado o Código de Instalações Elétricas da Inspetoria Geral de Iluminação.
1941	Foi aperfeiçoado o Código de 1914 e transformado em uma norma publicada pelo Departamento Nacional de Iluminação e Gás.
1960	Neste período, o documento do ano de 1941 foi substituído pela NB-3, baseado na norma NFPA-70 ( <i>National Electrical Code</i> - EUA) e tendo sido publicado pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).
1980	A NB-3 foi substituída pela primeira edição da NBR 5410, tendo como base a norma IEC 60364 e a norma francesa NF C 15-100.

Fonte: MORENO et al. (2011)

#### 5.3.1 NBR 5410 – Instalação Elétrica de Baixa Tensão (2008)

A Norma Brasileira 5410 só é aplicada a partir do ponto de conexão do sistema elétrico da própria concessionária com a unidade consumidora. Com isso, a norma referida condiciona os projetistas e técnicos uma instalação elétrica de qualidade, tendo aplicação em diversos ambientes, tais como, residências, indústrias, hospitais entre outros (NUNES, 2016).

O principal objetivo da NBR 5410 é garantir a segurança das pessoas por meios de técnicas utilizadas nas instalações elétricas que garantem o bom funcionamento dos equipamentos e da instalação. Segundo a ABNT NBR 5410 (2008) em um projeto

elétrico devem ser previstos requisitos gerais para uma instalação elétrica hospitalar, tais como:

- a) Alimentação;
- b) Esquema de distribuição;
- c) Equilíbrio entre as fases;
- d) Dispositivos de proteção;
- e) Aterramento e Equipotencialização;
- f) Seletividade;
- g) Sistema de emergência;
- h) Seccionamento;
- i) Manutenção;
- j) Entre outros.

### 5.3.2 NBR 13534 – Instalação Elétrica em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (2008)

Segundo a NBR 13534 (2008) esta norma especifica as condições exigíveis das Instalações Elétricas em ambientes e locais destinados à assistência de saúde, a fim de garantir a segurança dos pacientes e demais profissionais da saúde. Para efeito dessa norma é considerado o local onde será realizado diagnóstico, tratamento ou a cirurgia. Esses locais são classificados em três grupos:

Quadro 3 - Classificação por GRUPO de locais para fins médicos

Local	Tipo de equipamento eletromédico
Grupo 0	Sem parte aplicada
Grupo 1	1) parte aplicada externa 2) parte aplicada a fluídos corporais, porém não aplicada ao coração
Grupo 2	Parte aplicada ao coração. Equipamentos essenciais à manutenção da vida dos pacientes.

Fonte: NBR 13534 (1995)

Parte aplicada é a parte do equipamento em uso que está em contato físico com o paciente ou precisa estar em contato com o paciente. A norma NBR 13534

relata quais tipos de aterramento podem ser utilizados em hospitais e os classifica de acordo com cada grupo.

Para efeito de segurança o Sistema TN-C não é permitido em locais que desempenham assistência à saúde, tais como, hospitais, posto de saúde, clínicas, entre outros. Ainda no Sistema TN-S, segundo a NBR 13534, 2008 para os locais do Grupo 1 os circuitos de tomadas devem ser protegidos por dispositivos diferenciais residuais (dispositivos DR) e corrente nominal do DR no máximo 30mA. Para o Grupo 2, na proteção utiliza-se dispositivos DR com seccionamento automático e corrente nominal do DR no máximo 30mA. Todos os dispositivos DR instalados em locais de assistência à saúde devem ser do tipo A ou tipo B e capaz de detectar corrente de falta. Para os Sistema TT aplica-se as mesma exigências do Sistema TN-S tanto no locais do grupo 1 e 2 e para o sistema de proteção é utilizado um dispositivo DR.

### 5.3.3 NBR ISO/CIE 8995-1 (2013)

A norma ISO/CIE 8995-1 (2013) estabelece os requisitos de Iluminação nos ambientes de trabalho e especifica os valores mínimos de iluminância para que as pessoas realizem atividades visuais de forma eficiente, visando a segurança e o conforto durante a realização do trabalho. A norma especifica os requisitos para o planejamento da iluminação nos ambientes internos de trabalho sendo elas:

- a) A iluminância é a grandeza que relaciona o fluxo luminoso incidindo em uma superfície de forma perpendicular em uma determinada área, lux é a unidade da iluminância;
- b) Recomenda-se calcular o valor de iluminância no local onde o usuário for realizar o trabalho, quando este valor de iluminância não é definido a altura de referência é de 0,75m acima do piso;
- c) Recomenda-se a utilização de iluminação suplementar com a finalidade de garantir o valor de iluminância requerida no local de trabalho;
- d) Recomenda-se que em áreas de trabalho contínuo a iluminância não seja inferior a 200 lux.

### 5.3.4 RDC Nº 50 (2002)

A resolução RDC nº 50 (2002) é um regulamento destinado aos estabelecimentos assistências de saúde (EAS) que dispõe de normas técnicas voltado para o planejamento, elaboração e aprovação dos projetos físicos. Os projetos são elaborados de acordo com as disposições imposta pela RDC nº 50 e devem atender todos os requisitos com a finalidade de padronizar a qualidade dos projetos para estabelecimentos assistências de saúde.

Um programa básico deverá ser desenvolvido para as instalações elétricas, contendo informações necessárias, afim de conciliar o projeto de arquitetura com as diretrizes no desenvolvimento do projeto, são elas:

- Verificação da localização da rede pública e o fornecimento de energia elétrica;
- Tensão local disponibilizado no primário e secundário do transformador;
- Descrições básicas sobre transformação e distribuição do sistema de fornecimento de energia elétrica;
- Descrição sobre sistema de proteção contra descargas atmosféricas;
- Localização do sistema de telefonia;
- Descrição básica dos sistemas de sonorização, intercomunicação, televisão e rádio, computadores e radiologia;
- Descrição sobre o sistema de aterramento em salas cirúrgicas;
- Descrição sobre sistema de emergência, geração de energia, central de alarmes contra incêndios;
- Consulta às concessionárias de energia elétrica e telefonia.

### 5.3.5 NBR 10898 (2013)

A NBR 10898 (2013) é a norma que trata de sistema de iluminação de emergência e fixa as condições necessárias para as instalações, edificações ou áreas fechadas sem iluminação natural. A NBR 10898 tem por finalidade evitar acidentes de pessoas, por meio de iluminação de emergência em locais estratégicos, levando em consideração possíveis sinistros, que possam ofuscar a visão humana, proveniente de acidentes de qualquer natureza, como por exemplo a fumaça.

As condições para sistema de iluminação de emergência são:

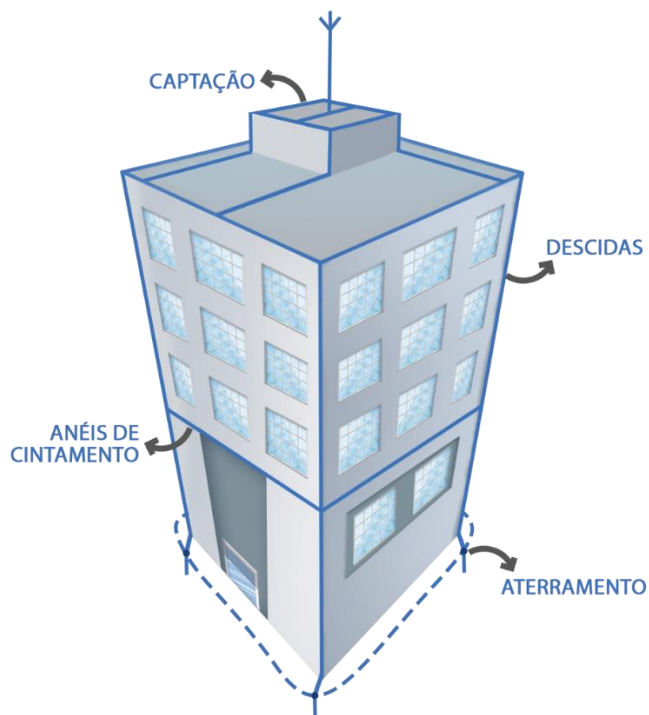
- a) O sistema deve garantir a iluminação adequada de áreas escuras horizontais e verticais para que as pessoas possam ter um controle visual das áreas abandonadas;
- b) O sistema de iluminação de emergência deve manter em funcionamento o tempo necessário para a localização de pessoas perdidas ou de resgate em caso de incêndio;
- c) As rotas de fuga devem estar devidamente sinalizadas com a finalidade de facilitar o abandono do estabelecimento em caso de acidentes de qualquer natureza;
- d) Topos das edificações verticais devem estar sinalizados para a localização das aeronaves a fim de minimizar riscos de acidentes (luz piloto).

. Em particular, a iluminação de emergência deve assegurar de forma ininterrupta, os serviços de primeiros socorros, serviços ferroviários, marítimo, e outros serviços essenciais. Contudo, a iluminação de emergência deve respeitar as condições fisiológicas do ser humano como a da visão noturna e diurna e adaptação de cada estado.

### 5.3.6 NBR 5419 (2015)

A NBR 5419 (2015) é a norma que trata a respeito de proteção de estrutura contra descargas atmosféricas e fixa as condições necessárias para projetos e instalações do SPDA de estruturas. Basicamente o SPDA consiste na proteção da edificação através de condutores horizontais, verticais ou a combinação de ambas, no topo da estrutura, afim de conduzir a descarga atmosférica até o solo. O SPDA é interligado com o sistema de aterramento que recebe a descarga atmosférica e dissipa a corrente para o solo, de forma segura, e paralelamente equalizando os potenciais.

Figura 19 - SPDA em Estruturas



Fonte: TERMOTÉCNICA PARA-RAIOS (2015)

A NBR 5419 (2005) aplica-se em estruturas utilizadas para fins comerciais, industriais e em estruturas especiais como em hospitais por exemplo. O SPDA não se aplica a estruturas externas de sistema de geração, transmissão e distribuição e não protege equipamentos eletrônicos contra interferências eletromagnéticas proveniente das descargas atmosféricas, para isso necessita-se de equipamento de proteção contra surtos (DPS).



## 6 ESTUDO DE CASO

Com o avanço na tecnologia, equipamentos eletromédicos tem se tornado um aliado tanto para pacientes como para usuários em hospitais do país, mas alguns desses equipamentos podem ser prejudiciais à qualidade de energia, pois podem gerar perturbações na rede elétrica. Existem diversos equipamentos utilizados para auxílio à medicina tais como, equipamentos de raios X, mamografia, tomografia computadorizada e entre outros (RAMOS, 2009).

### 6.1 Tomografia Computadorizada

A descoberta do raio x, no fim do século passado, trouxe diversos benefícios para a medicina através de radiografia e radioscopia. Com o passar do tempo os diagnósticos obtido pelos aparelhos de radiografia passaram por avanços tecnológicos, tendo um maior aproveitamento da radiação, assim os aparelhos demandaram maior potência de consumo. A inclusão do computador proporcionou um avanço significativo, pois possibilitou a realização de cálculos a partir da intensidade dos fótons (raios X) (CARVALHO, 2007).

A tomografia computadorizada é um método de diagnóstico que conta como benefício examinar as pessoas através da imagem sem a necessidade de invadir o corpo humano. A tomografia computadorizada permite ainda reproduzir qualquer secção do corpo humano em três planos do espaço e enxergar as estruturas do corpo humano em camadas com alta definição (GARIB et al., 2007).

Figura 20 - Aparelho de Tomografia Computadorizada

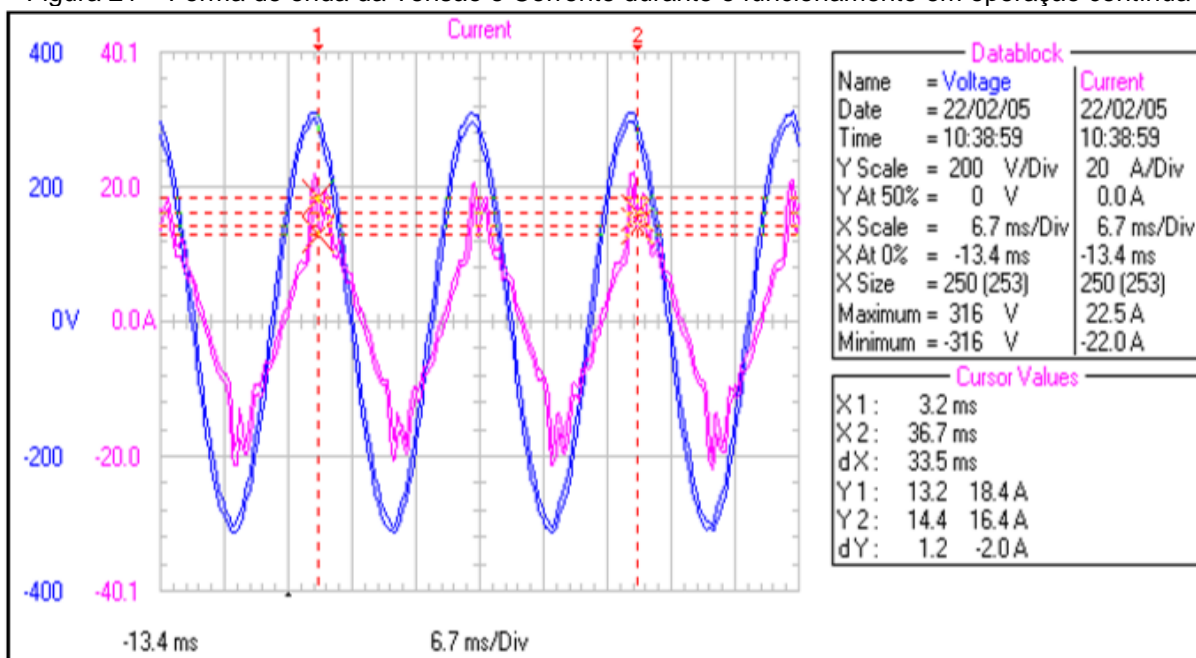


FONTE: GARIB et al. (2007)

Os equipamento de raio X, especificamente a tomografia computadorizada, baseia-se no equipamento girar em volta do paciente emitindo radiografias transversais. O computador tem a função de converter as radiografias recebidas do aparelho em pequenas fatias e em seguida formar uma imagem completa da parte do corpo em análise (RAMOS, 2009).

A Tomografia Computadorizada possui um comportamento semelhante a aparelho Raios X, solicita de uma corrente distorcida para o funcionamento. A Figura 21 mostra as formas de onda da Tensão, em rosa, e a da Corrente, em azul, de um aparelho de tomografia computadorizada durante o seu funcionamento (RAMOS, 2009). Através da forma de onda da corrente percebe-se a presença de harmônico no sistema, comportamento típico que distorce a forma de onda e prejudica o sistema elétrico. Os valores apresentado para a tensão são de: tensão máxima igual a 316V e tensão mínima igual a -316V, valor eficaz da tensão de alimentação de 220V. Para as correntes temos valores de corrente máxima de 22,5A e corrente mínima de -22,0A característico do funcionamento do equipamento em estudo.

Figura 21 – Forma de onda da Tensão e Corrente durante o funcionamento em operação contínua

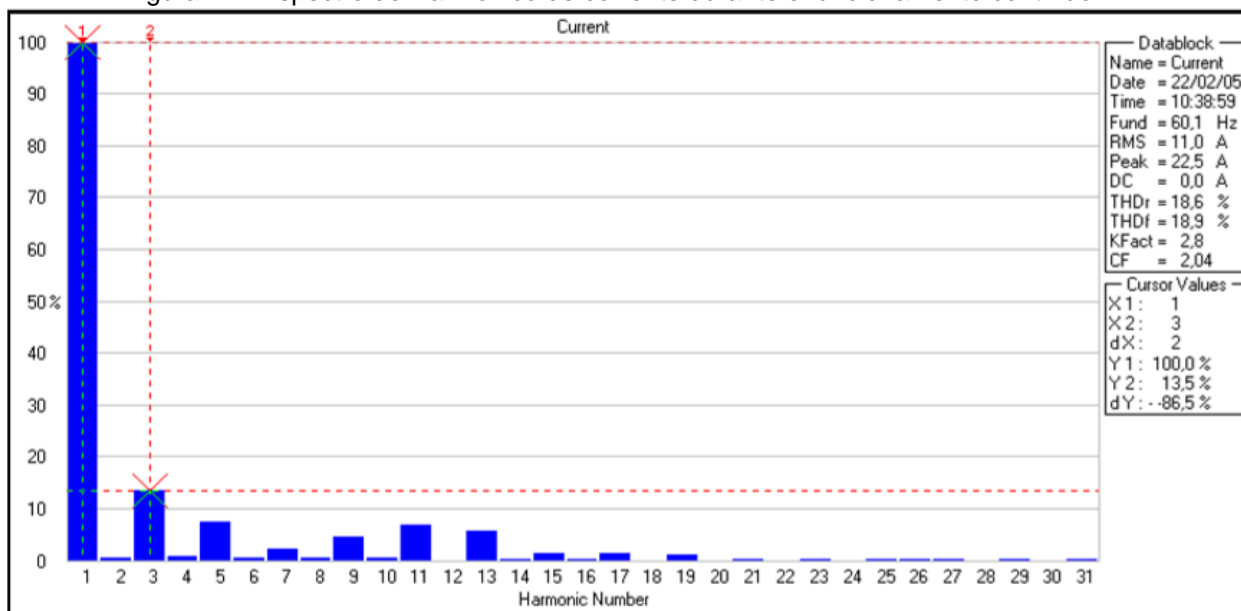


FONTE: RAMOS (2009)

Dos valores do gráfico tem-se que o valor máximo de corrente é de 22.5 A. A Figura 22 mostra uma medição realizada para verificar o espectro de harmônico da corrente em uma análise de porcentagem (eixo x) pelo número de harmônico (eixo y),

na medição está contida informações referentes à distorções que prejudicam a qualidade de energia.

Figura 22 - Espectro de Harmônico de corrente durante o funcionamento contínuo



FONTE: RAMOS (2009)

- THD<sub>R</sub> = 18,6% (Distorção Harmônica Total de Corrente resultante);
- THD<sub>F</sub> = 18,9% (Distorção Harmônica Total de Corrente fundamental);
- Kfact = 2,8 este valor pode ser obtido pela equação (3);
- CF = 2,04 (Fator de Crista).

### 6.1.1 Transformador

Segundo a ANSI/IEEE C57.110 (1986) a existência de harmônicos de corrente provoca perdas no cobre e no ferro, com essas condições ocorreram sobreaquecimento nos transformadores, diminuindo a vida útil e o rendimento. Uma solução para esse problema para mantê-lo em correto funcionamento é a necessidade de reduzir as cargas admissíveis. Recomendações das norma citada, o valor de corrente máxima de um transformador (delta-estrela) poderá fornecer pode ser calculada através da equação (3).

Equação 3

$$I_{max}(pu) = I_n \left[ \frac{1,15}{1 + 0,15K_{fact}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Equação 4

Onde:

$$K_{fact} = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} h^2 HD_I^2}{\sum_{h=1}^{\infty} HD_I^2} \quad (4)$$

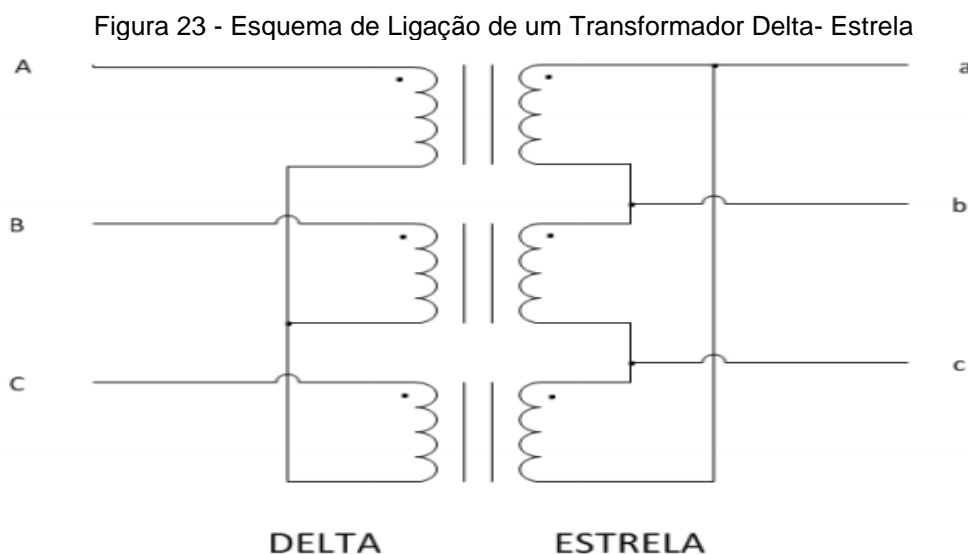
Sendo:

 $I_n$  – Corrente Nominal do Transformador;

h – Harmônico de Corrente (Ordem);

 $HD_I$  – Distorção Harmônica (Corrente)

De posse desses valores pode-se calcular o transformador que alimenta o equipamento (tomografia computadorizada). Utilizando a equação (4) e os valores  $I_{max} = 0,899 \cdot I_n$   $K_{fact} = 2,8$  o transformador utilizará 89,9% da potência nominal. O cálculo do transformador deve ser levado em consideração, pois correntes harmônicas prejudicam os enrolamentos do trafo causando sobreaquecimento e perda na isolação (CARVALHO, 2013). A figura 23 mostra o esquema de ligação de um transformador trifásico delta-estrela, pois segundo CREDER (2007) os transformadores são utilizados também como filtro para os componentes harmônicos múltiplos de 3, evitando a propagação de harmônicos para a fonte. Desta forma, transformadores se tornam um componente indispensável em projetos hospitalares, pois tal equipamento contribui de forma benéfica quando o assunto é qualidade de energia.



FONTE: CARVALHO (2013)

### 6.1.2 Teste Realizado

Dados referentes a um estudo sobre tomografia computadorizada, teste realizados com equipamentos fonte modelo 390 AMX *Pacific Power Source* potência de 9 KVA de saída. Utilizado um controlador UMC-31 trifásico, gerando frequência na faixa de 45 a 500 Hz e precisão de 0,5% (RAMOS 2009). A Figura 24 mostra um modelo de fonte utilizado para realizar testes em equipamentos eletromédicos e gerar formas de ondas distorcidas.

Figura 24 - Fonte de Tensão *Pacific*



FONTE: RAMOS (2009)

Para gerar afundamentos de tensão de curta duração foi utilizado a fonte modelo PS50-3P, Porto-Sag, e possui a característica tensão de alimentação na faixa de 90 a 264 VAC e frequência 50 e 60 Hz. Tal equipamento pode ser utilizado para realizar teste em equipamento eletromédico com corrente nominal de até 50A (RAMOS 2009). A Figura 25 mostra a fonte Porto-Sag, modelo PS50-3P, valor de tensão entre fase e neutro máximo de 277 V.

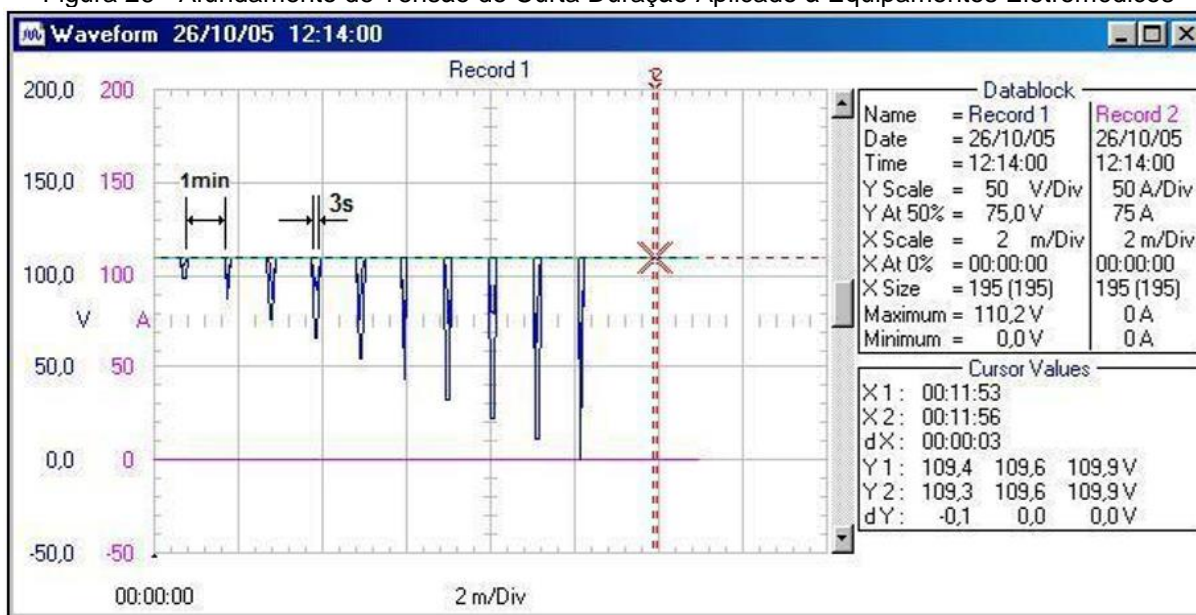
Figura 25 - Fonte de Tensão Porto-Sag



FONTE: RAMOS (2009)

Testes aplicados a um equipamento eletromédico de tomografia computadorizada com a finalidade de identificar o comportamento e as consequências causadas frente as perturbações que são comumente causados à rede elétrica. Os valores de afundamento de tensão de curta duração depende da potência de curto-circuito da rede. Equipamentos eletromédicos (tomografia computadorizada) apresenta dois modo de operação o contínuo, conhecido como stand-by e o momentâneo. Normalmente o modo contínuo apresenta potência envolvida reduzida, diferente do modo momentâneo que ocorre durante o disparo da radiação. No momento do disparo de radiação o pico de corrente gerado duram entre 3 ou 4 segundos e possui espaços de acordo com a quantidade de radiografias realizadas (RAMOS 2009). A Figura 26 mostra a medição de equipamentos eletromédicos frente a um afundamento de tensão de curta duração com duração de 3 segundos e espaçados de 1 minuto. A intenção desse teste é verificar o comportamento do equipamento frente aos afundamentos de tensão de diferentes valores com um afundamento de tensão máximo de 110,2V, com isso, o equipamento apresenta funcionamento irregular diminuindo a sua vida útil com o passar do tempo, podendo ser solucionado com a utilização de um transformador exclusivo para o equipamento.

Figura 26 - Afundamento de Tensão de Curta Duração Aplicado à Equipamentos Eletromédicos



FONTE: RAMOS (2009)

## 6.2 Correção de Harmônicos

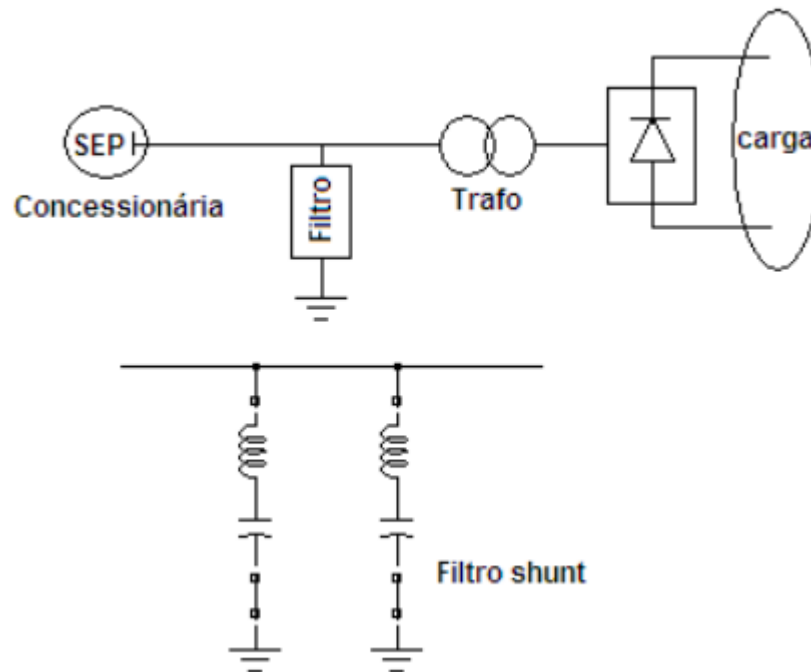
Para um melhor aproveitamento da energia elétrica, existem dispositivos que auxiliam na correção das perturbações da rede elétrica tais como, harmônicos, afundamento de tensão, fator de potência, entre outros. Cargas com características não-lineares geram distorções na forma de onda da corrente, contendo alto conteúdo harmônico, as correntes injetadas nas instalações hospitalares podem ocasionar diversos problemas, e para a solução de tal problema a prática mais comum é a utilização de filtros harmônicos (NASCIMENTO, 2007).

Existem técnicas de utilização de filtros harmônicos como, filtros ativos de potência em série/paralelo com o sistema elétrico ou filtros passivos conectado ao sistema elétrica em série/paralelo. Com estas técnicas o objetivo do filtro é reduzir a amplitude das frequências de corrente/tensão harmônicos, podendo também compensar a energia reativa e consequência disto melhorar o fator de potência (TEIXEIRA, 2009). Os filtros podem ser classificados pela localização, largura de faixa de sintonia e pela frequência de ressonâncias.

A figura 27 mostra uma conexão típica de um filtro "shunt" (paralelo) que está ligado ao sistema, este tipo de ligação proporciona um caminho de baixa impedância com a finalidade de evitar a entrada das frequências harmônicas no sistema. Os harmônicos causam um valor de corrente maior do que o necessário para a carga,

resultando um fator de potência baixo. Este tipo de sistema tem menor custo e é dimensionado para correntes harmônicas na qual está sintonizado (3º Harmônica). Outra característica do filtro shunt é que, com a utilização dos capacitores, os filtros corrigem o fator de potência, pois fornecem potência reativa para o sistema elétrico.

Figura 27 - Conexão Típico de um Filtro Shunt



FONTE: TEIXEIRA (2009)

Como visto na Figura 27 o filtro em derivação “shunt” é constituído por resistores, capacitores e indutores, ainda para se obter uma qualidade de energia para o sistema elétrico utiliza-se um transformador já mencionado anteriormente e um sistema de aterramento. O filtro tem a função de injetar uma corrente “limpa” ao sistema que se soma com a corrente da carga, minimizando distorções harmônicas que flui na rede elétrica (POMILIO et al, 2017).

Existem dois tipos de filtros os sintonizados e os amortecidos, mas especificamente os filtros sintonizados são construído com a finalidade de filtrar harmônicos específicos. Usualmente é sintonizado para eliminar a 5ª harmônica e seus componentes devem ser projetados e serem capaz de suportar os esforços elétricos (ELECTRIC, 2019).

O projeto de um filtro sintonizado constitui de um circuito série RLC e como já mencionado é sintonizado para um harmônico específico e sua impedância é dada pela equação 5:



Equação 5

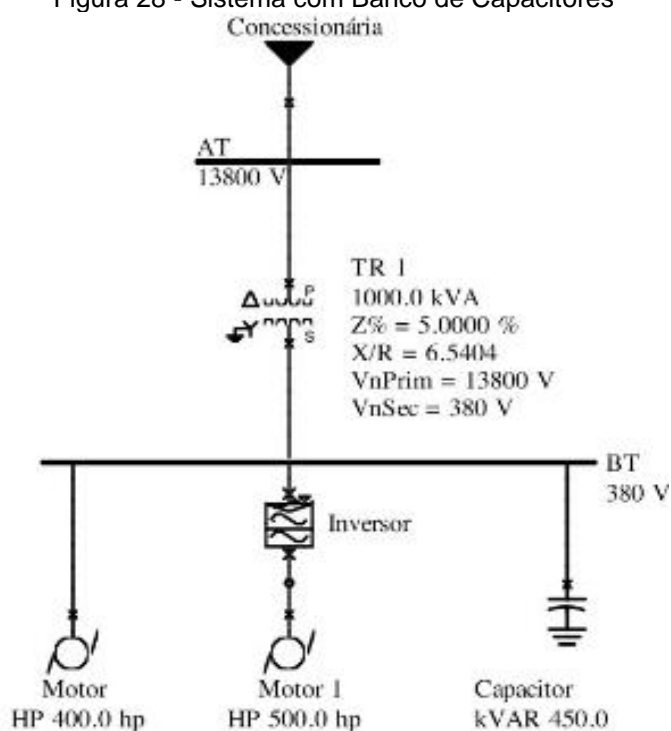
(5)

$$Z_{hf} = R + j(W_h L - \frac{1}{W_h C})$$

E os componentes tais como, capacitores, indutores e resistores, devem ser dimensionados para suportar as diversas condições de operação afim de reduzir ou evitar danos a tais equipamentos. Para isso alguns fatores são considerados como as correntes harmônicas, desvio de frequência, tensão fundamental máxima, entre outros (TEIXEIRA, 2009).

Os capacitores são os componentes no circuito que podem ser conectados em série ou em paralelo com a finalidade de obter a tensão total que é desejada e a potência aparente nominal. E tem como as principais características custo, potência reativa por volume e perdas, e para a especificação de um capacitor é necessário alguns critérios tais como: Tensão nominal, Capacitância nominal, Potência do capacitor, Classe de isolamento, Temperatura, Tolerância e o Tipo dielétrico do capacitor (Teixeira, 2009). A figura 28 mostra um sistema com banco de capacitores e possui alguns benefícios, limita os harmônicos para um nível específico, corrige o fator de potência, aumenta a vida útil dos equipamentos, suporta eventos transitórios, atende os parâmetros do PRODIST, entre outros (ELECTRIC, 2019)

Figura 28 - Sistema com Banco de Capacitores



FONTE: ELETTRIC (2019)

Já os indutores, segundo Teixeira (2009), que possuem núcleos não magnéticos são melhores para o projeto de um filtro, pois não acrescentam perdas por histerese no circuito. Em relação ao custo do equipamento está diretamente relacionado a máxima corrente e o nível de isolamento requerido para o sistema para suportar aos surtos oriundo das manobras, com isso se o nível de isolamento for reduzido isso implica em custo menor ao projeto. As especificações de um indutor núcleo de ar são: Nível de isolamento, Tensão nominal, Indutância nominal, Corrente Nominal e em relação aos harmônicos devem ser considerados as correntes e frequências harmônicas.

As especificações dos resistores de potência são: Resistência nominal, Tensão nominal, Corrente nominal já com a inclusão dos harmônicos e Tolerância da resistência ( $\pm 5\%$ ).

### 6.2.1 Custo de filtros

Os investimentos relacionados a um filtro harmônico está entre 5 a 15% do custo final do projeto. No ponto de vista técnico-econômico este custo é relativamente alto, portanto o que deve ser considerado é a proteção dos equipamentos eletromédicos. O custo de um filtro está relacionado ao fornecimento de potência reativa ao sistema e ao tamanho do filtro. Um filtro mínimo é o qual elimina harmônicos de forma eficaz com um custo reduzido, com isso são várias as composições físicas para se obter a qualidade de energia, seja ela filtro em série ou paralelo. A figura 29 mostra a curva de custo total de um filtro que são basicamente dois componentes e também ao seu tamanho (S). A curva é proporcional à equação 6.

$$\begin{array}{l} \text{Equação 6} \\ K = AS + \frac{B}{S} \end{array} \quad (6)$$

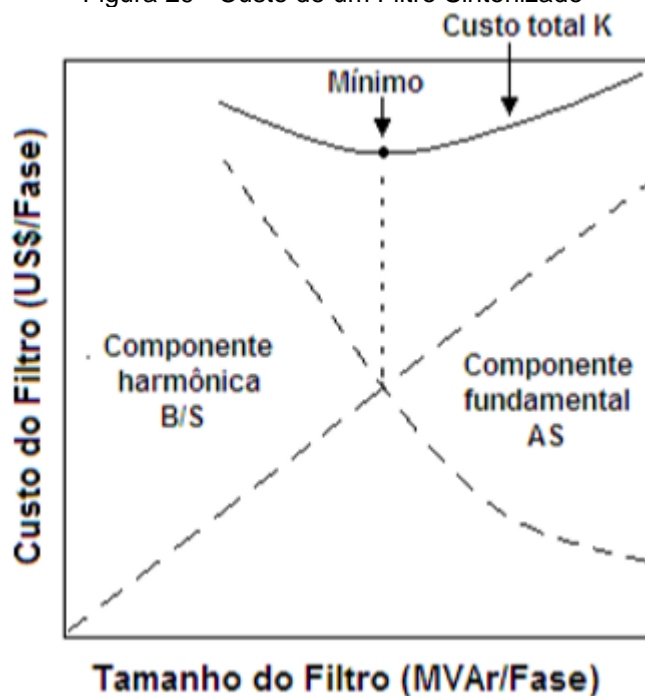
S: Tamanho (MVA<sub>r</sub>);

K: Custo total (\$);

A, B: Constante (\$/MVA<sub>r</sub>).

Com isso, podemos concluir que, 60% do investimento de um filtro é do capacitor e se forem projetado de forma adequada podem implicar numa economia ao projeto, restando cerca de 30% para os indutores e restante ao demais componentes (TEIXEIRA, 2009)

Figura 29 - Custo de um Filtro Sintonizado



FONTES: TEIXEIRA (2009)

### 6.3 Aterramento

O aterramento tem a função de propiciar um referencial entre as tensões do sistema à terra, pois a terra possui o mesmo potencial em todos os pontos de referência e é considerada o potencial zero em relação as tensões (DECKMANN e POMILIO, 2018). O aterramento também tem a finalidade de criar um caminho seguro para a corrente à terra, nas instalações elétricas, e eliminar energias estáticas, sendo que a energia estática pode danificar placas de circuitos eletrônicos de um equipamento hospitalar e consequência disso prejudicar a vida de um paciente no momento de uma cirurgia. Os tipos de aterramento devem ser analisados segundo a NBR 5410 e ser utilizadas conforme a necessidade de cada instalação elétrica, sendo o maior benefício de um aterramento a segurança pessoal. Segundo Moreno e Costa (1999) no sistema elétrico os transitórios que são provocados por faltas fase/terra, chaveamentos, provocam variações bruscas na tensão, portanto o aterramento tem a característica de estabilizar a tensão. A sobretensão que são provenientes dos transitórios podem provocar a degradação na isolação dos aparelhos eletrônicos.

## 7 CONCLUSÃO

O presente estudo abordou a qualidade de energia e sistema de aterramento em estabelecimentos de saúde. Com isso, foram apresentadas normas vigentes com os requisitos necessários para a operação e manutenção dos dispositivos elétricos presentes neste tipo de local.

Através da análise das normas e definições técnicas acerca do sistema elétrico, foi possível verificar a importância de traçar um estudo específico, tendo em vista que os estabelecimentos de saúde necessitam de uma rigorosa atenção quanto à segurança em diferentes aspectos, a fim de manter a integridade física de todos os envolvidos.

Além da promoção de segurança, a qualidade da energia foi abordada através de um estudo de caso. Foi apresentada as características de uma das cargas específicas presentes em hospitais, o tomógrafo. As interferências que este equipamento gera no sistema elétrico foram apresentadas para evidenciar a necessidade de aquisição e instalação de equipamentos específicos para filtragem e correção dos parâmetros elétricos.

Apesar do estudo apresentar somente uma das cargas especiais encontrada em estabelecimentos de saúde, foi possível verificar que estas possuem particularidades que necessitam de maior atenção para sua correta utilização, prolongando assim sua vida útil.

Após a finalização do estudo foi verificado possíveis tópicos que podem ser abordados como continuação deste trabalho, como:

- Obtenção de parâmetros reais obtidos de tomógrafos hospitalares para projeto de filtros e demais equipamentos;
- Análise de demais cargas comumente encontradas em estabelecimentos de saúde;
- Visita e aquisição de dados em hospitais da região para análise do sistema elétrico com intuito de verificar qualidade de energia e segurança.
- Projeto de modificação da instalação elétrica em um estudo de caso real visando qualidade e segurança, apresentando custo e estimativa de melhoria na vida útil de equipamentos.

## 8 REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, Revisão 8, vigente a partir de 01/01/2017

ALVES, B. L.; DA SILVA, G. P; RODRIGUES, S. M. **Hospital e maternidade nova vida: o uso da Medicina preventiva como modelo de gestão para a área da saúde**. Revista IT-Inovação & Tecnologia, v. 1, n. 1, 2017.

ANEEL (Org.). **DEFINIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO**. Uberlândia: FAU, 2014.

ANSI/IEEE C57.110, **IEEE Recommend Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents**. New York: ISBN, 1998. 39 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000**. Sistema de gestão na qualidade – Fundamentos e Vocabulário. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10898: **Sistema de iluminação de emergência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 24 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13534: Instalações Elétricas em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde - Requisitos para Segurança**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 209 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5419: **Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 32 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60601-1-11: Equipamento Eletromédico Parte 1-11: Requisitos básicos para a segurança básica e o desempenho essencial**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 61 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/CIE 8995-1: **Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 46 p.

CAPELLI, A. **Aterramento elétrico**. Saber Eletrônica, v. 329, p. 56-59, 2000.

CARVALHO, A. C. P. (Org.). História da tomografia computadorizada. **História da Radiologia**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 29, p.61-66, set. 2007.

CARVALHO, R. S. **Análise Harmônica em Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. 2013. 101 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

CASTELLARI, S. **Instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde**. 2013. Capítulo III. Disponível em:

[http://www.rdibender.com.br/artigos/Artigo\\_Instalacoes\\_Eletricas\\_em\\_EAS.pdf](http://www.rdibender.com.br/artigos/Artigo_Instalacoes_Eletricas_em_EAS.pdf).  
Acesso em: 02 abr. 2019.

Castellari, S.; Instalações elétricas em estabelecimentos assistenciais de saúde CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA (Brasil). **Resolução nº 1.931**, de 17 de setembro de 2009. Código de Ética Médica, Brasília, 2010. Capítulo 1, 74 p.  
COPEL (Paraná). **Fator de Potência: Em busca da eficiência energética nas instalações elétricas.** 2019. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2FIndustrial%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F3EEA18EF30A08466032573F7006BCCA0>>. Acesso em: 03 set. 2019.

COSTA, P. R. B.; PANOZZO, V. M. **Assistência à saúde nos serviços de alta complexidade no Brasil: uma experiência de trabalho do assistente social.** Revista ampliar, v. 2, n. 8, p. 1-21, 2015.

COUTINHO, A. **O papel da energia elétrica nos hospitais.** Disponível em: <[http://www.g3h.com.br/downloads/Materia\\_Energia\\_Alberto\\_Coutinho.pdf](http://www.g3h.com.br/downloads/Materia_Energia_Alberto_Coutinho.pdf)>. Acesso em: 05 de outubro de 2019.

CREDER, H. **Instalações Elétricas.** 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

DECKMANN, S. M.; POMILIO, J. A. **Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica.** 2018. 15 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Unicamp, Campinas, 2018.

DIAS, G. A. D. **Harmônicas em Sistemas Industriais.** 2. ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2002.

DIONISIO, G; SPALDING, L. E. S. **Visualização da forma de onda e conteúdo harmônico da corrente elétrica alternada em eletrodomésticos.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 39, n. 1, p.1-15, 22 set. 2017.

ELECTRIC. **FILTRO DE HARMÔNICA SINTONIZADO.** 2019. Disponível em: <<https://electric-service.com.br/power-quality/filtro-sintonizado/>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

ELETRICIDADE, D. **O que é corrente e tensão alternadas?** 2016. Disponível em: <<https://www.desterroeletricidade.com.br/blog/eletrica/o-que-e-corrente-e-tensao-alternadas/>>. Acesso em: 27 set. 2019.

FERREIRA, A. A. **CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DE VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO.** 2002. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

FILHO M. J. **Instalações Elétricas Industriais.** Rio de Janeiro: LTC, 2010.

FILHO, J. M. **Instalações Elétricas Industriais.** 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2017.

GARIB, D. G. et al. (Ed.). **Tomografia computadorizada de feixe cônico (Cone beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na Ortodontia.** Maringá, v. 2, n. 12, p.139-156, mar. 2007

**GUIA EM DA NBR 5410.** São Paulo: Revista Eletricidade Moderna, 2001.

LIMA, D. L. **ANÁLISE DA QUALIDADE E SEGURANÇA ELÉTRICA EM SALA CIRÚRGICA.** 2017. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2017.

MACIEL, J. C. C.; RODRIGUES, C. L. P. **RISCOS DE CHOQUES ELÉTRICOS EM EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS.** 1998. 7 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Biomédica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1998.

MARCELO, A. **REDE DE SENSORES SEM FIO APLICADA NO MONITORAMENTO DE BANCOS DE BATERIAS PARA NOBREAKS.** In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 2010, Bonito: CBA, 2010. p. 2357 - 2363.

MEHL, Evaldo L.M. **Qualidade da energia elétrica.** Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>>. Acesso em: 9 de outubro de 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **RDC N° 50: Infraestrutura de Estabelecimentos Assistenciais de Saúde.** Brasília: 2002.

MORALES, V. H. F. **Manutenção e segurança elétrica hospitalar: Aplicação e gerenciamento de meios de proteção e medidas de segurança contra choques elétricos.** 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19535>. Acesso em: 02 ago. 2017.

MORALES, V. H. F. **Manutenção e segurança elétrica hospitalar: Aplicação e gerenciamento de meios de proteção e medidas de segurança contra choques elétricos.** 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19535>. Acesso em: 03 ago. 2017.

MORENO, H. et al (Ed.). **Guia o Setor Elétrico de Normas Brasileiras.** São Paulo: Altitude Editorial Ltda, 2011. 289 p.

MORENO, H.; COSTA, P. F. **Aterramento Elétrico.** São Paulo: Procobre, n. 4, 2018.

MORENO, H.; COSTA, P.F. **Aterramento Elétrico.** São Paulo: Procobre, 1999. 39 p.

NASCIMENTO, R. P. do. **Proposta de procedimentos para projetar filtros harmônicos a partir de um programa de penetração harmônica, incluindo cálculos de desempenho e de suportabilidade.** 2007. 238 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

NUNES, E. G. S. **PREVENÇÃO CONTRA CHOQUE ELÉTRICO EM EDIFICAÇÕES PREDIAIS DO DISTRITO FEDERAL: NR 10, NBR 5410 e NBR 5419.** 2016. 137 f.

TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

**O SETOR ELÉTRICO: Desequilíbrios de tensão.** Belo Horizonte: Atitude Editorial, 2013.

**O SETOR ELÉTRICO: Medidas de Mitigação de Harmônicos.** Belo Horizonte: Atitude Editorial, 2010.

OLIVEIRA, C. G. **Estudo sobre conservação de energia elétrica e qualidade de energia elétrica.** 2009. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. São Paulo, Campinas, 2009.

PARA-RAIOS, T. Engenharia: **SPDA.** 2015. Disponível em: <<https://tel.com.br/engenharia>>. Acesso em: 16 out. 2019.

POMILIO, J. A. et al. **Eletrônica de Potência para Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica.** Campinas: Unicamp, 2017.

RAMOS, M. C. G. **Uma contribuição para a área de saúde por meio da verificação do impacto da qualidade de energia e das instalações elétricas nos equipamentos eletromédicos.** 2009. 253 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ROCHA, J. E. **Qualidade da Energia Elétrica.** Curitiba, 2016.

RODRIGUES, A. M. **INFLUÊNCIA DA DISTORÇÃO HARMÔNICA E DE DESEQUILÍBRIOS EM MEDIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA ATIVA.** 2009. 11 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2009.

RODRIGUES, L. C. P. **Técnicas para a detecção, classificação e localização no tempo das variações de tensão de curta e longa duração.** 2008. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SANTOS, A. H. M. et al (Org.). **CONSERVAÇÃO DE ENERGIA: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações.** 3. ed. Itajubá: Procel EducaÇÃO, 2006. 597 p.

SÔNEGO, F. S. **Estudo de métodos de avaliação de tecnologias em saúde aplicada a equipamentos eletromédicos.** 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SPALDING, L. E. et al. **Monitoramento de risco elétrico dentro de sala de cirurgia utilizando sistemas embarcados: Status de internacionalização de pesquisa.** Revista Médica HSVP, Passo Fundo, v. 41, n. 81, p.80-87, jun. 2015.

TEIXEIRA, D. A. **ANÁLISE DAS DISTORÇÕES HARMÔNICAS – ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA INDUSTRIAL.** 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Ppgee – Ufmg, Belo Horizonte, 2009.