



Universidade Federal de Campina Grande - UFCG  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - CEEI  
Departamento de Engenharia Elétrica – DEE  
Engenharia Elétrica

João Victor Jales de Melo

**Laboratório de Alta Tensão - LAT**

Relatório de Estágio Supervisionado

Campina Grande  
2019

João Victor Jales de Melo

## **Relatório de Estágio Supervisionado**

*Relatório de Estágio Supervisionado Submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande, como parte  
dos requisitos necessários à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

George Rossany Soares de Lira, D. Sc.

Campina Grande  
2019

JOÃO VICTOR JALES DE MELO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado Submetido à  
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande, como parte  
dos requisitos necessários à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em        /        /

**Ronimack Trajano de Souza**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador, UFCG

**George Rossany Soares de Lira, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a meus pais e os amigos que acompanharam esta caminhada. Obrigado pela paciência.

# Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, que me manteve firme em minhas convicções, foi apoio nos momentos difíceis e consolo nos tristes.

Agradeço a meus pais, em primeiro lugar a minha mãe, que me incentivou e lutou por minha decisão de ter uma vida de estudo, mesmo que distante dela e de toda a família, sempre me apoiou e escutou meus desabaços, e a meu pai, que sempre foi um exemplo de dedicação a sua profissão, família e amigos.

Também agradeço a meus colegas de curso, que foram a melhor turma, com os piqueniques, viagens e seções de estudos desesperados pré-provas.

Agradeço a minha família no LAT, os amigos do LEASE, que estavam sempre preparados para ajudar, nos projetos, nas provas ou nas descontrações, e que sempre tinham que testar a paciência nos vários treinos de apresentações e no nervosismo que vinha antes delas, me esperando na saída do LAT.

E em especial a Lenilson Barbosa, que me acompanhou em todos os PIBICs, TCC e Estágio, me ajudando e sendo um grande amigo, e a George Lira, por quase 4 anos de orientação e amizade, por aguentar um aluno tão persistente.

*“[...]A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”*

Arthur Schopenhauer.

# Resumo

Neste relatório são descritas as atividades desenvolvidas pelo aluno João Victor Jales de Melo, graduando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), durante o Estágio Curricular Supervisionado, com carga horária de 181 horas, realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da UFCG. Serão abordadas atividades relativas a testes em equipamentos de alta tensão, projeto de quadros de força durante a reforma do laboratório, medições em aterramento e uma campanha de medição da qualidade da energia realizada em uma usina de geração solar. Para a realização das atividades o discente desenvolveu suas habilidades de comunicação, projeto, coordenação, bem como seu conhecimento, principalmente sobre instalações elétricas e qualidade da energia.

**Palavras-chave:** Teste em equipamentos; Projeto de Quadro de Força; Campanha de medição da QEE.

# Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> - Distribuição acumulada complementar da sensação de cintilação.....	14
<b>Figura 2</b> - Conexão dos terminais do medidor na régua de bornes no ponto de medição da subestação 69/13,8 kV.....	19
<b>Figura 3</b> - Medidor instalado na casa de comando. ....	20
<b>Figura 4</b> - Nexus 1500.....	21
<b>Figura 5</b> – Arranjo para teste de amplitude. ....	22
<b>Figura 6</b> - Severidade de flutuação de tensão de curta duração (Pst) para a fase “A” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.....	23
<b>Figura 7</b> - Severidade de flutuação de tensão de curta duração (Pst) para a fase “B” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.....	24
<b>Figura 8</b> - Severidade de flutuação de tensão de curta duração (Pst) para a fase “C” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.....	24
<b>Figura 9</b> - Severidade de flutuação de tensão de longa duração (Plt) para a fase “A” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.....	25
<b>Figura 10</b> - Severidade de flutuação de tensão de longa duração (Plt) para a fase “B” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.....	25
<b>Figura 11</b> - Severidade de flutuação de tensão de longa duração (Plt) para a fase “C” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.....	26
<b>Figura 12</b> - Fator de desequilíbrio de tensão medido (FD) – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.....	27
<b>Figura 13</b> - Distorção harmônica total de tensão (DTT) para a fase “A” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.....	28
<b>Figura 14</b> - Distorção harmônica total de tensão (DTT) para a fase “B” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.....	29
<b>Figura 15</b> - Distorção harmônica total de tensão (DTT) para a fase “C” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.....	29
<b>Figura 16</b> – Malha de aterramento 12x6.....	31
<b>Figura 17</b> – Equipamentos para injeção de corrente.....	32
<b>Figura 18</b> – Medição da malha. ....	33
<b>Figura 19</b> – Resultados para a malha 12x6 sem defeito. ....	33
<b>Figura 20</b> – Resultados para a malha 12x6 com falha simulada.....	34
<b>Figura 21</b> – Comparação dos resultados, malha 12x6 – Sem defeito (azul) x Com defeito (Vermelho)....	35
<b>Figura 22</b> - Comparação dos resultados, malha 21x12 – Sem defeito (azul) x Com defeito (Vermelho).	36
<b>Figura 23</b> – Diagrama unifilar do quadro térreo.....	39
<b>Figura 24</b> – Fachada do Laboratório de Alta Tensão. ....	40
<b>Figura 25</b> – Arranjo para geração e medição de tensão alternada. ....	41
<b>Figura 26</b> – Montagem – Geração e medição de tensão alternada. ....	41
<b>Figura 27</b> – Arranjo para geração e medição de tensão contínua. ....	42

<b>Figura 28</b> – Geração e medição de tensão contínua. ....	43
---	----

# Lista de Tabelas

<b>Tabela 1</b> - Terminologia dos indicadores de flutuação de tensão. ....	13
<b>Tabela 2</b> - Limites de Pst95% para diferentes valores de tensão. ....	15
<b>Tabela 3</b> - Terminologia dos indicadores de desequilíbrio de tensão. ....	15
<b>Tabela 4</b> - Limites para o desequilíbrio de tensão. ....	16
<b>Tabela 5</b> - Terminologia dos indicadores da distorção harmônica. ....	16
<b>Tabela 6</b> - Limites para as distorções harmônicas de tensão. ....	18
<b>Tabela 7</b> - Limites para as distorções harmônicas de tensão. ....	26
<b>Tabela 8</b> - Flutuação de tensão - Comparação com os limites globais. ....	27
<b>Tabela 9</b> - Desequilíbrio de tensão - Comparação com os limites globais. ....	28
<b>Tabela 10</b> - Distorção harmônica total de tensão. ....	30
<b>Tabela 11</b> - Limites para as distorções harmônicas de tensão – Comparação com os limites globais. ....	30
<b>Tabela 12</b> – Levantamento de cargas por setor. ....	37
<b>Tabela 13</b> – Demanda total. ....	38
<b>Tabela 14</b> – Distribuição de potência entre as cargas. ....	38

# Sumário

Agradecimentos .....	vi
Resumo .....	2
Lista de Figuras .....	3
Lista de Tabelas .....	5
Sumário .....	6
1 Introdução .....	7
1.1 Objetivo .....	7
2 Laboratório de Alta Tensão .....	8
3 Atividades Desenvolvidas .....	10
3.1 Medição da Qualidade da Energia .....	10
3.1.1 Instruções para realização de estudos e medições da QEE .....	10
3.1.2 PRODIST .....	12
3.1.3 Apresentação da atividade .....	18
3.1.4 Ponto de acoplamento comum (PAC) .....	18
3.1.5 Medidor utilizado .....	20
3.1.6 Testes mínimos .....	21
3.1.7 Resultados - Campanha de medição pós-operacional da QEE em uma planta solar .....	23
3.2 Determinação de Defeitos em Malhas de Aterramento .....	31
3.2.1 Malha 12x6 Metros .....	31
3.2.2 Malha 21x12 Metros .....	35
3.3 Projeto de Quadro de Força .....	36
3.3.1 Desenvolvimento da atividade .....	36
3.4 Reforma do LAT .....	39
3.5 Confeção de Arranjos Experimentais .....	40
3.5.1 Geração e medição de tensão alternada .....	40
3.5.2 Geração e medição de tensão contínua .....	42
4 Considerações Finais .....	44
Referências .....	45
Anexo A – Teste de Amplitude de Sinal .....	46
Anexo B – Teste de Sequência de Fase .....	48
Anexo C – Quadro de Cargas Térreo .....	50
Anexo D – Tabelas da NDU 001 .....	52
Anexo E – Cálculo de Demanda para Quadro Térreo .....	53

# 1 INTRODUÇÃO

O presente relatório refere-se as atividades desenvolvidas pelo aluno João Victor Jales de Melo durante seu estágio supervisionado realizado no período de 20/05/2019 a 05/07/2019 no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), entregue como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Engenheiro Eletricista. As atividades foram realizadas sob orientação do Professor George Rossany Soares de Lira e supervisão do Professor Ronimack Trajano de Souza.

O estágio é uma disciplina obrigatória na grade curricular de Engenharia Elétrica e visa ambientar o aluno as atividades da engenharia, impondo situações em que são desenvolvidas habilidades de solução de problemas e de relação interpessoal, de extrema necessidade na atividade de um Engenheiro. Neste sentido, serão descritas as principais tarefas desenvolvidas, dificuldades encontradas e os conhecimentos adquiridos ao longo do período.

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo do estágio supervisionado é contribuir para a formação do aluno, possibilitando participar de um ambiente de cobranças, onde possa ser desenvolvidas as habilidades profissionais e aplicar os conhecimentos obtidos na universidade.

## 2 LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

O Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) começou a ser desenvolvido em 1974, graças a uma associação de recursos nacionais com os de algumas cooperações técnicas internacionais. Foi fundado em 1975 na então Universidade Federal da Paraíba e hoje se encontra como um dos laboratórios, em sua especialidade, mais bem equipado do Norte-Nordeste do país (DEE, 2019) e um dos mais do Brasil, em especial, com relação as instituições de ensino e pesquisa.

As principais áreas de pesquisa desenvolvidas pelo LAT atualmente são:

- Transitórios eletromagnéticos;
- Previsão de vida útil de para-raios;
- Detecção e análise de sinais de descargas parciais;
- Cálculo de campos eletromagnéticos;
- Aterramento;
- Qualidade da energia.

Para atuar em todas essas áreas o LAT possui diversos ambientes de laboratório, bem estruturados e equipados, os principais são:

- **Salão de alta tensão:** São realizados ensaios de aplicação de alta tensão, impulsiva ou a frequência industrial, utilizando uma “cascata” com capacidade de até 600 kV e um gerador impulsivo de até 750 kV.

- **Laboratório do gerador de impulso de corrente:** São realizados ensaios de impulso de corrente, seja em malhas de aterramento, para-raios ou em outros equipamentos elétricos, para testes. O laboratório possui um gerador de impulso de corrente com capacidade de até 100 kA.

- **Sala do Kit de alta tensão:** O kit de alta tensão possui um conjunto de equipamentos montáveis, entre eles, regulador de tensão 0/220 V, transformador 220/100 kV, divisor resistivo, divisor capacitivo, diversos resistores e diodos. Todo esse conjunto de equipamentos permite uma grande gama de experimentos, que podem ser utilizados tanto com o intuito de ensino quanto de pesquisa.

- **Laboratório de eletrônica aplicada a sistemas elétricos (LEASE):** O laboratório de eletrônica aplicada a sistemas elétricos desenvolve atividades de sistemas de sensoriamento, medição aquisição, transmissão e processamento de dados aplicados aos sistemas elétricos. O laboratório dispõe de todos os componentes comuns em laboratórios de eletrônica.
- **Laboratório de qualidade da energia:** No laboratório de qualidade da energia são realizados estudos e desenvolvidos analisadores da qualidade da energia, estudos os distúrbios elétricos e seus impactos no sistema por meio de campanhas de medições para empresas.

Além dos laboratórios, o LAT possui diversas salas utilizadas pelos professores (cada professor com atividades ligadas permanentemente ao LAT tem sua própria sala), alunos de graduação (ligados a iniciação científica, estagiários e concluintes), pós-graduação (salas para mestrandos e doutorandos), visitantes e salas de reuniões.

O Laboratório de Alta Tensão, além de atividades voltadas para ensino e pesquisa, também desenvolve trabalhos para empresas da região e do resto do Brasil. Diversas empresas buscam o LAT para realizar ensaios de equipamentos de alta tensão, como é o caso da Energisa, que necessita testar luvas, capacetes, varas de manobra, periodicamente. Outros trabalhos também são realizados na área da qualidade da energia. Campanhas de medição da qualidade da energia são requisitos para a entrada de novas fontes ao sistema elétrico, deste modo, empresas responsáveis por esses empreendimentos buscam o laboratório pra realização das medições e emissão de laudos.

Com seus 44 anos de funcionamento, o LAT é um laboratório muito bem equipado, com investimento obtido com diversas parcerias nacionais e internacionais, um corpo técnico formado por pesquisadores, engenheiros e técnicos muito bem qualificados e experientes, além dos diversos graduandos.

## 3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Ao longo deste capítulo, são descritas as atividades desenvolvidas pelo estagiário durante o estágio supervisionado realizado dentro do Laboratório de Alta Tensão (LAT) da UFCG.

### 3.1 MEDIÇÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA

Nesta atividade foi realizada uma campanha de medição pós-operatória na Central Geradora Fotovoltaica (UFV) de Malta, Paraíba.

A central tem uma capacidade instalada de geração estimada de aproximadamente 62 MW e está em operação a menos de 1 ano. Tendo solicitado realização de uma campanha pós-operatória de medição da qualidade da energia, o estagiário, juntamente a outros funcionários do LAT realizaram as medições.

A seguir é dada uma introdução sobre o tema e são descritos as atividades e resultados obtidos durante a campanha.

#### 3.1.1 INSTRUÇÕES PARA REALIZAÇÃO DE ESTUDOS E MEDIÇÕES DA QEE

De acordo com o submódulo 2.8 do PROREDE (ONS, 2016) e módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2018), devem ser realizadas análises fundamentadas em indicadores da qualidade da energia quando solicitado acesso de agentes de geração cujas instalações não lineares possam comprometer o desempenho da rede de distribuição ou transmissão. Os indicadores de maior interesse para este tipo de medição são a flutuação de tensão, desequilíbrio de tensão e distorção harmônica.

A análise da qualidade da energia quanto ao acesso de fontes não lineares (aerogeradores/inversores), é geralmente formada por:

- Estudos da qualidade da energia;
- Campanha de medição pré-operatória;
- Campanha de monitoramento;
- Campanha de medição pós-operatória;
- Campanha de medição de corrente, a depender da necessidade.

a) Estudos da qualidade da energia

Os estudos da qualidade da energia são realizados, sob responsabilidade do agente gerador, em forma de relatório, incluindo informações detalhadas quanto aos dados, modelos e metodologias utilizadas, bem como os resultados obtidos e as possíveis recomendações para ações a serem tomadas em casos de necessidade de adequação aos limites estabelecidos (ONS, 2016). São uma série de estudos e simulações sobre os impactos que a fonte geradora pode trazer a rede que terá acesso. O ONS disponibiliza um guia para realização destes trabalhos no submódulo 23.3 (ONS, 2010).

b) Campanhas de pré e pós-operação

As campanhas de medição pré-operatória e pós-operatória são etapas necessárias da análise da QEE e visam verificar o desempenho da rede quanto aos seus indicadores no ponto de acoplamento comum (PAC), entre a unidade geradora e a rede de distribuição ou transmissão, verificando deste modo uma possível interferência da geração no subsistema em que está conectada. Essas campanhas devem ocorrer em dois momentos, um imediatamente antes à entrada em operação (pré-operatória) e outro após a entrada em operação (pós-operatória). Cada uma deve ser realizada por um período de 7 dias consecutivos intervalados de 10 em 10 minutos e de forma ininterrupta, totalizando ao fim da medição um conjunto de dados com 1008 pontos.

As campanhas de pré e pós-operação tem grande importância, pois possibilitam traçar um paralelo, real e sem necessidade de simulações, do impacto da nova fonte geradora no sistema, diferente do que ocorre nos estudos da qualidade da energia.

O pré-operatório verifica as condições locais de tensão da rede sem a nova fonte geradora, sendo umas das formas de informar se esta tem ou não capacidade de receber uma nova fonte e se é necessário reforçar o sistema de distribuição ou transmissão. Juntamente com o estudo da qualidade da energia, são etapas obrigatórias para a obtenção do parecer de acesso à rede.

O pós-operatório verifica os indicadores de tensão após a entrada da nova fonte, observando o efeito da entrada e, caso tenha sido recomendada instalação de filtros pelo estudo da qualidade da energia ou medição pré-operatória, o efeito do filtro.

c) Campanha de monitoramento

Medição da distorção harmônica de tensão realizada quando, no acesso de fontes eólicas ou fotovoltaicas, não for implementado solução de filtragem, geralmente indicada

pelo estudo da qualidade da energia. Caso seja identificada alguma violação dos limites de distorção harmônica, o funcionamento do parque deve ser restringido a um número máximo de aerogeradores/inversores que permita o reestabelecimento dos limites.

d) Campanha de medição de corrente

Também é possível haver, dependendo da necessidade e recomendações do estudo da qualidade da energia realizado, uma campanha de medição de correntes harmônicas na saída de equipamentos não lineares da instalação. Geralmente este tipo de medição é realizado no acesso de fontes solares ou eólicas.

### 3.1.2 PRODIST

O PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional) são um agrupamento de procedimentos, normas e recomendações para o sistema de distribuição de energia elétrica, que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas. Disponibilizado pela ANEEL, nele são considerados sistemas com tensão menor ou igual a 69 kV ou redes acima de 69 kV sob responsabilidade de empresas distribuidoras. Um documento semelhante existe para a rede de transmissão, o Procedimentos de Rede, usado em tensões superiores a 69 kV.

Serão apresentados apenas os indicadores de interesse para o estudo na campanha de medição apresentada neste trabalho. Seguindo instruções específicas do ONS, na NT 009/2016 – Rev. 02, datada de março de 2018 (ONS, 2018), os indicadores estudados neste subtópico serão:

- Flutuação de tensão;
- Desequilíbrio de tensão;
- Distorção harmônica de tensão.

Os medidores utilizados nas campanhas de medição deverão ser equipamentos que operam segundo o princípio da amostragem digital. Poderão ser utilizados medidores das classes S ou A, conforme norma vigente da IEC 61000-4-30 (2015).

a) Flutuação de Tensão

A flutuação de tensão é um fenômeno caracterizado pela variação aleatória de tensão, ou seja, é um evento repetitivo ou esporádico em que o valor eficaz de tensão

varia, podendo criar uma situação de incômodo pela mudança de intensidade luminosa das lâmpadas. Os indicadores da flutuação de tensão tentam estimar o incômodo visual causado pela variação luminosa, também conhecido como cintilação.

São utilizados 3 indicadores apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Terminologia dos indicadores de flutuação de tensão.

<b>Identificação da Grandeza</b>	<b>Símbolo</b>
Severidade de flutuação de tensão de curta duração	<i>Pst</i>
Severidade de flutuação de tensão de longa duração	<i>Plt</i>
Valor do indicador de Pst que foi superado em apenas 5% das leituras válidas	<i>Pst95%</i>

**Fonte:** ANEEL (2018).

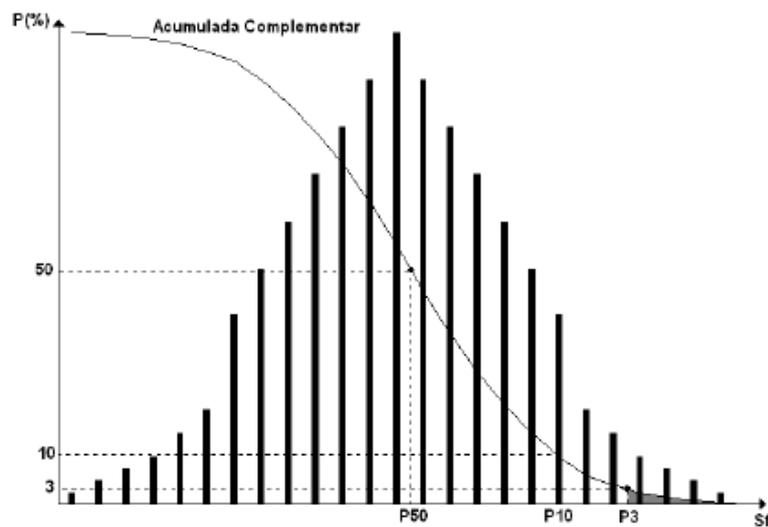
O valor para *Pst* é calculado pela expressão:

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

em que  $P_i$  ( $i = 0,1; 1; 3; 10; 50$ ) correspondem ao nível de flutuação de tensão que foi ultrapassado durante  $i\%$  do tempo, obtido a partir da função de distribuição acumulada complementar, como estabelecido na norma IEC 61000-4-15 (2010).

A função de distribuição acumulada nos dá uma maneira de descrever como as probabilidades são associadas aos valores ou aos intervalos de valores de uma variável aleatória. Como pode ser visto na Figura 1, a partir da distribuição acumulada complementar da flutuação de tensão podem ser obtidos os valores dos  $P_i$ s. Recorrendo a Figura, o ponto  $P_3$  seria um valor não ultrapassado em 3 % dos dados, o  $P_{10}$  o valor não ultrapassado em 10 % dos dados, e de forma análoga ao casos seguintes.

**Figura 1** - Distribuição acumulada complementar da sensação de cintilação.



Fonte: ANEEL (2018).

O valor  $Plt$  corresponde a um valor representativo de doze (12) amostras consecutivas de  $Pst$ , como estabelecido pela equação 2.

$$Plt = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (Pst_i)^3} \quad (2)$$

O indicador  $Pst95\%$ , como definição na Tabela 1, é o valor de flutuação que não é superado em 95% dos casos. Este pode ser retirado diretamente da função de distribuição acumulada complementar.

As medições de flutuação de tensão devem ser realizadas por meio do registro de 1008 leituras válidas obtidas em intervalos consecutivos de 10 minutos cada. Deste modo, o parâmetro  $Pst$  será tomado em intervalos de 10 minutos, enquanto que  $Plt$  em intervalos de 2 horas (12 intervalos de 10 minutos).

Limites para os indicadores:

Quanto a flutuação de tensão de curta tensão é estipulado o indicador  $Pst95\%$ , e limites específicos de acordo com o nível de tensão. Não são estipulados limites para os indicadores de longa duração. Para cada faixa de tensão corresponde um limite máximo, como mostrado na Tabela 2.

**Tabela 2** - Limites de Pst95% para diferentes valores de tensão.

Indicador	Tensão Nominal		
	$V_n \leq 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
<i>Pst95%</i>	1,0 pu	1,5 pu	2 pu

Fonte: ANEEL (2018).

#### b) Desequilíbrio de Tensão

O desequilíbrio de tensão é o fenômeno caracterizado por qualquer diferença verificada nas amplitudes entre as três tensões de fase em um sistema trifásico, e/ou na defasagem elétrica de  $120^\circ$  entre as tensões de fase do mesmo sistema.

Para o desequilíbrio de tensão existem 2 indicadores. Estes são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** - Terminologia dos indicadores de desequilíbrio de tensão.

Identificação da Grandeza	Símbolo
Fator de desequilíbrio de tensão	<i>FD</i>
Valor do indicador <i>FD</i> que só é superado em 5% das medições	<i>FD95%</i>

Fonte: Adaptado de ANEEL (2018).

O indicador *FD* é calculado pela razão entre a componente de sequência negativa e a componente de sequência positiva da tensão, como mostrado na equação 3.

$$\%Desbalanciamento = \frac{V_{neg}}{V_{Pos}} 100\% \quad (3)$$

Como sua definição, o indicador *FD95%* será o valor de *FD* que não é superado em 95% das medições.

As medições de fator de desequilíbrio de tensão devem ser realizadas por meio do registro de 1008 leituras válidas, obtidas em intervalos consecutivos de 10 minutos cada, semelhante a flutuação de tensão.

Limites para os indicadores:

São criados limites para o indicador de desequilíbrio de tensão *FD95%*. Estes são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Limites para o desequilíbrio de tensão.

Indicador	Tensão Nominal	
	$V_n \leq 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_n < 230 \text{ kV}$
<i>FD95%</i>	3 %	2 %

Fonte: ANEEL (2018).

c) Distorção Harmônica de Tensão

As distorções harmônicas são fenômenos associados a existência de harmônicos causando deformações na forma da onda da tensão e corrente em relação a senoide de frequência fundamental.

Para quantificar sua presença existem uma sequência de indicadores, os quais são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5** - Terminologia dos indicadores da distorção harmônica.

Identificação da Grandeza	Símbolo
Distorção harmônica individual de tensão de ordem h	$DTT_h\%$
Distorção harmônica total de tensão	$DTT\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes pares não múltiplas de 3	$DTT_p\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes ímpares não múltiplas de 3	$DTT_i\%$
Distorção harmônica total de tensão para as componentes múltiplas de 3	$DTT_3\%$
Valor do indicador $DTT\%$ que foi superado em apenas 5% das medições	$DTT95\%$
Valor do indicador $DTT_p\%$ que foi superado em apenas 5% das medições	$DTT_p95\%$
Valor do indicador $DTT_i\%$ que foi superado em apenas 5% das medições	$DTT_i95\%$
Valor do indicador $DTT_3\%$ que foi superado em apenas 5% das medições	$DTT_395\%$

Fonte: Adaptado de ANEEL (2018).

As expressões para o cálculo dos indicadores da distorção harmônica são apresentadas nas equações 4 a 8.

$$DIT_h \% = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (4)$$

Sendo:

$V_h$  = Tensão harmônica de ordem  $h$ .

$V_1$  = Tensão harmônica da ordem fundamental.

$$DTT\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hmax} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (5)$$

Sendo:

$V_h$  = Tensão harmônica de ordem  $h$ .

$V_1$  = Tensão harmônica da ordem fundamental.

$h$  = Todas as ordens harmônicas.

$hmax$  = Ordem harmônica máxima do medidor.

$$DTT_p \% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{hp} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (6)$$

$V_h$  = Tensão harmônica de ordem  $h$ .

$V_1$  = Tensão harmônica da ordem fundamental.

$h$  = Todas as ordens harmônicas pares, não múltiplas de 3.

$hp$  = Ordem harmônica máxima par e não múltipla de 3.

$$DTT_i \% = \frac{\sqrt{\sum_{h=5}^{hi} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (7)$$

$V_h$  = Tensão harmônica de ordem  $h$ .

$V_1$  = Tensão harmônica da ordem fundamental.

$h$  = Todas as ordens harmônicas ímpares, não múltiplas de 3.

$hi$  = Ordem harmônica máxima ímpar e não múltipla de 3.

$$DTT_3 \% = \frac{\sqrt{\sum_{h=3}^{h3} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (8)$$

$V_h$  = Tensão harmônica de ordem  $h$ .

$V_1$  = Tensão harmônica da ordem fundamental.

$h$  = Todas as ordens harmônicas múltiplas de 3.

$h3$  = Ordem harmônica máxima múltipla de 3.

Mais uma vez, as medições da distorção harmônica de tensão devem ser realizadas por meio do registro de 1008 leituras válidas obtidas em intervalos consecutivos de 10 minutos cada, semelhante a flutuação de tensão e desequilíbrio de tensão.

Limites para os indicadores:

Os limites para os indicadores são estabelecidos pelo módulo 8 do PRODIST com relação as distorções harmônicas totais. Estes são apresentados na tabela 6.

**Tabela 6** - Limites para as distorções harmônicas de tensão.

Indicador	Tensão Nominal		
	$V_n \leq 1 \text{ kV}$	$1 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
$DTT_{95\%}$	10,0%	8,0%	5,0%
$DTT_p_{95\%}$	2,5%	2,0%	1,0%
$DTT_i_{95\%}$	7,5%	6,0%	4,0%
$DTT_3_{95\%}$	6,5%	5,0%	3,0%

Fonte: ANEEL (2018).

### 3.1.3 APRESENTAÇÃO DA ATIVIDADE

Foi requisitada a participação em uma campanha de medição pós-operatória da qualidade da energia na Usina Solar Fotovoltaica (UFV) de Malta, Paraíba.

Como explicado anteriormente, as medições pós-operatórias tem a função de verificar a conformidade dos principais parâmetros da qualidade da energia após a entrada em operação de determinada fonte ou carga. Deste modo foram realizadas medições de: Flutuação de tensão, distorção harmônica e desequilíbrio de tensão.

O estagiário, juntamente da equipe do LAT, realizou a campanha de medição e as análises seguindo as recomendações disponíveis nas normas brasileiras cabíveis (ONS, 2007)(ANEEL, 2018).

A seguir serão descritas as atividades desenvolvidas para realização da medição e os resultados obtidos por meio da sua análise.

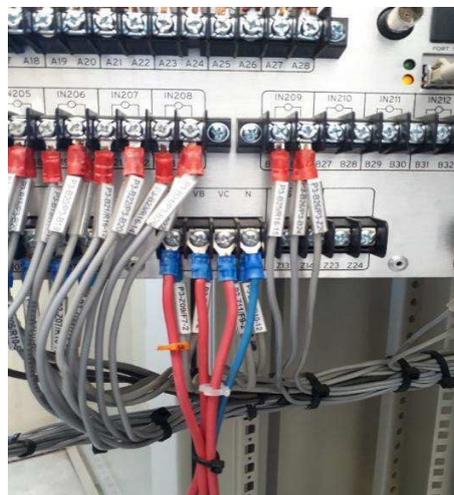
### 3.1.4 PONTO DE ACOPLAMENTO COMUM (PAC)

As medições para este tipo de atividade são realizadas no ponto de acoplamento comum da fonte geradora com a rede elétrica. Neste caso o ponto de acoplamento foi a

SE Malta/PB, uma subestação 69/13,8 kV. A saída de 13,8 kV alimenta a cidade de Malta, entre outras regiões próximas, enquanto que o barramento de 69 kV é conectado a uma linha que se liga a subestação da UFV, responsável por concentrar a potência gerada por todos os eletrocentros (formados por: Inversores, proteção e transformadores).

Buscando atender requisitos técnicos de segurança, os terminais do equipamento de medição foram instalados na régua de bornes localizada no quadro de medição da subestação, onde se encontram as saídas do TP (Transformador de Potencial), como mostrado na Figura 2.

**Figura 2** - Conexão dos terminais do medidor na régua de bornes no ponto de medição da subestação 69/13,8 kV.



**Fonte:** Próprio autor.

O quadro de medição fica localizado dentro da casa de comando, conhecida como “cabana”, o ambiente é fechado e livre de intempéries que possam prejudicar tanto o equipamento de medição quanto os quadros da subestação. Na Figura 3 é mostrado o medidor conectado ao quadro.

**Figura 3** - Medidor instalado na casa de comando.



**Fonte:** Próprio autor.

### 3.1.5 MEDIDOR UTILIZADO

O medidor utilizado durante toda a campanha de medição foi o analisador da qualidade da energia Nexus 1500, modelo 141-0132789232, de fabricação da *Electro Industries/Gauge Tech*. O analisador é classificado como um qualímetro classe A, conforme norma vigente da IEC 61000-4-30 (2015), é homologado pelo ONS como um dos medidores para campanhas de medição da qualidade da energia e possui certificado de calibração recente. Suas principais características são as seguintes:

- Entradas de tensão: V1, V2, V3, Vref (até 600 V fase-fase);
- Entradas de corrente: I1, I2, I3, Iref;
- Forma de onda: 512 amostras por ciclo;
- Frequência: 45 – 69,9 Hz;
- Entradas digitais: 8 entradas – S1 a S8;
- Relés: 4 saídas de relés;
- Saídas de estado sólido: 04 saídas de estado sólido;

- Comunicação: Protocolos de comunicação Modbus TCP/IP, ASCII/RTU, DNP 3.0, porta ótica ANSI, USB 1.1/2.0, porta virtual COM, RJ-45 porta Ethernet10/100BaseT, 2 portas RS485 (opcionais).

Na Figura 4 é mostrado o modelo do qualímetro utilizado.

**Figura 4** - Nexus 1500.



**Fonte:** Electro Industries (2014).

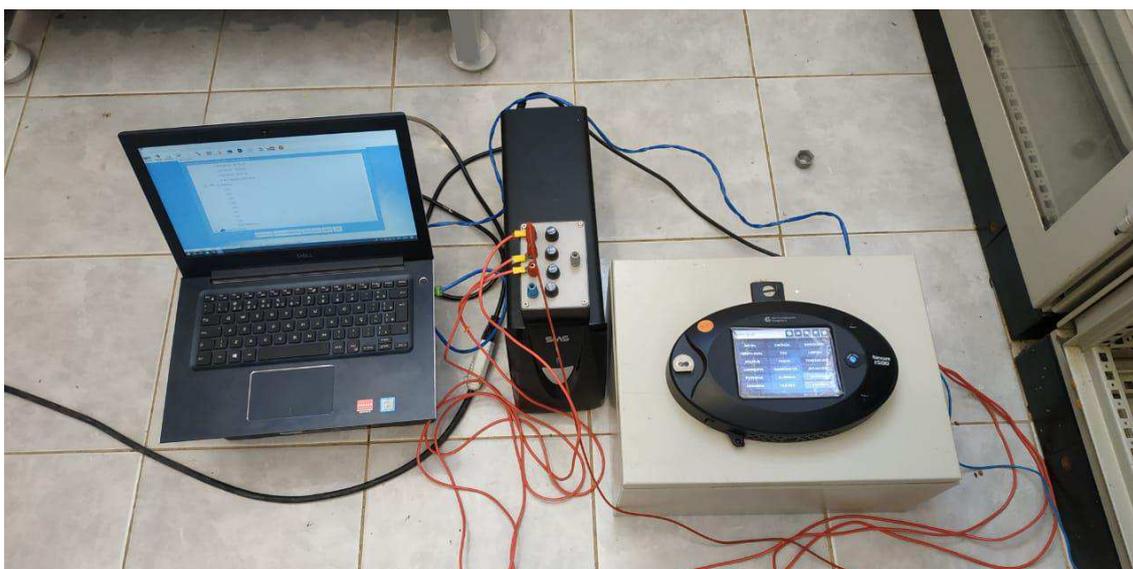
### 3.1.6 TESTES MÍNIMOS

Antes de começar a campanha de medição propriamente dita, é recomendada a realização de testes de sequência de fases e amplitude de sinal, conforme recomendação do ONS (ONS, 2007). Esse procedimento busca possíveis falhas no analisador da qualidade da energia, nas ligações ou no próprio transformador de potencial.

Os testes foram realizados e são descritos a seguir.

#### a) Teste de amplitude de sinal

Neste teste todas as fases do instrumento de medição devem estar conectadas entre uma única fase e o neutro do transdutor, medindo suas amplitudes de tensão por no mínimo 30 minutos. Para fazer a conexão das 3 fases foi utilizado um pequeno conector montado especialmente para esta finalidade. Na Figura 5 pode ser visto esse arranjo.

**Figura 5** – Arranjo para teste de amplitude.

**Fonte:** Próprio autor.

O objetivo deste teste é verificar possíveis incongruências nos dados medidos nas diferentes fases do medidor. Caso a amplitude das 3 fases apresente variação superior que 5 % entre si, a campanha de medição deve ser suspensa devido possivelmente, a problemas com o equipamento medidor.

Neste momento, para possibilitar uma maior quantidade de amostras, o *Nexus* foi configurado para capturar dados a cada minuto. No Anexo A são disponibilizados os dados deste teste, onde não foi verificada nenhuma variação superior a 5 % entre as fases. A maior variação encontrada foi de 0,9 %, o que indica que o medidor apresenta condições técnicas para a realização da campanha de medição.

#### b) Teste de sequência de fases

As 3 fases do *Nexus* e o neutro devem ser conectadas ao secundário do TP e, durante um período não inferior a 30 minutos, medir o valor FD (%) referente ao desequilíbrio das fases. O arranjo para este teste é o mesmo mostrado na Figura 3.

O objetivo deste teste é verificar se a sequência de fases está correta, evitando erros durante a campanha de medições. Se eventualmente o valor do indicador superar 10%, possivelmente teremos um dos seguintes problemas:

- Inversão de sequência de fases: Se for este o caso, duas fases devem ser invertidas e o teste reiniciado.

- Sinais discrepantes vindos de outras fontes: Neste caso a origem do problema deve ser estudada.

No Anexo B são disponibilizados os dados deste teste, onde o maior valor verificado foi 1,25%, inferior a 10%, indicado que o medidor apresenta condições técnicas para a realização da campanha de medições.

### 3.1.7 RESULTADOS - CAMPANHA DE MEDIÇÃO PÓS-OPERACIONAL DA QEE EM UMA PLANTA SOLAR

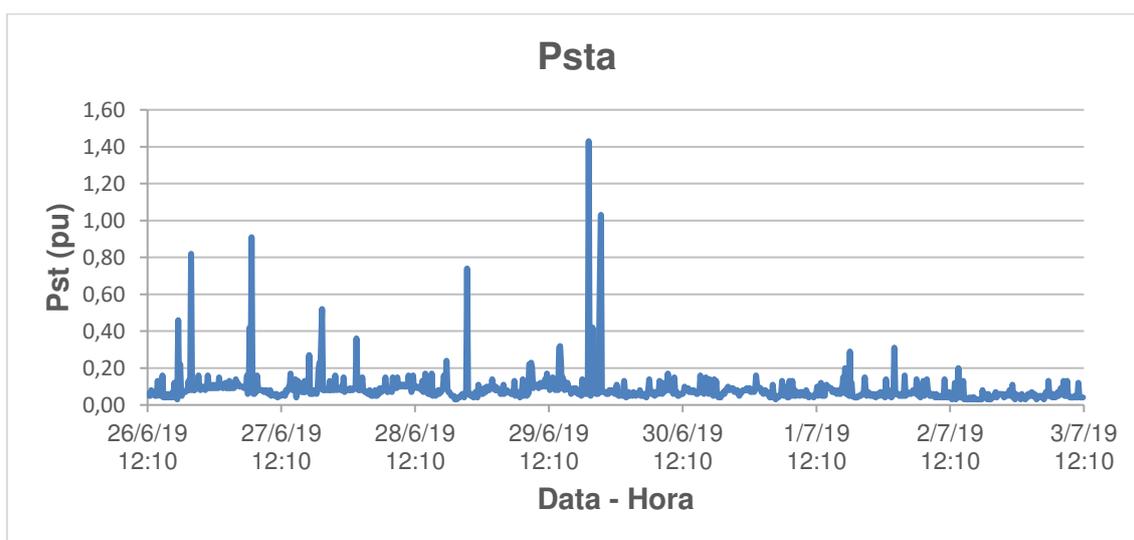
Finalizados os testes mínimos em campo, apresentados anteriormente, a campanha de medições foi iniciada. Entre os dias 26/06/2019 e 04/07/2019 foi realizada a medição contínuas dos parâmetros: Flutuação de tensão, desequilíbrio de tensão e distorção harmônica de tensão.

A seguir são apresentados e analisados os resultados dos indicadores, conforme descrito no módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2018).

#### a) Flutuação de tensão

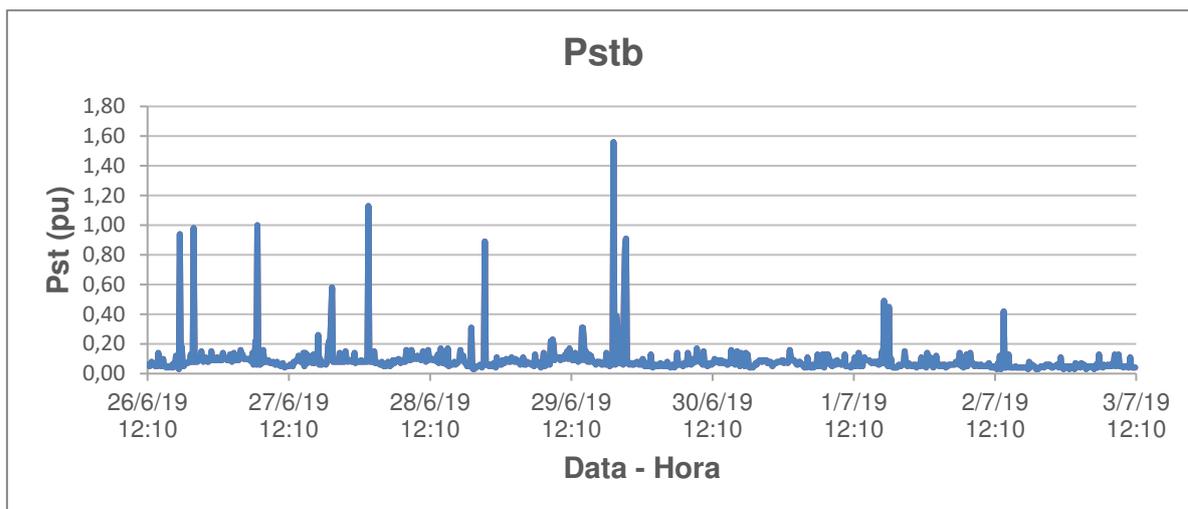
Nas Figuras 6, 7 e 8 são apresentados os dados para severidade de flutuação de tensão de curta duração (Pst) para as 3 fases no ponto de acoplamento comum.

**Figura 6** - Severidade de flutuação de tensão de curta duração (Pst) para a fase “A” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.



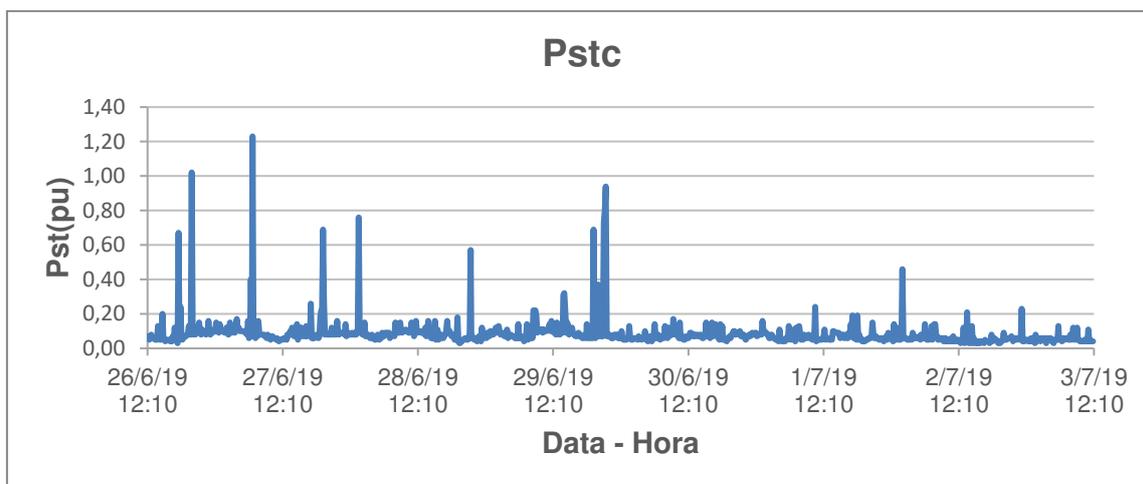
**Fonte:** Próprio autor.

**Figura 7** - Severidade de flutuação de tensão de curta duração (Pst) para a fase “B” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.



**Fonte:** Próprio autor.

**Figura 8** - Severidade de flutuação de tensão de curta duração (Pst) para a fase “C” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.



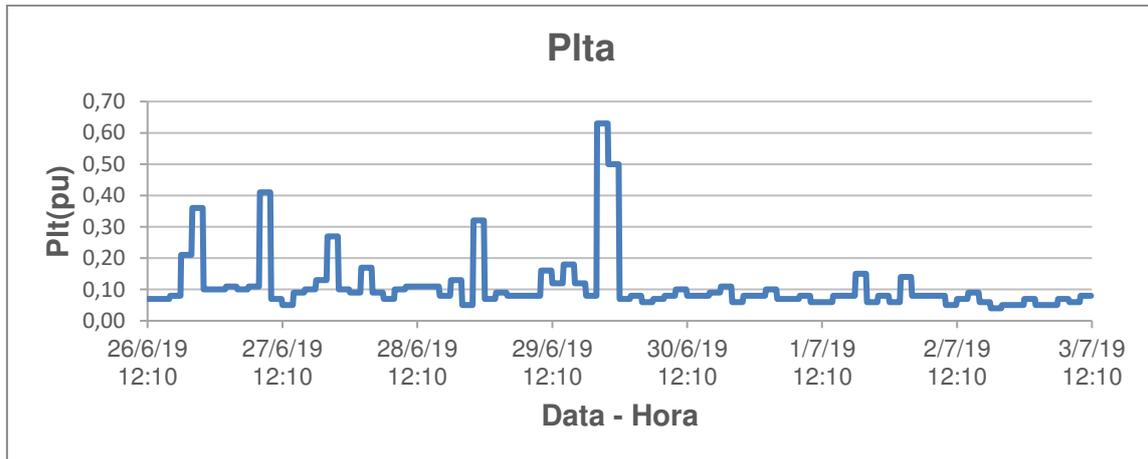
**Fonte:** Próprio autor.

Como pode ser observado nas Figuras 6 a 8, durante os 7 dias da campanha de medição, puderam ser observados 5 eventos em que houveram acentuada elevação do indicador severidade de flutuação de tensão, todos nos 4 primeiros dias. Nestes 5 eventos pode ser percebida elevação em todas as fases simultaneamente. Já que os distúrbios não são periódicos e não persistem durante toda a campanha de medições, estando os dias 30, 01, 02 e 03/07, com parâmetros de flutuação de tensão inferiores a 0,5 pu e não havendo nenhum evento informado pela geradora, possíveis causas para estes distúrbios são

mudanças na configuração do sistema, chaveamentos de linhas próximas ou entrada e saída de grandes cargas.

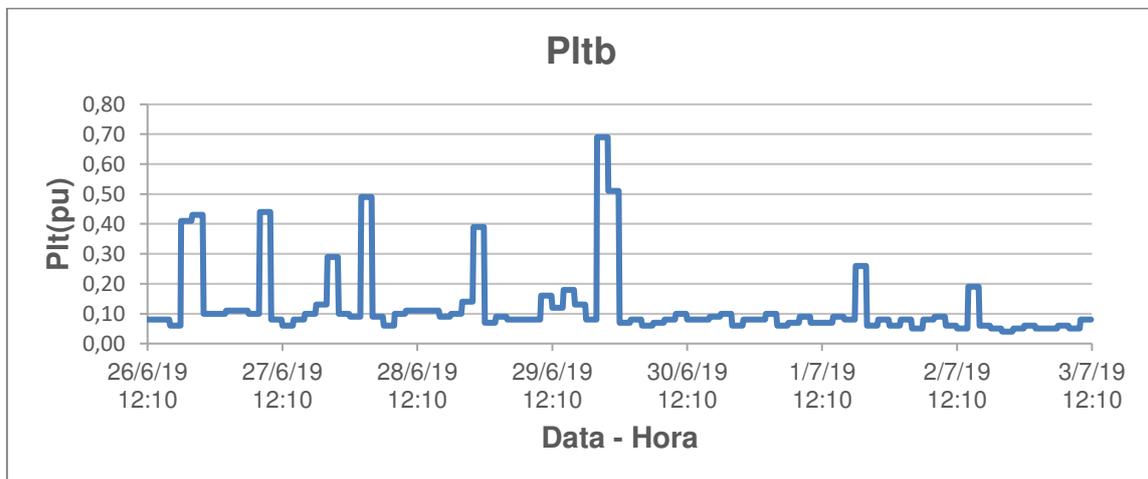
Nas figuras 9, 10 e 11 são mostrados os índices  $Plt_a$ ,  $Plt_b$  e  $Plt_c$ .

**Figura 9** - Severidade de flutuação de tensão de longa duração ( $Plt$ ) para a fase “A” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.



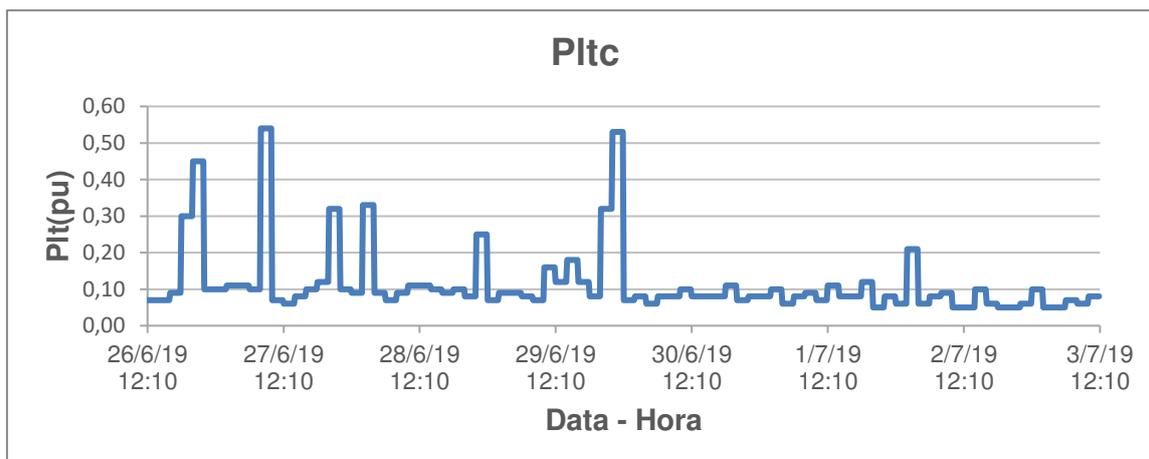
**Fonte:** Próprio autor.

**Figura 10** - Severidade de flutuação de tensão de longa duração ( $Plt$ ) para a fase “B” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.



**Fonte:** Próprio autor.

**Figura 11** - Severidade de flutuação de tensão de longa duração (Plt) para a fase “C” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.



**Fonte:** Próprio autor.

Os resultados para a severidade da flutuação de tensão de longa duração mostraram-se semelhantes à de curta duração, seguindo o mesmo padrão, embora com valores menores. Isso se deve a este indicador ser formado por um conjunto de 12 valores de Pst. Como a maior parte das amostras tem Pst abaixo de 0,1 os valores de Plt tornam-se mais baixos, mesmo que ocorra um pico de flutuação de tensão.

O maior valor medido ocorreu no dia 29/06 às 19:20, com um pico momentâneo de 1,56 pu na fase B (Pstb). Porém na maior parte do período monitorado a flutuação se manteve abaixo de 0,1 pu, fazendo com que os indicadores estatísticos de severidade de flutuação de tensão se mantivessem baixos, como mostra a Tabela 7.

**Tabela 7** - Limites para as distorções harmônicas de tensão.

<b>Psta95%</b>	<b>Pstb95%</b>	<b>Pstc95%</b>	<b>Plta95%</b>	<b>Pltb95%</b>	<b>Pltc95%</b>
0,24	0,31	0,22	0,32	0,43	0,32

**Fonte:** ANEEL (2018).

Comparando os resultados com os limites impostas pelo módulo 8 do PRODIST, é observado que, quanto a severidade da flutuação de tensão, os limites globais não são violados. Isso pode ser visto na Tabela 8.

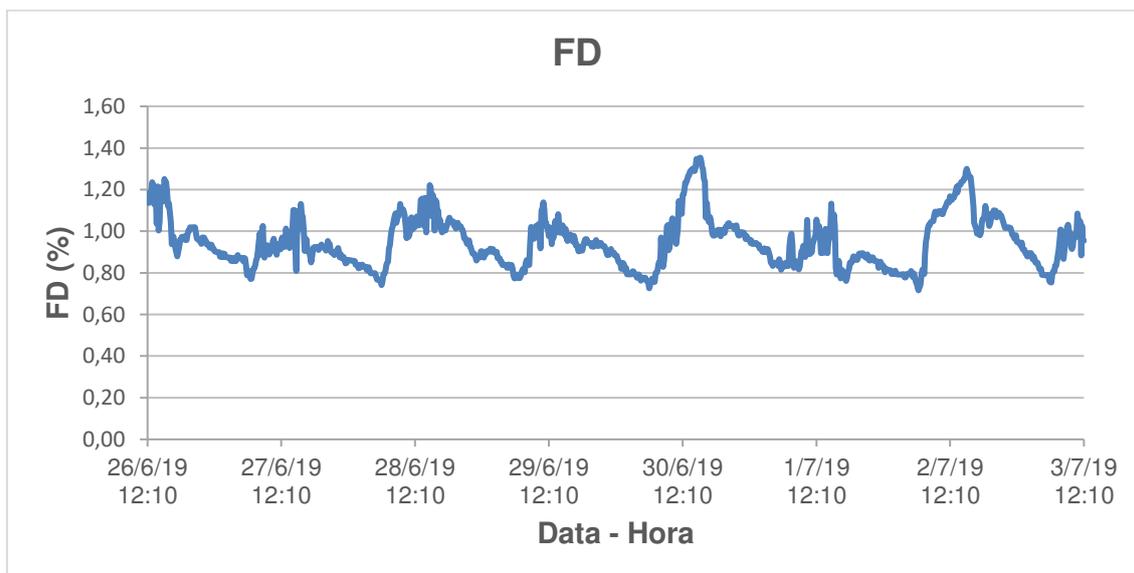
**Tabela 8** - Flutuação de tensão - Comparação com os limites globais.

Flutuação	Fase	Valor medido (pu)	Limites globais (pu)
<b>Pst95%</b>	<b>A</b>	0,24	2,00
	<b>B</b>	0,31	2,00
	<b>C</b>	0,22	2,00

**Fonte:** Próprio autor.

b) Desequilíbrio de tensão

O fator de desequilíbrio FD (%) foi calculado e os seus resultados, obtidos em medições com intervalos de 10 minutos, foram usados para gerar o gráfico da Figura 12.

**Figura 12** - Fator de desequilíbrio de tensão medido (FD) – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.

**Fonte:** Próprio autor.

Como pode ser percebido pelo gráfico, o valor do fator de desequilíbrio se manteve estável próximo a 1% durante os 7 dias de medição.

O valor de FD95%, equivalente ao fator de desequilíbrio que não é superado em 95% das medições, foi determinado e comparado com o limite recomendado pelo módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2018). O resultado é apresentado na tabela 9.

**Tabela 9** - Desequilíbrio de tensão - Comparação com os limites globais.

Desequilíbrio de Tensão	Valor medido (%)	Limites globais (%)
FD95%	1,30	2,00

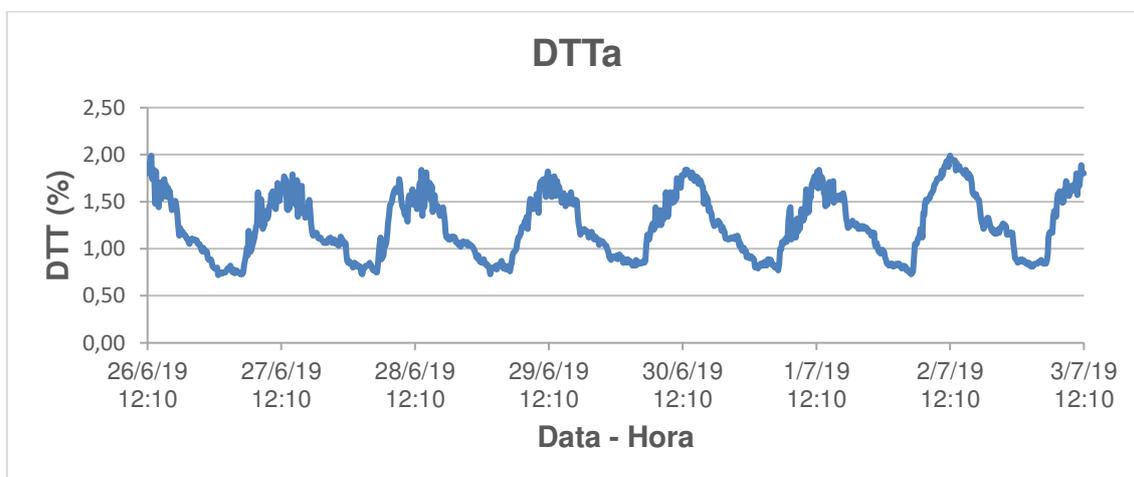
Fonte: Próprio autor.

Sendo o valor FD95% inferior a 2%, pode-se dizer que, quanto ao desequilíbrio de tensão, os limites globais não foram violados.

c) Distorção harmônica

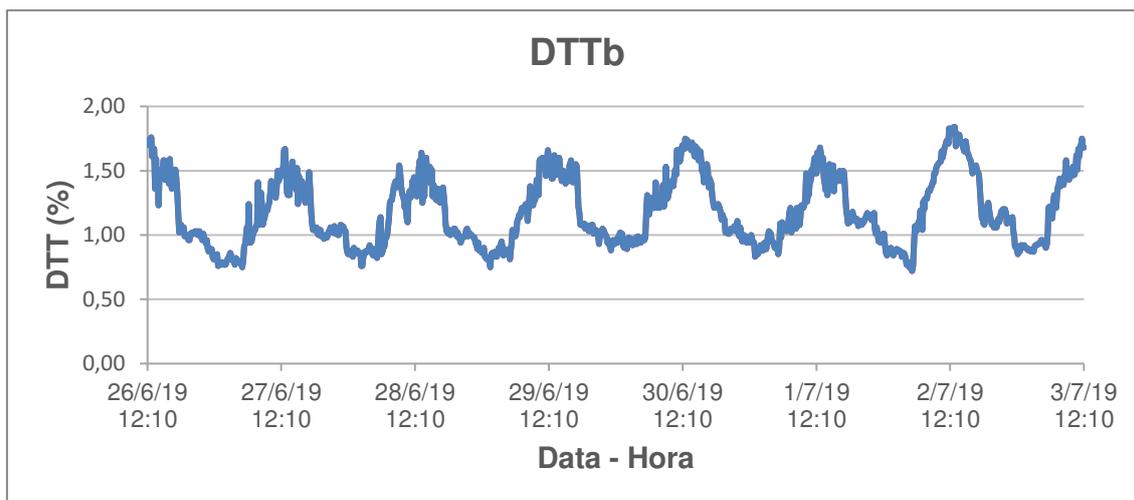
Semelhante aos outros indicadores, a distorção harmônica total de tensão foi medida em intervalos de 10 minutos utilizando o medidor da qualidade da energia *Nexus 1500*. Foram contabilizadas as primeiras 50 harmônicas. Os resultados para cada fase foram utilizados para gerar os gráficos nas Figuras 13, 14 e 15.

**Figura 13** - Distorção harmônica total de tensão (DTT) para a fase “A” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.



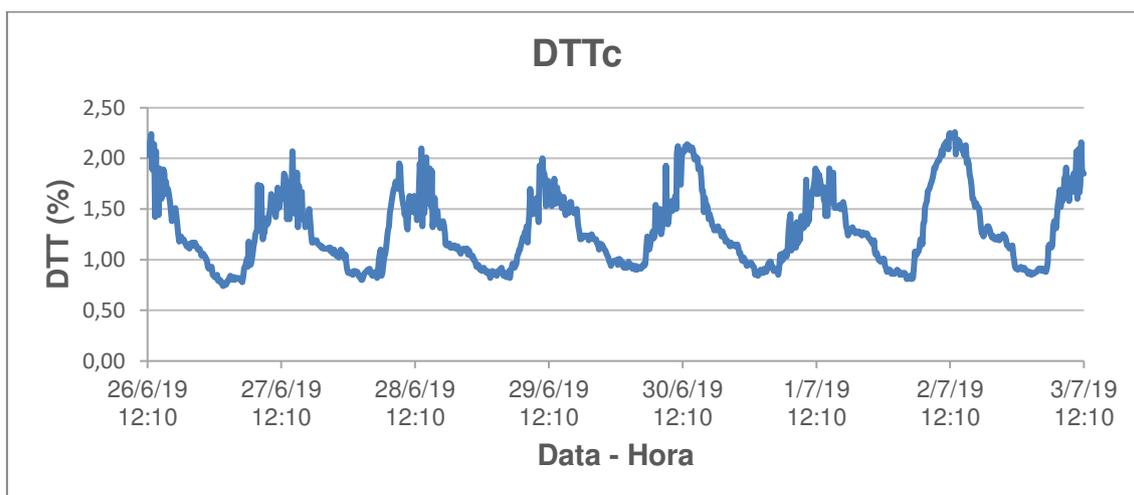
Fonte: Próprio autor.

**Figura 14** - Distorção harmônica total de tensão (DTT) para a fase “B” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.



**Fonte:** Próprio autor.

**Figura 15** - Distorção harmônica total de tensão (DTT) para a fase “C” – Período de 26/06/2019 à 04/07/2019.



**Fonte:** Próprio autor.

Como é facilmente percebido pelos gráficos, a distorção harmônica total apresenta uma característica cíclica, tendo picos ao meio dia, por voltas das 12:50, e vales nas madrugadas, por volta de 03:00. Isso se deve em grande parte a curva de demanda do sistema elétrico.

Uma característica interessante que pode ser notada pela observação dos dados brutos obtidos na campanha de medição e que é importante para análise são descontinuidades que se repetem todos os dias pouco antes das 17:30. Neste horário pode ser notada uma queda na distorção harmônica de aproximadamente 0,4 % em todas as

fases. Uma possível causa destas variações abruptas é o início do horário de ponta às 17:30, estipulado pela distribuidora da região. Durante o horário de ponta é comum que empresas reduzam seu consumo, ou utilizem fonte própria por meio de geradores a diesel.

Os indicadores estatísticos  $DTT_{p95\%}$ ,  $DTT_{i95\%}$ ,  $DTT_{395\%}$  e  $DTT_{95\%}$ , conforme módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2018), os quais não são superados em 95% das medições, foram calculados e são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10** - Distorção harmônica total de tensão.

<b>Distorção Harmônica Total</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>
<b><math>DTT_{95\%}</math></b>	1,89	1,78	2,18
<b><math>DTT_{p95\%}</math></b>	0,44	0,42	0,37
<b><math>DTT_{i95\%}</math></b>	1,64	0,42	0,37
<b><math>DTT_{395\%}</math></b>	0,59	0,42	0,37

**Fonte:** Próprio autor.

Comparando os resultados com os limites globais estipulados por norma (ANEEL, 2018), verifica-se que todos os indicadores, quanto a distorção harmônica de tensão, não foram violados. Isso é mostrado na Tabela 11.

**Tabela 11** - Limites para as distorções harmônicas de tensão – Comparação com os limites globais.

<b>Distorção Harmônica Total</b>	<b>Fase</b>	<b>Valor Medido</b>	<b>Limites Globais <math>69\text{ kV} \leq V_n &lt; 230\text{ kV}</math></b>
<b><math>DTT_{95\%}</math></b>	A	1,89	5,0%
	B	1,78	
	C	2,18	
<b><math>DTT_{p95\%}</math></b>	A	0,44	1,0%
	B	0,42	
	C	0,37	
<b><math>DTT_{i95\%}</math></b>	A	1,64	4,0%
	B	0,42	
	C	0,37	

<b>DTT<sub>3</sub>95%</b>	A	0,59	3,0%
	B	0,42	
	C	0,37	

Fonte: ANEEL (2018).

## 3.2 DETERMINAÇÃO DE DEFEITOS EM MALHAS DE ATERRAMENTO

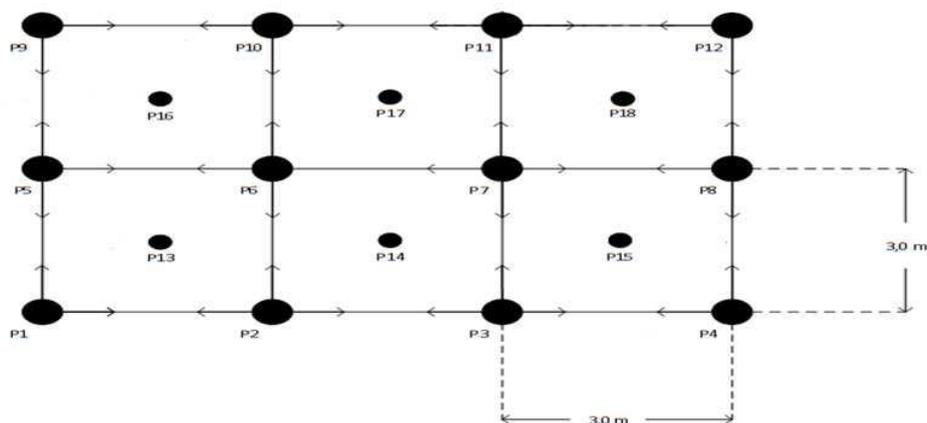
O estagiário acompanhou e auxiliou ensaios em malhas de aterramentos realizados como parte de um P&D desenvolvido pelo laboratório de alta tensão. O objetivo dos ensaios foi verificar o comportamento de uma malha de aterramento quando submetida a uma falha de conexão ou rompimento de cabo e o efeito dessa falha no escoamento da corrente.

As medições foram feitas em duas malhas, uma de 21 metros de comprimento e 12 de largura e uma de 12 por 6 metros.

### 3.2.1 MALHA 12X6 METROS

A malha menor foi montada tendo os cabos que conectam as hastes de aterramento enterrados, sendo constituída de 12 hastes espaçadas 3 metros uma da outra. Hastes intermediárias foram enterradas no meio da malha, não sendo conectadas. Na Figura 16 é mostrada uma ilustração do arranjo.

Figura 16 – Malha de aterramento 12x6.



**Fonte:** Próprio autor.

Foi injetada corrente na haste P11 (cerca de 5,2 A) e medidas as correntes que escoam, entrando e saindo em todos os nós. Outro valor medido foi o potencial nas hastes intermediárias. Como referência para as medições foi usada uma outra malha distante 62 m.

A aplicação de corrente foi feita utilizando um VARIAC. Deste modo, foram aplicados 5,2 A a uma frequência de 60 Hz. A corrente de injeção e o potencial nas hastes intermediárias foram medidos por multímetros. O arranjo montado para a injeção de corrente é mostrado na Figura 17.

**Figura 17** – Equipamentos para injeção de corrente.



**Fonte:** Próprio autor.

Para realizar as medições de corrente foi necessário usar uma luva isolante, protegendo o operador de tensões de toque com as hastes e cabos da malha. O equipamento utilizado para esta medição foi um alicate amperímetro. Na Figura 18 é mostrado o processo de medição.

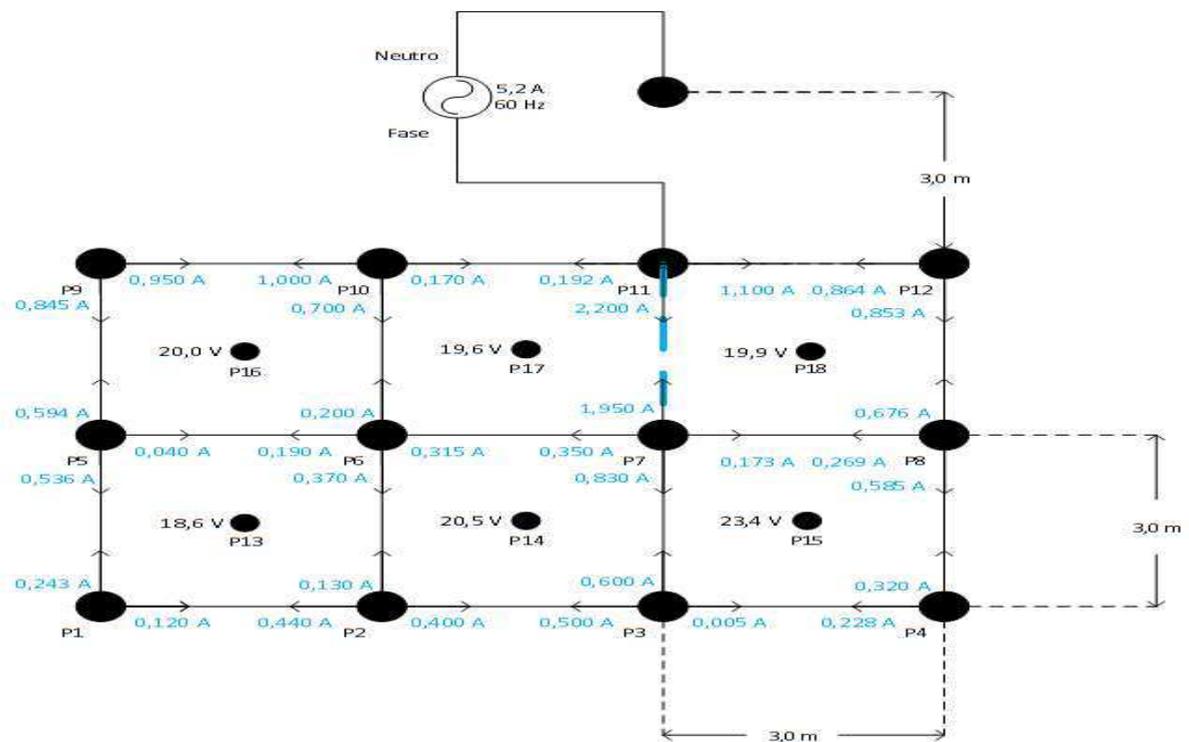
**Figura 18** – Medição da malha.



**Fonte:** Próprio autor.

Os resultados obtidos com as medições de corrente em todos os nós e tensão nas hastes intermediárias são mostrados na Figura 19.

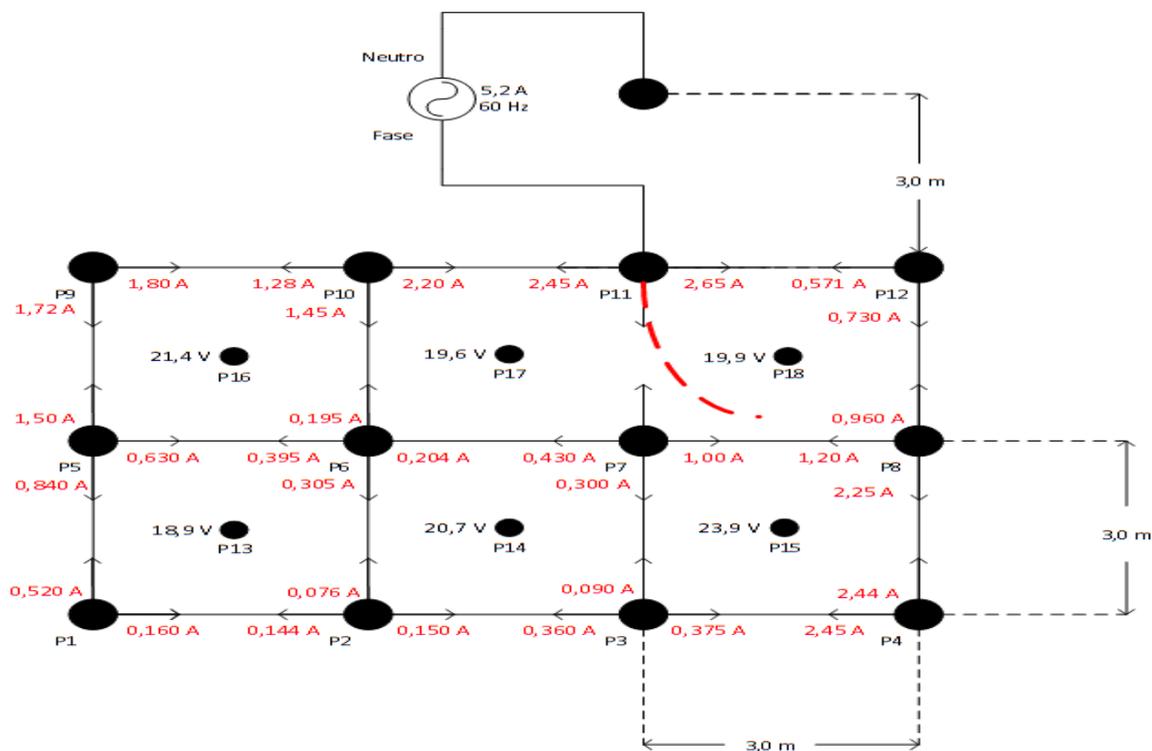
**Figura 19** – Resultados para a malha 12x6 sem defeito.



**Fonte:** Próprio autor.

O mesmo procedimento de medição foi repetido, desta vez com um defeito simulado na malha de aterramento. O cabo entre as hastes P11 e P7 foi retirado. Os resultados são apresentados na Figura 20.

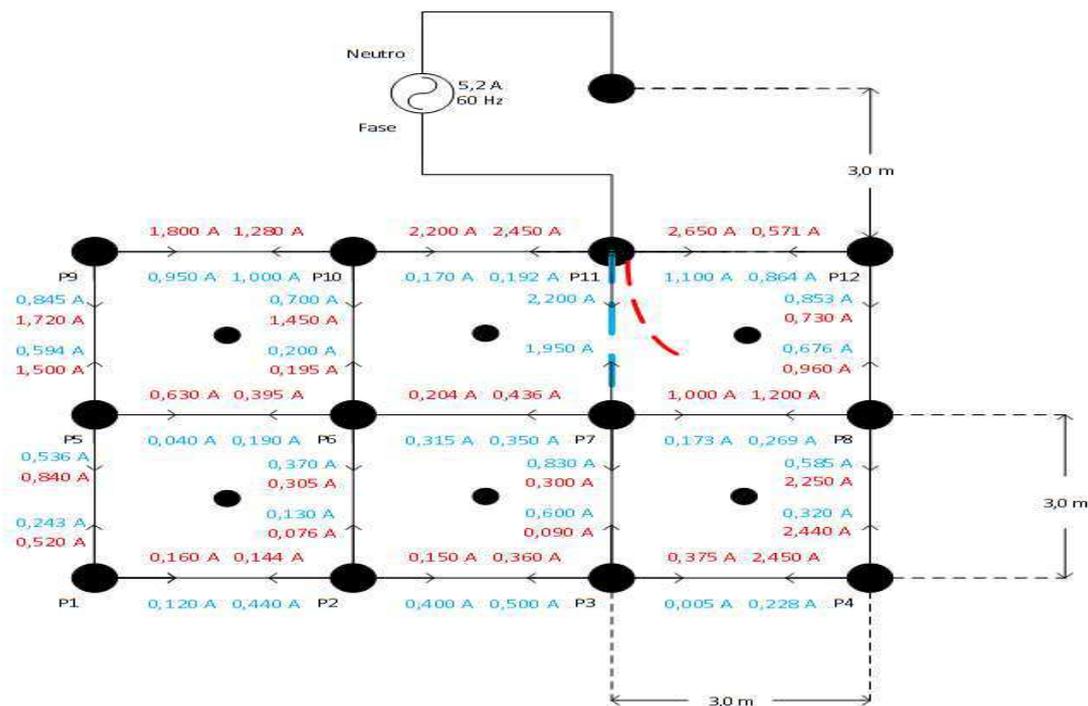
**Figura 20** – Resultados para a malha 12x6 com falha simulada.



**Fonte:** Próprio autor.

Comparando os resultados sem defeito e com defeito, não é percebida alteração pronunciada no potencial das hastes intermediárias. Quanto a distribuição de corrente, é notada uma elevação na corrente de escoamento pelos cabos laterais à haste de injeção quando há ocorrência de defeito. Este efeito se propaga pelos outros cabos da malha. Na Figura 21 são apresentados os dois resultados simultaneamente, auxiliando a comparação.

**Figura 21** – Comparação dos resultados, malha 12x6 – Sem defeito (azul) x Com defeito (Vermelho).



Fonte: Próprio autor.

Outro resultado perceptivo é que as correntes medidas não seguem a lei de ohm dos nós. A soma das correntes em cada nó não é zero. Uma explicação para isso é que além dos cabos, o próprio solo serve como caminho escoador de corrente.

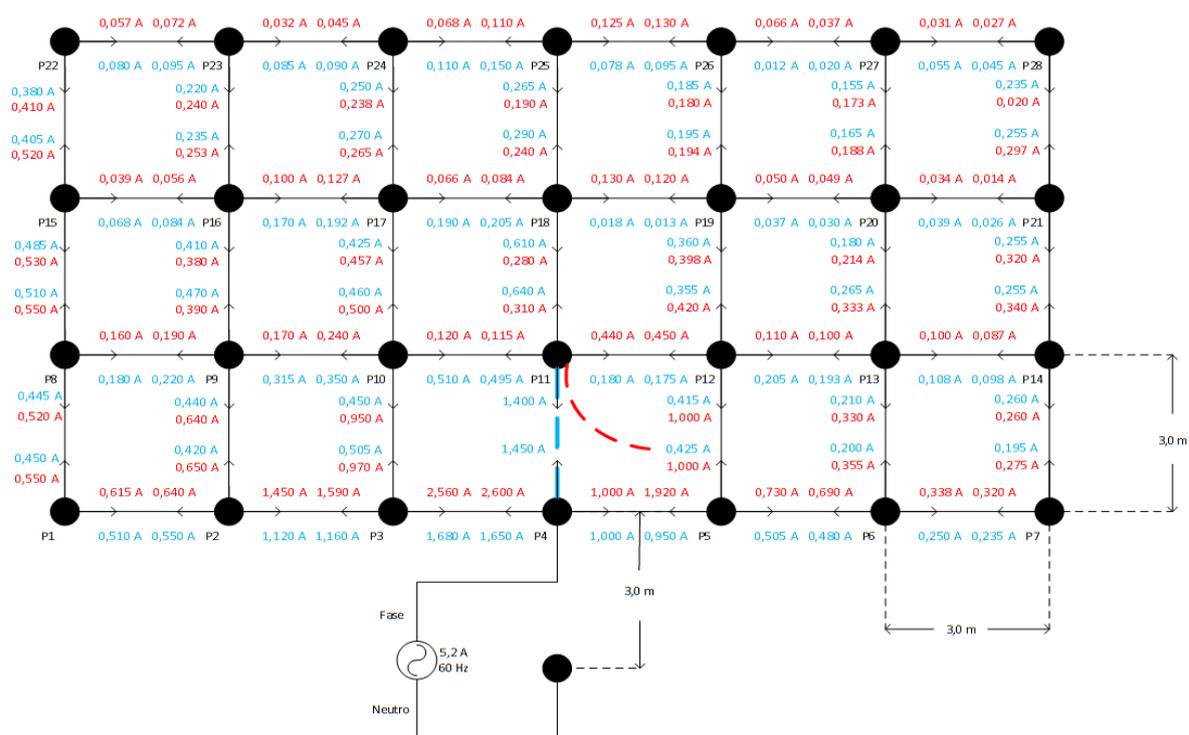
### 3.2.2 MALHA 21X12 METROS

A malha de 21x12 m foi construída especificamente para realizar testes em malhas e estudos de aterramento realizados pelo LAT. De forma a não sofrer interferência, esta fica localizada em uma região distante de prédios e postes.

Para esta malha foram realizados os mesmos procedimentos descritos no subtópico anterior, observando o comportamento de uma grande malha de aterramento frente a um defeito, com a diferença de que não foram medidos potenciais em hastes intermediárias, pois já tinha sido percebido na malha menor que as alterações de tensão são pouco relevantes.

O ponto do defeito simulado foi entre as hastes P11 e P4 e o ponto de injeção de corrente foi a haste P4. Na Figura 22 é mostrada a comparação dos resultados obtidos sem e com defeito.

**Figura 22** - Comparação dos resultados, malha 21x12 – Sem defeito (azul) x Com defeito (Vermelho).



Uma alteração na distribuição da corrente pela malha é percebida, embora não tão pronunciada quanto o visto na malha de 12x6 m. Como existem muitos caminhos para a corrente fluir este efeito era esperado.

### 3.3 PROJETO DE QUADRO DE FORÇA

Nesta atividade foi realizada a distribuição das cargas de parte do primeiro andar do LAT, de modo a serem atendidas por um quadro de força. Essa atividade foi realizada durante a reforma do laboratório.

Para o cumprimento do objetivo foram utilizados conhecimentos de instalações elétricas e seguido o disposto na norma NBR 5410 (ABNT, 2004) e NDU 001 (ENERGISA, 2017) da Energisa.

#### 3.3.1 DESENVOLVIMENTO DA ATIVIDADE

Inicialmente foi realizado um trabalho de levantamento de cargas, contabilizando, sala a sala, os equipamentos, iluminação e tomadas. Este trabalho pode ser visto na Tabela 12.

O quadro é referente as salas do primeiro andar, contando com 10 circuitos sendo estes, duas salas de professores, entrada e secretaria, copa, LEASE, dois banheiros e Auditório 1.

**Tabela 12** – Levantamento de cargas por setor.

<b>Ambiente</b>	<b>Carga</b>	<b>Potência (VA)</b>	<b>Quantidade</b>
Entrada	TUG	200	2
	Iluminação	40	5
Secretaria	TUG	200	7
	Iluminação	40	2
	Split	1475	1
Genoilton	TUG	200	7
	Iluminação	40	2
	Split	1475	1
Corredor	Iluminação	40	4
	TUG	200	2
LEASE	Iluminação	40	4
	TUG	200	26
	Split	1721	1
	TUE	1400	1
Banheiro 1	Iluminação	40	2
Banheiro 2	Iluminação	40	2
Copa	Iluminação	40	1
	TUG	200	4
Faustino	TUG	200	5
	Iluminação	40	2
	Ar Tipo Janela	2058	1

**Fonte:** Próprio autor.

Foi tomado conhecimento sobre as cargas que fazem parte de cada circuito. Como a reforma do laboratório está sendo feita em etapas, alguns dos circuitos que o quadro atende ainda não foram modificados, deste modo, as cargas existentes foram estimadas e distribuídas da melhor forma possível.

Com essas informações foi confeccionada uma tabela. Os circuitos já estavam instalados e só se tinha a possibilidade de aloca-los entre as fases do quadro. Deste modo, as cargas foram separadas na tabela em seus respectivos circuitos, foi estimada a corrente, determinados os cabos e proteções e distribuídos os circuitos entre as fases.

No Anexo C pode ser vista a tabela com a distribuição das cargas.

Para a determinar o disjuntor geral do quadro foi necessário calcular a sua demanda total. Para isso foram utilizados os fatores de demanda estipulados pela NDU 001 da Energisa. As tabelas com esses fatores são apresentadas no Anexo D. Uma descrição detalhada do cálculo é encontrado no Anexo E.

A demanda total encontrada para o quadro foi de 20,041 kVA. Deste modo foi estipulado um disjuntor tipo Din de 32 A e uma alimentação por 3 cabos de 6 mm<sup>2</sup>, conforme mostra a Tabela 13.

**Tabela 13** – Demanda total.

Demanda Total (VA)	20041
Corrente (A)	30,45
Queda de tensão *	1,96 %
Cabo	Cobre Classe 2 3#6(6)10 mm <sup>2</sup> PVC 0,6/1,0 kV – 70 °C
Disjuntor	Din tripolar - 32 A

**Fonte:** Próprio autor.

Utilizando a distribuição de cargas entre as fases apresentada no Anexo C, a distribuição de potência entre as fases do quadro será como mostrada na Tabela 14.

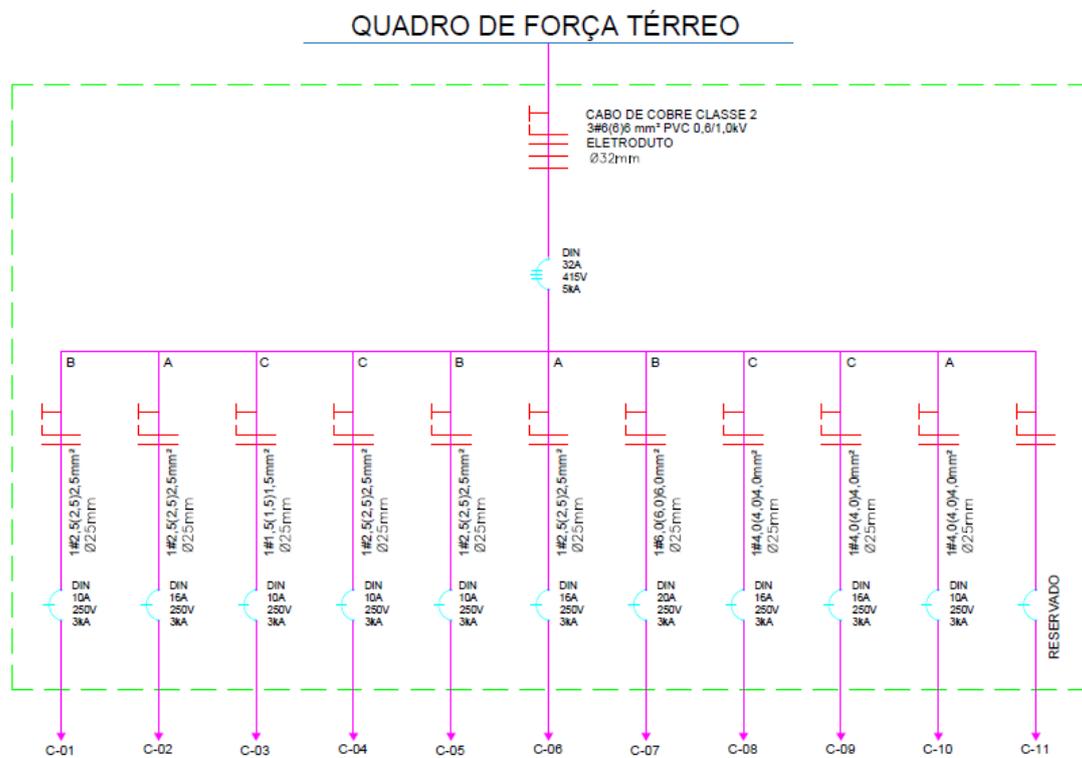
**Tabela 14** – Distribuição de potência entre as cargas.

Fases	A	B	C
Potência (VA)	6801,9	6978,5	7487,5

**Fonte:** Próprio autor.

Na Figura 23 é mostrado o diagrama unifilar do quadro.

**Figura 23** – Diagrama unifilar do quadro térreo.



**Fonte:** Próprio autor.

### 3.4 REFORMA DO LAT

Durante a reforma do laboratório de alta tensão o estagiário teve a tarefa de acompanhar as atividades e registrar as mudanças na parte elétrica do prédio.

Esta atividade foi realizada em conjunto com o outro estagiário do laboratório, sendo feita contagem de pontos de tomada e iluminação, cotação de preços e compra de materiais elétricos para a reforma e registro parcial da planta elétrica do prédio.

Na Figura 24 pode ser vista a fachada do LAT no estágio final da reforma.

**Figura 24** – Fachada do Laboratório de Alta Tensão.



**Fonte:** Próprio autor.

### 3.5 CONFECÇÃO DE ARRANJOS EXPERIMENTAIS

Nesta atividade o estagiário auxiliou a confecção de arranjos no laboratório da matéria de mestrado Técnicas de Alta Tensão.

Alguns dos experimentos realizados foram:

- Geração e medição de tensão alternada;
- Geração e medição de tensão contínua;

#### 3.5.1 GERAÇÃO E MEDIÇÃO DE TENSÃO ALTERNADA

O arranjo desenvolvido para este experimento foi realizado utilizando o Kit de alta tensão do LAT.

Para a geração de tensão alternada é utilizado um regulador de tensão que trabalha de 0 a 220 V conectado a um transformador de relação 220V/100 kV.

Para a medição é utilizado um divisor capacitivo. O divisor capacitivo consiste em dois capacitores, representados por C1 e C2 ligados em série, um tendo grande impedância (baixa capacitância) e grande isolamento elétrico e outro tendo baixa impedância (grande capacitância) e pequeno isolamento elétrico. A medição é feita no capacitor de menor impedância, possibilitando deste modo uma medição em baixa tensão.

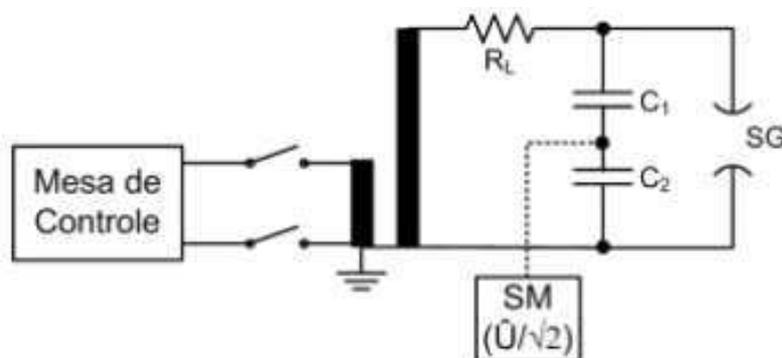
A escolha do uso do divisor capacitivo foi feita pelo fato deste apresentar menores perdas que um possível divisor resistivo, além de ser adequado em resposta em frequência a essa aplicação.

Como forma de proteger o transformador, é utilizado o resistor  $R_L$ , responsável por limitar a corrente do circuito caso ocorra um curto fase-terra.

É utilizado um espinterômetro em paralelo ao divisor capacitivo de modo a poder verificar a acurácia da medição.

O arranjo é mostrado na Figura 25.

**Figura 25** – Arranjo para geração e medição de tensão alternada.



**Fonte:** Costa (2018).

A montagem propriamente dita é mostrada na Figura 26.

**Figura 26** – Montagem – Geração e medição de tensão alternada.



**Fonte:** Próprio autor.

### 3.5.2 GERAÇÃO E MEDIÇÃO DE TENSÃO CONTÍNUA

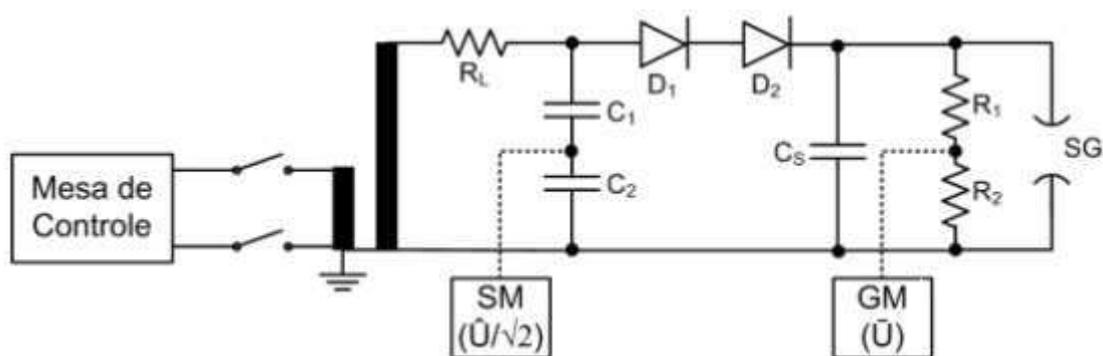
Mais uma vez o arranjo desenvolvido para este experimento foi realizado utilizando o Kit de alta tensão do LAT.

Neste arranjo é gerada uma tensão alternada pelo transformador do kit de alta tensão que é medida por meio de um divisor capacitivo, representado por  $C_1$  e  $C_2$ . O divisor capacitivo ainda é utilizado nesta parte do experimento, já que nesta aplicação está sendo medida tensão alternada. O resistor  $R_L$  cumpre o dever de limitar o nível de corrente, dadas as limitações de potência do transformador do kit de alta tensão. Os diodos de alta tensão  $D_1$  e  $D_2$  são usados em conjunto para que tenham isolamento suficiente para o experimento e têm a função de formar um sinal de meia onda que o capacitor  $C_s$ , por sua vez, retifique.

A medição da alta tensão contínua é feita neste arranjo por um divisor resistivo devido a inviabilidade de se repetir o uso do capacitivo, que em regime permanente teria impedância infinita para uma tensão contínua. O espinterômetro é usado para verificar, a partir da distância entre as esferas, o nível de tensão com a ocorrência de descargas elétricas.

O arranjo é apresentado na Figura 27.

**Figura 27** – Arranjo para geração e medição de tensão contínua.



**Fonte:** Costa (2018).

A montagem propriamente dita é mostrada na Figura 28.

**Figura 28** – Geração e medição de tensão contínua.



**Fonte:** Próprio autor.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estágio supervisionado realizado no Laboratório de Alta Tensão contribuiu para a formação do aluno, dando oportunidade de participação de um ambiente não só de pesquisa, mas também de trabalho, nas atividades desenvolvidas dentro da UFCG e realizadas em campo, fornecidas a outras empresas, criando um senso de trabalho em equipe, modificando a visão do aluno com relação ao mercado de trabalho e gerando confiança do aluno em suas próprias habilidades.

Foram realizadas diversas atividades que estimularam o uso, não apenas de conhecimentos obtidos durante a graduação, mas também de outros que não são estudados, porém são necessários no ambiente de trabalho, o que torna clara a importância do estágio ao fim da graduação, como atividade de amadurecimento e conhecimento próprio.

Diversas dificuldades foram encontradas, como barreiras de conhecimento e comunicação, porém as atividades desenvolvidas tiveram grande valia na identificação destas dificuldades e na busca por soluções.

Conclui-se, portanto, que objetivo da realização do estágio foi alcançado com sucesso, visto que o aluno conseguiu colocar em prática os seus conhecimentos e adquiriu experiência.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, NBR. 5410: **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004.
- ANEEL, Módulo 8 (PRODIST). **Qualidade da Energia Elétrica-Rev. 7**, Brasil, 2018.
- Costa, Edson Guedes, **Guias de Laboratório de Técnicas de Alta Tensão**. Fevereiro, 2018.
- DEE, **Laboratório de Alta Tensão – LAT**. Disponível em: <http://www.dee.ufcg.edu.br/home/infraestrutura/laboratorios-de-pesquisa/laboratorio-de-alta-tensao>, acessado em: 29/06/2019.
- ELECTRO INDUSTRIES/GAUGETECH. **Nexus 1500: Installation & Operation Manual**. Nova Iorque – EUA, 2014.
- IEC 61000-4-30, **Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods**. 2015.
- IEC 61000-4-15, **Testing and Measurement Techniques - Flickermeter. Functional and Design Specifications. Basic EMC Publication**. 2010.
- ENERGISA, NDU - 001 (Norma Técnica de Distribuição Unificada 001), **Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária – Fornecimento de Energia Elétrica a Agrupamentos ou Edificações Individuais até 3 Unidades Consumidoras**. Revisão 5.1. Dezembro, 2017.
- Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, **Submódulo 2.8 dos Procedimentos de Rede - Gerenciamento dos indicadores de desempenho da rede básica e dos barramentos dos transformadores de fronteira, e de seus componentes**. Revisão 2016.12, Dez, 2016.
- Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), **Instruções para Realização de Estudos e Medições de QEE Relacionados aos Novos Acessos à Rede Básica para Parques Eólicos, Solares e Consumidores Livres**, ONS NT 009/2016 – REV.02, Mar, 2018.
- Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), **Definição das Metodologias e Procedimentos Necessários às Campanhas de Medição dos Indicadores de Desempenho**. Dez, 2007.
- Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), **Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos**. ONS NT 009/2016 – REV.1.1, Jun, 2010.

## ANEXO A – TESTE DE AMPLITUDE DE SINAL

<b>Data - Hora</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>	<b>Erro</b>
26/06/2019 10:22	70408,09	69200,38	69610,37	0,8651
26/06/2019 10:23	70252,12	69044,57	69442,38	0,8669
26/06/2019 10:24	69998,35	68789,02	69182,57	0,8714
26/06/2019 10:25	70336,82	69127,78	69522,94	0,8669
26/06/2019 10:26	70216,57	68994,51	69388,48	0,8778
26/06/2019 10:27	70368,39	69145,70	69549,71	0,8764
26/06/2019 10:28	70427,26	69201,14	69593,72	0,8781
26/06/2019 10:29	70077,94	68859,69	69254,53	0,8768
26/06/2019 10:30	70140,59	68913,39	69319,52	0,8825
26/06/2019 10:31	70447,17	69218,36	69637,82	0,8798
26/06/2019 10:32	70373,98	69138,23	69544,96	0,8858
26/06/2019 10:33	70096,26	68880,54	69275,03	0,8748
26/06/2019 10:34	69969,41	68760,98	69154,41	0,8711
26/06/2019 10:35	70157,20	68954,08	69359,21	0,8649
26/06/2019 10:36	70087,55	68885,79	69286,23	0,8647
26/06/2019 10:37	70079,11	68871,88	69284,29	0,8688
26/06/2019 10:38	70321,90	69096,09	69513,04	0,8792
26/06/2019 10:39	70213,20	68995,51	69404,34	0,8747
26/06/2019 10:40	70159,63	68928,19	69343,05	0,8854
26/06/2019 10:41	70076,55	68843,13	69242,08	0,8879
26/06/2019 10:42	70371,99	69119,30	69512,71	0,8980
26/06/2019 10:43	70505,90	69259,20	69652,64	0,8920
26/06/2019 10:44	70669,48	69410,82	69830,50	0,8985
26/06/2019 10:45	70788,92	69542,33	69960,76	0,8883
26/06/2019 10:46	70549,41	69313,45	69723,94	0,8837
26/06/2019 10:47	70634,56	69372,70	69800,69	0,9013
26/06/2019 10:48	70642,60	69409,40	69824,21	0,8805
26/06/2019 10:49	70676,57	69457,55	69865,18	0,8699
26/06/2019 10:50	70865,46	69644,94	70060,89	0,8686

26/06/2019 10:51	70868,19	69644,09	70062,80	0,8712
26/06/2019 10:52	70879,26	69646,65	70080,85	0,8771

**Fonte:** Próprio autor.

## ANEXO B – TESTE DE SEQUÊNCIA DE FASE

<b>Data - Hora</b>	<b>Seq -</b>	<b>Seq +</b>	<b>FD (%)</b>
26/06/2019 12:10	0,77	67,27	1,144641
26/06/2019 12:20	0,76	66,94	1,135345
26/06/2019 12:30	0,79	66,66	1,185119
26/06/2019 12:40	0,78	66,70	1,169415
26/06/2019 12:50	0,79	66,33	1,191015
26/06/2019 13:00	0,82	66,40	1,23494
26/06/2019 13:10	0,81	66,33	1,221167
26/06/2019 13:20	0,75	66,40	1,129518
26/06/2019 13:30	0,79	66,22	1,192993
26/06/2019 13:40	0,75	66,44	1,128838
26/06/2019 13:50	0,69	66,62	1,035725
26/06/2019 14:00	0,82	67,51	1,214635
26/06/2019 14:10	0,67	66,75	1,003745
26/06/2019 14:20	0,70	66,94	1,045713
26/06/2019 14:30	0,80	66,92	1,195457
26/06/2019 14:40	0,81	66,94	1,210039
26/06/2019 14:50	0,80	67,23	1,189945
26/06/2019 15:00	0,77	67,32	1,143791
26/06/2019 15:10	0,84	67,20	1,25
26/06/2019 15:20	0,83	67,01	1,238621
26/06/2019 15:30	0,83	67,09	1,237144
26/06/2019 15:40	0,80	67,00	1,19403
26/06/2019 15:50	0,75	66,85	1,121915
26/06/2019 16:00	0,76	67,06	1,133313
26/06/2019 16:10	0,73	67,01	1,08939
26/06/2019 16:20	0,70	67,04	1,044153
26/06/2019 16:30	0,63	67,22	0,937221
26/06/2019 16:40	0,65	66,91	0,971454

26/06/2019 16:50	0,65	66,73	0,974075
26/06/2019 17:00	0,63	66,34	0,949653

**Fonte:** Próprio autor.

## ANEXO C – QUADRO DE CARGAS TÉRREO

Circuito	Ambiente	Carga	Descrição da carga	Quant.	Potência (W)	Total (kW)	FP	Rend	Potência Total (kVA)	Corrente (A)	Condutor (mm <sup>2</sup> )	Proteção (A)	Fase	Fase A	Fase B	Fase C	Comp. (m)	Seção (mm <sup>2</sup> )	Coefficiente de Queda de tensão (V/A.km)	Queda de tensão no trecho (%)
1		Split	12000 BTU	1	1.140,00	1.140,00	0,92	0,84	1.475,16	6,71	2,5	10	B	0,00	1.475,16	0,00	20,00	2,50	16,90	1,03%
2	Entrada	Tomada	Tomada 200 VA	12	200	2.400,00	1,00	1,00	2.400,00	10,91	2,5	16	A	2.400,00	0,00	0,00	20,00	2,50	16,90	1,88%
3	Entrada + Genonlon	Iluminação	Luminária 2 x 20 W	7	40	280,00	0,92	0,84	362,32	1,65	1,5	10	C	0,00	0,00	362,32	20,00	1,50	27,60	0,41%
4	Genonlon	Split	12000 BTU	1	1.140,00	1.140,00	0,92	0,84	1.475,16	6,71	2,5	10	C	0,00	0,00	1.475,16	20,00	2,50	16,90	1,03%
5	Genonlon	Tomadas	Tomada 200 VA	7	200	1.400,00	1,00	1,00	1.400,00	6,36	2,5	10	B	0,00	1.400,00	0,00	20,00	2,50	16,90	0,98%
6	Auditório + Entrada da Cozinha	Projektor + iluminação + tug	1 projetor + 9 luminárias + 10 tug	*	*	2.680,84	1,00	1,00	2.680,84	12,19	2,5	16	A	2.680,84	0,00	0,00	20,00	2,50	16,90	1,87%
7	Barbeiros + Fausino + copa	Iluminação + ar + tug	7 luminárias + 1 ar + 9 tug	*	*	4.103,31	1,00	1,00	4.103,31	18,65	6,0	20	B	0,00	4.103,31	0,00	20,00	6,00	7,07	1,20%
8	Lease	Tomadas 1 + TUE	Tomadas 200 VA + TUE	10 TUG + 1 TUE	*	3.400,00	1,00	1,00	3.400,00	15,45	4,0	16	C	0,00	0,00	3.400,00	20,00	4,00	10,60	1,49%
9		Tomadas 2	Tomadas 200 VA	15	150,00	2.250,00	1,00	1,00	2.250,00	10,23	4,0	16	C	0,00	0,00	2.250,00	20,00	4,00	10,60	0,99%
10		Split	18000 BTU	1	1.330,00	1.330,00	0,92	0,84	1.721,01	7,82	4,0	10	A	1.721,01	0,00	0,00	20,00	4,00	10,60	0,75%

## ANEXO D – TABELAS DA NDU 001

Fator de Demanda para Iluminação e Pequenos Aparelhos

DESCRIÇÃO	CARGA INSTALADA (kW)	FATOR DE DEMANDA (%)
RESIDÊNCIAS	0 < P ≤ 1kW	86
	1 < P ≤ 2kW	75
	2 < P ≤ 3kW	66
	3 < P ≤ 4kW	59
	4 < P ≤ 5kW	52
	5 < P ≤ 6kW	45
	6 < P ≤ 7kW	40
	7 < P ≤ 8kW	35
	8 < P ≤ 9kW	31
	9 < P ≤ 10kW	27
	10 < P ≤ 75kW	24
RESTAURANTES E SIMILARES		86
LOJAS E SIMILARES		86
IGREJAS E SIMILARES		86
HOSPITAIS E SIMILARES	para os primeiros 50kW	40
	para o que exceder de 30kW	50
HOTEIS E SIMILARES	para os primeiros 20kW	50
	para os seguintes 80kW	40
	para o que exceder de 100kW	30
GARAGEM, ÁREAS DE SERVIÇO E SIMILARES		86
ESCRITÓRIOS	para os primeiros 20kW	86
	para o que exceder de 20kW	70
ESCOLAS E SIMILARES	para os primeiros 12kW	86
	para o que exceder de 12kW	50
CLUBES E SEMELHANTES		86
BARBEARIAS, SALÕES DE BELEZA E SIMILARES		86
BANCOS E CANTEIROS DE OBRAS		86
AUDITÓRIOS, SALÕES PARA EXPOSIÇÕES E SIMILARES		86
QUARTÉIS E SEMELHANTES	Para os primeiros 15kW	100
	para o que exceder de 15kW	40

Fonte: ENERGISA, 2017.

Fator de Demanda para Aparelhos de Ar Condicionado Não Residencial

N.º DE APARELHOS	FATOR DE DEMANDA (%)
1 a 10	100
11 a 20	90
21 a 30	82
31 a 40	80
41 a 50	77
Acima de 50	75

Fonte: ENERGISA, 2017.

## ANEXO E – CÁLCULO DE DEMANDA PARA QUADRO

### TÉRREO

$d_1$  (kVA): Demanda de iluminação e tomadas, conforme fatores do Anexo D.

$$d_1 = 13255,47 \text{ k} \times 0,86 = 11399,71 \text{ VA}$$

$d_2$  (kVA): Demanda dos aparelhos para aquecimento de água (chuveiros).

$$d_2 = 0 \text{ kVA}$$

$d_3$  (kVA): Demanda secador de roupa, forno de microondas, máquina de lavar louça e hidro massagem.

$$d_3 = 0 \text{ kVA}$$

$d_4$  (kVA): Demanda de fogão e forno elétrico.

$$d_4 = 0 \text{ kVA}$$

$d_5$  (kVA): Demanda dos aparelhos de ar-condicionado tipo janela ou centrais individuais, calculada conforme Anexo D, para áreas não residenciais.

$$d_5 = 6,171 \text{ k} \times 1 = 6171 \text{ VA}$$

$d_6$  (kVA): Demanda dos motores elétricos trifásicos.

$$d_6 = 0$$

$d_7$  (kVA): Demanda dos motores elétricos monofásicos.

$$d_7 = 0$$

$d_8$  (kVA): Demanda dos motores elétricos trifásicos.

$$d_8 = 0$$

$d_9$  (kVA): Demanda de máquinas de solda a transformador e aparelhos de raios-X.

$$d_9 = 0 \text{ kVA}$$

$d_{10}$  (kVA): Demanda de TUEs:

$$d_{10} = 1400 \text{ VA}$$

Deste modo  $D$  (kVA) =  $(d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9) = 12,470 \text{ k} + 6,171 \text{ k} + 1,40 \text{ k} = 20,041 \text{ kVA}$

Portanto, a demanda total do quadro será  $D$  (kVA) = 20,041 kVA

**Corrente = 30,45 A**

**Condutores:** Cabo de cobre Classe 2 (Flexível) 3#6(6)6 mm<sup>2</sup> com isolamento e cobertura à base de composto PVC 0,6/1,0 kV – 70°C

**Duto:** Eletroduto de PVC Ø32 mm

**Disjuntor Termomagnético:** tipo DIN,  $I_n = 32 \text{ A}$ ,  $I_{cc} = 5 \text{ kA}$ ,  $V_n = 415 \text{ V}$