



Universidade Federal
de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

ANTONIO FRANCISCO LEITE NETO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO REALIZADO NO
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DE CAMPINA GRANDE

Campina Grande, Paraíba.

Dezembro de 2019

ANTONIO FRANCISCO LEITE NETO

Relatório de Estágio submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Pablo Bezerra Vilar, D. Sc.

Orientador

Jalberth Fernandes de Araújo, D. Sc.

Examinador

Campina Grande, Paraíba.

Dezembro de 2019

Dedico este trabalho à minha mãe,
pessoa que por mim tudo fez.

AGRADECIMENTOS

Primordialmente, agradeço a minha mãe Ivonete Leite Galvão, por disponibilizar todos os meios necessários para que o sonho de se tornar engenheiro eletricitista fosse possível, com todo o aporte motivacional, emocional e financeiro.

Agradeço ao meu pai Sebastião Leite da Rocha e ao meu tio Horácio Leite Rocha, por todas as palavras de apoio durante essa jornada e por serem exemplos de perseverança.

Agradeço aos meus avós Antônio Francisco Leite e Lucinda Maria da Conceição, por serem o exemplo de vida a ser seguida e por me incentivarem sempre em busca da felicidade.

Agradeço ao meu irmão Thiago Leite Galvão e ao meu primo Carlos André Leite Cândido, pelo entusiasmo e harmonia no decorrer de toda minha existência.

Agradeço aos colegas de curso Cícero Rômulo, Augusto César, Luan Balbino, Rodrigo Kalil, Breno Sant'Anna, Egydio Tadeu e Vandilson Barbosa pela convivência durante esses cinco anos de curso e por juntos formarmos um time que sempre pôde superar os obstáculos que eram impostos pela dificuldade do curso.

Agradeço ao professor Pablo Bezerra Vilar, por aceitar me orientar e por contribuir com o incremento de atividades que enriqueceram o conhecimento absorvido no estágio.

Por fim, agradeço a todos os amigos e funcionários do Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina Grande, pelo companheirismo e ajuda diária. Em particular, destaco agradecimento ao técnico Higor da Costa Rocha, cuja ajuda e ensinamentos engrandeceram cada momento do estágio.

“Ser feliz sem motivo é a mais
autêntica forma de felicidade”

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

Este relatório tem como objetivo descrever as atividades que foram realizadas pelo aluno Antonio Francisco Leite Neto no estágio realizado no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina Grande. A carga horária cumprida pelo estagiário foi de 194 horas e incluíram atividades que possibilitaram o manuseio de diversos equipamentos de alta tensão presente no ambiente do laboratório. As atividades desenvolvidas dizem respeito a medições de aterramento em localidades que serão implantadas subestações, medições de descargas parciais em transformadores de potencial doados pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco, ensaios de tensão suportável em isoladores sob chuva, ensaio de tensão suportável de um invólucro de para-raios, ensaios de ajuste do gerador de impulso de tensão e consertos de wattímetros. Além disso, foram realizadas tarefas de consulta a normas para realização de ensaios, cabeamentos do sistema de *internet* do laboratório e consertos de equipamentos que se encontravam danificados.

Palavras-chave: Alta Tensão, Aterramento, Descargas Parciais, Isoladores, Para-raios, Wattímetros.

ABSTRACT

This report aims to describe the activities that were performed by the student Antonio Francisco Leite Neto during the internship held at the High Voltage Laboratory of the Federal University of Campina Grande. The workload performed by the intern was 194 hours and included activities that enabled the handling of various high voltage equipment present in the laboratory environment. The activities carried out concern grounding measurements in locations that will be deployed substations, partial discharge measurements in potential transformers donated by the São Francisco Hydroelectric Company, withstand voltage tests on rain insulators, withstand voltage test of a -beams, voltage pulse generator adjustment tests and wattmeter repairs. In addition, tasks were performed to consult standards for testing, cabling of the laboratory's internet system and repair of equipment that was damaged.

Key-words: High Voltage, Grounding, Partial Discharges, Insulators, Lightning Rods, Wattmeters.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|---|
| LAT | Laboratório de Alta Tensão |
| GAT | Grupo de Alta Tensão |
| UFCG | Universidade Federal de Campina Grande |
| CHESF | Companhia Hidrelétrica do São Francisco |
| CELB | Companhia de Eletricidade da Borborema |
| CEAL | Companhia Energética de Alagoas |
| SAELPA | Sociedade Anônima de Eletrificação da Paraíba |
| TPI | Transformador de Potencial Indutivo |
| CELPE | Companhia Energética do Pernambuco |
| MCOV | Máxima Tensão de Operação Contínua |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------------|------------------|
| A | Ampère |
| kV | Quilovolt |
| V | Tensão |
| I | Corrente |
| m | Metro |
| cm | Centímetro |
| m ² | Metros quadrados |
| Ω m | Ohm-metro |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Fotografia do LAT..... | 14 |
| Figura 2 - Salão de Alta Tensão do LAT..... | 16 |
| Figura 3 - Sala do <i>Kit</i> de Alta Tensão. | 16 |
| Figura 4 - Fotografia do LEASE. | 17 |
| Figura 5 - Ambiente do Laboratório de Qualidade de Energia Elétrica. | 18 |
| Figura 6 - Sala da Câmera de Névoa. | 18 |
| Figura 7 - (a) Gerador de Impulso de Corrente e (b) Comando do Gerador..... | 19 |
| Figura 8 – Configuração do Ensaio. | 22 |
| Figura 9 - Montagem do ensaio realizado. | 23 |
| Figura 10 - Interface do <i>Kit</i> de Alta Tensão. | 23 |
| Figura 11 – Medidor de Descargas Parciais. | 24 |
| Figura 12 - Resultados das Descargas Parciais em cada TPI..... | 25 |
| Figura 13 - Circuito de Marx com Três Estágios..... | 26 |
| Figura 14 - Gerador de Impulso de Tensão do LAT..... | 27 |
| Figura 15 - Circuito Utilizado no Experimento. | 28 |
| Figura 16 - Esboço da Constituição de uma Malha de Aterramento. | 29 |
| Figura 17 - Terrômetro Digital 6472 da AEMC. | 30 |
| Figura 18 - Medição de Resistividade com a Utilização de um Terrômetro. | 31 |
| Figura 19 - Divisão das Linhas para Medições de Resistividade do Solo. | 32 |
| Figura 20 - Divisão das Linhas para Medições de Resistividade do Solo. | 33 |
| Figura 21 - Divisão das Linhas para Medições de Resistividade do Solo. | 35 |
| Figura 22 - Componentes Utilizados nos Ensaios de Tensão Suportável. | 37 |
| Figura 23 - Arranjo para Ensaio de Tensão Suportável de Isoladores Poliméricos. | 37 |
| Figura 24 - Painel de Operação da Câmera de Névoa. | 38 |
| Figura 25 - Ruptura do Ar no Ensaio de Tensão Suportável sob Chuva em Isoladores Poliméricos. | 38 |
| Figura 26 - Wattímetro Monofásico Consertado. | 40 |
| Figura 27 - Circuito para Ajuste de Tensão e Corrente nos Wattímetros. | 41 |
| Figura 28 - Montagem do Circuito para Ajuste de Tensão e Corrente do Wattímetro. | 41 |
| Figura 29 - (a) Sala da Graduação e (b) Sala do Servidor de <i>Internet</i> | 43 |
| Figura 30 - Fotografia em (a) Motor do <i>Kit</i> de Alta Tensão e (b) Instalação do Motor no <i>Kit</i> | 44 |
| Figura 31 - (a) Fotografia da Abertura do Para-raios e (b) Montagem do Experimento. | 45 |
| Figura 32 - Apresentação do LAT a turma do Primeiro Período de Engenharia Elétrica..... | 45 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Resultados do Experimento para um Estágio. | 28 |
| Tabela 2 - Resultados das Medições Resistividades do Solo em Tacaratu-PE. | 32 |
| Tabela 3 - Porcentagem do Valor Médio para Cada Distância. | 33 |
| Tabela 4 - Resultados das Medições Resistividades do Solo em Canhotinho-PE. | 34 |
| Tabela 5 - Porcentagem do Valor Médio para Cada Distância. | 34 |
| Tabela 6 - Resultados das Medições Resistividades do Solo em Canhotinho-PE. | 35 |
| Tabela 7 - Porcentagem do Valor Médio para Cada Distância. | 36 |
| Tabela 8 - Dados da Calibragem dos Wattímetros. | 42 |
| Tabela 9 - Erro Percentual das Medições Realizadas nos Wattímetros. | 42 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. Introdução | 13 |
| 2. Laboratório de Alta Tensão..... | 14 |
| 2.1. Laboratórios | 15 |
| 2.2. Ambiente do LAT | 19 |
| 3. Atividades Desenvolvidas | 21 |
| 3.1. Medição de Descargas Parciais em Transformadores de Potencial Indutivo..... | 21 |
| 3.1.1. Ensaio Realizado..... | 22 |
| 3.2. Ajuste do Gerador de Impulso de Tensão | 25 |
| 3.3. Medição da Resistividade do Solo | 29 |
| 3.3.1. Medições de Resistividade em Tacaratu-PE | 31 |
| 3.3.2. Medições de Resistividade em Canhotinho-PE..... | 33 |
| 3.3.3. Medições de Resistividade em Bodocó-PE..... | 34 |
| 3.4. Ensaio em Isoladores Poliméricos | 36 |
| 3.5. Conserto e Calibração de Wattímetros | 39 |
| 3.5.1. Manutenção dos Wattímetros..... | 39 |
| 3.5.2. Calibração dos Wattímetros | 41 |
| 3.6. Outras Atividades..... | 43 |
| 4. Conclusão..... | 46 |
| Referências..... | 47 |
| Apêndice A..... | 49 |

1. INTRODUÇÃO

No presente relatório é descrito o estágio realizado pelo aluno Antonio Francisco Leite Neto, que foi realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) sob a orientação do Professor Dr. Pablo Bezerra Vilar e a supervisão do Professor Dr. Edson Guedes da Costa entre os dias 02 de setembro de 2019 e 08 de novembro de 2019.

O estágio é uma disciplina obrigatória na grade curricular de engenharia elétrica e tem como objetivo propiciar a aquisição de conhecimentos e atitudes relacionadas com a profissão a ser seguida pelo aluno. Além disso, o estágio permite a troca de experiências entre funcionários, bem como o intercâmbio de ideias, conceitos, planos e estratégias. Portanto, o presente relatório tem como objetivo descrever as atividades que foram desenvolvidas pelo aluno, bem como as experiências e habilidades que foram adquiridas durante a vigência do estágio.

As atividades incluem medição de descargas parciais em transformadores de potencial que foram fornecidos pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), com o objetivo de determinar se tais equipamentos estão operáveis dentro da subestação. Ajuste do gerador de impulso de tensão para ensaios elétricos em isoladores. Medição de resistividade do solo em locais que serão implantadas subestações pela Companhia Energética de Pernambuco (CELPE). Ensaios de tensão suportável a seco e sob chuva de isoladores poliméricos tipo pino. Conserto dos Wattímetros existentes no Laboratório para sua aplicabilidade em atividades de ensino.

Além das atividades supracitadas, destaca-se algumas atividades que não estavam dentro do plano de estágio do aluno, mas que são de grande importância ao laboratório, tais como: apresentação do laboratório para visitantes, conserto do *kit* de alta tensão, cabeamento do sistema de *internet* e ensaio de tensão suportável num invólucro de para-raios.

2. LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

O LAT, representado na Figura 1, começou a ser implementado em 1974, graças a uma associação de recursos nacionais com os de algumas cooperações técnicas internacionais. Entrou em operação em 1975, passando a ser utilizado pelo Grupo de Alta Tensão (GAT) da UFCG (então Universidade Federal da Paraíba, UFPB) no desenvolvimento de atividades de ensino e pesquisa (GSE, 2019).

Figura 1 - Fotografia do LAT.



Fonte: Autoria Própria.

Em 1999 ocorreu a criação do Grupo de Sistemas Elétricos (GSE), resultado da fusão dos antigos grupos de Sistemas de Potência e Alta Tensão. A fusão dos dois grupos fomentou a incorporação de novas linhas de pesquisa, além da consolidação e fortalecimento das pesquisas existentes (GSE, 2019).

Atualmente, o LAT faz parte do GSE sendo, na sua especialidade, o laboratório mais bem equipado do norte-nordeste, possuindo equipamentos sofisticados, cujos valores ultrapassam milhões de dólares. Além disso, possui um corpo técnico formado por docentes-pesquisadores, engenheiros e técnicos qualificados e experientes, o que permite a execução de um grande número de ensaios elétricos. Várias empresas buscam os serviços do LAT na região Nordeste, a exemplo da CHESF, PETROBRÁS, SAELPA, CELB, CEAL, ENERGISA, entre outras.

Diante disso, as principais áreas de pesquisa desenvolvidas pelo LAT são:

- Qualidade da energia e eficiência energética;
- Monitoramento, diagnóstico e estimação de vida útil de equipamentos;
- Geração e fontes alternativas de energia;
- Modelagem, análise e simulação de sistemas elétricos;
- Eletrônica de potência aplicada a sistemas elétricos;
- Simulações multifísicas;
- Métodos probabilísticos de otimização aplicados a sistemas elétricos;
- Inteligência computacional aplicada a sistemas elétricos.

O LAT se destaca por seu pioneirismo nacional, produzindo as primeiras dissertações de mestrado e teses de doutorado na área de Sistemas Elétricos/Alta Tensão do Brasil, tendo contribuído para a formação de centenas de engenheiros ao longo das últimas décadas. Ainda, dezenas de Projetos de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) foram realizados em parceria com empresas do Setor Elétrico, gerando soluções para diversas demandas técnicas oriundas do setor produtivo.

2.1. LABORATÓRIOS

O LAT é um complexo laboratorial composto por diversos ambientes que possuem diferentes aplicações no contexto de sistemas elétricos. Dentre eles se destacam:

- **Salão de Alta Tensão:** é o principal ambiente presente no LAT. Possui dois transformadores conectados em cascata que podem atingir até 600 kV com uma corrente de 1 A. Além disso, neste mesmo ambiente, tem-se disponível um gerador de impulso de tensão de 750 kV e divisores de tensão adequados a medição de alta tensão. Tais equipamentos podem realizar diversos tipos de ensaios elétricos, dentre eles: ensaios de tensão disruptiva, tensão suportável e suportabilidade a impulsos. Neste espaço, é possível realizar testes em diferentes tipos de equipamentos, tais como: transformadores, disjuntores, isoladores, chaves e para-raios. Na Figura 2 é apresentado uma fotografia do salão de alta tensão.

Figura 2 - Salão de Alta Tensão do LAT.



Fonte: Autoria Própria.

- **Sala do *Kit* de Alta Tensão:** é composto por um conjunto de equipamentos modulares, entre eles: um regulador de tensão de 0/220 V, transformador elevador de 0,22/100 kV, divisor resistivo, divisor capacitivo, diodos, espinterômetro e tubos para descargas em gases ou vácuo. O *kit* é compactado e foi projetado para que seu manuseio seja intuitivo, o que possibilita a sua aplicação em atividade de ensino e pesquisa. Disciplinas como Materiais Elétricos, Equipamentos Elétricos e Técnicas de Alta Tensão são ministradas no espaço do *kit* de alta tensão. Na Figura 3 é possível observar o ambiente da sala do *kit* de alta tensão.

Figura 3 - Sala do *Kit* de Alta Tensão.

Fonte: Autoria Própria.

- **Laboratório de Eletrônica Aplicada a Sistemas Elétricos (LEASE):** compreende uma sala nas dependências do LAT que possui os mais modernos equipamentos eletrônicos, cujo objetivo é desenvolver dispositivos e protótipos com aplicação aos sistemas de potência. Dentre as atividades desenvolvidas no LEASE, destaca-se: sistemas de sensoriamento, aquisição, transmissão e processamento de dados. Na Figura 4 é apresentado uma fotografia do LEASE.

Figura 4 - Fotografia do LEASE.



Fonte: Autoria Própria.

- **Laboratório de Qualidade da Energia Elétrica:** realiza estudos e desenvolve analisadores da qualidade da energia, estuda os distúrbios elétricos e seus impactos no sistema e realiza campanhas de medição em empresas e usinas solares. Para tanto, o laboratório dispõe de qualímetros modernos, fontes programáveis e profissionais que podem oferecer consultoria para diagnóstico dos resultados obtidos em campanhas de medição. Na Figura 5 é exibido uma fotografia do laboratório de qualidade de energia elétrica.

Figura 5 - Ambiente do Laboratório de Qualidade de Energia Elétrica.



Fonte: Autoria Própria.

- **Sala da Câmara de Névoa:** permite a execução de ensaios em equipamentos elétricos, sobretudo isoladores, simulando condições de chuva ou névoa. Alguns ensaios são realizados na câmara de névoa, a saber: ensaio de tensão suportável sob chuva, ensaio de tensão disruptiva sob chuva, ensaio de trilhamento e erosão e ensaio de poluição artificial. Na Figura 6 é apresentado a sala da câmara de névoa.

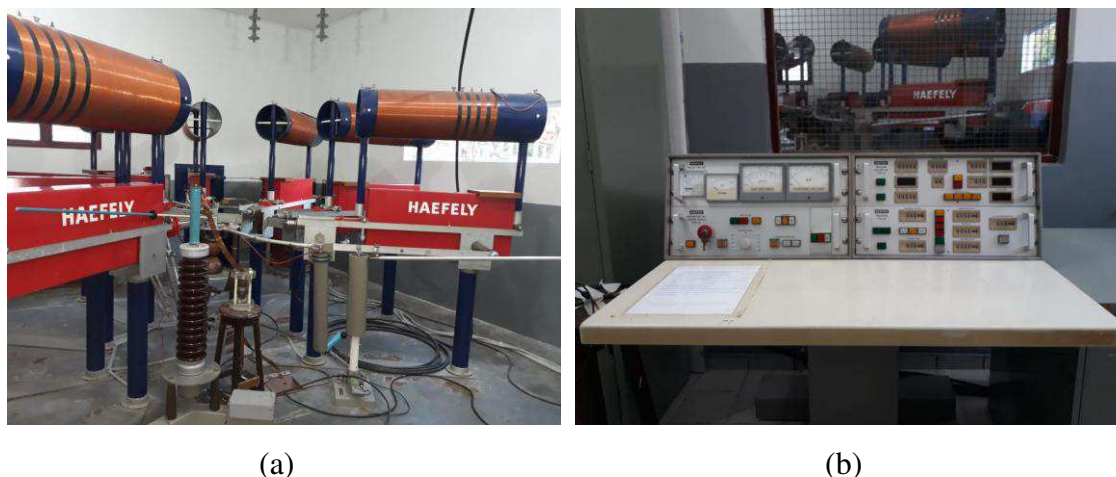
Figura 6 - Sala da Câmara de Névoa.



Fonte: Autoria Própria.

- **Sala do Gerador de Impulso de Corrente:** o Gerador de Impulso de Corrente é um circuito capaz de gerar correntes impulsivas na ordem de 100 kA em um intervalo de microssegundos. Seu funcionamento consiste no carregamento de capacitores e o seu posterior descarregamento de forma impulsiva, sendo a forma de onda do impulso ajustável a partir da substituição de resistores e indutores no gerador. Diversos ensaios são realizados no gerador, seja em malhas de aterramento, para-raios ou em outros equipamentos elétricos, para avaliar a resposta destes componentes frente a descargas atmosféricas ou surtos de manobra. Na Figura 7 é possível observar o ambiente do Gerador de Impulso de Corrente.

Figura 7 - (a) Gerador de Impulso de Corrente e (b) Comando do Gerador.



Fonte: Autoria Própria.

2.2. AMBIENTE DO LAT

Além dos laboratórios, o LAT é constituído por sete salas de professores (cada professor vinculado ao LAT possui a sua), duas salas destinadas a alunos de pós graduação e uma sala voltada aos alunos da graduação.

Além disso, possui um almoxarifado que é utilizado para armazenar equipamentos que não estão sendo utilizados pelo corpo discente/doscente do laboratório. Logo, este ambiente é mantido 24 horas refrigerado, com o propósito de manter a integridade dos materiais constituintes aos equipamento e evitar possíveis formações de ferrugem.

O LAT também possui dois auditórios que comportam 20 pessoas cada. Ambos são utilizados para ministrar aulas do curso de Engenharia Elétrica (graduação e pós-graduação), bem como defesas de dissertação de mestrado, defesas de teses de doutorado e palestras.

3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Durante a vigência do estágio, foi requisitado do aluno proatividade suficiente para que todas as demandas fossem cumpridas em prazos estipulados, auxiliando assim, o funcionamento regular do LAT. Desse modo, foram realizadas diversas atividades que serão descritas nos capítulos seguintes.

A seguir, serão discutidas as características técnicas das principais atividades desenvolvidas.

3.1. MEDIÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS EM TRANSFORMADORES DE POTENCIAL INDUTIVO

O termo Descarga Parcial (DP) é definido pela IEC 60270 (2004) como sendo uma descarga elétrica localizada que atravessa parcialmente o meio isolante entre dois meios condutores, podendo ou não ocorrer próximo a esse meio condutor.

A ocorrência de DP nos isolamentos de equipamentos de alta tensão é um sintoma de fragilidade em sustentação dielétrica, cuja evolução pode ter sérias consequências para estes equipamentos e para o sistema elétrico (CEPEL, 2019).

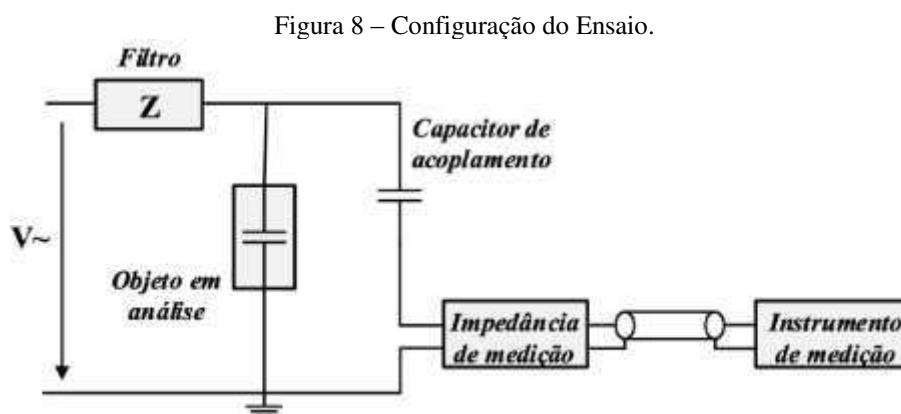
Diante disso, a detecção de DP gerado dentro de um sistema isolante é de fundamental importância para avaliar a existência de defeitos internos, uma vez que, para alguns equipamentos, é a técnica que mais cedo pode diagnosticar uma queda futura na tensão elétrica suportável (CEPEL, 2019). Posto isso, nessa atividade foi realizada a medição de descargas parciais em Transformadores de Potencial Indutivo (TPI) de 69 kV. Tais equipamentos são provenientes da CHESF e estavam ocasionando problemas na subestação na qual estavam instalados, pois o óleo interno a porcelana apresentava uma elevação de temperatura anormal, ocasionando a explosão do TP e, por conseguinte, danos a equipamentos adjacentes.

A causa apontada para o mal funcionamento do TPI foi a presença excessiva de descargas parciais internas. Assim, três TPI que foram retirados de operação por risco de explosão, foram encaminhados ao LAT para aferições de descargas parciais.

3.1.1. ENSAIO REALIZADO

A norma IEC 60270 (2004) estabelece diferentes configurações que possibilitam a medição de DP. Os circuitos são constituídos de uma fonte de alta tensão livre de DP, um capacitor de acoplamento em paralelo com o equipamento de teste, tendo este a finalidade de indicar a real magnitude da DP, uma impedância de medição e um filtro em série com a fonte de alta tensão, cuja finalidade é bloquear os ruídos de alta frequência presentes na rede (AMERICO, 2017).

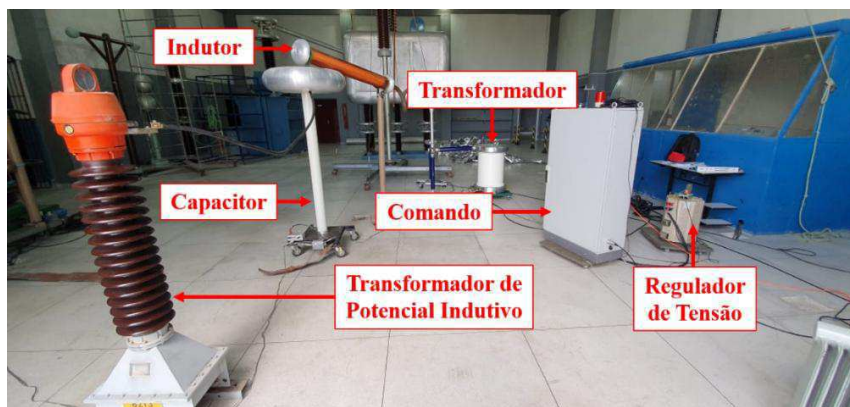
A configuração escolhida para a detecção de descargas parciais está representada na Figura 8, que por sua vez utiliza uma impedância de medição em série com o capacitor de acoplamento, sendo esta configuração indicada para casos em que o objeto de teste possui uma extremidade aterrada.



Fonte: AMERICO (2007).

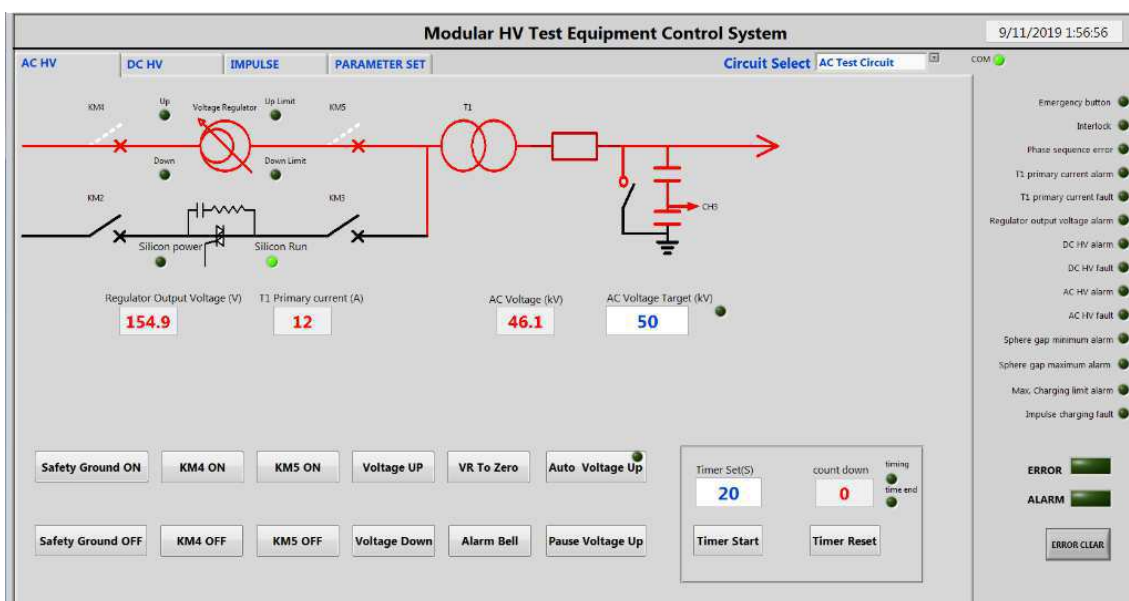
No ensaio realizado o objeto de teste é representado pelo TPI, o filtro é um indutor de 15 mH, o capacitor de acoplamento possui 1000 pF, a impedância de medição é do tipo LDM-5/U5 da Doble Lemke e a fonte de alta tensão é composta por um transformador com tensão regulável de 0 – 100 kV, conforme pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Montagem do ensaio realizado.



Fonte: Aatoria Própria.

O transformador representado na Figura 9, bem como o comando e o regulador de tensão, são partes constituintes de um novo *kit* de alta tensão que foi adquirido pelo LAT. Esse *kit* possui um conjunto de comandos por contator, que por sua vez são controlados por um computador alocado à distância. A interface para utilização do *kit* é representada na Figura 10.

Figura 10 - Interface do *Kit* de Alta Tensão.

Fonte: Aatoria Própria.

Por meio da interface representada na Figura 10, é possível energizar cada componente do circuito separadamente. Primeiro é energizado o regulador de tensão, que por sua vez controla a tensão no primário do transformador. Em seguida é energizado o transformador, bem como o circuito de teste, sendo possível elevar e diminuir a tensão gerada, voltar para o valor zero e controlar as hastes de aterramento de acordo com as

aplicações devidas no circuito de teste.

Para averiguar a ocorrências de DP no TPI, utilizou-se o medidor de descargas parciais comercial LDS-6 da Doble Lemke, que por sua vez foi acoplado ao capacitor por uma impedância de medição, conforme pode ser visualizado na Figura 11.

Figura 11 – Medidor de Descargas Parciais.

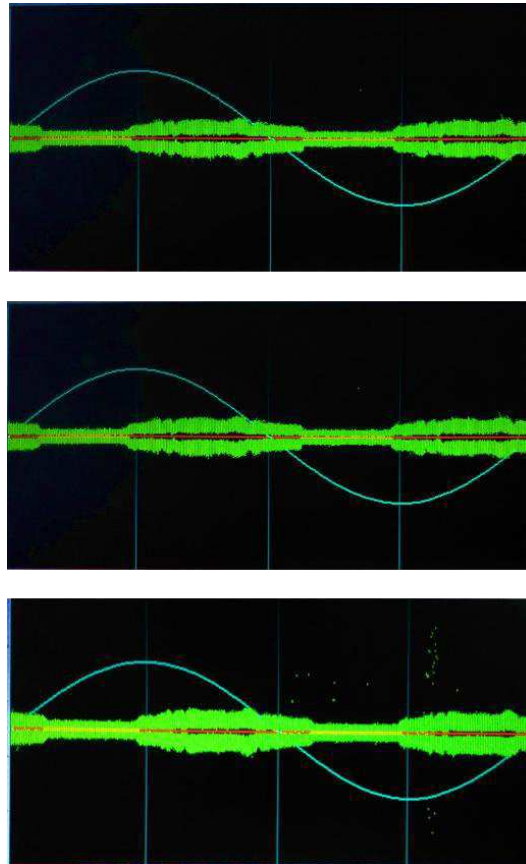


Fonte: Autoria Própria.

Antes de energizar o circuito, foram realizados os procedimentos de calibração de acordo com a IEC 60270. Para isso, foi utilizado o calibrador LDC-5 da Doble Lemke. Esse calibrador injeta um pulso conhecido em pC que pode ser ajustado em 5, 20, 100 e 500 pC, sendo coletado o valor em mV a partir dos terminais da impedância de medição. Ao associar o valor em mV coletado com o pulso em pC injetado, monta-se uma curva que permite determinar os valores em pC a partir dos valores em mV medidos.

Por fim, foi aplicado sobre o TPI a tensão nominal fase-terra de 40 kV e estresse elétrico por sobretensão da ordem de 10 por cento da tensão nominal. Os resultados que foram obtidos para descargas parciais no TPI podem ser observados na Figura 12.

Figura 12 - Resultados das Descargas Parciais em cada TPI.



Fonte: Autoria Própria.

O resultado elencado na Figura 12 é denominado gráfico PRPD (*phase-resolved partial discharges*) e cada ponto apresenta a ocorrência de descargas parciais ao longo de um ciclo da senoide. A maior concentração de pontos ao longo de todo o ciclo representa o ruído de fundo do ambiente de medição, enquanto que os outros pontos com maior dispersão representam as descargas parciais. Apesar das descargas parciais ocorrerem de forma dispersa, já são suficientes para reprovar o uso do equipamento na subestação.

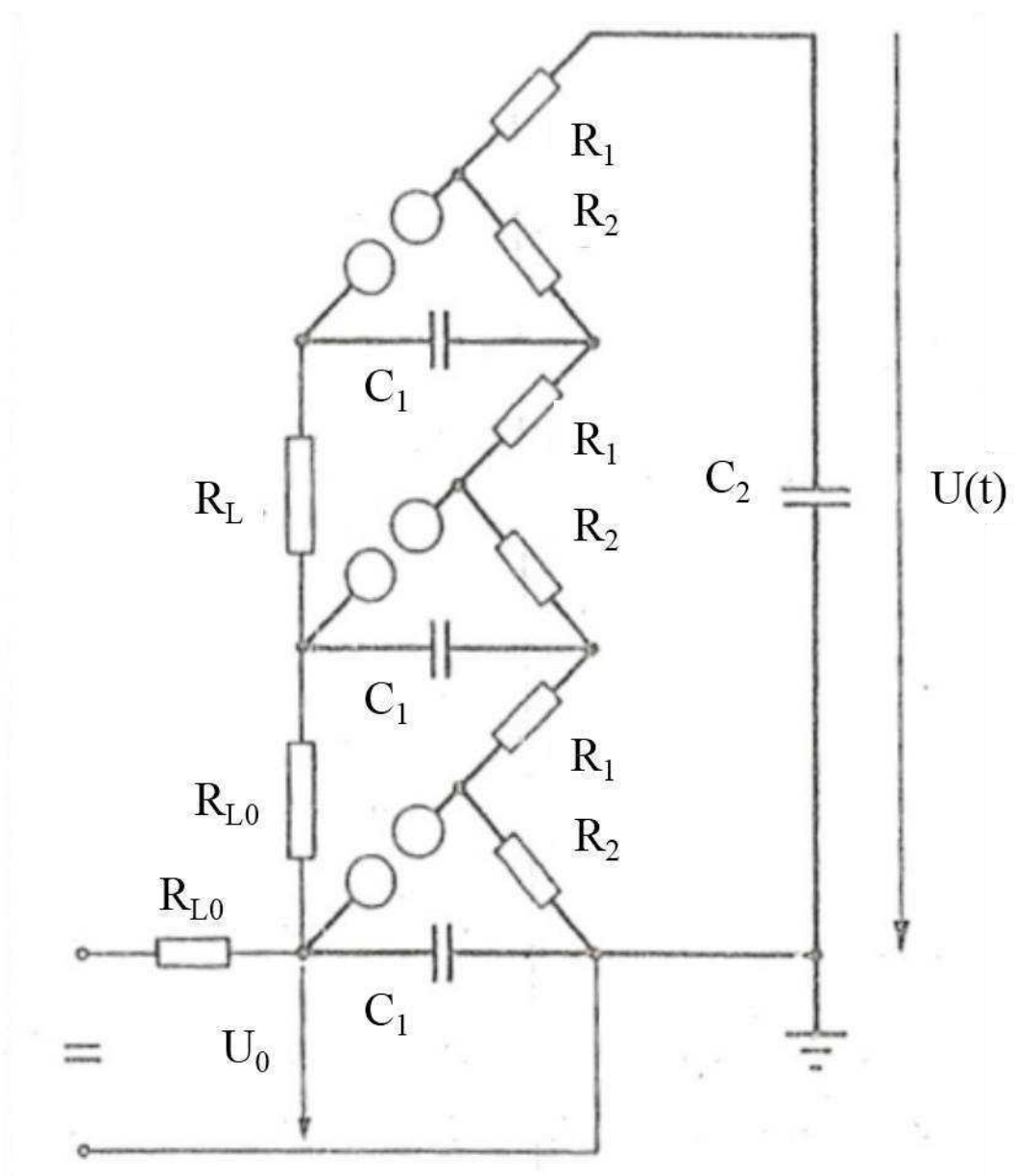
3.2. AJUSTE DO GERADOR DE IMPULSO DE TENSÃO

A geração de tensões impulsivas é fundamental para testes de alta tensão, pois reproduzem os estresses elétricos causados por sobretensões, sejam elas externas e internas ao sistema elétrico, usualmente referidas como impulsos atmosféricos e de manobra, respectivamente. Impulsos de tensão atmosféricos são utilizados para simular sobretensões que surgem quando descargas atmosféricas atingem o sistema, enquanto

impulsos de tensão de manobra são utilizados para simular sobretensões causadas por operações de manobra no sistema.

Para obter tensões impulsivas com o máximo valor de pico possível, a partir de um dado valor de tensão contínua de carregamento, utiliza-se o circuito multiplicador de Marx, que está ilustrado na Figura 13.

Figura 13 - Circuito de Marx com Três Estágios.

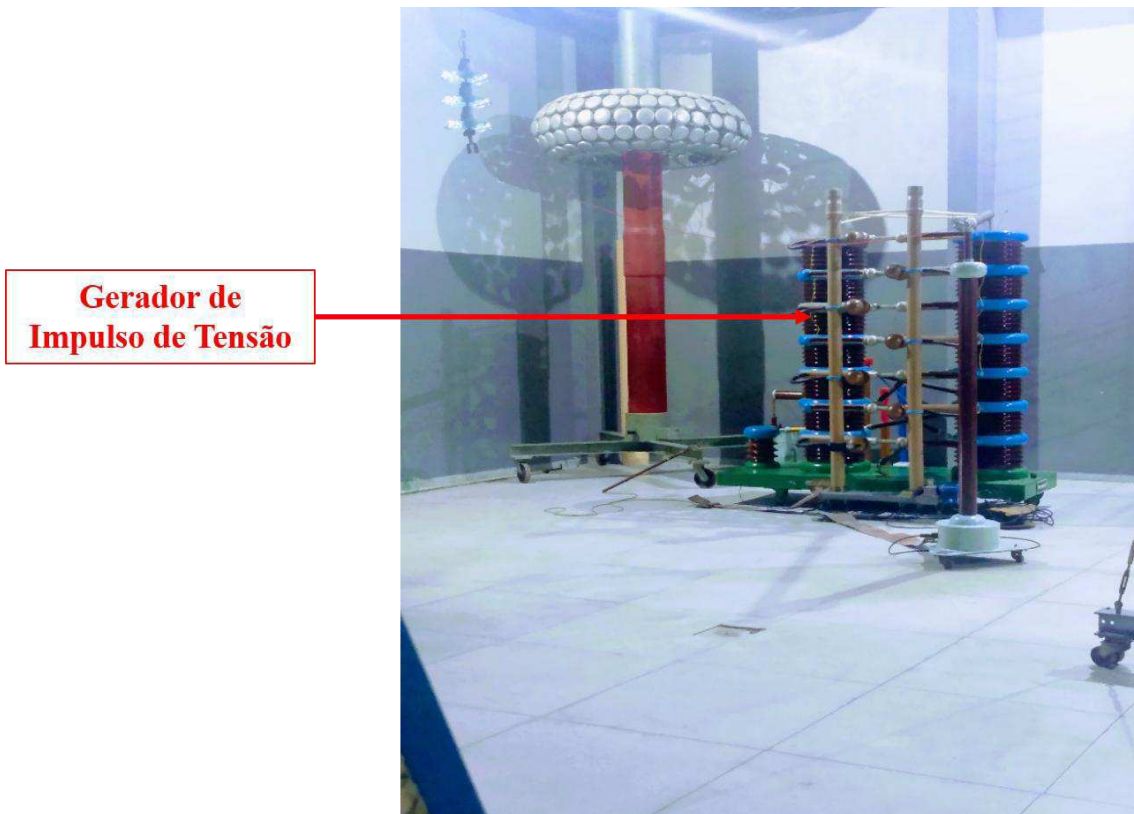


Fonte: Adaptado de TURNELL (2012).

Inicialmente, os capacitores de impulso C_1 , representados na Figura 13, são carregados em paralelo até a tensão de carregamento do estágio ser atingida, por meio dos resistores de carga R_L . Com a ignição dos centelhadores, os capacitores de impulso

C_1 são ligados em série com os resistores de frente R_1 , fazendo com que o capacitor de carga C_2 seja carregado. Em seguida, os capacitores de impulso C_1 e o capacitor de carga C_2 irão descarregar por meio dos resistores de frente R_1 e de cauda R_2 . Na Figura 14 é possível observar o gerador de impulso de tensão do LAT, cuja constituição interna se baseia no circuito de Marx.

Figura 14 - Gerador de Impulso de Tensão do LAT.

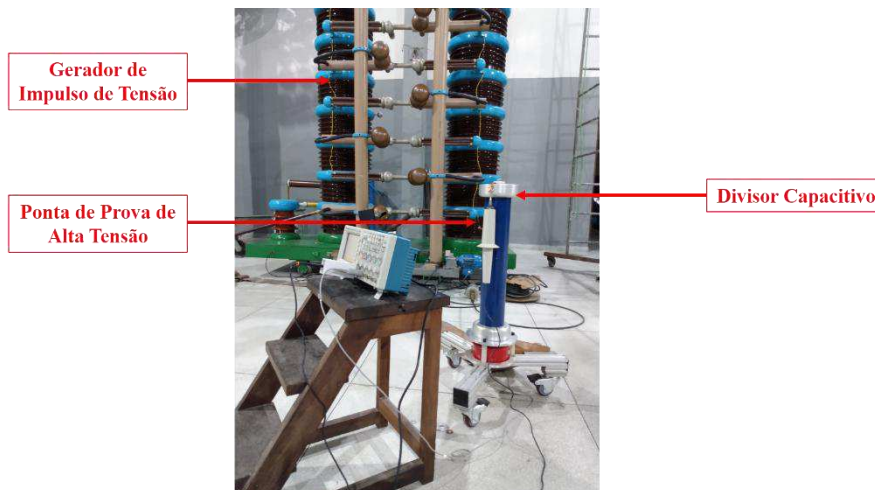


Fonte: Autoria Própria.

O gerador de impulso do LAT possui sete estágios e se encontra danificado, pois alguns capacitores estão deteriorados, comprometendo a capacidade de operação máxima. Diante disso, essa atividade tem como objetivo averiguar a capacidade do gerador para realização de ensaios de impulso atmosférico em equipamentos de alta tensão.

Para tanto, seis dos sete estágios foram curto-circuitados e apenas um estágio foi usado no experimento inicial. Para a medição das tensões de impulso gerada, utilizou-se uma ponta de prova de alta tensão, sendo utilizado um divisor capacitivo para fornecer a tensão de carregamento dos capacitores. O circuito utilizado está representado na Figura 15.

Figura 15 - Circuito Utilizado no Experimento.



Fonte: Autoria Própria.

A tensão de carregamento foi ajustada inicialmente para se obter uma tensão máxima de 5 kV no impulso, posteriormente, o valor máximo foi elevado em passos 5 kV até atingir 35 kV, pois a ponta de alta tensão possui uma limitação de 40 kV. Os resultados obtidos foram elencados na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados do Experimento para um Estágio.

| Ajuste | Tensão do Divisor Capacitivo | Tensão de Impulso |
|--------|------------------------------|-------------------|
| 5 kV | 153 V | 5,68 kV |
| 10 kV | 133 V | 9,92 kV |
| 15 kV | 166 V | 15 kV |
| 20 kV | 298 V | 20,4 kV |
| 25 kV | 250 V | 25 kV |
| 30 kV | 404 V | 31,4 kV |
| 35 kV | 896 V | 34,8 kV |

Fonte: Autoria Própria.

O primeiro estágio do gerador funcionou normalmente, sendo o circuito ampliado para o funcionamento de três estágios. Nessa configuração o gerador pode fornecer até 300 kV, sendo necessário no máximo 250 kV para os ensaios de tensão suportável a impulso atmosférico em isoladores de vidro. Para isso, o carregamento foi realizado para

se obter a referida tensão, o que pôde ser realizado sem comprometimento dos componentes constituintes do gerador.

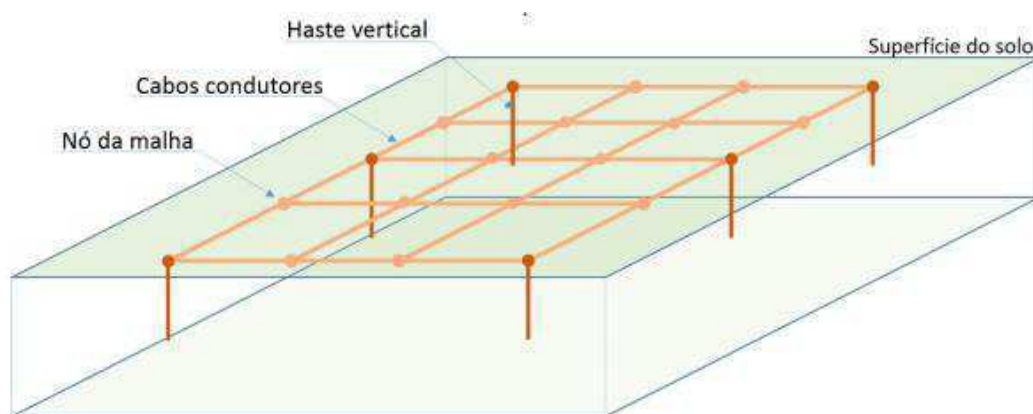
3.3. MEDIÇÃO DA RESISTIVIDADE DO SOLO

Segundo Visacro (2002), entende-se aterramento pela ligação elétrica de um equipamento ou componente de um sistema elétrico à terra por meio de dispositivos condutores de eletricidade adequados. Os objetivos principais do aterramento são:

- Obter uma resistência de aterramento a mais baixa possível, para correntes de falta à terra;
- Manter os potenciais de passo e de toque produzidos pelas correntes de falta dentro de limites de segurança de modo a não causar danos a pessoas;
- Fazer com que equipamentos de proteção sejam mais sensibilizados e isolem rapidamente as falhas à terra;
- Proporcionar um caminho de escoamento para terra de descargas atmosféricas;
- Escoar as cargas estáticas geradas nas carcaças dos equipamentos.

No caso de subestações, a técnica de aterramento mais empregada é a utilização de hastes verticais conectadas a uma malha, composta por cabos e eletrodos condutores, enterrada em, aproximadamente, 30 cm a 1 m em relação à superfície do solo (BEZERRA, 2017). A Figura 16 apresenta a constituição básica de uma malha de aterramento.

Figura 16 - Esboço da Constituição de uma Malha de Aterramento.



Fonte: BEZERRA (2017).

A determinação dos valores das resistividades do solo e de sua estratificação é de fundamental importância para o cálculo das características de um sistema de aterramento, subsidiando o desenvolvimento de projetos, bem como a determinação de seus potenciais de passo e toque. Em geral, o solo é constituído por diversas camadas, cada uma apresentando um certo valor de resistividade e uma espessura própria (FILHO, 2018).

Vários fatores influenciam no valor da resistividade do solo (composição geológica, umidade, temperatura e salinidade) tornando-se indispensável a execução de medições no local onde será implantado o sistema de aterramento. Durante a execução das atividades de estágio, para realizar a medição de resistividade do solo é utilizado um Terrômetro Digital, conforme mostrado na Figura 17.

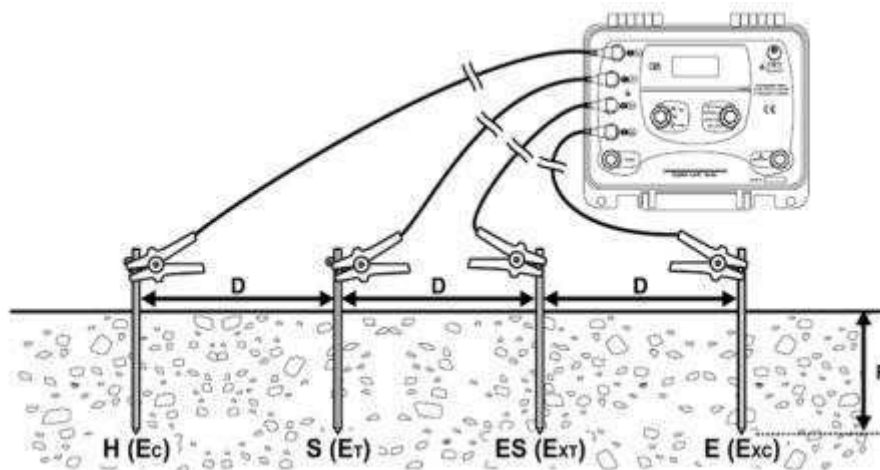
Figura 17 - Terrômetro Digital 6472 da AEMC.



Fonte: AEMC INSTRUMENTS (2019).

O terrômetro possui quatro terminais (dois de corrente e dois de tensão), os quais devem ser conectados a quatro eletrodos, distantes um do outro de D , conforme pode ser visualizado na Figura 18. O aparelho faz circular corrente elétrica (I) nos dois eletrodos externos (H e E). Desse modo, por meio das duas hastes internas (S e ES) o aparelho calcula a diferença de potencial (V) e pela relação V/I processa o valor da resistência (R). De posse do valor da resistência, o equipamento aplica a fórmula de Palmer ($\rho = 2\pi dR$) e fornece o valor da resistividade.

Figura 18 - Medição de Resistividade com a Utilização de um Terrômetro.



Fonte: FILHO (2018).

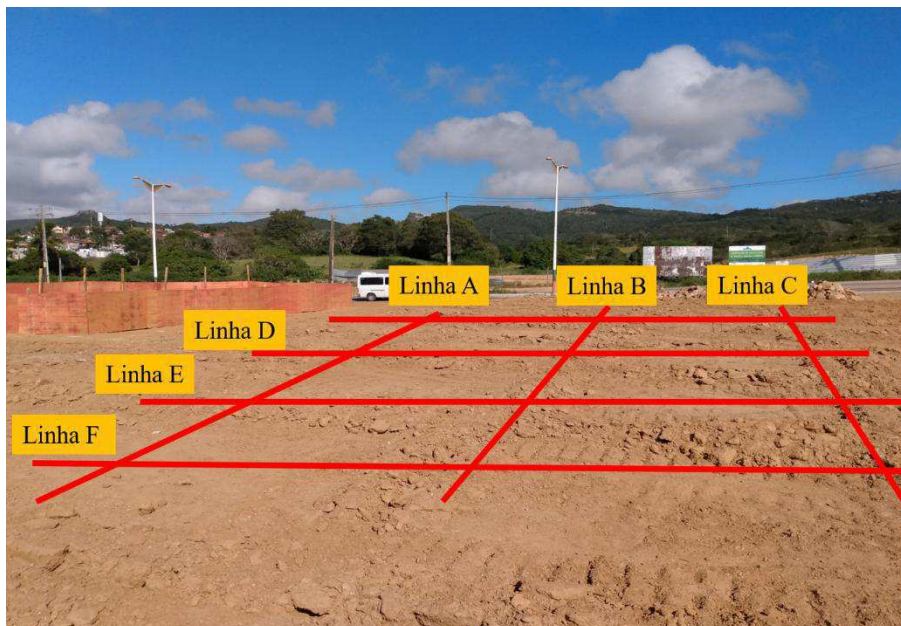
Portanto, com a utilização dos procedimentos supracitados, foi determinado a resistividade do solo em três localidades (Tacaratu-PE, Canhotinho-PE e Bodocó-PE) em que serão implantadas subestações pela Companhia Energética de Pernambuco (CELPE). As medições tem por finalidade averiguar se a malha de aterramento projetada se adequa a resistividade definida.

3.3.1. MEDIÇÕES DE RESISTIVIDADE EM TACARATU-PE

A primeira medição de resistividade do solo se deu em Tacaratu-PE. Os procedimentos para realizar a medição foram destacados na seção anterior, sendo importante enfatizar que inicialmente houve uma inspeção visual da qualidade do solo, que se encontrava em bom estado, pois o processo de terraplanagem já havia sido realizado.

Posteriormente, foi definida a quantidade de linhas que iriam ser traçadas para realizar a medição. É importante destacar que, a norma NBR 7117 recomenda que se efetuem medições de resistividade em, pelo menos, cinco pontos para uma área de até 10000 m². A área do terreno era de 1120 m², sendo exigida a realização de no mínimo 5 medições. Foi acrescentada uma linha extra, com o intuito de averiguar a resistividade em toda a integralidade do terreno. Na Figura 19 é possível observar o terreno usado para realizar as medições, bem como a divisão das linhas que foi adotada.

Figura 19 - Divisão das Linhas para Medições de Resistividade do Solo.



Fonte: Autoria Própria.

Para realizar as medições de resistividade do solo, as hastes foram postas numa distância entre si de 1, 2, 4 e 8 m, tomando o centro de cada linha como referência para o início da medição. Na Tabela 2 são elencados os resultados que foram obtidos para cada linha.

Tabela 2 - Resultados das Medições Resistividades do Solo em Tacaratu-PE.

| Distância D (m) | A (Ω m) | B (Ω m) | C (Ω m) | D (Ω m) | E (Ω m) | F (Ω m) | Média (Ω m) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 1 | 92,5 | 81,9 | 122 | 79,5 | 73,7 | 113 | 94 |
| 2 | 149 | 110 | 104 | 68,3 | 84,5 | 166 | 114 |
| 4 | 129 | 112 | 73,6 | 51,8 | 51,8 | 126 | 91 |
| 8 | 52,5 | 45,6 | 30,4 | 25,7 | 25,7 | 50,7 | 38 |

Fonte: Autoria Própria.

Ao final de todas as medições foi verificado a média referente a cada distância que foi executada. Caso a medição de alguma distância ultrapassasse 50 % do valor médio medido, seria preciso refazer a medição para a referida distância. Sendo assim, na Tabela 3 é elencado a porcentagem do valor médio para cada distância.

Tabela 3 - Porcentagem do Valor Médio para Cada Distância.

| Distância D (m) | A | B | C | D | E | F |
|-----------------|-----|------|------|------|------|-----|
| 1 | -1% | -13% | 30% | -15% | -21% | 21% |
| 2 | 31% | -3% | -9% | -40% | -25% | 46% |
| 4 | 42% | 23% | -19% | -43% | -43% | 39% |
| 8 | 37% | 19% | -21% | -33% | -33% | 32% |

Fonte: Autoria Própria.

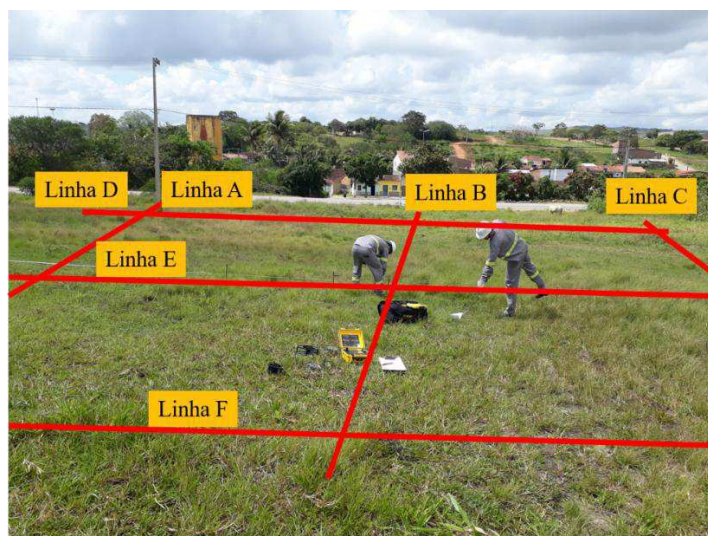
Como pode ser observado na Tabela 3, nenhum valor ultrapassou 50 % do valor médio, sendo válida todas as aferições de resistividade realizada.

3.3.2. MEDIÇÕES DE RESISTIVIDADE EM CANHOTINHO-PE

A segunda localidade escolhida para realizar as medições de resistividade foi Canhotinho-PE. O terreno da subestação que será implantada nessa cidade ainda não havia passado pelo processo de terraplanagem e a superfície do solo se encontrava com vegetação abundante, com pontos úmidos e pontos secos.

A área do terreno é de 4900 m². Para cumprir a exigência da norma NBR 7117, seriam necessárias apenas 5 linhas, entretanto, assim como ocorreu com a medição anterior, uma linha extra foi adicionada, cujo objetivo é realizar aferições no terreno por completo. Na Figura 20 é possível observar as linhas que foram utilizadas para medições de resistividade.

Figura 20 - Divisão das Linhas para Medições de Resistividade do Solo.



Fonte: Autoria Própria.

Como o terreno possuía dimensões grandes, foi possível fazer medições para uma distância entre as hastes de até 16 m. Os resultados adquiridos por meio do terrômetro estão listados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados das Medições Resistividades do Solo em Canhotinho-PE.

| Distância D (m) | A | B | C | D | E | F | Média |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| 1 | 65,8 | 60,9 | 76 | 70,8 | 67,6 | 62,2 | 67,22 |
| 2 | 57 | 45,3 | 65,7 | 51,9 | 42,3 | 49,3 | 51,92 |
| 4 | 69,9 | 41,6 | 30,7 | 68,4 | 47,6 | 78,7 | 56,15 |
| 8 | 112 | 81,1 | 57,6 | 112 | 98,3 | 91,1 | 92,02 |
| 16 | 212 | 151 | 115 | 191 | 166 | 193 | 171,33 |

Fonte: Autoria Própria.

Assim como ocorreu para as medições de Tacaratu-PE, foi verificado se os resultados que foram obtidos para cada linha estavam ultrapassando 50 % do valor médio. Diante disso, foi registrado na Tabela 5 a porcentagem de cada medição com relação à média obtida na Tabela 4.

Tabela 5 - Porcentagem do Valor Médio para Cada Distância.

| Distância D (m) | A | B | C | D | E | F |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | -2% | -9% | 13% | 5% | 1% | -7% |
| 2 | 10% | -13% | 27% | 0% | -19% | -5% |
| 4 | 24% | -26% | -45% | 22% | -15% | 40% |
| 8 | 22% | -12% | -37% | 22% | 7% | -1% |
| 16 | 24% | -12% | -33% | 11% | -3% | 13% |

Fonte: Autoria Própria.

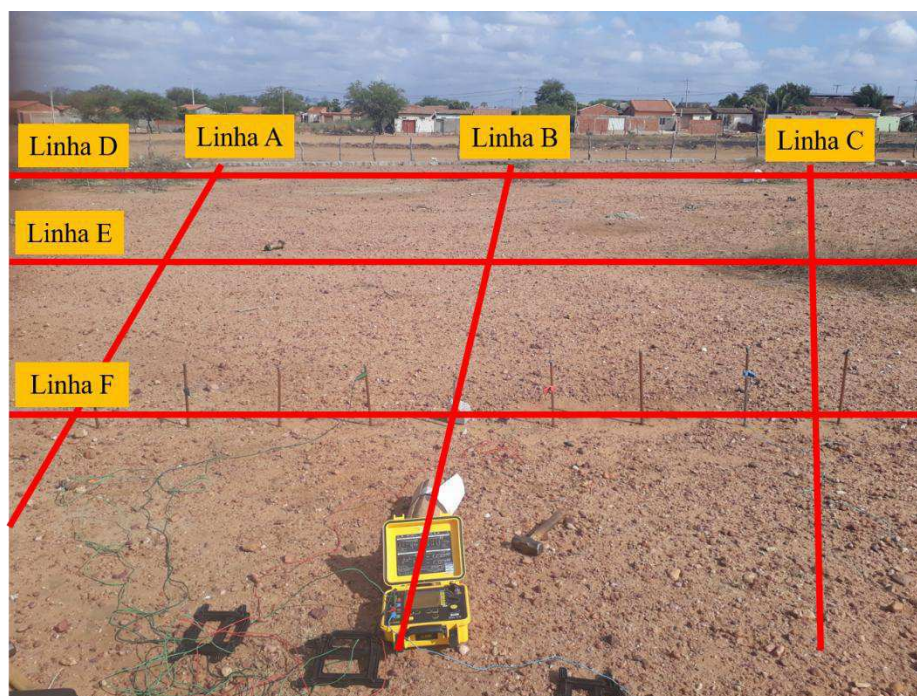
Como pode ser observado, nenhuma medição ultrapassou 50 %, validando os dados que foram obtidos.

3.3.3. MEDIÇÕES DE RESISTIVIDADE EM BODOCÓ-PE

A última medição de resistividade do solo se deu em Bodocó-PE. O terreno no qual será implantado a subestação possui um solo compactado, com a presença de pedras na superfície e uma área aproximada de 2100 m². A exemplo do que ocorreu nas medições anteriores, as dimensões do terreno se enquadram ao mínimo definido pela norma NBR 7117, sendo necessário a composição de no mínimo cinco linhas para realizar as medições

de resistividade. Com o objetivo de aferir assertividade nos valores de resistividade encontrados, foi adicionada uma linha extra. Na Figura 21 é possível observar o terreno no qual foram executadas as medições, bem como a distribuição das linhas.

Figura 21 - Divisão das Linhas para Medições de Resistividade do Solo.



Fonte: Autoria Própria.

Apesar do terreno possuir um comprimento considerável, a sua largura só permite medições de no máximo 8 m de distância, valor esse que foi padronizado para todas as linhas executadas. Na Tabela 6 está registrado todos os valores de resistividade que foram obtidos, assim como a sua média.

Tabela 6 - Resultados das Medições Resistividades do Solo em Canhotinho-PE.

| Distância D (m) | A | B | C | D | E | F | Média |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| 1 | 5,07 | 4,96 | 6,17 | 5,1 | 4,32 | 6,62 | 5,37 |
| 2 | 5,39 | 5,48 | 6,72 | 5,28 | 5,76 | 6,34 | 5,83 |
| 4 | 7,1 | 6,82 | 9,18 | 6,8 | 6,09 | 7,79 | 7,30 |
| 8 | 11,3 | 10,5 | 13,4 | 12,2 | 12,2 | 11,8 | 11,90 |

Fonte: Autoria Própria.

Ao final de todas as medições foi realizada a aferição indicada na Tabela 7, com o intuito de verificar se os valores de resistividade para cada camada apresentavam um desvio menor que 50 % do valor médio, pois caso contrário, seria necessário realizar novamente a medição da camada.

Tabela 7 - Porcentagem do Valor Médio para Cada Distância.

| Distância D (m) | A | B | C | D | E | F |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | -6% | -8% | 15% | -5% | -20% | 23% |
| 2 | -8% | -6% | 15% | -9% | -1% | 9% |
| 4 | -3% | -7% | 26% | -7% | -17% | 7% |
| 8 | -5% | -12% | 13% | 3% | 3% | -1% |

Fonte: Autoria Própria.

Como nenhum valor de resistividade possui desvio maior que 50 % da média, foi possível atribuir confiança aos resultados, sendo recomendado para uso nos cálculos de estratificação do solo.

3.4. ENSAIOS EM ISOLADORES POLIMÉRICOS

Isoladores elétricos são componentes que possuem duas funções principais no sistema elétrico: uma diz respeito ao suporte mecânico do condutor constituinte do sistema, a outra se refere ao isolamento elétrico entre os diferentes potenciais e à terra.

Para garantir que estejam aptos a realizar suas funções, os isoladores precisam ser aprovados em uma série de ensaios elétricos que devem ser seguidos, usualmente, tais ensaios têm o intuito de averiguar a adequação de sua suportabilidade elétrica frente as adversidades que são impostas pelo meio.

Durante a execução das atividades de estágio, ensaios de tensão suportável a frequência industrial a seco e sob chuva foram realizadas em isoladores poliméricos tipo pino, com o objetivo de averiguar se os valores de tensão suportável que foram descritos pelo fabricante estão em conformidade com os obtidos em ensaios. Para tanto, foi necessário a utilização da câmara de névoa do LAT para realizar testes em isoladores, bem como estabelecer procedimentos para realização dos ensaios.

Primordialmente, foi recolhida um conjunto de amostras de isoladores poliméricos tipo pino dos sistemas de distribuição, bem como componentes de fixação do isolador a estrutura (pino) e do cabo ao isolador (anel de amarração), conforme pode ser visualizado na Figura 22.

Figura 22 - Componentes Utilizados nos Ensaio de Tensão Suportável.



Fonte: Autoria Própria.

Em seguida, os isoladores foram postos numa cruzeta centralizada no interior da câmara de névoa, conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23 - Arranjo para Ensaio de Tensão Suportável de Isoladores Poliméricos.



Fonte: Autoria Própria.

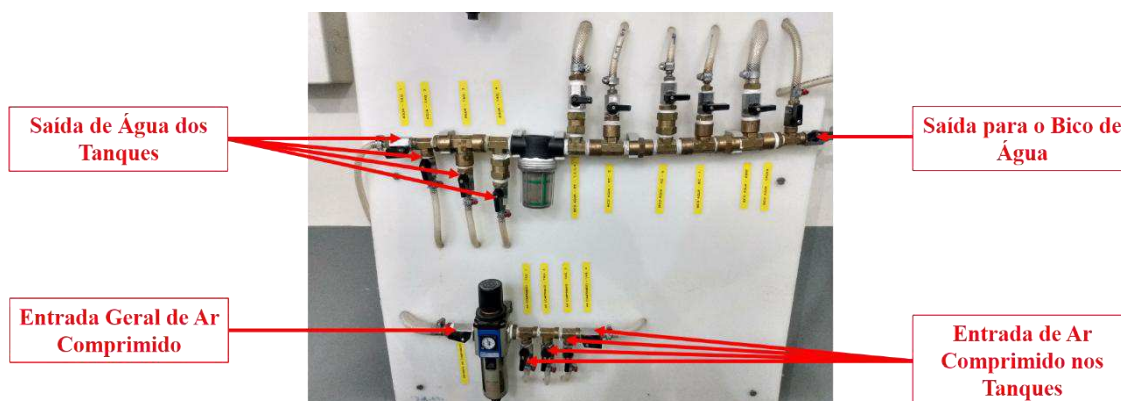
Na montagem da Figura 23, um condutor que garante aplicação de potencial elétrico sob o isolador provém de um transformador de 220V/120 kV, por meio de uma bucha de alta tensão. O condutor é fixado no isolador com a utilização do anel de amarração e o isolador é anexado a cruzeta por meio de um pino. Por fim, é necessário aterrar a ferragem de fixação do isolador (pino), com o objetivo de aplicar a tensão de fase no objeto de teste e simular as condições de operação no sistema.

Nessa configuração, é possível realizar o ensaio de tensão suportável a frequência industrial a seco segundo a norma IEC NBR 60060-1. Com isso, a tensão de 70 kV (tensão suportável a seco especificada pelo fabricante) foi aplicada ao isolador durante dez

segundos e não foi constatado a ocorrência de *flashover*.

Após a execução do ensaio a seco, o compressor da câmara de névoa foi acionado, com o intuito de originar chuva em conformidade com a norma IEC NBR 60060-1. Para isso, foi preciso fazer uso do painel da câmara de névoa, conforme apresentado na Figura 24.

Figura 24 - Painel de Operação da Câmara de Névoa.

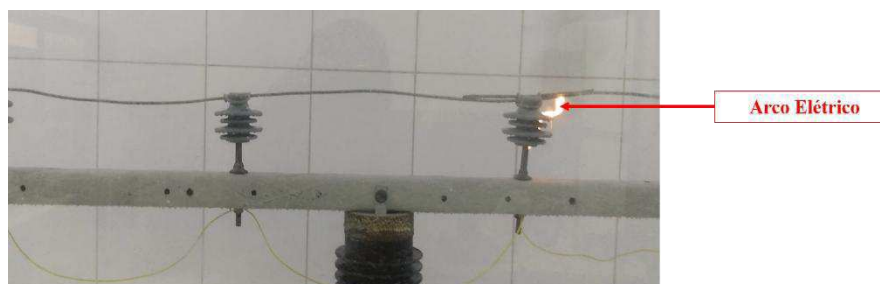


Fonte: Autoria Própria.

No painel da câmara de névoa, primordialmente, é acionado a entrada geral de ar comprimido, que por sua vez tem a função de aumentar a pressão interna nos tanques de água. Em seguida, é ligado a entrada de ar nos tanques, fazendo a água subir para o sistema que originará chuva ou névoa. A água que emana dos tanques deve ser liberada pelas chaves de saída, sendo originado chuva no interior da câmara de névoa por meio de dois bicos de água.

Desta forma, é exequível a realização do ensaio de tensão suportável a frequência industrial sob chuva nos isoladores poliméricos tipo pino. A tensão que o fabricante fornece para o referido ensaio é 50 kV, entretanto, quando a tensão atingiu 45 kV, um isolador sofreu uma descarga disruptiva para o terra, conforme é demonstrado pela Figura 25.

Figura 25 - Ruptura do Ar no Ensaio de Tensão Suportável sob Chuva em Isoladores Poliméricos.



Fonte: Autoria Própria.

Portanto, para o ensaio de tensão suportável a seco o isolador polimérico se comportou conforme o catálogo do fabricante. No entanto, para o ensaio sob chuva a tensão suportável não apresentou os valores garantidos pelo fabricante

3.5. CONserto E CALIBRAÇÃO DE WATTÍMETROS

Um wattímetro é um instrumento elétrico que possui a capacidade de medir a potência ativa de um elemento. O wattímetro é constituído por elementos que medem corrente e tensão e os utiliza para calcular a potência em Watts. Sua conexão é executada de modo que dois de seus terminais estejam em paralelo com o elemento, efetuando a medição de tensão, e os dois terminais restantes fiquem interpostos no caminho da corrente.

Desse modo, existem dois tipos básicos de wattímetro: eletromecânico e eletrônico. O wattímetro eletromecânico funciona por meio de três bobinas: uma bobina de tensão, uma bobina de corrente e uma bobina móvel (galvanômetro). Seu funcionamento baseia-se no torque que surge da interação das forças magnéticas produzidas pelas correntes nas bobinas. Esse torque provoca a movimentação do ponteiro sobre uma escala graduada, por meio do qual é possível realizar a medição de potência.

Os wattímetros eletrônicos, por sua vez, são dispositivos digitais que realizam o processamento dos sinais de tensão e corrente necessários ao cálculo de potência. Desse modo, utilizam internamente transdutores e microcontroladores para aquisição e processamento dos dados (BARBOSA, 2016).

Os Wattímetros eletrônicos podem ser confeccionados em ambiente de laboratório e com a utilização de dispositivos eletrônicos.

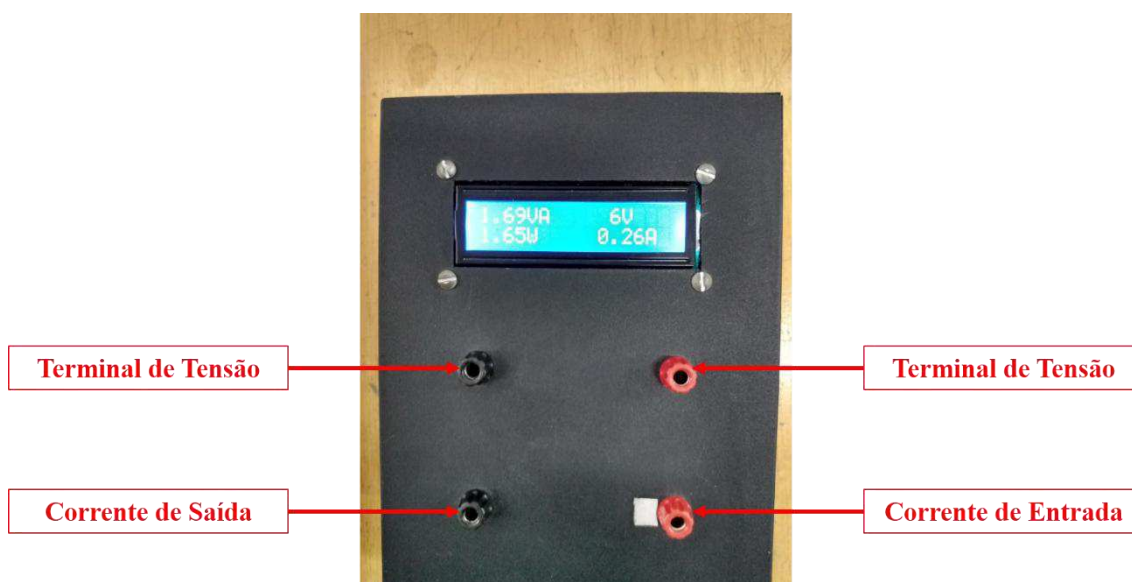
3.5.1. MANUTENÇÃO DOS WATTÍMETROS

Com uso dos componentes eletrônicos disponíveis no ambiente do LAT e com a utilização dos conhecimentos de programação adquiridos durante a graduação, foi requisitado ao estagiário o conserto de dois wattímetros digitais disponíveis no almoxarifado do laboratório. Tais wattímetros se encontravam com resistores, diodos e

capacitores em falta e com sensores de corrente danificados, sendo necessário a reconstrução do esquemático apresentado no Apêndice A.

A reconstrução do esquemático se deu por meio do teste de continuidade em cada elemento da placa de circuito impresso, sendo necessário utilizar solda para refazer contatos desgastados ou sem conexão. Além disso, em ambos os wattímetros, foi preciso substituir o sensor de corrente ACS712 por outro do mesmo tipo, pois além de apresentar mal funcionamento, se encontrava próximo da placa impressa, podendo ocasionar erros de medição pela possibilidade de toque nos componentes internos. Na Figura 26, é possível visualizar um dos wattímetros consertados e sua interface para leitura dos valores medidos.

Figura 26 - Wattímetro Monofásico Consertado.



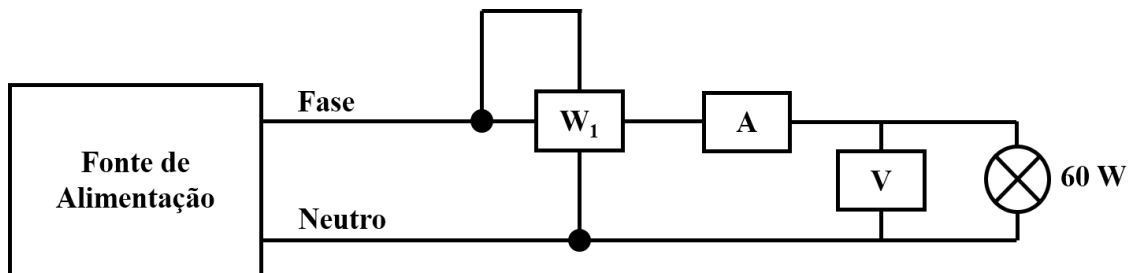
Fonte: Autoria Própria.

É importante mencionar que ambos os wattímetros apresentam a mesma estrutura física, com a mesma disposição de seus componentes internamente. Diante disso, apresentam o mesmo procedimento de operação, com bornes superiores destinados à medição de tensão e bornes inferiores destinados a leitura de corrente. Para realizar a conexão dos terminais de corrente com a carga, deve ser respeitado o sentido indicado na Figura 26, caso contrário, o Wattímetro indicará todas as medições como sendo iguais à zero.

3.5.2. CALIBRAÇÃO DOS WATTÍMETROS

Com os wattímetros operáveis e com seus componentes funcionando corretamente, foi preciso realizar ajustes de tensão e corrente para uma leitura de potência exata. Para tanto, foi utilizado o circuito representado na Figura 27.

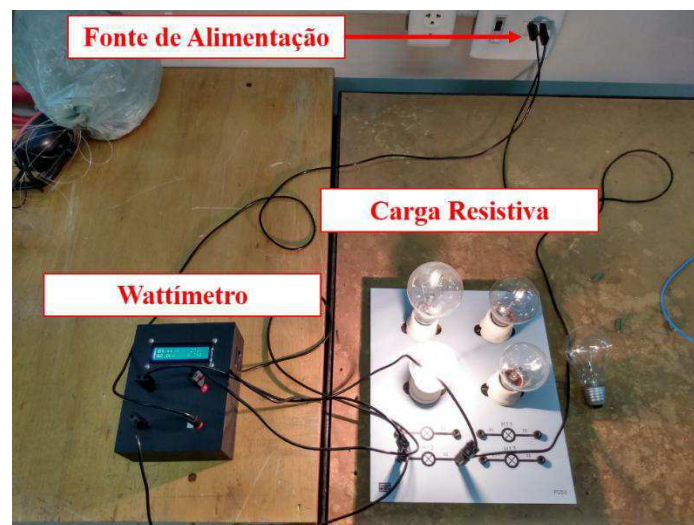
Figura 27 - Circuito para Ajuste de Tensão e Corrente nos Wattímetros.



Fonte: Autoria Própria.

Na Figura 27, o wattímetro tem seus terminais de tensão conectados em paralelo com a fonte de alimentação, e seus terminais de corrente postos em série com a carga resistiva, que por sua vez é representada por uma lâmpada incandescente de potência conhecida, conforme pode ser observado na Figura 28. Com o auxílio de um voltmímetro e um amperímetro é realizado leituras confiáveis de tensão e corrente, o que possibilita o ajuste dos valores visualizados no *display* do wattímetro.

Figura 28 - Montagem do Circuito para Ajuste de Tensão e Corrente do Wattímetro.



Fonte: Autoria Própria.

Para realizar o ajuste de tensão e corrente lidos no *display*, foi preciso modificar

as constantes multiplicativas inerentes ao código do Atmega328 constituinte do wattímetro. Para tanto, as constantes foram modificadas conforme a leitura de tensão e corrente, até que fosse obtido os valores medidos nos equipamentos de medição. Na Tabela 8, foram elencados os valores medidos pelos wattímetros e pelos instrumentos de medição no momento que o ajuste foi considerado finalizado. Como a carga é resistiva o valor de potência medido se deu por meio da multiplicação de tensão e corrente medidos no circuito.

Tabela 8 - Dados da Calibração dos Wattímetros.

| | Medido | Wattímetro 1 | Wattímetro 2 |
|------------------|---------------|---------------------|---------------------|
| Tensão RMS (V) | 218 | 217 | 218 |
| Corrente RMS (A) | 0,23 | 0,22 | 0,22 |
| Potência (W) | 50,14 | 47,74 | 47,96 |

Fonte: Aatoria Própria.

De posse dos dados inerentes na Tabela 9, foi possível registrar o percentual de cada medição realizada, conforme a fórmula apresentada na Equação 1.

$$Erro_{\%} = \frac{|V_m - V_w|}{V_m} \quad (1)$$

em que V_m é o valor de potência medido e V_w é valor apresentado pelo wattímetro. Diante disso, os erros percentuais encontrados foram elencados na Tabela 9.

Tabela 9 - Erro Percentual das Medições Realizadas nos Wattímetros.

| | Erro (%) | |
|------------------|---------------------|---------------------|
| | Wattímetro 1 | Wattímetro 2 |
| Tensão RMS (V) | 0,46 | 0 |
| Corrente RMS (A) | 4,35 | 4,35 |
| Potência (W) | 4,79 | 4,35 |

Fonte: Aatoria Própria.

Os erros calculados demonstram que o wattímetro está operável e com erro dentro da faixa de 5 %. No entanto, vale salientar, que para realizar medições em equipamentos que apresentam alta corrente, é preciso realizar o ajuste no wattímetro para a referida corrente a ser obtida. Isso se dá, porque a resposta em tensão do sensor de corrente não é linear.

3.6. OUTRAS ATIVIDADES

As atividades registradas nas seções anteriores dizem respeito a tarefas que demandaram grande quantidade de tempo e que requisitaram assiduidade do aluno para sua realização. Diante disso, nessa seção serão abordadas atividades que demandaram menor quantidade de tempo, mas que foram de extrema importância para o aluno durante a vigência do estágio. Tais atividades são descritas a seguir:

- Cabeamento do sistema de *internet* do LAT: nessa atividade foi requisitado do aluno a troca dos cabos de rede de internet das salas de graduação, pós-graduação, auditórios e sala que armazena o servidor. Desse modo, foi necessário a utilização de um cabo guia, o que facilita de forma significativa a passagem dos cabos por dentro dos eletrodutos. Na Figura 29 é representado fotografias que representam o serviço realizado no ambiente da sala de graduação e na sala que armazena o servidor.

Figura 29 - (a) Sala da Graduação e (b) Sala do Servidor de *Internet*.



(a)



(b)

Fonte: Autoria Própria.

- Manutenção do *kit* de alta tensão: durante o período de estágio o *kit* de alta tensão do LAT apresentou problemas de funcionamento. Tal problema consistia na impossibilidade em aumentar ou diminuir a tensão do secundário do transformador. Desse modo, foi detectado que o motor do regulador de tensão estava danificado, pois em dada tensão ele se apresentava impedido de funcionar corretamente, sendo necessário o seu concerto por meio de um técnico especializado. Realizado o diagnóstico do defeito e o concerto do motor, foi preciso instalá-lo novamente ao *kit* para dar continuidade as atividades de ensino e pesquisa do laboratório. Na Figura 30 pode ser observado o motor do regulador que foi retirado para concerto e uma fotografia da instalação do motor no *kit* de alta tensão.

Figura 30 - Fotografia em (a) Motor do Kit de Alta Tensão e (b) Instalação do Motor no *Kit*.



(a)



(b)

Fonte: Autoria Própria.

- Ensaio de tensão suportável a frequência industrial num invólucro de para-raios: esse ensaio foi realizado no invólucro de porcelana de um para-raios de ZnO com MCOV (Máxima Tensão de Operação Contínua) de 42 kV. Primordialmente, foi realizado a separação da coluna de varistores inerente ao para-raios. Em seguida, tendo em vista a classificação do para-raios em 20 kA, aplicou-se um nível de tensão próxima do seu nível de tensão residual máxima, 180 kV (pico), durante 60 segundos. Com o nível de tensão aplicado não houve tensão disruptiva no exterior da porcelana e o invólucro foi considerado aprovado para o referido ensaio. Na Figura 31 são apresentadas fotografias da abertura do para-raios e da

montagem realizada para a execução do ensaio.

Figura 31 - (a) Fotografia da Abertura do Para-raios e (b) Montagem do Experimento.



(a)

(b)

Fonte: Autorial Própria.

- Apresentação do LAT para visitantes: periodicamente são realizadas apresentações por parte dos alunos que constituem o LAT para visitantes oriundos de outras instituições, bem como alunos da UFCG, no início da graduação. Desse modo, durante o estágio quatro apresentações referente aos laboratórios internos do LAT foram realizadas. Tais apresentações tiveram a finalidade de mostrar e explicar o funcionamento dos equipamentos elétricos constituintes do Gerador de Impulso de Corrente, do Salão de Alta Tensão, da Sala da Câmara de Névoa e da Sala do *kit* de Alta Tensão. Na Figura 32, pode ser observado a apresentação do LAT para a turma do primeiro de engenharia elétrica da UFCG.

Figura 32 - Apresentação do LAT a turma do Primeiro Período de Engenharia Elétrica.



Fonte: Autorial Própria.

4. CONCLUSÃO

Neste relatório foram documentadas as atividades realizadas pelo estagiário durante a vigência do estágio no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina Grande. Tais atividades se mostraram diversificadas e com forte embasamento teórico por parte de equipamentos elétricos de alta tensão, compreendendo atividades de descargas parciais em TPI, ajustes do gerador de impulso de tensão, medições de resistividades do solo, ensaios em isoladores poliméricos e consertos e calibração de wattímetros, dentre outras atividades. Desse modo, o estágio realizado compreendeu um número significativo de atividades condizentes com a área de formação do aluno estagiário.

Diversas contribuições foram oferecidas ao aluno pela realização das atividades supracitadas. Com relação as medições de descargas parciais em TPI, foi observado a importância do monitoramento de equipamentos elétricos, pois fornece o máximo de continuidade ao sistema elétrico. Os ajustes realizados no gerador de impulso ofereceram a oportunidade de trabalhar com um equipamento até então desconhecido pelo aluno. Nas atividades de medição de resistividade do solo, observou-se que os conhecimentos adquiridos na disciplina de equipamentos elétricos possuem grande aplicação prática, permitindo a execução do serviço a contento. Os ensaios realizados em isoladores poliméricos permitiram ao aluno o manuseio da câmara de névoa do LAT, sendo este um ambiente em que poucos alunos possuem conhecimento de seu funcionamento. Já o conserto e calibração dos Wattímetros só foi possível devido ao conhecimento adquirido nas disciplinas oferecidas pelo curso que tratam de componentes eletrônicos, tais como: Dispositivos Eletrônicos e Eletrônica.

Portanto, o aluno teve a oportunidade de realizar diversos ensaios em diferentes ambientes do laboratório, abrangendo o conhecimento a respeito do funcionamento dos equipamentos constituintes do LAT. Esse conhecimento, possibilita praticidade suficiente ao aluno para coordenar ensaios elétricos em diversos ambientes do laboratório.

REFERÊNCIAS

ABNT, NBR 7117. **Medição de Resistividade e Determinação da Estratificação do Solo**, 2012.

ABNT, NBR IEC 60060-1. **Técnicas de Ensaio Elétricos de Alta Tensão**, 2013.

AEMC INSTRUMENTS. **Ground Resistance Tester Model**. Disponível em: <<https://www.aemc.com/products/ground-testers/ground-tester-6472>>. Acesso em: novembro, 2019

AMERICO, J. P. et al. **Um Estudo Qualitativo das Técnicas Utilizadas para Medição e Localização de Descargas Parciais em Transformadores de Potência**. Revista Espacios, v. 38, n. 34, 2017.

ARAÚJO, J. F. **Relatório de Estágio Supervisionado**. Universidade Federal de Campina Grande, Brasil, 2012.

BEZERRA, G. V. N. et al. **Análise de sistemas de aterramento com hastes concretadas submetidos a correntes impulsivas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2017.

CEPEL. **Medição de Descargas Parciais – Método Eletromagnético**. Disponível em: <cepel.br/pt_br/produtos/medicao-de-descargas-parciais-metodo-eletromagnetico>. Acesso em: novembro, 2019.

FILHO, H. R. P. **Medindo a resistividade do solo para fins de aterramento elétrico**. Revista da Norma, 2018. Disponível em: <https://revistaadnormas.com.br/2018/07/31/medindo-a-resistividade-do-solo-para-fins-de-aterramento-eletrico/>. Acesso em: novembro, 2019.

GSE. **Grupo de Sistemas Elétricos**. Disponível em: <<https://sites.google.com/a/dee.ufcg.edu.br/gse/>>. Acesso em: 05 de novembro, 2019.

IEC 60270. **Partial Discharge Measurements**. 12 High-Voltage Test Techniques, 2000.

TURNELL, A. V. **Estudo, Projeto e Construção de Resistores para Aplicação em um Gerador de Impulso de Tensão**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2014.

BARBOSA, L. A. **Wattímetro Microprocessado**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2016.

APÊNDICE A

