



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CAMPUS CARAUBAS
CURSO BACHAREL EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

JEFFERSON DA COSTA REZENDE

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DE ENERGIA
ELÉTRICA NO PRÉDIO DO BLOCO DE LABORATÓRIOS II DA
UFERSA CAMPUS CARAÚBAS**

CARAÚBAS-RN
2018

JEFFERSON DA COSTA REZENDE

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DE ENERGIA
ELÉTRICA NO PRÉDIO DO BLOCO DE LABORATÓRIOS II DA
UFERSA CAMPUS CARAÚBAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), como exigência final para obtenção do
título de Bacharel em Ciências e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Prado de Medeiros -
UFERSA

RR467 Rezende, Jefferson .
a AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DE
ENERGIA ELÉTRICA NO PRÉDIO DO BLOCO DE
LABORATÓRIOS
II DA UFERSA CAMPUS CARAÚBAS / Jefferson
Re
zende.
- 2018.
52 f. : il.

Orientador: Rodrigo Medeiros.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

1. Qualidade de energia elétrica. 2.
Indicadores. 3. ANEEL. I. Medeiros, Rodrigo ,
orient. II. Título.

JEFFERSON DA COSTA REZENDE

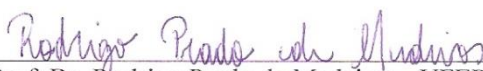
**AVALIAÇÃO DE INDICADORES DE QUALIDADE DE ENERGIA
ELÉTRICA NO PRÉDIO DO BLOCO DE LABORATÓRIOS II DA
UFERSA CAMPUS CARAÚBAS**

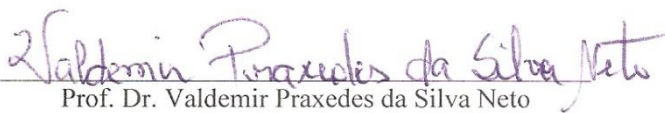
Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), como exigência final para obtenção do
título de Bacharel em Ciências e Tecnologia.

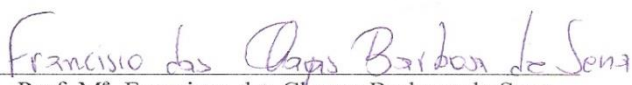
Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Prado de Medeiros -
UFERSA

APROVADO EM 17 / 04 / 18

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Rodrigo Prado de Medeiros - UFERSA
Orientador - Presidente


Prof. Dr. Valdemir Praxedes da Silva Neto
Segundo Membro


Prof. M^c. Francisco das Chagas Barbosa de Sena
Terceiro Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Rodrigo Prado de Medeiros, que muito me ajudou na elaboração deste trabalho. Agradeço também à Edpo Rodrigues de Moraes, pois me ajudou no início do trabalho, e à Elias Samuel Soares Cezário pela ajuda oferecida na coleta de dados.

Por último, mas não menos importante, *Soli Deo Gloria*.

Aos meus pais, Antonio Jailson de Rezende e Vigorete Costa Melo de Oliveira, dedico este trabalho, pois me deram educação e alicerce para a minha formação.

DEDICO

“A educação é essencialmente uma ‘busca comum’, formada por tradições e direcionada para fins reconhecíveis. Engajar-se nela é perceber uma forma de comunidade, e desejar-la é desejar essa comunidade.”

Roger Scruton

RESUMO

A energia elétrica é indispensável para o desenvolvimento humano, sendo recurso fundamental para o mundo moderno, visto que está associada a todos os setores que mobilizam a economia de um país. Contudo, a manipulação de energia elétrica requer cuidados para manter sua utilização adequada, a fim de prevenir distúrbios que possam prejudicar as atividades que necessitam dela. Um dos grandes problemas enfrentados nos sistemas elétricos são as anomalias nos indicadores de qualidade de energia elétrica, que podem estar associadas a variações transitórias de tensão, presença de ruído na rede elétrica, variações de frequência e presença de harmônicos. O presente trabalho propõe avaliar alguns indicadores de qualidade de energia elétrica no prédio do bloco de laboratórios II da Universidade Federal Rural do Semi-Árido campus Caraúbas, visto que o prédio comporta uma quantidade considerável de máquinas e equipamentos que demandam bastante energia elétrica. A metodologia de avaliação foi realizada por meio da leitura de dados coletados a partir de um analisador de energia instalado no quadro de proteção geral, os quais foram comparados com os limites estabelecidos para os indicadores de qualidade de energia elétrica presentes no módulo 8 da Agência Nacional de Energia Elétrica. Foram avaliados quatro indicadores: distorções harmônicas, variação de frequência, tensão em regime permanente, e desequilíbrio de tensão. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, indicando que nenhuma anomalia, para os indicadores avaliados, foi detectada.

Palavras-chaves: Qualidade de Energia Elétrica, Indicadores, ANEEL.

ABSTRACT

Electrical energy is indispensable for human development, being a fundamental resource for the modern world, since it is associated with all the sectors that mobilize the economy of a country. However, its manipulation of electrical energy requires care to maintain its proper use in order to prevent disturbances that can impair the activities that need it. One of the great problems faced in the electrical systems is the anomalies in the indicators of Electric Power Quality, which can be associated with transient voltage variations, presence of noise in the power grid, frequency variations and presence of harmonics. The present work proposes to evaluate some indicators of Quality of Electric Energy in the block of laboratories II of the Federal University of the Semi-Arid, campus Caraúbas, since the building contains a considerable amount of machines and equipment that demand a lot of electric energy. The evaluation methodology was carried out by reading data collected from an energy analyzer installed in the general distribution board, which were compared with the limits established for the Electric Energy Quality indicators present in module 8 of the National Agency of Electric Power. Four indicators were evaluated: harmonic distortions, frequency variation, steady-state voltage, and voltage unbalance. The obtained results were very satisfactory, indicating that no anomaly, for the indicators evaluated, was detected.

Keywords: Electric Power Quality, Indicators, ANEEL.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Triângulo de potências	19
Figura 2 – Onda de tensão senoidal da frequência fundamental	20
Figura 3 – Onda de tensão distorcida	20
Figura 4 – Faixas de Tensão em Relação à Tensão de Referência.....	23
Figura 5 – Esquema TN-S	31
Figura 6 – Esquema TN-C-S	32
Figura 7 – Esquema TN-C.....	32
Figura 8 – Bloco Administrativo da UFERSA-Caraúbas.....	33
Figura 9 – Bloco dos Laboratórios II.....	33
Figura 10 – Local de coleta de dados	34
Figura 11 – Quadro de Proteção Geral	34
Figura 12 – Tela de Menu Geral.....	36
Figura 13 – Tela de Configurações de Gravador.....	36
Figura 14 – Tela de Configurações de Gravador: Parâmetros Gerais	37
Figura 15 - Tela de Configurações de Gravador: Harmônicos.....	37
Figura 16 – Configurações do Analisador.....	38
Figura 17 – Analisador de energia instalado no quadro de proteção geral.....	39
Figura 18 – Tela de Valores em tempo real.....	40
Figura 19 – Gráfico dos valores de tensão relativos às fases 1, 2 e 3.....	41
Figura 20 – Gráficos dos valores de tensão fase-fase.....	42
Figura 21 – Gráfico relativo à variação de frequência	43
Figura 22 – Gráfico relativo ao desequilíbrio de tensão.....	44
Figura 23 – Distorção harmônica total (DTT%) relativos à fase 1	45
Figura 24 – Indicador $DTT_p\%$ relativo a fase 1.....	45
Figura 25 – Indicador $DTT_i\%$ relativo a fase 1	46
Figura 26 – Indicador $DTT_3\%$ relativo a fase 1.....	46
Figura 27 – Distorção harmônica total (DTT%) relativo a fase 2	47
Figura 28 – Indicador $DTT_p\%$ relativo a fase 2.....	47
Figura 29 – Indicador $DTT_i\%$ relativo a fase 2	48
Figura 30 – Indicador $DTT_3\%$ relativo a fase 2.....	48
Figura 31 – Distorção harmônica total (DTT%) relativo a fase 3	49
Figura 32 – Indicador $DTT_p\%$ relativo a fase 3.....	49

Figura 33 – Indicador $DTT_i\%$ relativo a fase 3	49
Figura 34 – Indicador $DTT_3\%$ relativo a fase 3.....	50
Figura 35 – Gráfico com o resumo dos resultados obtidos	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1kV (380/220).	23
Tabela 2 - Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental).....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
COSERN	Companhia Energética do Rio Grande do Norte
DENAE	Departamento Nacional de Águas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PIB	Produto Interno Bruto
SDAT	Sistema de Distribuição Alta Tensão
SDBT	Sistema de Distribuição Baixa Tensão
SDMT	Sistema de Distribuição Média Tensão
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
QEE	Qualidade de Energia Elétrica

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Definição dos problemas	16
1.2. Objetivo.....	16
1.2.1. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificativa e limitações.....	17
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1. Qualidade da energia elétrica (QEE)	22
2.1.1. Tensão em regime permanente	22
2.1.2. Variação de frequência	24
2.1.3. Desequilíbrio de tensão	25
2.1.4. Distorções harmônicas.....	26
2.2. Conceitos básicos sobre instalações elétricas prediais.....	28
2.2.1. Normas	28
2.2.2. Transformadores.....	29
2.2.3. Esquema de distribuição	30
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1. Descrição do local.....	33
3.2. Materiais utilizados.....	35
3.3. Metodologia de Medição	35
3.3.1. Configuração do analisador	35
3.3.2. Instalação do analisador.....	38
4. RESULTADOS.....	41
4.1. Tensão em regime permanente	41
4.2. Variação de frequência.....	42
4.3. Desequilíbrio de tensão.....	43
4.4. Distorções harmônicas.....	44
4.5. Resumo dos resultados	50
5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	51

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é, sem dúvidas, uma das maiores descobertas da humanidade. Sua utilização é indispensável para o desenvolvimento humano, sendo recurso essencial para a construção do mundo moderno, visto que ela está ligada a todos os setores que movem a economia de um país. Através dela, tornou-se possível o desenvolvimento de diversos mecanismos que melhoram a qualidade de vida do ser humano. Além disso, o escopo de suas aplicações abrange sistemas que facilitam a atividade laboral, desde mecanismos simples como sistemas de iluminação, aquecimento e refrigeração, como também complexos instrumentos cirúrgicos. Contudo, a manipulação de energia elétrica requer mão de obra qualificada para que sua utilização possa ocorrer de forma segura. Posto isto, compete aos profissionais da engenharia elétrica encontrar formas para promover a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. Esse profissional atua principalmente em empresas que utilizam e fabricam equipamentos eletroeletrônicos, sistemas de automação, telecomunicações, assim como empresas que fornecem serviços de geração de energia e elaboração de projetos voltados a instalações elétricas em geral.

Segundo Borne (2010, p11), o crescimento da demanda por energia elétrica cresce junto com o PIB dos países. E devido ao desenvolvimento das nações, os centros urbanos estão ficando maiores, e suas infraestruturas cada vez mais sofisticadas, demandando, assim, uma grande parcela de energia elétrica. Os engenheiros eletricitistas, por sua vez, são responsáveis por desenvolver projetos que aumentem a qualidade e a eficiência da energia elétrica em prédios civis.

Edifícios de universidades se enquadram em estruturas civis que demandam grande quantidade de energia elétrica. Laboratórios de cursos de engenharia, por exemplo, possuem máquinas elétricas de grande porte, o que pode maximizar o consumo de energia elétrica nessas instituições.

Um dos grandes problemas enfrentados nas instalações elétricas é a manutenção dos seus índices de qualidade da energia elétrica (QEE). Tal manutenção pretende manter o suprimento de energia a fim de garantir o funcionamento devido do sistema elétrico, garantindo a eficiência no consumo da energia dos prédios e prevenindo eventuais atuações dos sistemas de proteção e o aumento das faturas de energia elétrica devido a uma má operação na rede elétrica.

1.1. Definição dos problemas

O campus da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) de Caraúbas é relativamente novo, por esse motivo, sua infraestrutura está em constante crescimento, visto que o ingresso de alunos na instituição está aumentando consideravelmente. Paralelamente a isto, a demanda de equipamentos nos laboratórios dos cursos de engenharia também tem aumentado. Um equipamento como o torno mecânico, por exemplo, que é uma máquina fundamental para o aprendizado dos alunos de engenharia mecânica, demanda bastante energia elétrica para o seu funcionamento, exigindo assim uma instalação adequada para o seu uso.

Se o sistema de suprimento de energia elétrica do prédio de laboratórios não estiver adequado para suportar a carga presente na instalação, a estrutura elétrica estará comprometida, causando distúrbios na rede elétrica referentes à problemas de QEE. Tais problemas podem comprometer as atividades realizadas no local devido à diminuição da vida útil de componentes eletrônicos, e ainda ocasionar a queima indevida de equipamentos (KERN, 2018, p20).

Geralmente, os problemas referentes à QEE só são notados quando há a queima ou quando ocorrem danos em um equipamento. Porém, os distúrbios de QEE são bastante diversos e podem estar associados a variações transitórias de tensão, surtos de tensão, presença de ruído na rede elétrica, variações de frequência e presença de harmônicos (BRONZEADO, 1997, apud OKUMOTO, 2006, p13).

A partir de relatos de danos em alguns equipamentos utilizados nos laboratórios do Bloco de laboratórios II da UFERSA Caraúbas, surgiu a necessidade de avaliar indicadores de qualidade de energia elétrica de tal instalação a fim de verificar a possibilidade desse problema estar associado aos fenômenos de QEE. Por meio desta avaliação, é possível indicar quais tipos de distúrbios estão acometendo a rede elétrica do prédio a fim de prevenir acontecimentos indesejados que possam prejudicar as atividades acadêmicas.

1.2. Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é avaliar os indicadores de qualidade de energia elétrica do Bloco de Laboratórios II de engenharia da UFERSA campus Caraúbas.

1.2.1. Objetivos específicos

Para entender o objetivo geral do presente trabalho, propõe-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma Inspeção visual do quadro de energia;
- Utilizar o analisador de energia para obter os dados relativos aos indicadores de QEE;
- Avaliar os indicadores de tensão em regime permanente, harmônicos de tensão, variação de frequência e desequilíbrio de tensão, no Bloco de Laboratórios II da UFERSA campus Caraúbas;
- Comparar os resultados obtidos com os limites estabelecidos para os indicadores de QEE presentes no módulo 8 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL);

1.3. Justificativa e limitações

A fim de prevenir distúrbios que possam prejudicar as atividades acadêmicas que são efetuadas nos laboratórios, faz-se necessário avaliar, conforme as normas atuais, os índices de qualidade da energia do Bloco de Laboratórios II. Esta avaliação permitirá conhecer parâmetros importantes dos indicadores de QEE. Posteriormente, com a posse de todos os dados, será verificada uma possível necessidade de correção dos problemas, caso existam.

O módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2018) refere-se a situações comerciais que envolvem distribuidoras e consumidores. No entanto, como o presente trabalho pretende analisar um bloco contido no interior UFERSA, considerou-se o prédio em questão como sendo um indicador individual, limitando a análise a um bloco específico e não à UFERSA como um todo.

O escopo deste presente trabalho abrange o estudo de quatro indicadores de QEE, sendo eles: tensão em regime permanente, variação de frequência, distorção harmônica, e desequilíbrio de tensão.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Devido ao fato do setor energético ser crucial para toda e qualquer sociedade em desenvolvimento, existe uma tendência de elaboração de normas por órgãos qualificados que objetivam chegar a um conjunto de procedimentos e critérios para a análise da energia elétrica. No Brasil, o DENAE (Departamento Nacional de Águas e Energia) deu início ao acompanhamento da QEE através de quantificações do desempenho das distribuidoras através das portarias DENAE nº46/1978 (continuidade) e nº 47/1978.

O segundo grande passo foi a publicação da resolução ANEEL nº024/2000, que teve por objetivo principal padronizar a apuração, tratamento e as informações dos dados relativos à continuidade do serviço. A Resolução da ANEEL vigorou até 2009 e posteriormente foi incorporada ao Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Esse regulamento está em constante atualização, podendo assim ser considerado como um documento satisfatório para a análise dos indicadores de continuidade (ANEEL, 2011, p5-6). Esses indicadores são importantes parâmetros na análise da QEE, sendo definidos no módulo 8 da ANEEL (2018), em regime permanente e transitório.

Seguem abaixo algumas informações pertinentes para a compreensão do estudo dos indicadores referente à qualidade do produto, para as condições de regime permanente e transitório, abordados no módulo 8 da ANEEL:

a) regime permanente:

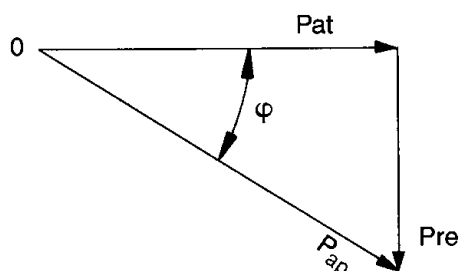
- tensão em regime permanente

Os valores de tensão adquiridos na medição devem ser analisados e comparados com uma tensão de referência que deve ser a tensão nominal ou a tensão contratada, relativo ao nível de tensão do ponto de conexão. As leituras de cada tensão de referência serão classificadas como adequada, precária ou crítica (ANEEL, 2018, p6).

- fator de potência

Segundo Mamede Filho (2007, p150), o fator de potência é uma grandeza adimensional, sendo definido como a razão entre as componentes de potência ativa e aparente. Na Figura 1 ilustra-se o triângulo de potência, em que P_{ap} é a potência aparente, P_{at} é a potência ativa, e P_{re} é a potência reativa.

Figura 1 – Triângulo de potências

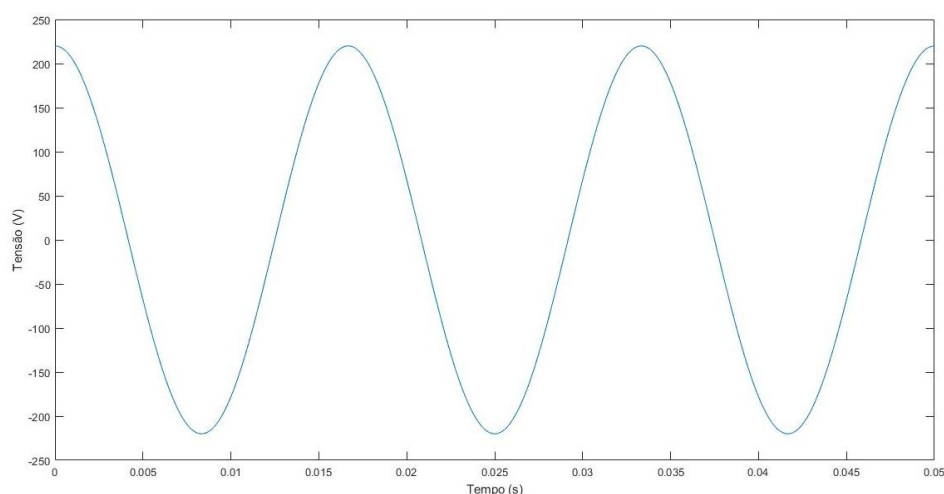


Fonte: MAMEDE FILHO, 2007, p8.

A potência ativa pode ser descrita como a parcela da potência aparente que realiza trabalho, e a potência reativa é responsável pela criação e manutenção dos campos eletromagnéticos de cargas reativas (ANICETO, 2016, p2).

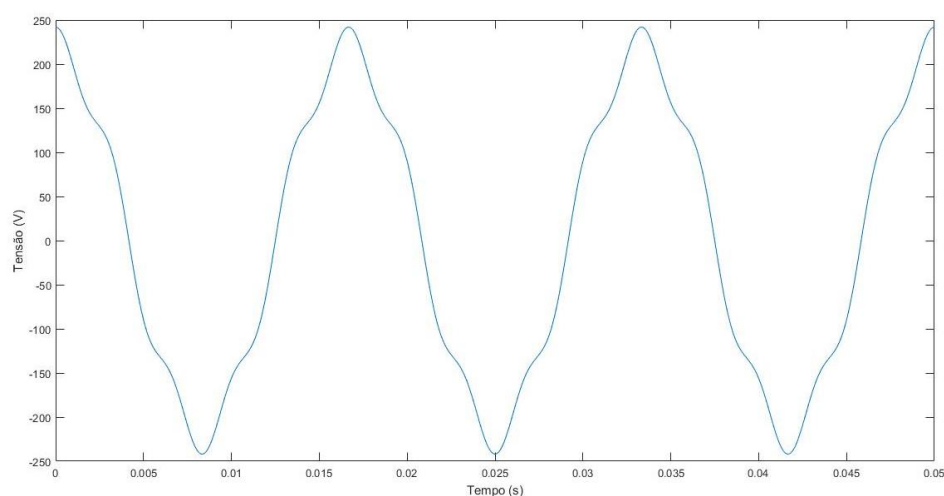
- distorção harmônica

As distorções harmônicas podem ser definidas como anomalias na forma de onda da tensão relativa à onda senoidal da frequência fundamental. (ANEEL, 2018, p12). Na Figura 2, ilustra-se um sinal de tensão com frequência fundamental de 60Hz, e amplitude 220V, que corresponde ao sinal de fase-neutro de um sistema elétrico em baixa tensão. Se o sistema elétrico que contém o sinal já mencionado possuir outros sinais de tensão cuja frequência é múltipla inteira da frequência fundamental, o sinal da frequência fundamental será distorcido, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 2 – Onda de tensão senoidal da frequência fundamental

Fonte: Autoria própria.

Ao somar a onda anterior com uma onda de tensão com frequência de 300Hz e amplitude de 22V, obtém-se o gráfico com a onda de tensão da frequência fundamental distorcida, como mostra a Figura 3 abaixo.

Figura 3 – Onda de tensão distorcida

Fonte: Autoria própria.

O Gráfico acima ilustra bem o que ocorre com a onda de tensão da frequência fundamental na presença de harmônicos, o que pode ser prejudicial para a QEE de uma instalação.

- desequilíbrio de tensão

O desequilíbrio de tensão tem origem, geralmente, na assimetria nas cargas ligadas ao sistema elétrico. Ela pode ser definida como a razão entre a componente de sequência negativa e positiva da tensão do sistema trifásico instalado (BALTAZAR, 2007, p33).

- flutuação de tensão

O fenômeno de flutuação de tensão pode ser definido pela variação do valor de pico ou eficaz da tensão instantânea (ANEEL, 2018, p16). Esse fenômeno pode ser provocado por cargas industriais que contenham variações rápidas na magnitude da corrente de carga (ANEEL, 2011, p18).

- variação de frequência

“Variações na frequência são definidas como alterações na frequência fundamental do sistema.” (MATANA, 2008, p. 48)

b) transitório:

- variações de tensão de curta duração

Este fenômeno é caracterizado por anomalias no valor eficaz da tensão em curtos períodos de tempo (VACCARO; MARTINS; MENEZES, 2011, p541).

Todos os indicadores citados acima são de fundamental importância para que as empresas concessionárias de energia elétrica possuam parâmetros para avaliar a qualidade da energia elétrica, evitando, com isto, eventuais danos à rede elétrica. Não obstante, essas definições também serão úteis no decorrer deste trabalho uma vez que facilitarão a compreensão dos métodos empregados na análise da energia elétrica do prédio de laboratórios já citado anteriormente.

2.1. Qualidade da energia elétrica (QEE)

O termo qualidade da energia elétrica é muito amplo, podendo ser dividido em três grandes áreas de estudo: qualidade comercial, qualidade do produto e qualidade do serviço. O primeiro está relacionado ao atendimento dado pela distribuidora a seus clientes ou usuários, envolvendo todas as formas de transações de fornecedor e cliente. O segundo, cujo tema será o mais abordado no trabalho, se refere aos distúrbios que envolvem a forma de onda da tensão. O terceiro, a qualidade do serviço, é relativo à continuidade do serviço prestado, sendo avaliada a partir da frequência e da duração das interrupções de longa duração (ANEEL, 2011, p5).

O módulo 8 da Aneel (2018, p3) objetiva estabelecer procedimentos acerca de QEE relativos às qualidades do produto e do serviço. Contudo, para fins de análise acadêmica, o presente trabalho pretende utilizar as diretrizes referentes aos indicadores de qualidade de produto contidos em tal módulo para, possivelmente, resolver problemas ocorridos devido a algum distúrbio relacionado à forma de onda da tensão, como já foi exposto anteriormente.

2.1.1. Tensão em regime permanente

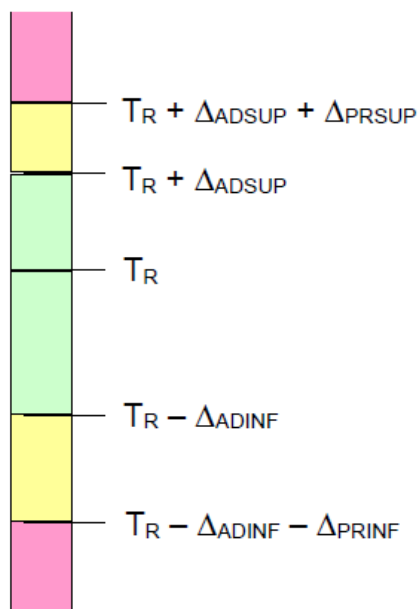
O módulo 8 da Aneel expõe termos e definições que são relativos ao indicador de tensão em regime permanente, que estabelecem limites adequados, precários e críticos para o mesmo. Posto isto, a norma define que o indicador antes referido deve ser acompanhado em todo o sistema de distribuição, atuando de forma que a tensão permaneça nos limites adequados. Não obstante, a norma define os pontos de conexão onde se pretende retirar os dados, sendo eles na rede de distribuição, nos pontos de conexão entre as distribuidoras, e nos pontos de distribuição entre os consumidores (ANEEL, 2018, p6). Para fins acadêmicos, o local de coleta de dados foi o ponto de conexão no quadro de proteção geral situado na entrada do Bloco de Laboratórios II, objetivando verificar os indicadores do referido bloco.

A comparação entre os dados obtidos deve ser feita de acordo com a tensão de referência (T_R) e seus limites, conforme ilustrado na Figura 4 a seguir:

Em que os limites relativos à tensão de referência (T_R), a faixa adequada de tensão ($T_R - \Delta_{ADINF}$, $T_R + \Delta_{ADSUP}$), as faixas precárias de tensão ($T_R + \Delta_{ADINF}$ até $T_R + \Delta_{ADSUP}$

+ Δ_{PRSUP} ou $T_R - \Delta_{\text{ADINF}} - \Delta_{\text{PRINF}}$ até $T_R - \Delta_{\text{ADINF}}$), e as faixas críticas de tensão (maior que $T_R + \Delta_{\text{ADSUP}} + \Delta_{\text{PRSUP}}$ ou menor que $T_R - \Delta_{\text{ADINF}} - \Delta_{\text{PRINF}}$).

Figura 4 – Faixas de Tensão em Relação à Tensão de Referência



Fonte: ANEEL, 2018, p8.

Os limites mostrados anteriormente variam de acordo com a tensão de atendimento, podendo ser baixa (BT), média (MT), ou alta tensão (AT). Para sistemas de baixa tensão, a tabela abaixo ilustra os limites adotados para a análise do indicador de tensão em regime permanente:

Tabela 1 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1kV (380/220).

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação de Tensão de Leitura (TL), em Volts
Adequada	$(350 \leq \text{TL} \leq 399) / (202 \leq \text{TL} \leq 231)$
Precária	$(331 \leq \text{TL} < 350 \text{ ou } 399 < \text{TL} \leq 403) / (191 \leq \text{TL} < 202 \text{ ou } 231 < \text{TL} \leq 233)$
Crítica	$(\text{TL} < 231 \text{ ou } \text{TL} > 403) / (\text{TL} < 191 \text{ ou } \text{TL} > 233)$

Fonte: ANEEL, 2018, p41.

Os métodos de obtenção das medidas que irão gerar os dados a serem analisados serão explicados no tópico 3.3 deste documento, seguindo os métodos explorados no

módulo 8 na seção de instrumentação e metodologia de medição (ANEEL, 2018, p23). A norma determina que o registro de dados deve conter uma amostra de 1008 leituras obtidas, portanto, de posse dos dados, deve-se calcular indicadores individuais e coletivos. No entanto, em virtude de a análise contida neste trabalho ter sido realizada em apenas um prédio da UFERSA, é pertinente a análise apenas dos indicadores individuais, visto que não existem indicadores coletivos em análise. O indicador individual refere-se ao índice de duração relativa da transgressão para tensão precária (DRP) e para tensão crítica (DRC) conforme as equações seguintes, que são encontradas no item 2.5.1.4 da norma (ANEEL, 2018, p9):

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

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

em que *nlp* e *nlc* correspondem, respectivamente, ao número de leituras que compreendem o maior valor entre as fases que estão nas faixas precárias e críticas. Caso os indicadores estejam com os limites impróprios, a distribuidora deverá pagar uma multa para o cliente. Compreende-se como limite impróprio quando os valores de DRP e DRC ultrapassam os valores de 3% e 0,5%, respectivamente. (ANEEL, 2018, p10)

2.1.2. Variação de frequência

Segundo Matana (2008, p48), a variação na frequência está diretamente associada a velocidade de rotação dos geradores de energia elétrica, posto isto, devemos considerar problemas que possam ocorrer na geração devido algum imprevisto ou má operação dos geradores nos sistemas de geração de energia elétrica.

As falhas também podem ocorrer por causa de faltas no sistema de transmissão ou distribuição, podendo ocasionar problemas referentes a QEE. Tendo isto em vista, a Aneel (2018, p18) determina que para sistemas de distribuição ou instalações conectadas a ela, a frequência deve operar dentro de limites preestabelecidos, sendo eles situados em entre 59,9Hz e 60,1Hz, em condições de operações normais e em regime permanente. A norma mostra ainda que a frequência não pode, em condições extremas, exceder 66 Hz ou ficar inferior a 56,5Hz.

2.1.3. Desequilíbrio de tensão

Em sistemas trifásicos ideal, as tensões devem possuir amplitudes e frequência idêntica, e estarem defasadas em 120° . As três fases são comumente chamadas de V_a , V_b e V_c , e a fase V_a é tomada como a fase de referência. Posto isto, podemos analisar as duas possíveis situações: a sequência de fase positiva, e a sequência de fase negativa. (NILSON; RIEDEL, 2009, p301-302)

A sequência de fase positiva pode ser compreendida pelas equações abaixo:

$$V_a = V_m \angle 0^\circ , \quad (3)$$

$$V_b = V_m \angle -120^\circ , \quad (4)$$

$$V_c = V_m \angle +120^\circ . \quad (5)$$

Conforme visto nas equações, nota-se que as fases estão defasadas umas em relação as outras exatamente 120° . Não obstante, a sequência de fase negativa também está defasada 120° , mas da forma como mostra as equações a seguir:

$$V_a = V_m \angle 0^\circ , \quad (6)$$

$$V_b = V_m \angle +120^\circ , \quad (7)$$

$$V_c = V_m \angle -120^\circ . \quad (8)$$

Como visto, em sistemas ideais a amplitude das três fases é igual, tendo defasagem de 120° , mas em sistemas reais as tensões podem se desequilibrar devido, por exemplo, a cargas monofásicas mal distribuídas no sistema de distribuição. Posto isto, o já referido módulo do PRODIST (ANEEL, 2018, p15-16) terminologias e expressões para o cálculo do desequilíbrio de tensão.

A expressão para o desequilíbrio de tensão é dada por:

$$FD\% = \frac{V_-}{V_+} 100 , \quad (9)$$

onde $FD\%$ é o fator de desequilíbrio de tensão, V_- é a magnitude da tensão eficaz de sequência negativa, e V_+ é a magnitude da tensão eficaz de sequência positiva, ambas para a frequência fundamental.

De forma alternativa, o módulo oferece uma outra expressão a partir da qual se obtém resultados similares em relação à Equação 9:

$$FD\% = 100 \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}, \quad (10)$$

em que

$$\beta = \frac{V_{ab}^4 + V_{bc}^4 + V_{ca}^4}{(V_{ab}^2 + V_{bc}^2 + V_{ca}^2)^2}, \quad (11)$$

onde V_{ab} , V_{bc} , e V_{ca} correspondem às magnitudes das tensões de linha, todas na frequência fundamental.

A norma estabelece um limite máximo de valor desejável no sistema correspondente a tensão nominal menor que 1000kV de 3,0% para o indicador $FD95\%$. Sendo $FD95\%$ o “valor do indicador $FD\%$ que foi superado em apenas 5% das 1008 leituras válidas” (ANEEL, 2018, p15).

2.1.4. Distorções harmônicas

As distorções harmônicas são indesejáveis porque provocam efeitos danosos para o sistema elétrico, como aumento das perdas (aquecimento), problemas na operação de disjuntores e fusíveis, redução da vida útil das máquinas elétricas rotativas, o mau funcionamento de equipamentos como computadores, etc. (MARTINS; COUTO; AFONSO, 2003, p222)

Diante disto, o PRODIST (ANEEL, 2018, p12-15) se pronuncia perante o fenômeno determinando indicadores e limites para os mesmo a fim de manter a qualidade do produto, evitando, com isto, problemas tanto na instalação elétrica do consumidor, como no sistema de distribuição da concessionária.

O módulo em referência expõe uma série de expressões que quantificam os indicadores relativos a distorções harmônicas. A seguir será exposto as expressões abordadas na norma de forma sistemática:

A primeira expressão refere-se à distorção harmônica individual de tensão de ordem h ($DIT_h\%$), sendo h a ordem harmônica, V_1 a tensão fundamental medida, como mostrado a seguir:

$$DIT_h\% = \frac{V_h}{V_1} 100 . \quad (12)$$

Sendo $DTT\%$ a expressão para a distorção harmônica total de tensão, e $h_{m\acute{a}x}$ a ordem harmônica máxima, a formulação é dada por:

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{m\acute{a}x}} V_h^2}}{V_1} 100 . \quad (13)$$

Com h variando entre todas as ordens harmônicas pares, não múltiplas de 3 (sendo elas 2, 4, 8, 10, 14, 16, 20, 22, 26, 28, 32, 34, 38 e 40), e sendo h_p a máxima ordem harmônica par, podemos definir a expressão para a distorção harmônica total para componentes pares não múltiplas de 3 ($DTT_p\%$) como:

$$DTT_p\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_p} V_h^2}}{V_1} 100 . \quad (14)$$

Analogamente, tem-se a seguir também a distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3 ($DTT_3\%$), com h variando entre todas as ordens harmônicas ímpares não múltiplas de 3 (sendo elas 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25, 29, 31, 35, e 37), e h_i a máxima ordem harmônica, não múltipla de 3:

$$DTT_i\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=5}^{h_i} V_h^2}}{V_1} 100 . \quad (15)$$

Por fim, tem-se a expressão para a distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3, com h variando entre todas as ordens harmônicas múltiplas de 3 (sendo elas, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33, 36, e 39), e sendo h_3 a máxima ordem harmônica múltipla de 3:

$$DTT_3\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=3}^{h_3} V_h^2}}{V_1} 100 . \quad (16)$$

Os valores obtidos com os 1008 valores coletados num intervalo de 10 minutos consecutivos, e sendo $DTT_{95\%}$, $DTT_{p95\%}$, $DTT_{i95\%}$, e $DTT_{395\%}$ os valores do indicador que foi superado em apenas 5% das 1008 leituras válidas, os mesmos devem ser comparados com os limites da Tabela 2.

Tabela 2 - Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental)

Indicador	Tensão nominal
	$V_n \leq 1,0\text{kV}$
$DTT_{95\%}$	10,0%
$DTT_{p95\%}$	2,5%
$DTT_{i95\%}$	7,5%
$DTT_{395\%}$	6,5%

Fonte: ANEEL, 2018, p14.

Tais limites, conforme abordado no módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2018, p15), correspondem no maior valor desejável que deve conter no sistema de distribuição.

2.2. Conceitos básicos sobre instalações elétricas prediais

Para iniciar o estudo de indicadores de qualidade energia elétrica no prédio em questão, é necessário conhecer alguns conceitos pertinentes ao objeto estudado, como as normas vigentes, e os elementos no ponto de coleta de dados, como as ligações elétricas dos circuitos no quadro de proteção geral e nos transformadores. A seguir é possível verificar uma breve explanação dos objetos pertinentes ao trabalho.

2.2.1. Normas

Conforme a sociedade se desenvolve, nota-se que as estruturas civis e industriais se tornam cada vez mais robustas e complexas, necessitando de profissionais que consigam lidar com os problemas demandados pelas atividades laborais existentes atualmente. Diante destas situações, as instituições governamentais e privadas

desenvolvem métodos para facilitar sua atuação na sociedade, elaborando normas que regulamentam a construção, instalação e funcionamento do sistema elétrico predial e industrial, como exemplo de aplicação pertinente a este trabalho.

A Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) é um bom exemplo de órgão competente para elaboração de normas técnicas no Brasil, visto que formula normas que são utilizadas nos projetos elétricos do prédio em análise neste trabalho. A norma da ABNT NBR 5410 (ABNT, 2004) é um bom exemplo disso, em que seu escopo abrange critérios exigidos para as instalações elétricas em baixa tensão. Não obstante, a qualidade de energia elétrica também é acompanhada por normatizações feitas por entidades competentes, destacando-se a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), que são os dois principais órgãos reguladores do sistema de energia elétrica que surgiram nos últimos anos (MATANA, 2008, p72).

O ONS elaborou, junto com outras entidades um importante Procedimento de Rede que objetiva a criação de métodos a fim de melhorar o controle da qualidade de energia elétrica, este procedimento apresenta técnicas para planejamento, implantação, uso e operação do sistema elétrico interligado (MATANA, 2008, p74).

A ANEEL, que estabelece a norma que está sendo utilizada como principal referência no presente trabalho, é competente em regular aspectos a serem seguidos pelas empresas concessionárias e permissionárias de serviço de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2011, p07). Sua relevância é notória porque, junto com representantes do setor elétrico, elaborou um conjunto de documentos denominados de Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) que, por sua vez, tem um importante módulo sobre QEE, tratando no mesmo sobre os temas relativos a qualidade do produto e do serviço da energia elétrica.

2.2.2. Transformadores

O transformador é um equipamento elétrico que opera segundo o princípio da indução eletromagnética, o qual afirma a possibilidade de se gerar uma tensão induzida por meio de um campo magnético variável. Basicamente, este equipamento transforma uma corrente alternada I_1 sob uma tensão alternada V_1 , em uma corrente alternada I_2 sob uma tensão alternada V_2 (NISKIER; MACINTYRE, 2000, p25).

Historicamente, a invenção do transformador foi fundamental para a transmissão de energia elétrica, uma vez que as tensões produzidas por volta dos anos de 1880 eram

baixas para a transmissão em longas distâncias, causando muitas perdas no processo e inviabilizando o papel dos produtores de energia elétrica da época. À medida que os avanços na produção dos transformadores avançavam, a perda de energia no processo de transformação de tensão se reduzia, de tal maneira que se tornou prática naquela época a instalação de transformadores entre os subsistemas de geração e de transmissão de energia elétrica, com a finalidade de diminuir as perdas devido à longa distância que as linhas de transmissão percorrem. Não obstante, também passou a ser conveniente instalar transformadores entre os subsistemas de transmissão e de distribuição de energia elétrica a fim de reduzir a tensão para a distribuição final aos consumidores (CHAPMAN, 2013, p66-67).

Os transformadores utilizados para abaixar e elevar a tensão da UFERSA são trifásicos, visto que o sistema de distribuição de energia elétrica é do tipo trifásico. As ligações dos enrolamentos primário e secundário do transformador podem estar na configuração estrela (Y) ou na configuração delta (Δ), podendo ser apresentado em quatro configurações típicas:

- I. Estrela-Estrela (Y-Y)
- II. Estrela-delta (Y- Δ)
- III. Delta-Estrela (Δ -Y)
- IV. Delta-Delta (Δ - Δ)

A ligação do transformador pode variar de acordo com a aplicação e com o objetivo que se deseja. Por exemplo, quando se deseja adequar a tensão para um sistema de iluminação pública, usa-se um transformador com ligação primária em delta e a secundária em estrela, visto que a iluminação necessitará de condutor neutro.

2.2.3. Esquema de distribuição

Antes que a energia elétrica chegue aos componentes elétricos básicos existentes na instalação elétrica dos prédios, ela passa pelo quadro de proteção geral que, por sua vez, distribui a energia para o prédio. Não obstante, o esquema de distribuição usado nesse processo (se for em baixa tensão), é padronizado pela norma da ABNT NBR 5410 (ABNT, 2004). Segundo a referida norma, o esquema de distribuição (ABNT, 2004, p13) pode ser classificado pelo esquema de condutores vivos e pelo esquema de aterramento.

2.2.3.1. Esquema de condutores vivos

Os esquemas de condutores vivos podem ser considerados em corrente alternada e em corrente contínua. Em corrente alternada existem os sistemas monofásico a dois condutores, monofásico a três condutores, bifásico a três condutores, trifásico a três condutores e trifásico a quatro condutores. Já em corrente contínua, observa-se os sistemas de dois condutores e três condutores.

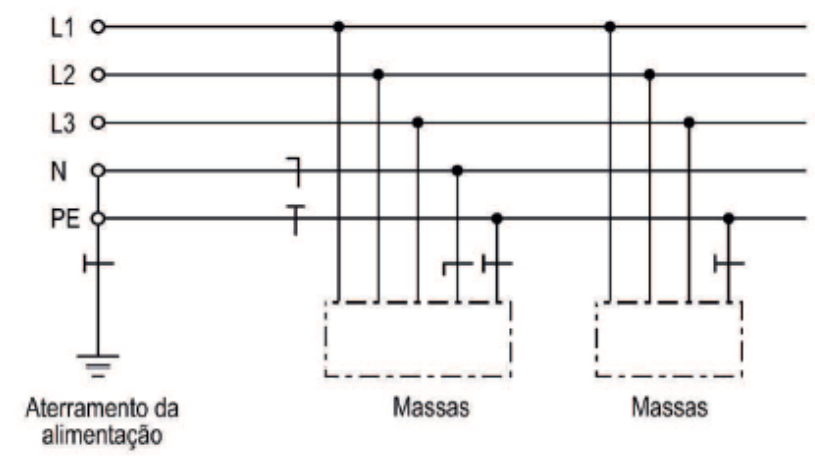
2.2.3.2. Esquema de aterramento

Para um sistema de aterramento, são considerados pela NBR 5410 (ABNT, 2004, p14-17) os tipos TN, TT, e IT. Para fins objetivos, importa se aprofundar no tipo TN, que possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a esse ponto através de condutores de proteção.

A seguir será mostrada três variações do esquema de tipo TN:

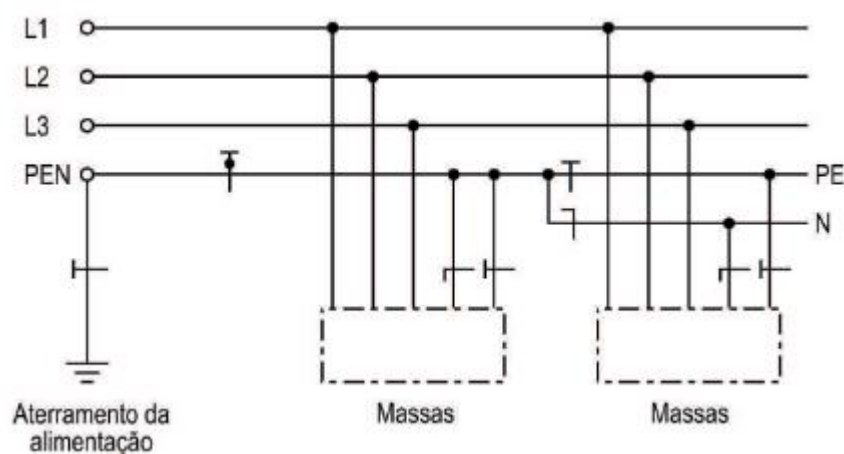
a) Esquema TN-S, sendo caracterizado pela distinção do condutor neutro e proteção, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Esquema TN-S



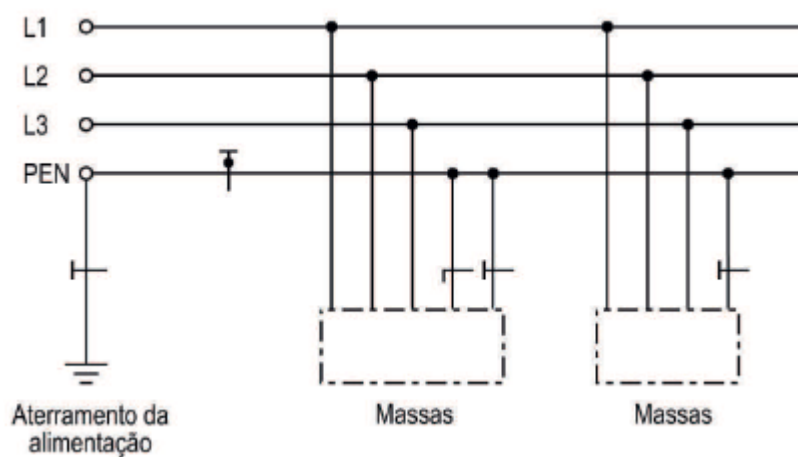
Fonte: ABNT, 2004, p15.

b) Esquema TN-C-S, no qual o condutor neutro e proteção são combinados em uma única função, podendo ser separado em alguma parte do sistema, como mostra a Figura 6.

Figura 6 – Esquema TN-C-S

Fonte: ABNT, 2004, p15.

c) Esquema TN-C, no qual o condutor neutro e proteção são combinados em todo o sistema, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Esquema TN-C

Fonte: ABNT, 2004, p16.

Essa breve exposição do esquema de distribuição será importante para escolher a configuração adequada do analisador de energia, permitindo uma correta coleta de dados conforme a norma da ANEEL (2018).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e os métodos usados para obter os dados relativos a QEE da instalação do Bloco de Laboratórios II, assim como o local de coleta de dados, serão abordados nesta seção com o objetivo de detalhar ao leitor de forma sistemática os passos usados para construção do trabalho.

3.1. Descrição do local

A Cidade de Caraúbas está situada no estado do Rio Grande do Norte, na microrregião da chapada do Apodi, Mesorregião do Oeste Potiguar, cuja população é estimada em cerca de 20636 habitantes (PREFEITURA DE CARAÚBAS, 2017). Nesta cidade está localizada o campus da UFERSA (Figura 8), que foi o local de estudo e coleta dos dados referentes ao experimento acadêmico utilizado para a formulação deste trabalho de conclusão de curso.

Figura 8 – Bloco Administrativo da UFERSA-Caraúbas



Fonte: Autoria própria.

Para a coleta dos dados, foi instalado um analisador de energia na entrada do Bloco de Laboratórios II (conforme a Figura 9).

Figura 9 – Bloco dos Laboratórios II



Fonte: Autoria própria.

O analisador foi instalado no quadro de proteção geral (QPG), que está localizado na entrada do Prédio de Laboratórios II. Na Figura 10 é ilustrado um detalhe das ligações do circuito interno do QPG: um eletroduto no lado de baixa tensão do transformador alimenta o quadro de proteção. Em virtude de a UFERSA ser abastecida em média tensão, em um nível de tensão de distribuição primária de 13,8 kV, um transformador de distribuição abaixa a tensão de 13,8 kV para 380/220 V. Na Figura 11 é ilustrado o conjunto poste – transformador – quadro de proteção, que está localizado na entrada do Bloco de Laboratórios II.

Figura 10 – Local de coleta de dados



Fonte: Autoria própria.

Figura 11 – Quadro de Proteção Geral



Fonte: Autoria própria.

3.2. Materiais utilizados

Segue abaixo a lista de materiais que foram utilizados para a instalação e coleta de dados no procedimento experimental.

- a) Luvas isolantes;
- b) Multímetro;
- c) Alicates amperímetro;
- d) Tomada de uso geral feita para alimentação da bateria do analisador;
- e) Analisador de qualidade de energia Minipa ET-5061C;
- f) Garras de tensão e corrente próprias do analisador;
- g) Fonte de alimentação do analisador Minipa ET-5061C.

3.3. Metodologia de Medição

Para possibilitar a coleta adequada de dados referente aos indicadores de QEE, deve-se configurar o equipamento referente aos parâmetros em questão de acordo com o módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2018). Feito isto, a instalação do analisador deve ser executada por profissionais qualificados, sempre acompanhados de Equipamentos de Proteção individuais (EPI's), em virtude do alto risco de acidentes fatais.

3.3.1. Configuração do analisador

A Aneel (2018, p23) determina que o conjunto de dados obtidos na apuração compreenda 1008 leituras em intervalos consecutivos de 10 minutos, que corresponde a uma semana (sete dias) de coleta de dados. Posto isto, deve-se garantir que o equipamento esteja adequadamente configurado para fazer a leitura de dados de forma correta. A seguir será mostrado sistematicamente como deve ser feita a configuração do equipamento, mostrando os principais pontos de cada etapa.

Ao iniciar o equipamento pressionando o botão ON/OFF, a tela de “Configuração do Analisador” será exibida (essa etapa será explicada no final desta seção), e logo após aparecerá a tela de “Menu Geral”, como mostra a Figura 12. Esta última tela contém seis ícones de acesso, sendo eles divididos em Ajustes Gerais, Valor em Tempo Real, Configuração do Analisador, Configurações de Gravador, Gravando Resultados, Informações do Instrumento.

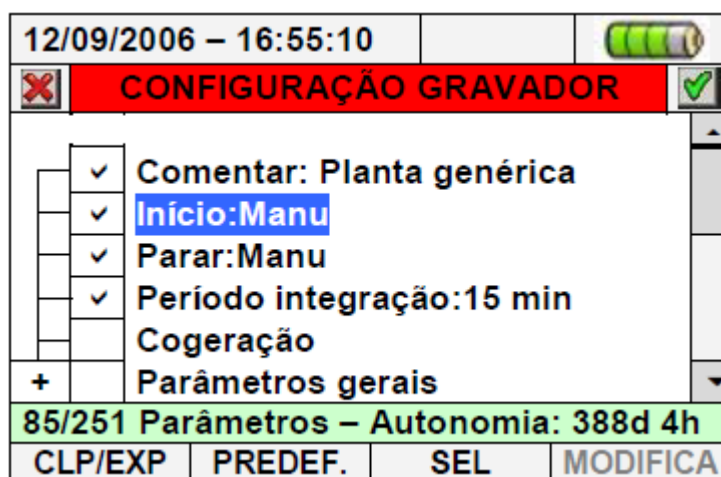
Figura 12 – Tela de Menu Geral



Fonte: MINIPA, p41.

Ao clicar no ícone Configurações de Gravador, uma tela (Figura 13) com os parâmetros a serem escolhidos para a coleta de dados. Nesta sessão, primeiramente, deve-se escolher o período de integração igual a 10 minutos, como já exposto. A escolha de iniciação e parada automática ou manual pode ser opcional, desde que as leituras satisfaçam o número de 1008 leituras.

Figura 13 – Tela de Configurações de Gravador



Fonte: MINIPA, p41.

Após a definição do período de integração, deve-se escolher quais indicadores de QEE serão selecionados para o estudo em questão. Ainda na mesma tela, deve-se selecionar o tópico de Parâmetros Gerais (Figura 14), que contém alguns dos indicadores estudados no trabalho, sendo eles: tensões entre fases e frequência.

Figura 14 – Tela de Configurações de Gravador: Parâmetros Gerais

12/09/2006 – 16:55:10					
CONFIGURAÇÕES GRAVADOR					
-	✓	Parâmetros gerais			
	✓	Frequência			
	-	✓	Tensões		
		✓	Fase1-Fase2		
		✓	Fase2-Fase3		
		✓	Fase3-Fase1		
22/251 Parâmetros – Autonomia: 38d 16h					
CLP/EXP	PREDEF.	SEL	MODIFICA		

Fonte: MINIPA, p48.

Para a escolha dos parâmetros referentes aos harmônicos de tensão, deve-se marcar a opção Harmônicos (Figura 15), depois deve-se marcar as opções “Ímpar” e “Par”, da primeira até a quadragésima ordem harmônica, como determina o módulo da PRODIST (ANEEL, 2018, 23), por fim, marca-se também a opção “TDH” (distorção harmônica total).

Figura 15 - Tela de Configurações de Gravador: Harmônicos

12/09/2006 – 16:55:10					
CONFIGURAÇÕES GRAVADOR					
-	✓	Harmônicos			
	-	✓	Tensões		
		✓	THD		
		✓	DC		
		+	Ímpar		
		+	Par		
162/251 Parâmetros – Autonomia: 19d 0h					
CLP/EXP	PREDEF.	SEL	MODIFICA		

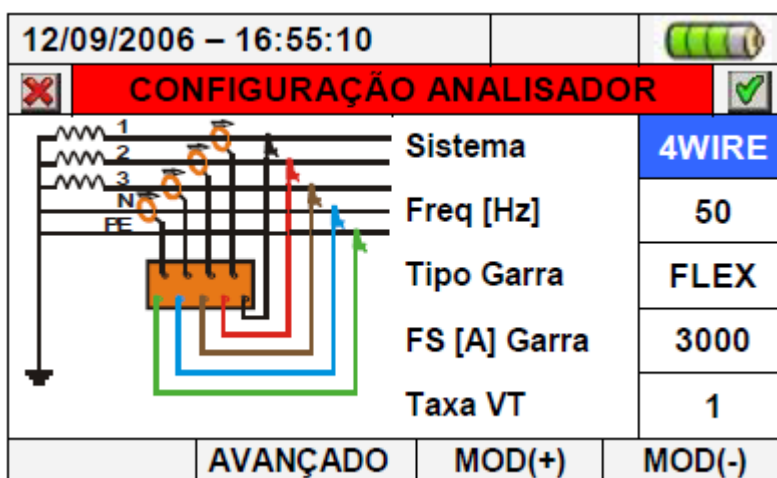
Fonte: MINIPA, p49.

Ainda na mesma tela de configuração de gravador, deve-se marcar também a opção “Desbalanc.” que se refere ao indicador de desequilíbrio de tensão.

Por último, na primeira parte com a tela referente à “Configuração do Analisador” (Figura 16), deve ser escolhida uma configuração que seja correspondente ao esquema de distribuição do quadro, que é trifásico com esquema de aterramento TN-S. A configuração do analisador que corresponde a esse sistema é o trifásico a quatro fios

estrela, que é exposto como “4WIRE”, em seguida deve-se escolher a frequência de 60 Hz.

Figura 16 – Configurações do Analisador



Fonte: MINIPA, p35.

3.3.2. Instalação do analisador

O profissional qualificado deve abrir o quadro de proteção geral em questão e verificar se as condições para a instalação serão adequadas, prevenindo possíveis riscos para a instalação e para os equipamentos utilizados. Em seguida, deve-se analisar o local em que cada garra de corrente e tensão será fixada, sendo eles correspondentes aos condutores de fases, neutro e proteção.

É de suma importância que antes de manipular o equipamento no quadro de proteção geral, deve-se desligar os disjuntores para interromper o suprimento de energia elétrica, tornando o ambiente mais seguro. A partir daí, deve-se verificar se há tensão entre os condutores elétricos com um multímetro, a fim de testar se o suprimento de energia foi interrompido, prevenindo, com isto, possíveis choques devido à falha dos disjuntores.

Após essa etapa de inspeção inicial, pode-se instalar o equipamento no local desejado. Durante a conexão do analisador ao QPG, deve-se fixar as garras de tensão e de corrente nos barramentos equivalentes a cada uma. É importante verificar se a sequência de fases está correta para que um erro de leitura não seja gerado ao iniciar a gravação dos dados. Portanto, as garras de tensão e corrente da fase 01 devem ser colocadas no barramento da fase equivalente, e esse procedimento deve ocorrer de

forma análoga com as garras referentes às fases 02 e 03. Por fim, em função do esquema de aterramento do local de medição, deve-se conectar as garras de tensão e corrente referentes aos condutores neutro e de proteção. Na Figura 17 é ilustrada uma foto da conexão do analisador ao QPG, evidenciando as ligações dos cabos de tensão e das garras de corrente.

Figura 17 – Analisador de energia instalado no quadro de proteção geral



Fonte: Autoria própria.

Para iniciar a gravação de dados no analisador, os disjuntores do QPG devem ser religados para que o suprimento de energia seja retomado. Uma gravação de dados no analisador se inicia ao pressionar o botão GO/STOP. Porém, uma mensagem com os possíveis erros poderá aparecer: fonte externa não conectada, sequência de fase errada, potência ativa negativa; valor de referência (V_{ref}) da tensão de anomalia errado. Para solucionar os erros citados, os seguintes passos devem ser executados:

a) Fonte externa não conectada: Conectar a fonte externa (bateria) no analisador antes do início da gravação.

b) Sequência de fase errada: Deve-se checar e mudar a sequência de fase das tensões V_1 , V_2 e V_3 até que o valor “SEQ” na tela de valores em tempo real seja “123” (Figura 18).

c) Potência ativa negativa: É necessário verificar se o sentido das garras de corrente é o correto para a instalação, assim que identificar a garra instalada incorretamente, deve-se inverter o sentido a 180° mantendo o valor da potência sempre positivo.

d) Valor ref. tensão anomalia errado (V_{ref}): Alterar o valor da tensão nominal para a adequada ao sistema selecionado.

Figura 18 – Tela de Valores em tempo real

12/09/2006 – 16:55:10				
	VALORES RMS TOTAL – Pág. 1/6			
V1N 0.0	V2N 0.0	V3N 0.0	VNPE 0.0	V
V12 0.0	V23 0.0	V31 0.0		V
NEG% 0.0	ZERO% 0.0	SEQ 000	Hz 0.0	
I1 0.0	I2 0.0	I3 0.0	IN 0.0	A
PAG	OSCILOS	HARM	VETORES	

Fonte: MINIPA, p18.

Após verificar os erros e depois corrigi-los, pode-se iniciar a gravação dos dados. Em seguida, fecha-se o quadro e aguarda o período de análise terminar para poder retirar o analisador e recolher os dados.

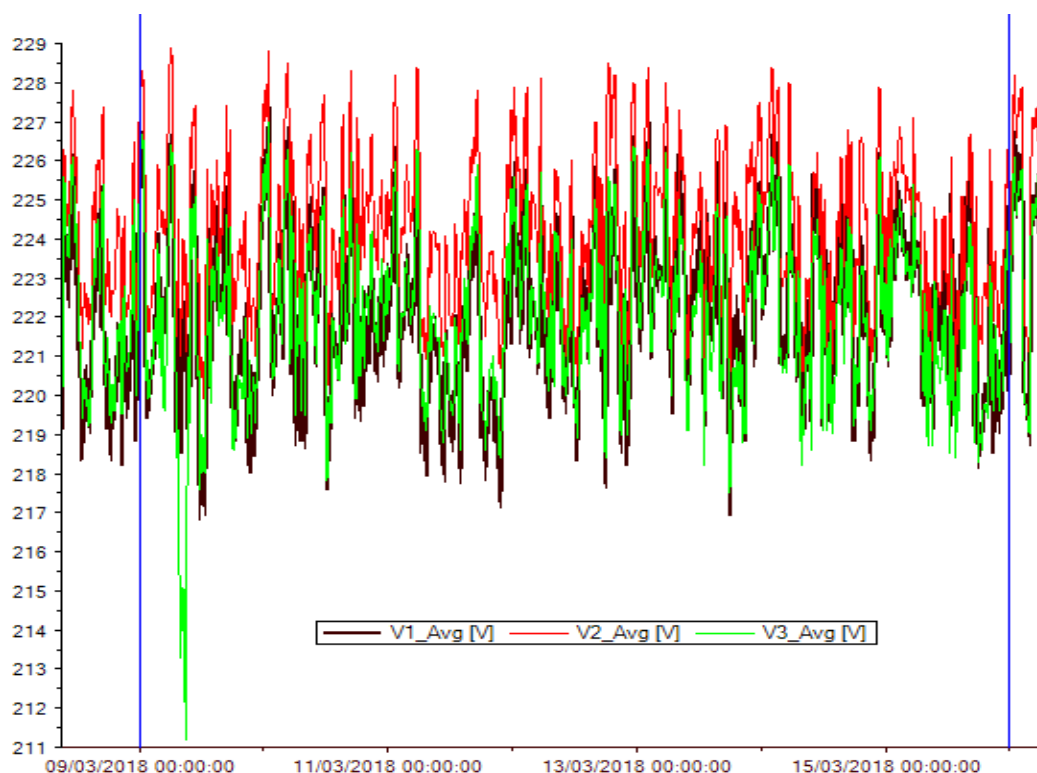
4. RESULTADOS

A coleta de dados iniciou no dia 08 de março de 2018 às 08:57h e terminou no dia 21 de março de 2018 às 08:07h. Portanto, o número de leituras válidas adquiridas (1867) foi maior que o proposto pela Aneel, que corresponde a uma semana (sete dias) de gravação usando um período de integração de 10min, totalizando 1008 leituras válidas. Para que o número de leituras válidas proposto pela Aneel corresponda aos dados que serão comparados no trabalho, foram escolhidos os dados relativos aos dias 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 de março (as retas verticais marcam o início e o fim da partição de dados). Nos tópicos seguintes serão descritos os resultados obtidos com os dados do analisador de QEE relativos aos indicadores de distorção harmônica, variação de frequência, tensão em regime permanente e desequilíbrio de tensão.

4.1. Tensão em regime permanente

Para obter os valores de nlp e nlc relativos às equações 1 e 2, é necessário analisar os gráficos das tensões fase-neutro e fase-fase obtidos com o analisador. O gráfico da Figura 19 ilustra os valores de tensões relativos às fases 1, 2 e 3, e o gráfico da Figura 20 ilustra os valores obtidos de tensões fase-fase.

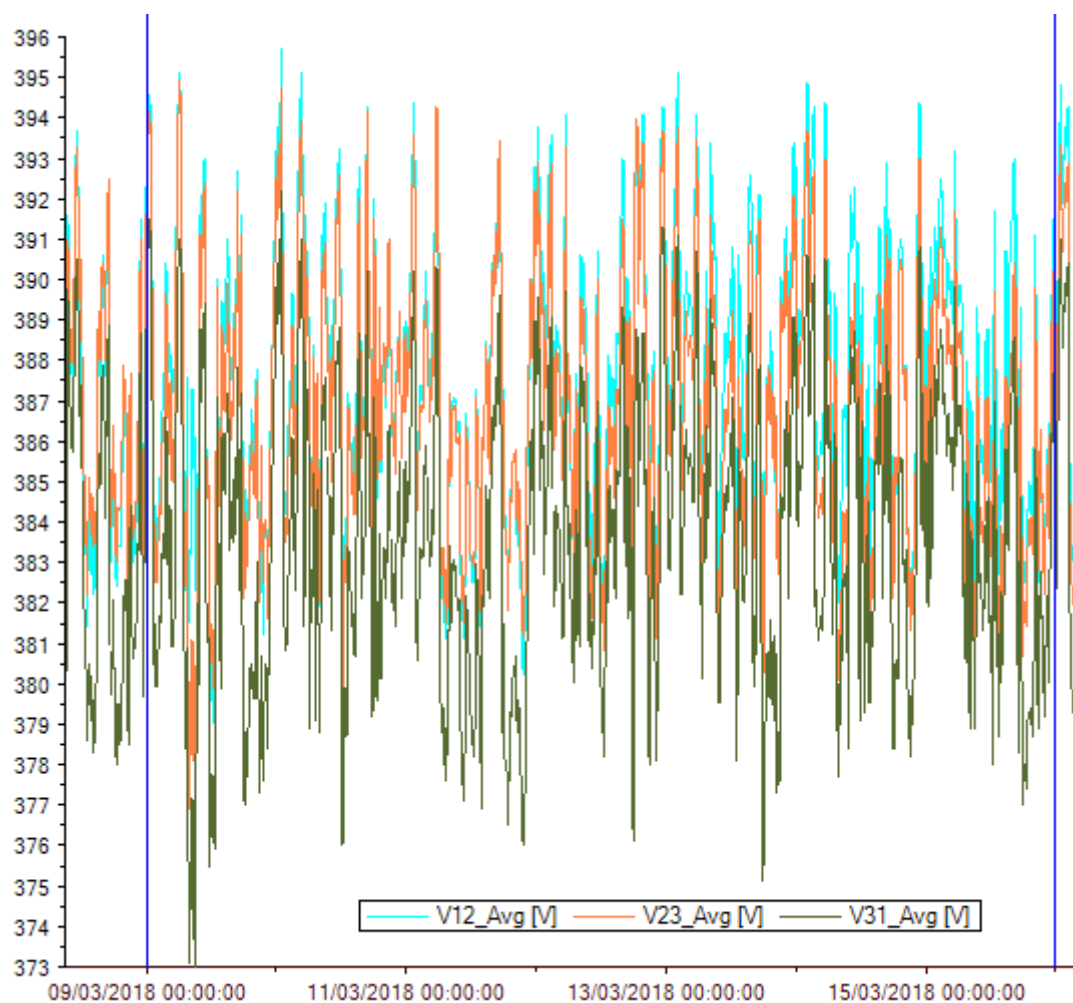
Figura 19 – Gráfico dos valores de tensão relativos às fases 1, 2 e 3.



Fonte: Autoria própria.

Observa-se nos gráficos das Figuras 19 e 20 que nenhum valor de tensão ficou fora dos limites adequados mostrados na Tabela 1, logo, os valores de *nlp* e *nlc* são nulos e, conseqüentemente, os valores dos indicadores individuais DRP e DRC correspondem a 0%. Isto significa que os indicadores de tensão em regime permanente abordados no trabalho estão em conformidade com o módulo 8 da Aneel, conforme visto no item 2.1.1.

Figura 20 – Gráficos dos valores de tensão fase-fase



Fonte: Autoria própria.

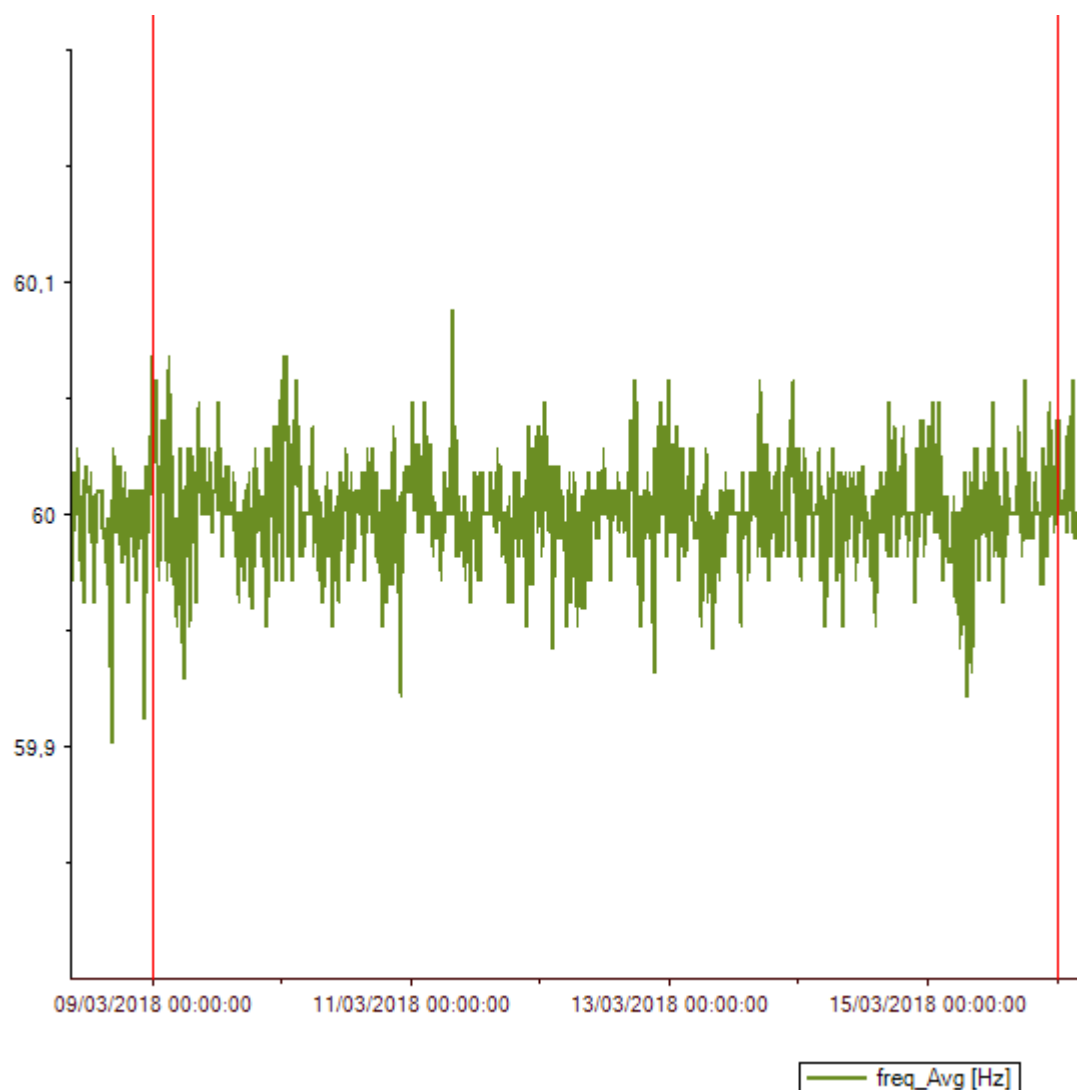
A seguir serão analisados os resultados referentes a variação de frequência do sistema em ênfase do presente trabalho.

4.2. Variação de frequência

Conforme mostrado no item 2.1.2, o indicador de variação de frequência do módulo 8 da Aneel propõe os limites em que a frequência deve operar, sendo eles entre

59,9 e 60,1Hz. O Gráfico da Figura 21 mostra a variação de frequência em relação ao tempo analisado.

Figura 21 – Gráfico relativo à variação de frequência

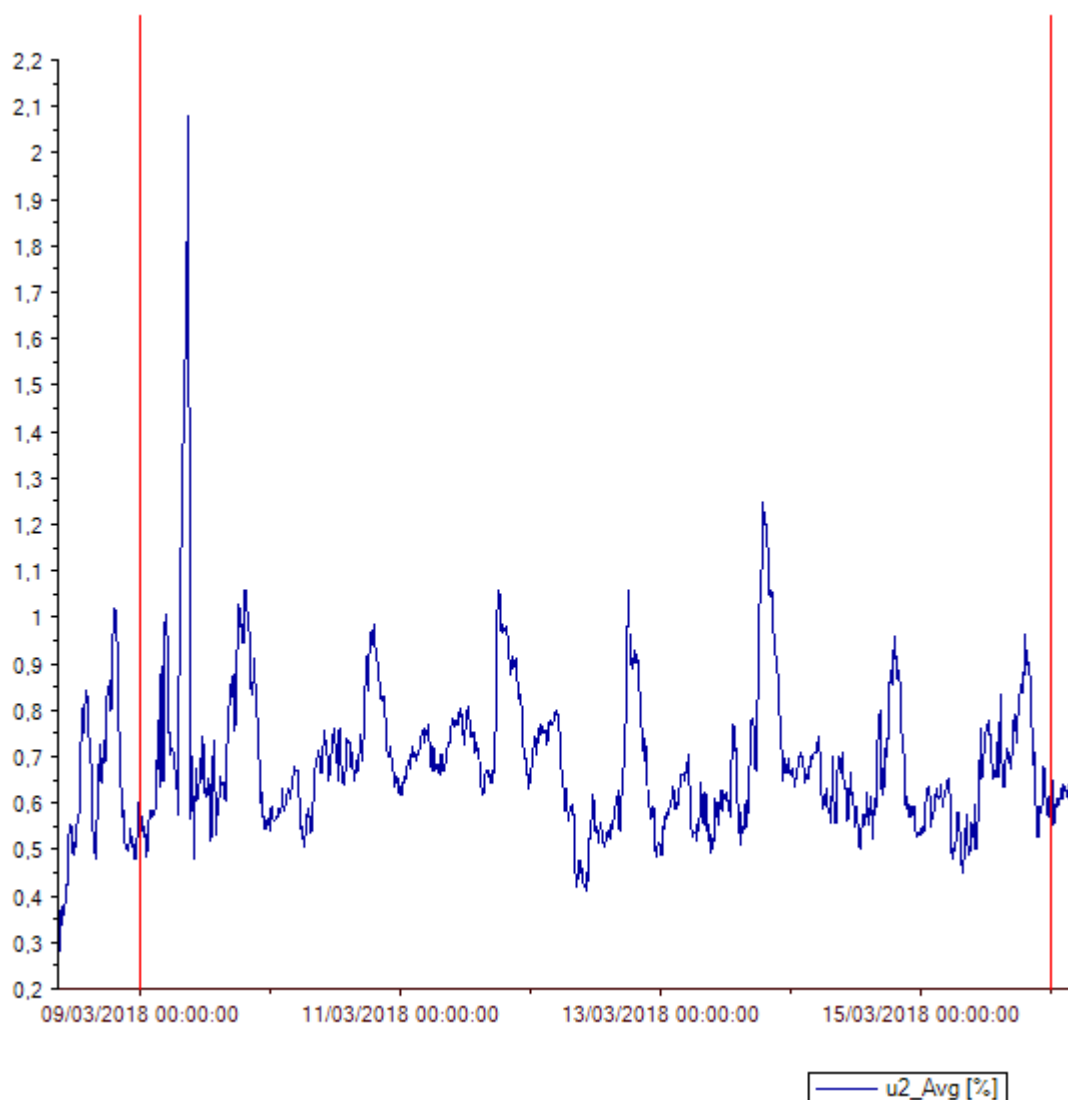


Fonte: Autoria própria.

Como visto na figura 21, verifica-se que a variação de frequência está dentro dos parâmetros estabelecidos pela Aneel, visto que em nenhum período analisado a frequência ultrapassou o limite.

4.3. Desequilíbrio de tensão

O Gráfico da Figura 22 mostra, em porcentagem, o valor do fator de desequilíbrio de tensão referente à $FD\%$ (Equação 9), vista no item 2.1.3.

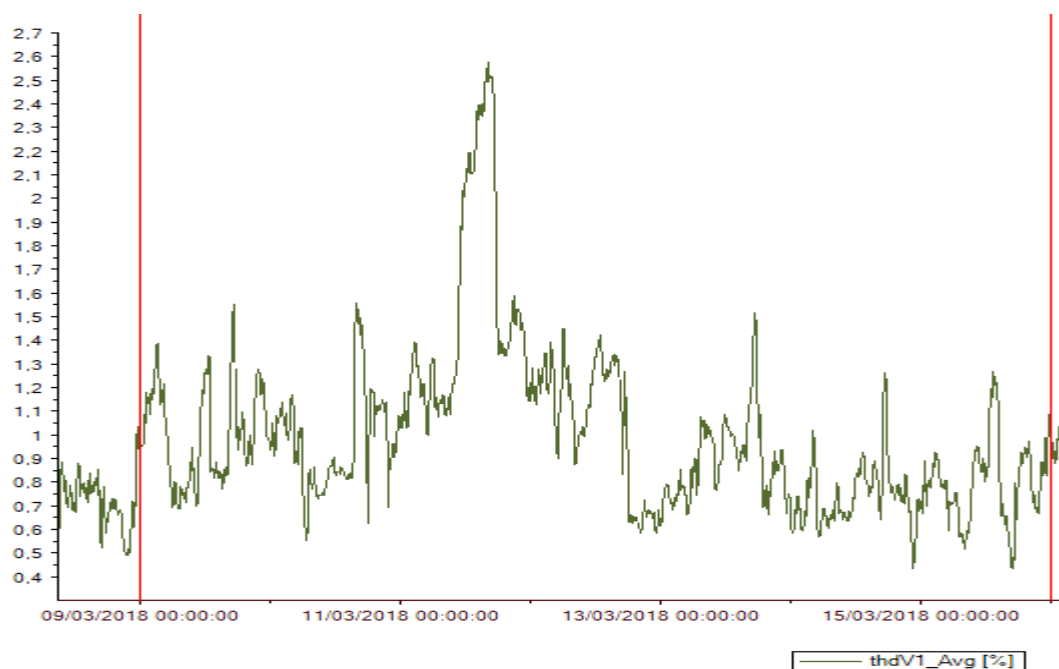
Figura 22 – Gráfico relativo ao desequilíbrio de tensão

Fonte: Autoria própria.

Esse valor, conforme mostrado no item, não ultrapassou o limite de 3% em nenhuma das amostras analisadas, logo, o valor *FD95%* também estará abaixo do limite de 3%.

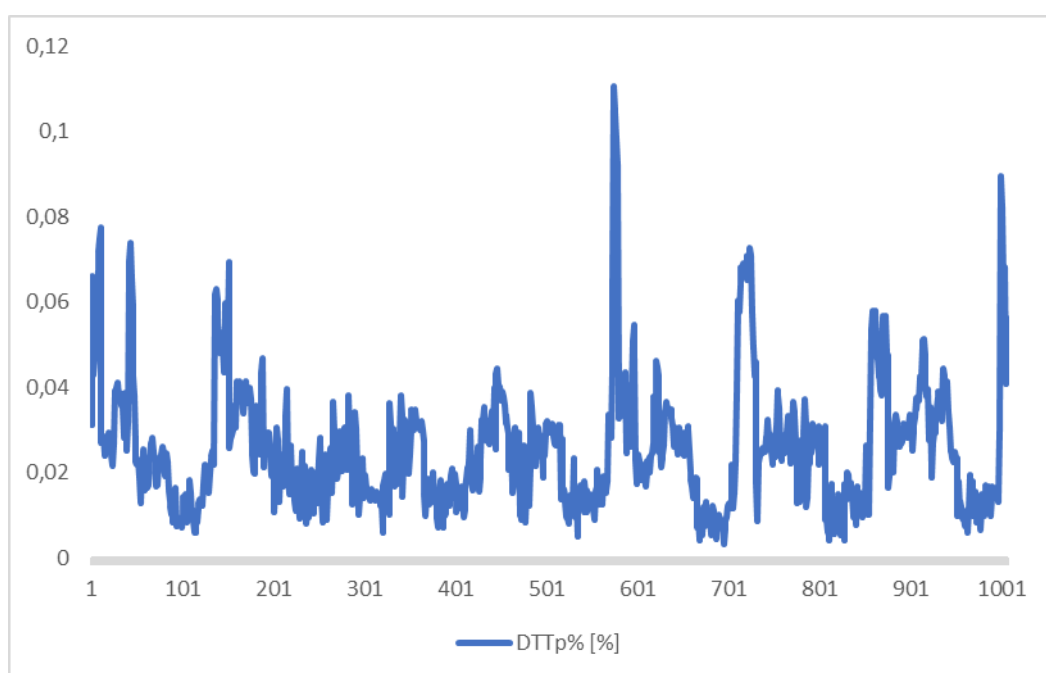
4.4. Distorções harmônicas

O analisador foi programado para coletar dados de tensão até a 40ª ordem harmônica, como proposto no módulo 8 da PRODIST (ANEEL, 2018, p23). O indicador DTT% para a fase 1 pode ser observado no gráfico contido na Figura 23, que ilustra valores menores que 10% em todos os 1008 dados observados, o que implica em um indicador DTT95% dentro dos limites estabelecidos na norma.

Figura 23 – Distorção harmônica total (DTT%) relativos à fase 1

Fonte: Autoria própria.

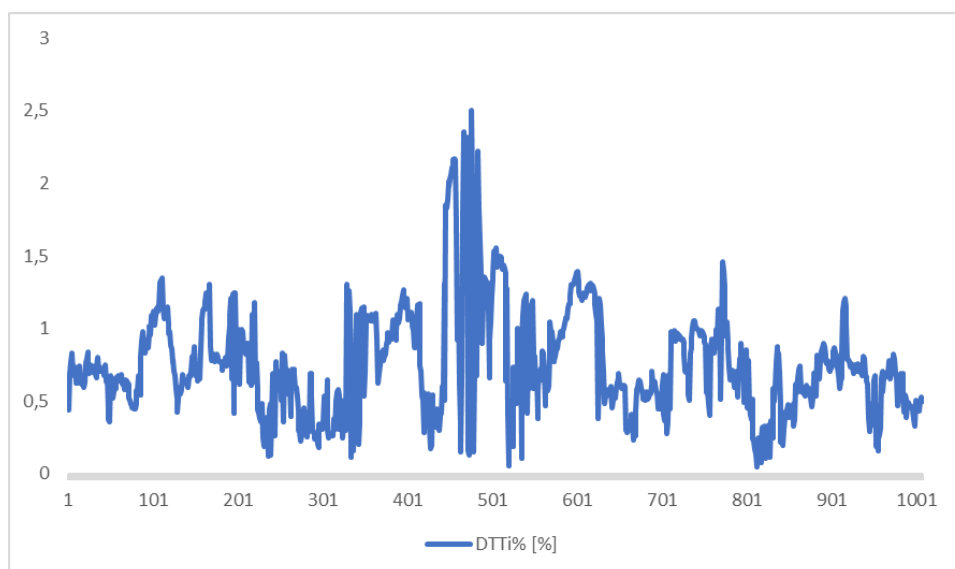
Verifica-se no gráfico da Figura 24 (Valores em porcentagem da tensão fundamental relativos ao número de leituras) que o indicador $DTT_p\%$ relativo à fase 1 está abaixo do limite de 2,5% (Tabela 2). Isto implica em uma $DTT_{p95\%}$ dentro do limite desejável.

Figura 24 – Indicador $DTT_p\%$ relativo a fase 1

Fonte: Autoria própria.

A Figura 25 mostra que o indicador $DTT_{i95\%}$ está dentro dos parâmetros propostos na Tabela 2, visto que $DTT_i\%$ está abaixo do limite para todo valor analisado.

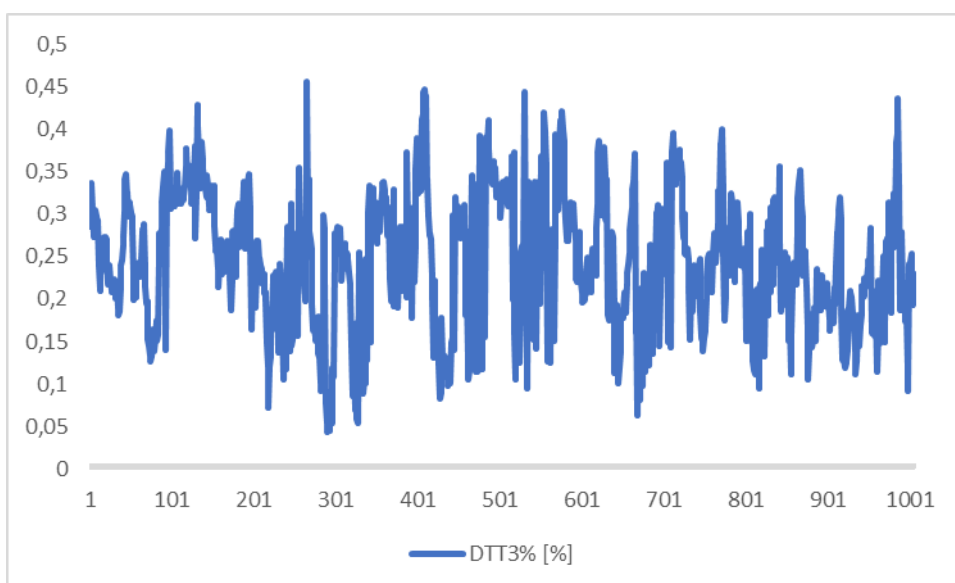
Figura 25 – Indicador $DTT_i\%$ relativo a fase 1



Fonte: Autoria própria.

A Figura 26 mostra o gráfico do indicador $DTT_3\%$ (fase 1), que por sua vez também está nos limites adequados (abaixo de 6,5%, conforme a Tabela 2). Não obstante, observa-se que $DTT_{395\%}$ também está nos limites adequados.

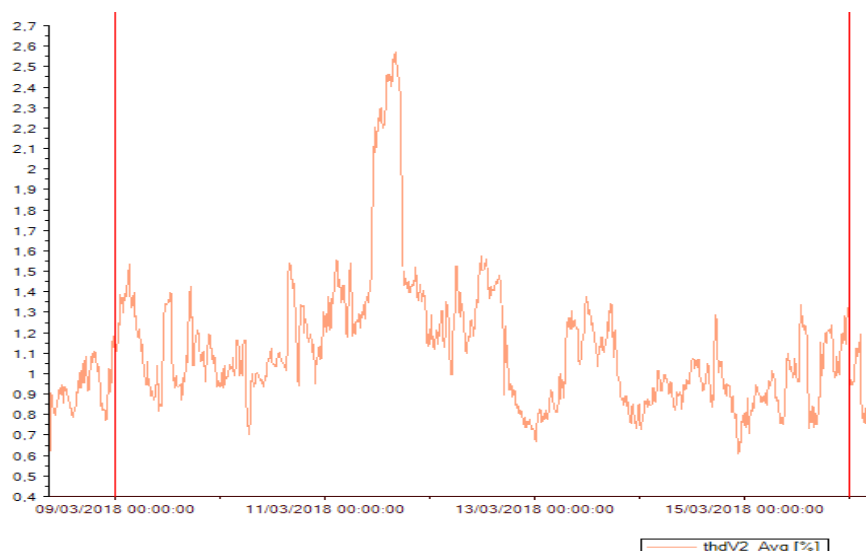
Figura 26 – Indicador $DTT_3\%$ relativo a fase 1



Fonte: Autoria própria.

O Gráfico da Figura 27 mostra que os valores de DTT% estão nos limites adequados em todo o período analisado para os valores de tensão que correspondem a fase 2, implicando afirmar em um indicador DTT95% dentro do limite adequado.

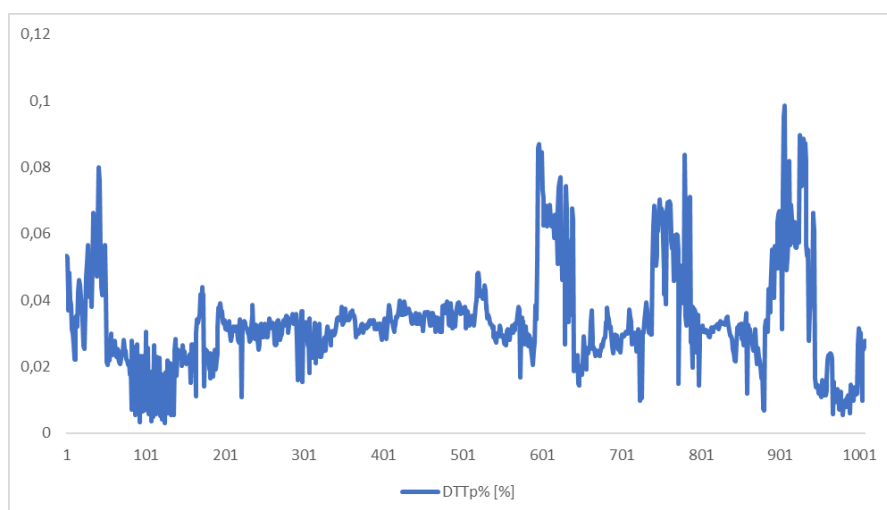
Figura 27 – Distorção harmônica total (DTT%) relativo a fase 2



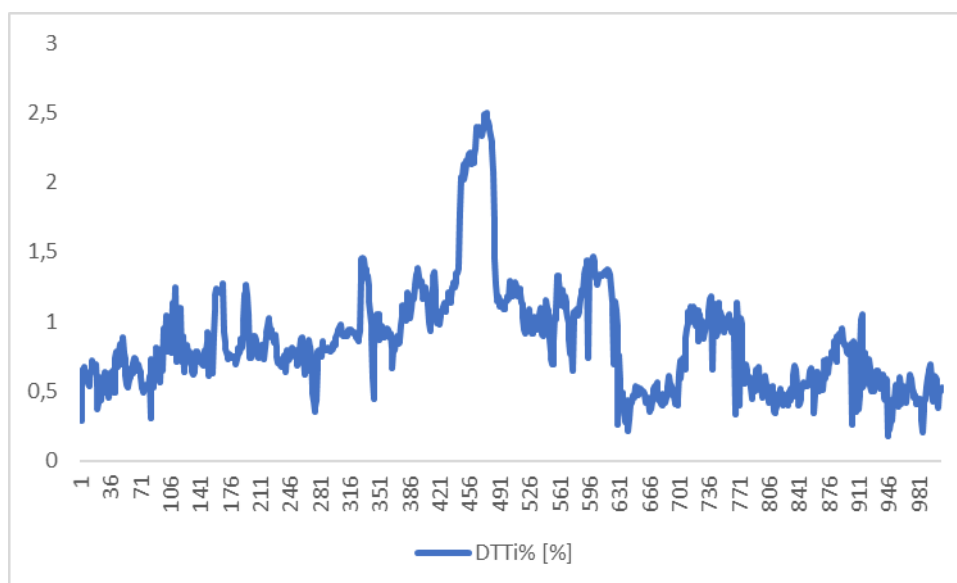
Fonte: Autoria própria.

Para os indicadores $DTT_{p95\%}$, $DTT_{i95\%}$, e $DTT_{395\%}$, pode-se verificar nas Figuras 28, 29 e 30, respectivamente, que, para todos os dados colhidos e analisados, os indicadores permaneceram abaixo dos limites da Tabela 2.

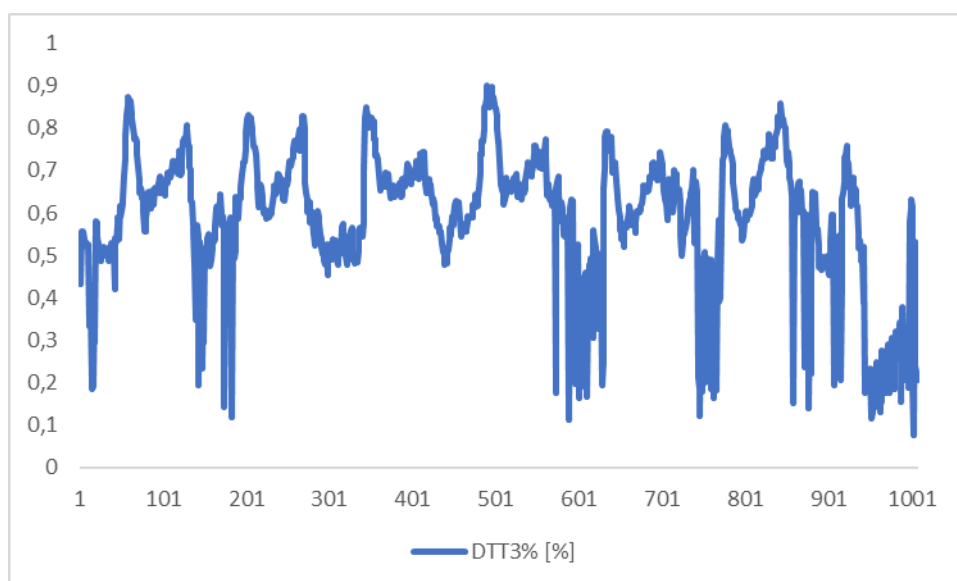
Figura 28 – Indicador $DTT_p\%$ relativo a fase 2



Fonte: Autoria própria.

Figura 29 – Indicador $DTT_i\%$ relativo a fase 2

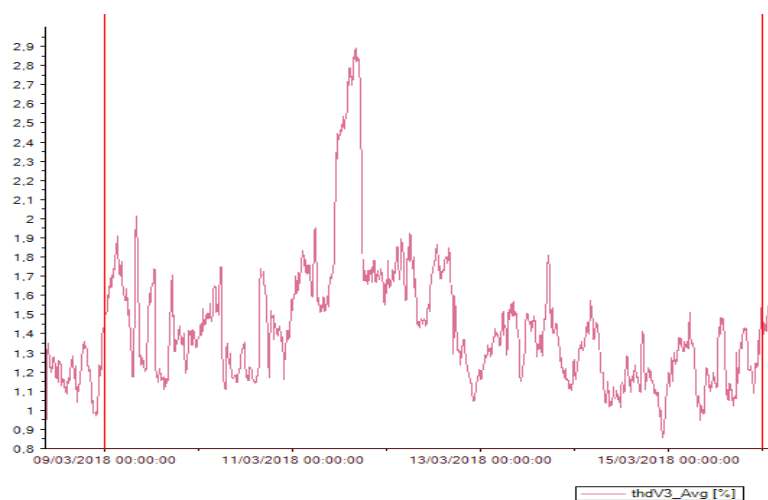
Fonte: Autoria própria.

Figura 30 – Indicador $DTT_3\%$ relativo a fase 2

Fonte: Autoria própria.

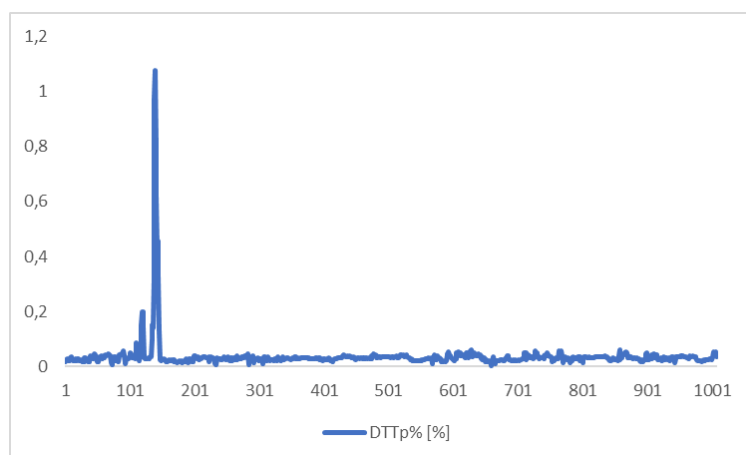
Por fim, os valores de $DTT_{95\%}$, $DTT_p95\%$, $DTT_i95\%$, e $DTT_395\%$ relativos a fase 3 (Figura 31, 32, 33 e 34, respectivamente) também estão em conformidade com os limites estabelecidos na norma discutida no item 2.1.4.

Figura 31 – Distorção harmônica total (DTT%) relativo a fase 3



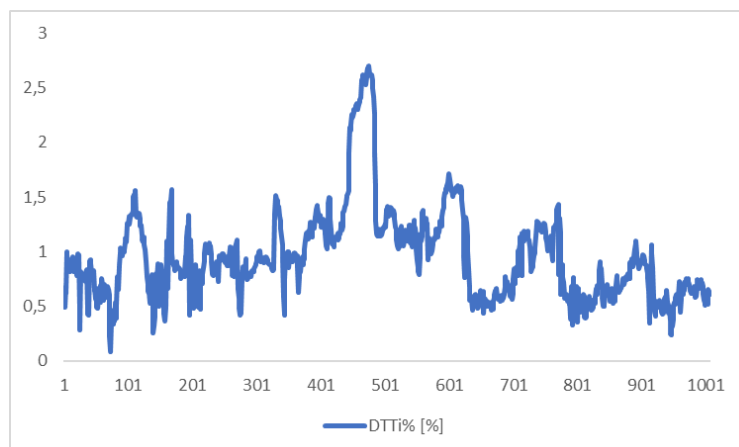
Fonte: Autoria própria.

Figura 32 – Indicador $DTT_p\%$ relativo a fase 3

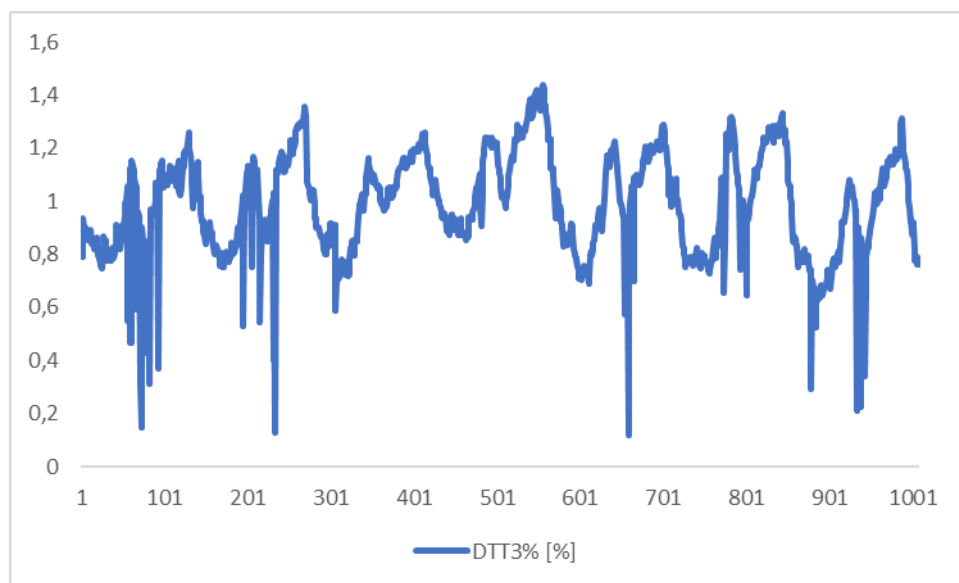


Fonte: Autoria própria.

Figura 33 – Indicador $DTT_i\%$ relativo a fase 3



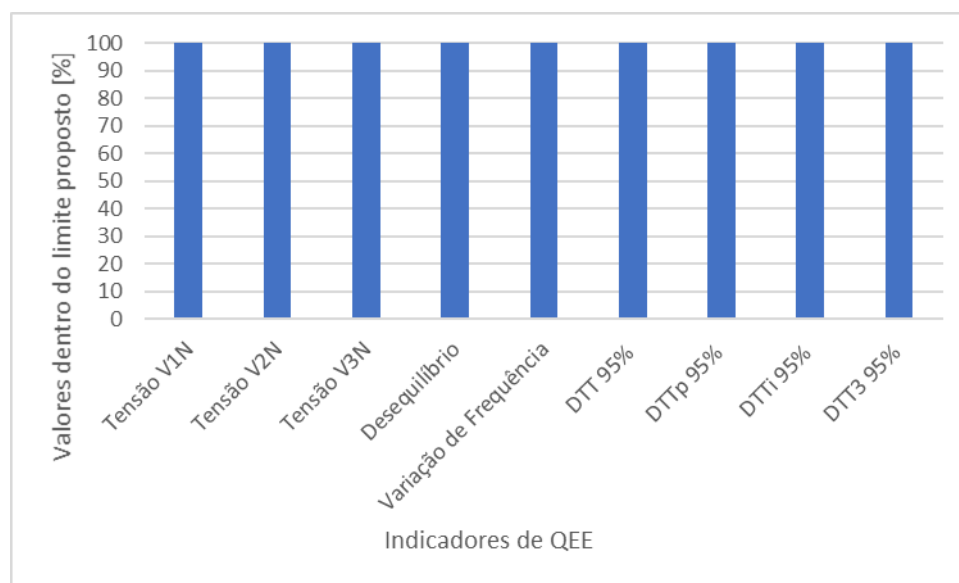
Fonte: Autoria própria.

Figura 34 – Indicador DTT₃% relativo a fase 3

Fonte: Autoria própria.

4.5. Resumo dos resultados

Verifica-se no Gráfico da Figura 35 que os valores obtidos são satisfatórios para o ambiente adotado na pesquisa, pois eles mostram que, para os indicadores analisados, não houve nenhuma anomalia encontrada. Isto mostra que são poucas as chances de ocorrer problemas oriundos, diretamente, dos fenômenos analisados em questão.

Figura 35 – Gráfico com o resumo dos resultados obtidos

Fonte: Autoria própria.

5. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho realizou uma análise dos indicadores de tensão em regime permanente, variação de frequência, desequilíbrio de tensão, e distorção harmônica conforme o módulo 8 da Aneel, a fim de verificar a ocorrência de possíveis problemas de qualidade de energia no Bloco de Laboratórios II da UFERSA campus Caraúbas, que, por sua vez, podem inviabilizar as atividades acadêmicas a serem realizadas no local. No entanto, como não houve nenhum problema relativo aos indicadores de QEE no prédio analisado, conclui-se que os fenômenos analisados podem não estar associados aos problemas de queima de equipamentos que foram relatados. Acredita-se então que os problemas mencionados estejam ocorrendo devido a um possível mau dimensionamento do projeto elétrico do prédio, o que mostra a necessidade de realizar avaliações que objetivam verificar e corrigir as possíveis irregularidades existentes.

REFERÊNCIAS

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5. ed. Porto Alegre: Amgh, 2013. 684 p.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica; 2018. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). **Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Brasília**. Revisão 9.

BORNE, Lucas Silva. **Eficiência energética em instalações elétricas**. 2010. 101f. Bacharelado - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

OKUMOTO, João Cesar. **Avaliação das instalações elétricas de centro cirúrgico. Estudo de caso: Hospital universitário da UFMS**. 2006. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2006.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Documento anexo à nota técnica N° 0029/2011-SRD/ANEEL**: Revisão da Regulamentação Sobre a Qualidade do Produto no Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica. Brasília, 2011. 41 p.

KERN, Fernanda Gonzaga. **Análise da Qualidade da Energia Elétrica Utilizando a Transformada Wavelet**. 2008. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Modelagem Matemática, DeFEM, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2008.

VACCARO, Guilherme Luís Roehe; MARTINS, Jonatas Campos; MENEZES, Thiago Morais. **Análise estatística da qualidade de níveis de tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica**. Production, [s.l.], v. 21, n. 3, p.539-552, set. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132011005000047>.

BALTAZAR, Antonio Carlos dos Santos. **Qualidade de Energia no Contexto da Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro**. 2007. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MATANA, Gleison Melhado. **Proposta de Equipamento para Medição dos Fenômenos Relativos à Qualidade da Energia Elétrica Utilizando Conceitos de Instrumentos Virtuais**. 2008. 210 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MARTINS, Júlio S.; COUTO, Carlos; AFONSO, João Luiz. Qualidade de Energia Elétrica. In: CONGRESSO LUSO-MOÇAMBICANO DE ENGENHARIA, 3., 2003, Moçambique. **Engenharia e Inovação para o Desenvolvimento**. Moçambique: 2003. p. 219 - 231.

PREFEITURA DE CARAÚBAS. História **de Caraúbas**. 2017. Disponível em: <<http://67.205.10.61/historia-de-sao-goncalo-do-amarante/>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

MAMEDE FILHO, JOÃO. **Instalações elétricas industriais**. 7. ed. s.l.: LTC, 2007.

NILSON, JAMES W; RIEDEL, SUSAN A. **Circuitos elétricos**. 8.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

BORNE, Lucas Silva. **Eficiência energética em instalações elétricas**. 2010. 101f. Bacharelado - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2004. 209 p.

OKUMOTO, João Cesar. **Avaliação das instalações elétricas de centro cirúrgico. Estudo de caso: Hospital universitário da UFMS**. 2006. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2006.

ANICETO, DIEGO MACHADO. Importância da correção do fator de potência nas instalações elétricas industriais. [Editorial]. **Revista Especialize On-line IPOG**, v. 01, nº 11, p. 01-17, Jul/2016.

NISKIER, Julio; MACINTYRE, A. J. **Instalações Elétricas**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2000. 550 p.

MINIPA – ET 5061C. **Manual de instruções**. 134p.