



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

LAYSA LÚCIA DE SOUZA



Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO  
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2017

LAYSA LÚCIA DE SOUZA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Graduação em 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: Eletrotécnica

Professor George Rossany Soares de Lira, D.Sc.  
Orientador

Campina Grande  
2017

LAYSA LÚCIA DE SOUZA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Graduação em 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: Eletrotécnica

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

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

Dedico este trabalho aos meus pais e às minhas irmãs, que sempre acreditaram e confiaram no meu potencial, mesmo quando eu mesma não acreditava.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Pai Celestial, em primeiro lugar, pela minha vida e pelos dons da perseverança e da resiliência, que me permitiram concluir este trabalho.

Agradeço à minha mãe, Maria Lúcia, e ao meu pai, José Luiz, por terem se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, sempre me estimulando com força e coragem, as quais foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada. Às minhas irmãs e minha sobrinha, que com todo carinho e apoio, sempre me incentivaram para eu chegar a esta etapa da minha vida.

Não posso esquecer de agradecer também ao meu orientador, Professor George, pela orientação e pela confiança em mim depositada.

Aos alunos da pós graduação, Henrique e Herbet, pelos maravilhosos momentos de descontração, por me transmitem novos conhecimentos e me ajudarem a executar as tarefas do estágio.

A Adriano, que esteve comigo durante todos os dias de trabalho no laboratório, me ensinando e me auxiliando nas atividades práticas e na escrita do relatório. Obrigada por tornar o meu estágio muito mais interessante do que eu jamais esperei, por me fazer rir todos os dias e por ter criado um laço tão importante comigo.

Aos funcionários do LAT, mais especificamente a Francisco, Adriano e Igor, pela grande ajuda sempre que precisei.

Agradeço às novas amigas que fiz.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, contribuíram positivamente durante o meu estágio.

“Não tente. Faça...ou não faça. Não há tentativa”  
Mestre Yoda

## RESUMO

Neste relatório serão descritas as atividades desenvolvidas pela aluna Laysa Lúcia de Souza desenvolvidas durante o Estágio Curricular Supervisionado, com carga horária de 180 horas e sem vínculo financeiro, realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da UFCG. Serão abordadas atividades relativas à manutenção, ensaios e monitoramento de disjuntores de alta tensão, ensaios em transformadores de distribuição, fabricação e uso de antenas no monitoramento dos disjuntores e estudo das normas descritivas do processo de acreditação de laboratórios para ensaios e calibrações.

**Palavras-chave:** Disjuntores, Antenas, Acreditação, MRD, Transformador, Ensaios.

# ABSTRACT

This report will describe the activities developed by the student Laysa Lúcia de Souza developed during the Supervised Curricular Internship, with an hourly workload of 180 hours and with no financial bond, performed at the UFCG High Voltage Laboratory (LAT). Activities related to the maintenance, testing and monitoring of high voltage circuit breakers, distribution transformers tests, manufacture and use of antennas in the monitoring of circuit breakers and study of the descriptive standards of the process of accreditation of laboratories for tests and calibrations will be addressed.

**Keywords:** Circuit Breakers, Antennas, Accreditation, MRD, Transformer, Tests.



# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Salão de Alta Tensão.....	16
Figura 2. Disjuntor PL15 C a pequeno volume de óleo.....	20
Figura 3. Estrutura típica de um transformador trifásico.....	23
Figura 4. Disjuntor trifásico do tipo PVO. ....	25
Figura 5. (a) Peças que compõem um polo, (b) Polo aberto e (c) Contatos fixo e móvel. ....	26
Figura 6. (a) Óleo em análise de rigidez dielétrica e (b) Dados obtidos.....	27
Figura 7. (a) Bomba à vácuo e (b) Filtros utilizados na bomba à vácuo. ....	28
Figura 8. (a) Contatos fixos de um disjuntor e (b) Contatos móveis de um disjuntor. ....	30
Figura 9. (a) Fonte de Tensão, (b) Resistência Adaptável, (d) Bateria Estacionária, (d) Osciloscópio Digital e (e) Sistema completo. ....	31
Figura 10. Sinais de Tensão e Corrente captados pelo osciloscópio. ....	32
Figura 11. (a) Frente e (b) Verso da antena. ....	33
Figura 12. Antenas posicionadas para captação de sinais eletromagnéticos. ....	35
Figura 13. Sinal eletromagnético captado pelas antenas. ....	35
Figura 14. Arranjo experimental para testes com o transformador.....	37
Figura 15. (a) $\lambda \times I$ da fase $X_1$ , (b) $\lambda \times I$ da fase $X_2$ e (c) $\lambda \times I$ da fase $X_3$ .....	39
Figura 16. Curva BxH referente ao enrolamento $X_2$ . ....	42

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Medição de corrente na fase $X_1$ . .....	37
Tabela 2. Medição de corrente na fase $X_2$ . .....	38
Tabela 3. Medição de corrente na fase $X_3$ . .....	38
Tabela 4. Medição da tensão nas espiras no enrolamento $X_1$ . .....	40
Tabela 5. Medição da tensão nas espiras no enrolamento $X_2$ . .....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CIDA	Canadian International Development Agency
CGCRE	Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro
DICLA	Divisão de Acreditação de Laboratórios e de Provedores de Ensaio de Proficiência
GAT	Grupo de Alta Tensão
GTZ	German Technical Cooperation Agency
LAT	Laboratório de Alta Tensão
LABIS	Laboratório de Isolamento Elétricos
LEASE	Laboratório de Eletrônica Aplicada a Sistemas Elétricos
LDP	Laboratório de Descargas Parciais
LGIC	Laboratório do Gerador de Impulso de Corrente
LMEE	Laboratório de Materiais e Equipamentos Elétricos
LQE	Laboratório de Qualidade da Energia
LSM	Laboratório de Simulações Multifísicas
MRD	Medição da Resistência Dinâmica
MRDC	Medição da Resistência Dinâmica dos Contatos
NBR	Norma Brasileira
PVO	Pequeno Volume de Óleo
SAT	Salão de Alta Tensão
SKAT	Sala do Kit de Alta Tensão

# SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
Lista de Ilustrações.....	ix
Lista de Tabelas.....	x
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	xi
Sumário.....	xii
1 Apresentação.....	13
2 Introdução.....	14
3 O Laboratório de Alta Tensão.....	15
4 Fundamentação Teórica.....	19
4.1 Disjuntores.....	19
4.2 Antenas.....	22
4.3 Transformadores.....	23
5 Atividades Desenvolvidas.....	25
5.1 Manutenção de Disjuntores.....	25
5.2 Tratamento do Óleo Isolante.....	27
5.3 Medição da Resistência Dinâmica dos Contatos de um Disjuntor (MRDC).....	30
5.4 Fabricação e Uso de Antenas no Monitoramento de Disjuntores.....	33
5.5 Determinação da Curva de Magnetização, Número e Relação de Espiras de um Transformador	36
5.6 Estudos Introdutórios ao Processo de Acreditação de Laboratórios.....	42
6 Conclusão.....	45
Referências.....	46

# 1 APRESENTAÇÃO

O presente relatório refere-se ao estágio supervisionado realizado pela aluna do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Laysa Lúcia de Souza, no Laboratório de Alta Tensão (LAT), da mesma instituição. O estágio teve vigência durante o período de 15/05/2017 a 28/07/2017, sob orientação do Professor George Rossany Soares de Lira e supervisão do Professor André Dantas Germano.

O estágio supervisionado teve carga horária de 180 horas, e é uma disciplina integrante da grade curricular do curso de Engenharia Elétrica, indispensável para obtenção do diploma de Engenheiro Eletricista.

## 2 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico das últimas décadas provocou e influenciou significativamente mudanças no setor elétrico, mudanças estas que vão desde a etapa de geração da energia até o momento em que ela é entregue ao consumidor. Em paralelo a esse avanço, requisitos como confiabilidade, qualidade, continuidade e segurança no serviço oferecido estão sendo cobrados das empresas fornecedoras de energia em um nível cada vez mal elevado.

Como consequência natural dessa evolução, faz-se necessário a formação de funcionários cada vez mais capacitados e adaptáveis aos desafios e exigências proporcionados pelo mercado. Sendo assim, o engenheiro formado deve sempre ir em busca de inovação, modernização e otimização. Isso é feito a partir do momento em que as soluções convencionais questionadas, os problemas são colocados em análise, entendidos e novas soluções são formuladas.

Aplicar os conhecimentos adquiridos durante os anos de graduação é o início de tudo, pois realizar a conexão entre o que foi visto em sala de aula e um problema real é a principal habilidade buscada por qualquer profissional. Uma vez que essa conexão esteja bem estabelecida, a prática estimulará e aperfeiçoará o processo de solução de problemas.

Nesse contexto, esse relatório apresenta as atividades desenvolvidas durante o estágio supervisionado relatando as experiências adquiridas e as dificuldades encontradas ao longo do período.

### 3 O LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

O Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) localizado no Bloco CF do Campus Sede da UFCG, atua prioritariamente no apoio às atividades de ensino, pesquisa e extensão da UFCG. Adicionalmente, o LAT disponibiliza sua infraestrutura ao atendimento de demandas de usuários externos, tais como, outras universidades, indústrias locais, peritos judiciais e órgãos da administração pública que necessitem de seus serviços.

O LAT entrou em operação em 1975 e passou a ser utilizado por pesquisadores do Grupo de Alta Tensão (GAT) da UFCG (então Universidade Federal da Paraíba) no desenvolvimento de atividades de ensino e pesquisa. O Grupo era formado na época por professores e pesquisadores brasileiros, europeus, indianos e canadenses. Os pesquisadores estrangeiros tiveram suporte financeiro do governo brasileiro e de agências de fomento estrangeiras. O LAT obteve por meio de convênios com a Canadian International Development Agency (CIDA) e a German Technical Cooperation Agency (GTZ) diversos equipamentos de alto custo e complexidade, que o permitiram caracterizar-se como o Laboratório mais bem equipado e estruturado do Norte/Nordeste/Centro-Oeste do Brasil, na época. Atualmente, o LAT é reconhecido como um dos Laboratórios mais bem estruturados do Brasil, em especial, com relação às Universidades e Instituições de Pesquisa.

Desde sua implantação, o LAT vem interagindo com outros grupos de pesquisa da UFCG e de instituições parceiras, além de empresas e entidades do setor produtivo. A partir dessas interações/cooperações foram produzidas (no Brasil) as primeiras dissertações de mestrado e teses de doutorado na área de Sistemas Elétricos/Alta Tensão, além de uma miríade de trabalhos/materiais técnico-científicos e instrucionais, que viabilizaram a formação e qualificação de centenas de engenheiros ao longo dos anos. Têm sido fruto, também, dessas cooperações, a participação em dezenas de Projetos de Pesquisa & Desenvolvimento com empresas do Setor Elétrico, além da solução de diversas demandas técnicas oriundas de empresas.

O LAT possui equipamentos sofisticados, cujos valores ultrapassam três milhões de dólares e um corpo técnico formado por docentes-pesquisadores, engenheiros e

técnicos dos mais qualificados e experientes. Sua área total construída é cerca de 1.050 m<sup>2</sup>.

Nos últimos 25 anos, foi realizado um grande número de ensaios elétricos, de recebimentos e pós-reparos eletromecânicos, além de apoio às pesquisas de desenvolvimento de equipamentos. Várias empresas da região Nordeste, a exemplo da CHESF, PETROBRÁS, CELB, SAELPA, CEAL, JPW, CEMEC, ALCACE, entre outras, têm solicitado os serviços do LAT.

Atualmente, o LAT é composto pelos seguintes ambientes de laboratório (LAT, 2016):

- **Laboratório de Materiais e Equipamentos Elétricos (LMEE):** No LMEE são realizados testes elétricos e magnéticos em materiais e equipamentos empregados no setor elétrico. O LMEE possui fontes de alta tensão, medidores de tangentes de perdas e fator de potência, medidor de rigidez dielétrica, termovisor, entre outros.
- **Salão de Alta Tensão (SAT):** No SAT, apresentado na Figura 1, são realizados testes elétricos de aplicações de tensões até 600 kV AC e 750 kV impulsiva em materiais e equipamentos elétricos. O SAT é composto por uma fonte de tensão em cascata de 600 kV AC, por um gerador de impulso de tensão de 750 kV, além de equipamentos acessórios como divisores de tensão e capacitores padrão. O SAT ocupa cerca de 40% do LAT, devido às dimensões dos equipamentos existentes.

Figura 1. Salão de Alta Tensão.



Fonte: Autoria Própria.



- **Laboratório do Gerador de Impulso de Corrente (LGIC):** No LGIC são realizados ensaios elétricos em equipamentos e sistemas elétricos envolvendo à aplicação de impulsos de corrente de até 100 kA. O LGIC é composto por gerador de impulsos de corrente capaz de gerar correntes impulsivas de até 100 kA e correntes com forma de onda quadrada de até 500 A. Além do gerador, o LGIC possui diversos equipamentos acessórios utilizados na customização e medição dos sinais de corrente.
- **Sala do Kit de Alta Tensão (SKAT):** Na SKAT são realizados ensaios com tensões alternadas, contínuas e impulsivas até 100 kV. Este laboratório é comumente utilizado nas atividades de ensino e pesquisa, quando se está interessado em analisar/obter o comportamento de amostras de materiais e equipamentos elétricos. O principal equipamento do laboratório é o kit de alta tensão, com ele é possível realizar vários tipos de testes com tensões de carregamento de até 100 kV.
- **Laboratório de Descargas Parciais (LDP):** No LDP são realizados ensaios em materiais e equipamentos com o intuito de avaliar a existência de Descargas Parciais, as quais com o tempo danificam permanentemente os isolamentos. O LDP é composto por uma fonte alta tensão e um sistema de medição e detecção de Descargas Parciais.
- **Laboratório de Isolamento Elétricos (LABIS):** No LABIS são realizados ensaios em isolamentos elétricos com a finalidade de detectar falhas nos mesmos que venham a colapsar o sistema elétrico. Além disso, são realizados testes de novos materiais isolantes. O LABIS é composto por fonte de alta tensão, sistemas digitais de aquisição de dados, detector de descarga de corona, entre outros.
- **Laboratório de Eletrônica Aplicada a Sistemas Elétricos (LEASE):** No LEASE são desenvolvidos sistemas de sensoriamento, medição, aquisição, transmissão e processamento de dados aplicados aos sistemas elétricos de potência. O LEASE é composto por bancadas, fontes de tensão e corrente, simuladores, fonte arbitrária de tensão e corrente, qualímetros, componentes eletrônicos diversos, computadores, entre outros.
- **Laboratório de Simulações Multifísicas (LSM):** No LSM são realizadas simulações multifísicas com objetivo de estimar o comportamento térmico, elétrico e magnético de componentes/equipamentos/estruturas físicas, em especial

no caso do LAT, dos equipamentos elétricos de potência. Para viabilizar a realização das simulações, o LAT adquiriu a licença do software COMSOL (um dos mais utilizados no mundo para simulações multifísicas) e um computador de médio porte.

- **Laboratório de Qualidade da Energia (LQE):** No LSM são realizados experimentos relacionados com a Qualidade da Energia Elétrica, seus distúrbios e o impacto dos mesmos nos equipamentos e sistemas elétricos.

O LAT também possui várias salas para alunos de graduação (bolsistas de iniciação científica e de projetos de pesquisa; estagiários e concluintes que estejam elaborando monografias), pós-graduação (existem salas para mestrandos e doutorandos); professores (todos os professores com atividades permanentes no LAT possuem sala própria); pesquisadores visitantes (reservadas para receber professores, pesquisadores e alunos de pós-doutorado de outras instituições). Além disso, conta com dois mini-auditórios para realização de aulas, cursos, treinamentos, defesas de dissertações, teses, monografia de final de curso, estágio, entre outras. Cada auditório comporta cerca de 25 pessoas e dispõe de quadro, datashow e computador (LAT, 2016)

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apresenta-se a seguir um resumo dos fundamentos teóricos requeridos para o desenvolvimento deste estágio supervisionado.

### 4.1 DISJUNTORES

Oliveira (2015) diz que os disjuntores de alta tensão, são dispositivos de proteção eletromecânicos projetados para conduzir, restabelecer e interromper correntes em um determinado ponto do circuito. Podem ser acionados manualmente ou automaticamente através de relés de proteção. Disjuntores geralmente são acionados para isolar parte de um circuito no caso de uma falha no sistema, devendo atuar o mais rápido possível antes que os efeitos térmicos e mecânicos possam causar danos às pessoas ou às instalações elétricas. Sendo assim, é importante garantir que os mesmos estejam funcionando da melhor forma possível, assegurando a qualidade, confiabilidade e continuidade no fornecimento de energia elétrica.

São constituídos por três componentes principais (OLIVEIRA, 2015):

- Câmara de extinção: compartimento vedado do disjuntor que envolve os contatos elétricos, o meio extintor e isolante (como óleo e SF 6), e também é onde acontece o isolamento e extinção de arco elétrico;
- Mecanismo de acionamento: sistema mecânico composto por molas, mecanismo pneumático ou hidráulico que fornecem a energia necessária para fechar e abrir os contatos do disjuntor. Podem ser acionados de forma manual com o uso de manoplas ou através de atuadores elétricos;
- Circuito de controle: sistema elétrico, interligado com relés de proteção, com acionamento local e/ou remoto, responsável pelas ações de comando para as operações de fechamento e abertura dos contatos do disjuntor.

Podem ser classificados de acordo com o meio utilizado para interromper os arcos elétricos nas câmaras de extinção. Esses meios são:

- Óleo: Os contatos fixo e móvel ficam imersos em óleo mineral isolante (óleo naftênico ou parafínico) que extingue o arco elétrico e isola as partes energizadas.

Os disjuntores com podem ser a pequeno volume de óleo (PVO), conforme mostrado na Figura 2, ou a grande volume de óleo (GVO);

Figura 2. Disjuntor PL15 C a pequeno volume de óleo.



Fonte: Beghim, 2017.

- Vácuo: Os contatos elétricos ficam localizados no interior de uma ampola com elevado nível de vácuo, mas ainda há registros de arcos elétricos ainda que de curta duração. Esses tipos de disjuntores vem sendo cada vez mais utilizados em sistemas de média tensão;
- SF<sub>6</sub>: Gás isolante e não inflamável ideal para fabricação de equipamentos elétricos de alto desempenho por possuir excelentes propriedades refrigerantes. Disjuntores com esse gás requerem pouca manutenção porque os componentes em que o gás se decompõe após as interrupções de corrente não são condutores;
- Ar comprimido: Ar mantido em alta pressão é usado para extinguir os arcos elétricos e para isolar o disjuntor internamente. Um reservatório fornece o ar que é propelido na direção do arco por meio de um jato transversal, eliminando o arco elétrico e produzindo pouca poluição no interior da câmara de extinção;
- Sopro magnético: Disjuntores a sopro magnético possuem várias lâminas metálicas com o propósito de dividir e resfriar o arco elétrico, facilitando a desionização e a extinção do arco. Um intenso campo magnético nas lâminas metálicas forçam o arco elétrico para dentro das câmaras de extinção, causando o esfriamento do arco.

Durante a atuação dos disjuntores, a formação dos arcos elétricos provoca a elevação de temperatura e isso é a causa mais significativa do desgaste nos contatos dos

disjuntores. Se os contatos estão desgastados, a capacidade de interrupção de corrente e, por consequência, o nível de segurança do sistema irão diminuir.

Apesar da importância da avaliação dos contatos de arco, as concessionárias de energia elétrica atualmente realizam o monitoramento dos contatos mediante a aplicação periódica da técnica de medição de resistência estática, que só é capaz de analisar os contatos principais. Normalmente, os critérios utilizados para determinar a periodicidade em que são realizados ensaios e/ou inspeções para avaliação dos disjuntores são o número de manobras e o tempo de serviço do equipamento (ADAM *et al*, 2007). Porém, o método de medição de resistência estática não fornece todas as informações necessárias para uma avaliação completa dos contatos do disjuntor.

De modo a tornar a análise da resistência dos contatos mais conclusiva, pesquisas estão sendo direcionadas para a medição da resistência dinâmica dos contatos (MRDC), com a finalidade de validá-la como uma técnica preditiva de medição eficiente e tentando encontrar um modelo conclusivo que correlacione as curvas de resistência dinâmica com o estado real de desgaste dos contatos (OLIVEIRA, 2015).

Por meio dos testes de MRDC é possível mensurar o comprimento do arco de contato e por comparação com o valor medido quando novo determina-se o nível de desgaste. Logo, é um teste de resistência de contato, mas em vez de considerar um único valor obtido quando os contatos do disjuntor estão fechados (valor estático), a resistência é medida no tempo durante uma simulação de operação de abertura do disjuntor. Entretanto, as medições não apresentam bons resultados durante operações de fechamento, visto que a corrente contínua existente no momento do contato galvânico dos contatos de arco gera um ruído indesejável, que compromete os resultados (LANDRY *et al*, 2008; LANDRY *et al*, 2006).

Apesar de ainda não existir um modelo conclusivo de análise das curvas de resistência, pesquisas sobre MRD mostram que é possível correlacionar o padrão das curvas de resistência dinâmica com o estado real dos contatos de disjuntores, mediante a aplicação de técnicas de apoio e bancos de dados, resultando em um diagnóstico mais preciso e eficiente (LANDRY *et al*, 2006; LANDRY *et al*, 2008).

## 4.2 ANTENAS

Os primeiros registros históricos de antenas são datados de 1886 e presume-se que foram criadas por Heinrich Hertz para auxiliar nos estudos de teorias eletromagnéticas propostas por James Clerk Maxwell. Desde as primeiras antenas, no fim do século 19, até a atualidade, os princípios físicos que regem seu projeto e desenvolvimento foram aprimorados, com novas maneiras e tecnologias de se transmitir e receber sinais eletromagnéticos.

Pode-se definir antena como sendo um dispositivo cuja função é transformar a onda eletromagnética guiada pela linha de transmissão em onda eletromagnética irradiada no espaço. Pode-se também dizer que esta regra serve também no sentido inverso, isto é, transformar uma onda eletromagnética irradiada no espaço em sinal de radiofrequência guiada para a linha de transmissão. Portanto, sua função é primordial em qualquer comunicação onde exista radiofrequência.

Com relação aos disjuntores, antenas estão sendo utilizadas como ferramentas importantíssimas em pesquisas relacionadas ao comportamento dos mesmos. Atualmente, as concessionárias de energia elétrica fazem uso de equipamentos de medição conhecidos como analisadores de disjuntores para obter informações, mas o uso de tal equipamento tem certas complicações, visto que sua implementação requer a retirada de operação do disjuntor a ser avaliado. Essa retirada, mesmo que temporária, representa um problema pois está associada a diversos custos adicionais, como interrupção do fornecimento de energia, compra de materiais adicionais e contratação de mão de obra extra.

Nesse contexto, estudos de técnicas não invasivas de análises e obtenção de dados estão entrando cada vez mais no foco dos pesquisadores. Uma dessas técnicas envolve o estudo do sinal eletromagnético irradiado durante as operações do disjuntor, cuja medição é feita com o auxílio de antenas direcionais e sensores capacitivos. A análise destes sinais vem sendo realizada com o objetivo de avaliar, principalmente, o estado do sistema de acionamento de disjuntores e o esforço ao qual os mesmos são submetidos devido à formação de arcos elétricos.

## 4.3 TRANSFORMADORES

Inventado em 1831 por Michael Faraday, os transformadores são dispositivos que funcionam através da indução de corrente de acordo com os princípios do eletromagnetismo, ou seja, ele funciona baseado nos princípios eletromagnéticos da Lei de Faraday-Neumann-Lenz e da Lei de Lenz, na qual afirma-se que é possível criar uma corrente elétrica em um circuito uma vez que esse seja submetido a um campo magnético variável, e é por necessitar dessa variação no fluxo magnético que os transformadores só funcionam em corrente alternada.

São compostos basicamente pelo enrolamento, composto por bobinas geralmente feitas de cobre eletrolítico, e por um núcleo de material ferromagnético. Se o transformador tem dois enrolamentos, é comum denomina-los de primário e secundário. Se há três enrolamentos, como exibido na Figura 3, o terceiro enrolamento é o terciário.

Figura 3. Estrutura típica de um transformador trifásico.



Fonte: Minulight, 2017.

Se a fonte é conectada do lado de baixa tensão e a carga do lado de alta tensão, o transformador é dito elevador de tensão. No caso contrário, ele é dito abaixador de tensão. A classificação de transformadores é feita com base no nível de tensão, na potência e no número de fases.

Os métodos de ensaios a serem realizados em transformadores são determinados pela ABNT por meio da norma NBR 5380 e são classificados em dois tipos: ensaios de rotina e ensaios de tipo. Ensaios de rotina tem como objetivo verificar e comprovar a qualidade do material e mão de obra utilizados na fabricação do transformador; ensaios

de tipo verificam se um determinado transformador será satisfatório para determinadas condições de operação em um sistema.



## 5 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

No Laboratório de Alta Tensão, local onde ocorreu o estágio, diversas atividades foram realizadas, a maioria consistindo em participação e acompanhamento de projetos de alunos da pós graduação. Iniciou-se com a manutenção de disjuntores de alta tensão, indo desde o processo de limpeza dos mesmos até o tratamento do óleo isolante.

Em seguida, tem-se a fabricação e uso de antenas em monitoramento de disjuntores por meio do sinal eletromagnético irradiado pelo arco elétrico, além de medições de resistência dinâmica dos contatos dos disjuntores. Por fim, foram realizados alguns experimentos com transformadores para coleta de dados que seriam usados por alunos de mestrado, e acompanhamento de ensaios em equipamentos de proteção individual e ferramentas.

### 5.1 MANUTENÇÃO DE DISJUNTORES

No LAT, foi feito inicialmente o acompanhamento do projeto de pesquisa do doutorando Adriano Costa de Oliveira. O estágio teve por ponto de partida a limpeza de três disjuntores trifásicos do tipo PVO, modelo PL 15C, classe de tensão 15 kV, corrente nominal 630 A, de fabricação da Siemens. Um dos disjuntores pode ser visto na Figura 4.

Figura 4. Disjuntor trifásico do tipo PVO.



Fonte: Autoria Própria.

O óleo dos três polos de cada um dos disjuntores foi retirado e reservado em um recipiente à parte. Os polos foram desmontados e as peças que o compõem foram retiradas para efetuar total limpeza da área, conforme é possível ver na Figura 5.

Figura 5. (a) Peças que compõem um polo, (b) Polo aberto e (c) Contatos fixo e móvel.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autorial Própria.

Na Figura 5c é possível ver que o contato móvel está visivelmente desgastado, possivelmente por efeito de atrito entre os contatos, pela corrente elétrica de carga e pelos arcos elétricos, sendo este último a causa mais significativa.

A resistência elétrica dos contatos, que idealmente deveria ser zero, vai aumentando a medida que eles vão se desgastando. Por este motivo, as principais técnicas destinadas a verificar o grau de degradação dos contatos se baseiam na medição de resistência. Dependendo da fabricação dos contatos, também é possível que a degradação provoque uma erosão dos contatos, de tal forma a reduzir o seu comprimento (OLIVEIRA, 2015).

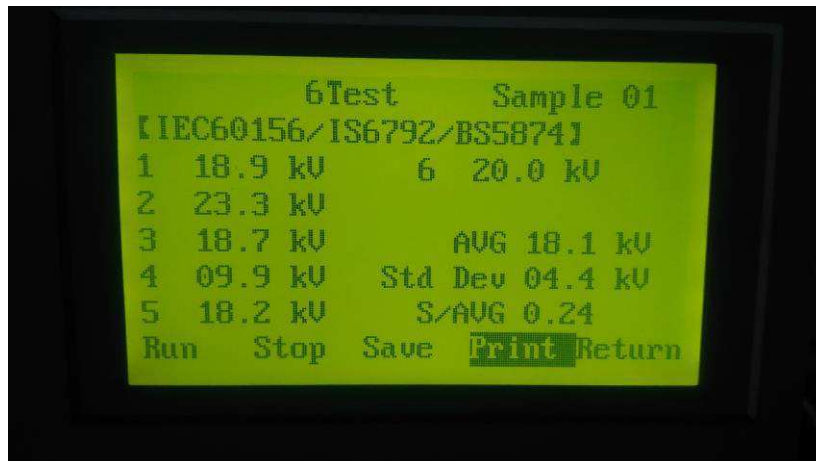
## 5.2 TRATAMENTO DO ÓLEO ISOLANTE

Uma vez que o interior dos polos esteja limpo, a próxima etapa é o tratamento do óleo isolante. Todo o óleo foi submetido à análise para avaliação da tensão de ruptura por meio do teste da rigidez dielétrica. Essa análise foi feita utilizando o *Transformer Oil BDV Tester*, exibido na Figura 6.

Figura 6. (a) Óleo em análise de rigidez dielétrica e (b) Dados obtidos.



(a)



(b)

Fonte: Autoria Própria.

Utilizando a norma IEC60156, tem-se que a tensão disruptiva da análise de rigidez de óleo utilizando eletrodo de disco, que foi o utilizado no teste durante o estágio, deve ser de no mínimo 30 kV. Observado os valores obtidos nos 6 testes e exibidos na Figura 6b, vemos que nenhum deles alcançou o valor mínimo estabelecido pela norma. Sendo assim, é necessário tratar o óleo.

Após a análise, o óleo foi colocado na estufa por pelo menos 24 horas e, após isso, tratado na bomba à vácuo mostrada na Figura 7. O objetivo dessa etapa é eliminar a umidade e possíveis bolhas de ar que possam vir a diminuir a capacidade isolante do óleo.

Figura 7. (a) Bomba à vácuo e (b) Filtros utilizados na bomba à vácuo.



(a)



(b)

Fonte: Aatoria Própria.

Analisando a Figura 7b da direita para a esquerda, tem-se um filtro que não foi usado e dois filtros já usados. O filtro localizado mais à esquerda na imagem foi utilizado para filtrar o óleo que estava visivelmente mais sujo, mas mesmo após todo o tratamento de limpeza, esse óleo foi descartado.

Esse procedimento é necessário porque a concentração de impurezas no óleo pode tornar o disjuntor susceptível a falhas de operação, conseqüentemente reduzindo a confiabilidade do sistema elétrico. A função da manutenção é assegurar aos equipamentos um elevado grau de disponibilidade e confiabilidade durante o desempenho de suas funções. Se essa manutenção for definida da maneira mais adequada, índices de falhas e acidentes irão diminuir, reduzindo os custos com reparos, bem como o tempo de inatividade do equipamento, e melhoria da segurança pessoal e material.

A manutenção deve ser realizada de acordo com a presença de fatores como:

- Oxidação dos equipamentos;
- Altas temperaturas;
- Alto índice de umidade;
- Excesso de sujeira no ambiente de operação dos disjuntores;
- Tempo de funcionamento dos equipamentos;
- Quantidade de interrupções de falhas.

De acordo com os resultados obtidos pelas técnicas de monitoramento, alguns serviços de manutenção podem ser necessários. Se for o caso, o disjuntor passará por uma série ajustes ou reparos e novamente submetidos a ensaios para verificar se os problemas foram eliminados.

### 5.3 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DINÂMICA DOS CONTATOS DE UM DISJUNTOR (MRDC)

A avaliação do processo de degradação dos contatos principais e de arco, exibidos na Figura 8, em disjuntores através da MRDC se faz necessária para o acompanhamento da evolução do desgaste desde o estágio inicial, quando os disjuntores são novos, até o estágio final, quando os disjuntores apresentam contatos deteriorados devido ao arco elétrico.

Figura 8. (a) Contatos fixos de um disjuntor e (b) Contatos móveis de um disjuntor.



(a)



(b)

Fonte: Adaptado de Oliveira, 2015.

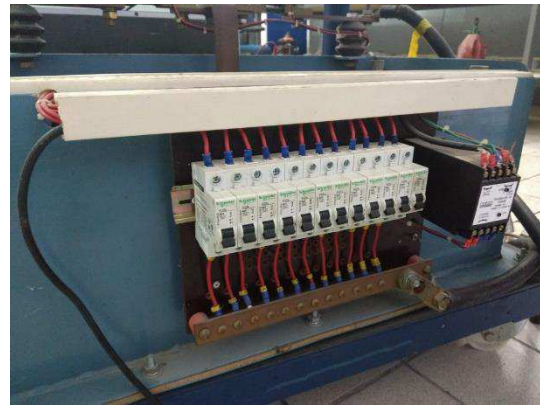
O sistema de testes para MRD utilizado no laboratório foi desenvolvido inicialmente por Souza & Costa (2014) e vem passando por melhorias e adaptações conforme as pesquisas vem avançando, de modo a possibilitar a realização dos ensaios com redução/controlar a velocidade de abertura dos contatos.

A corrente de teste é fornecida por meio de uma associação entre uma bateria estacionária (12 V / 220 Ah) em série com uma resistência ajustável de cromo-alumínio-ferro ( $0,040 \Omega \sim 1,2 \Omega / 4 \text{ kW}$ ). A recarga da bateria é feita por meio de uma fonte de tensão e todos os dados são obtidos com o auxílio de um osciloscópio digital de 4 canais. Todos os equipamentos integrantes bem como o sistema completo podem ser vistos na Figura 9.

Figura 9. (a) Fonte de Tensão, (b) Resistência Adaptável, (d) Bateria Estacionária, (d) Osciloscópio Digital e (e) Sistema completo.



(a)

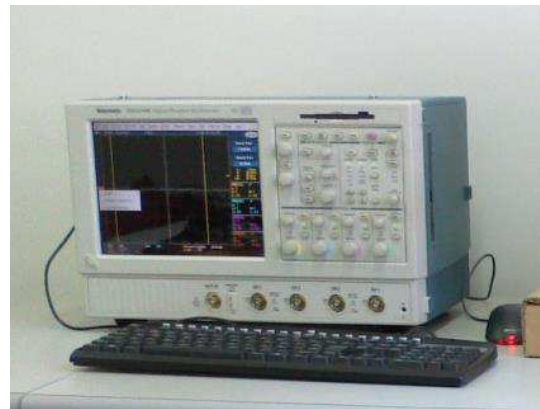


(b)

Fonte: Autoria Própria.



(c)



(d)

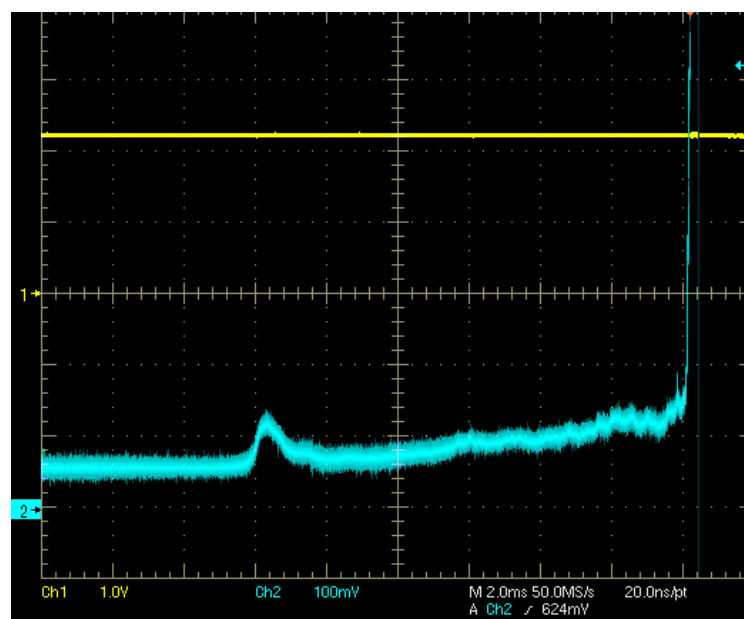


(e)

Fonte: Adaptada de Oliveira, 2015.

Durante as sucessivas simulações de abertura dos contatos dos disjuntores, os sinais de tensão e corrente são captados por um dos canais do osciloscópio e exportados para um computador. A partir daí, os pesquisadores processam esses dados por meio de uma rotina computacional elaborada no Matlab®, que resultará em curvas de resistência dinâmica utilizando a Lei de Ohm. Um exemplo dos sinais captados pelo osciloscópio é mostrado na Figura 10, na qual a linha amarela representa a corrente e a linha azul mostra a queda tensão entre os contatos.

Figura 10. Sinais de Tensão e Corrente captados pelo osciloscópio.



Fonte: Autoria Própria.



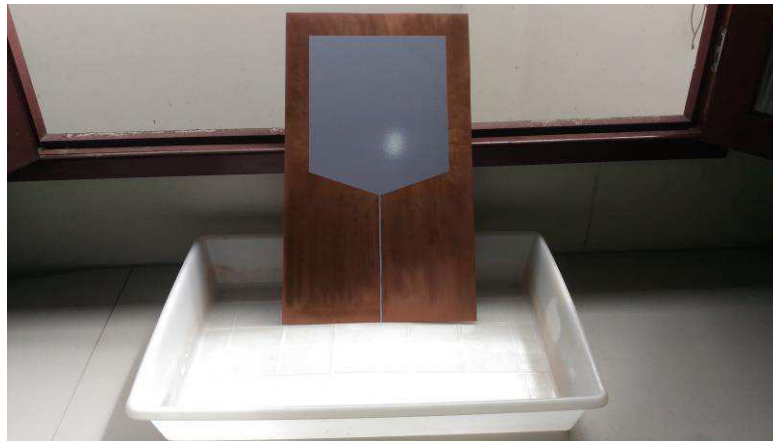
É possível ver que a tensão os terminais do disjuntor (sinal azul) cresce rapidamente quando ocorre a abertura do contato.

## 5.4 FABRICAÇÃO E USO DE ANTENAS NO MONITORAMENTO DE DISJUNTORES

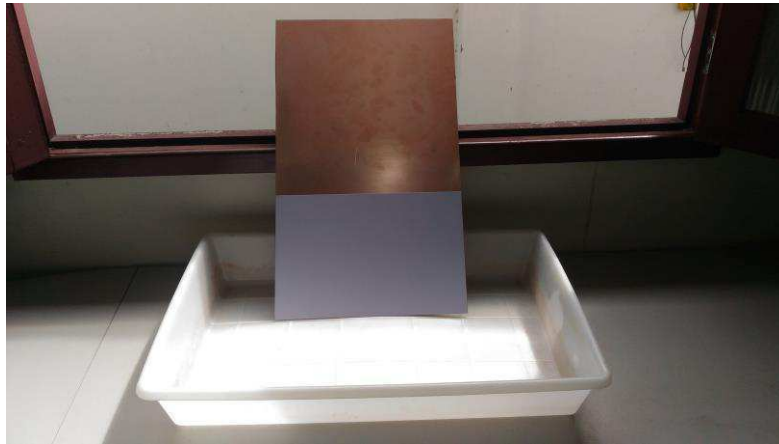
A próxima atividade realizada foi a fabricação de antenas do tipo *patch* para utilização em monitoramento de disjuntores. Inicialmente, um dos alunos de pós graduação projetou a antena apropriada para o desenvolvimento dos testes e a mesma foi confeccionada em uma placa de cobre idêntica àquelas utilizadas na fabricação de circuitos impressos.

O elemento radiante é projetado com o auxílio de adesivos plásticos, conforme é possível ver na Figura 11, pois a antena será mergulhada em uma solução ácida para a remoção completa do cobre que não será utilizado para captação de sinais.

Figura 11. (a) Frente e (b) Verso da antena.



(a)



(b)

Fonte: Autoria Própria.

Após a fabricação de duas dessas antenas, deu-se início à coleta de dados relacionados à irradiação eletromagnética dos arcos elétricos. Esses sinais irradiados são objetos de estudo de uma das linhas de pesquisa do Laboratório de Alta Tensão.

O arranjo de testes é composto por uma antena *patch* e uma antena direcional Log-Periódica de banda larga posicionadas à 2 metros e 6 metros, respectivamente, dos polos do disjuntor. Ambas as antenas estão conectadas a um osciloscópio digital de 4 canais que irá servir como ferramenta de coleta dos dados relacionados aos sinais irradiados cada vez que o disjuntor for acionado. Na Figura 12 é possível verificar o posicionamento das antenas em relação ao disjuntor.

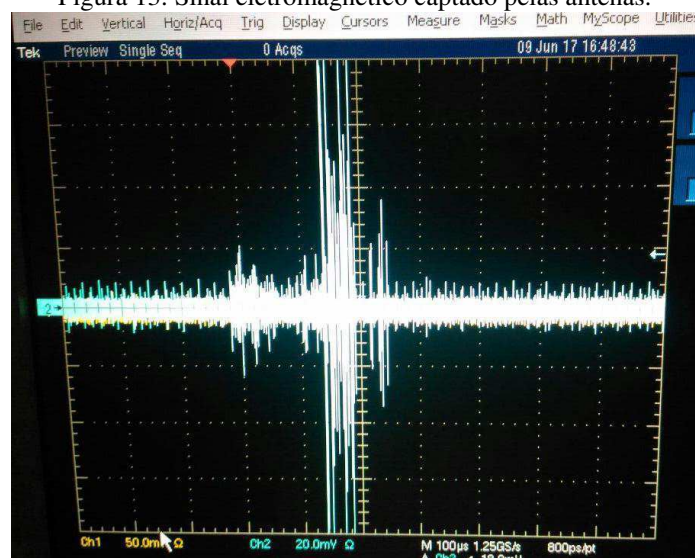
Figura 12. Antenas posicionadas para captação de sinais eletromagnéticos.



Fonte: Autoria Própria.

O objetivo de utilizar duas antenas é comparar os resultados obtidos por cada uma delas quando o disjuntor é acionado. Um exemplo do sinal captado é exposto na Figura 13.

Figura 13. Sinal eletromagnético captado pelas antenas.



Fonte: Autoria Própria.

Sinais como o da Figura 13 vão ser analisados nas pesquisas da pós graduação com o objetivo de colher informações a respeito do funcionamento dos disjuntores. Tais estudos são feitos em busca de resultados que possam auxiliar no monitoramento de disjuntores sem a necessidade da retirada de operação dos mesmos do sistema.

A coleta de dados utilizando antenas teve de ser interrompida algumas vezes ao longo do estágio da discente devido, inicialmente, a cabos avariados. Uma vez resolvido este problema, os testes foram reiniciados e logo em seguida interrompidos novamente. A causa, dessa vez, foi a presença de uma forte interferência que inviabilizou a continuidade dos testes.

## 5.5 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE MAGNETIZAÇÃO, NÚMERO E RELAÇÃO DE ESPIRAS DE UM TRANSFORMADOR

As curvas de magnetização típicas de materiais ferromagnéticos mostram que o fluxo magnético cresce rapidamente com o aumento da intensidade do campo magnético. Isto indica que a aplicação de um pequeno campo é suficiente para causar crescimento nos domínios magnéticos e seu consequente alinhamento. No entanto, à medida que o campo aplicado cresce, a inclinação da curva de magnetização se reduz, indicando que os efeitos de alinhamento e movimento das paredes dos domínios estão ocorrendo com menos intensidade. O efeito de redução na inclinação da curva tendendo para um valor quase constante é denominado de saturação. Em teoria, a completa saturação ocorrerá se todos os domínios magnéticos estiverem em completo alinhamento com a direção do campo externo aplicado.

Nesse contexto, a próxima atividade consistiu em auxiliar outro grupo de pesquisa voltado ao estudo e modelagem de transformadores. O objetivo do experimento consistiu em determinar a curva de magnetização ( $\lambda_{\max}$  versus  $I_{\max}$ ) e realizar uma análise do número de espiras dos enrolamento do transformador estudado, que não possuía placa.

Os equipamentos utilizados estão expostos na Figura 14 e são:

- Transformador;
- Fonte de Alimentação;
- Voltímetro;
- Amperímetro.

Figura 14. Arranjo experimental para testes com o transformador.



Fonte: Autoria Própria.

O procedimento de medição consistiu em conectar a fonte de tensão variável a uma das bobinas do lado X do transformador e medir os valores eficazes de tensão e corrente elétrica. O procedimento foi repetido para as três fases. As correntes foram mensuradas de acordo com cada valor de tensão aplicada e esses valores são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Medição de corrente na fase X<sub>1</sub>.

<b>V (VOLTS)</b>	<b>I (AMPÈRES)</b>
<b>0</b>	0
<b>25</b>	0,09
<b>51</b>	0,17
<b>101</b>	0,36
<b>125</b>	0,50
<b>149</b>	0,77
<b>169</b>	1,16
<b>191</b>	1,82

<b>199</b>	2,15
<b>211</b>	2,71
<b>223</b>	3,33
<b>238</b>	4,24
<b>250</b>	5,07
<b>259</b>	5,83

Tabela 2. Medição de corrente na fase X<sub>2</sub>.

<b>V (VOLTS)</b>	<b>I (AMPÈRES)</b>
<b>0</b>	0
<b>25</b>	0,05
<b>50</b>	0,10
<b>100</b>	0,19
<b>125</b>	0,25
<b>150</b>	0,32
<b>175</b>	0,63
<b>220</b>	0,85
<b>231</b>	0,98
<b>266</b>	1,68
<b>298</b>	3,88
<b>310</b>	7,06
<b>314</b>	9,00

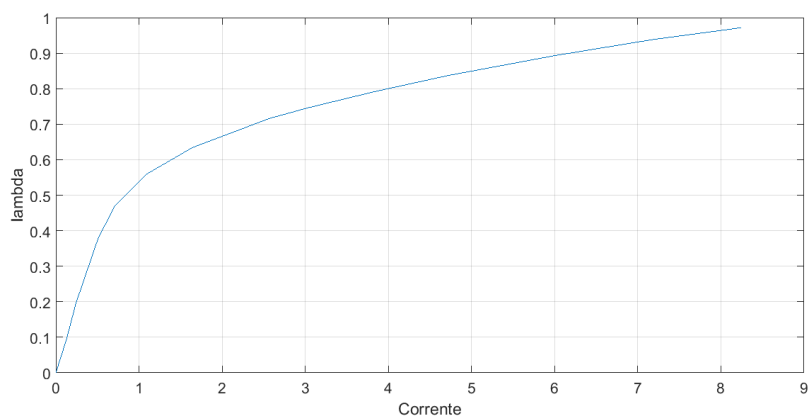
Tabela 3. Medição de corrente na fase X<sub>3</sub>.

<b>V (VOLTS)</b>	<b>I (AMPÈRES)</b>
<b>0</b>	0
<b>25</b>	0,09
<b>50</b>	0,16
<b>100</b>	0,34

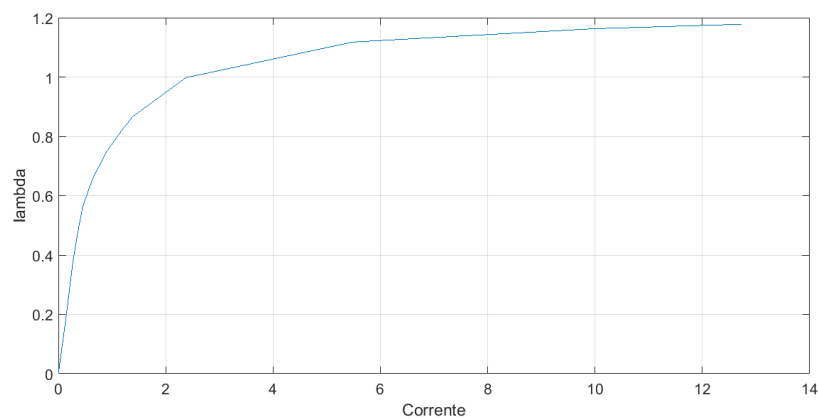
<b>126</b>	0,48
<b>150</b>	0,72
<b>175</b>	1,16
<b>204</b>	2,05
<b>224</b>	2,35
<b>250</b>	3,10
<b>270</b>	5,95
<b>290</b>	8,03

Utilizando esses valores foi possível traçar a curva  $\lambda_{\max}$  versus  $I_{\max}$  no Matlab<sup>®</sup>, conforme é possível ver na Figura 15. O objetivo do levantamento das curvas de magnetização é definir um modelo a ser inserido no *software* COMSOL<sup>®</sup>, para representar comportamento do circuito magnético do transformador.

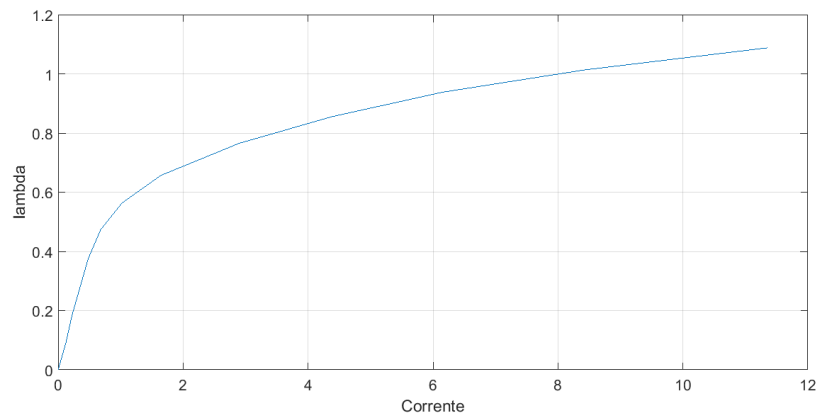
Figura 15. (a)  $\lambda \times I$  da fase  $X_1$ , (b)  $\lambda \times I$  da fase  $X_2$  e (c)  $\lambda \times I$  da fase  $X_3$ .



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autoria Própria.

Para a obtenção dos valores de pico, os valores eficazes foram multiplicados por  $\sqrt{2}$ . A estimação do valor de pico desse modo produz valores confiáveis para a tensão elétrica, que em geral apresenta pequenos valores de distorção harmônica. Entretanto, para a corrente de excitação, que possui caráter fortemente não sinusoidal, os erros podem ser não desprezíveis. Assim, foi definido, no próximo experimento, a medição de corrente seria realizada por meio de um resistor série e osciloscópio, de modo a adquirir os valores reais de corrente de pico.

Em um segundo momento, foi necessário obter dados relacionados às dimensões do transformador, como a altura e a área do núcleo. Também foi necessário determinar o número de espiras do enrolamento, que era desconhecido. Para isto, um aparato foi idealizado e este consistiu em enrolar uma nova bobina com número de espiras conhecido e inseri-la no transformador. Uma tensão foi aplicada no primário e mediu-se a tensão na nova bobina inserida. Com isso, estimou-se o número de espiras das bobinas originais do transformador. Os valores tensões mensuradas são disponibilizados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Medição da tensão nas espiras no enrolamento  $X_1$ .

<b>ENTRADA (VOLTS)</b>	<b>SAÍDA (VOLTS)</b>
<b>4.85</b>	1,34
<b>9.3</b>	2,61
<b>17</b>	4,73
<b>26.6</b>	7,36
<b>34.6</b>	9,53

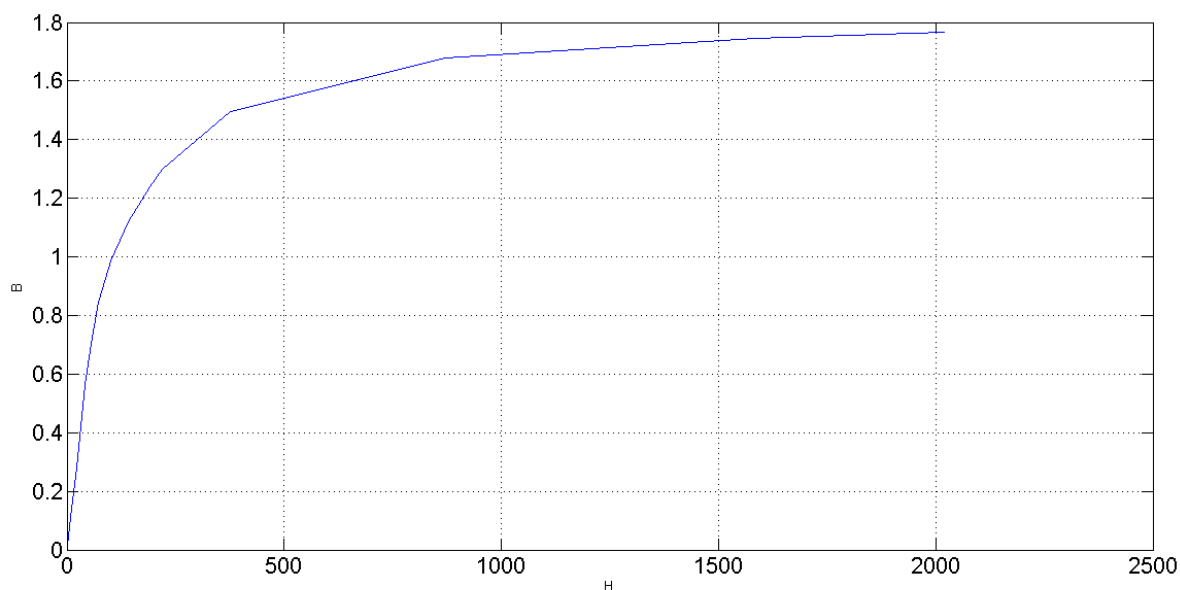


<b>44.1</b>	12,08
<b>56.2</b>	15,35
<b>64.2</b>	17,55

Tabela 5. Medição da tensão nas espiras no enrolamento X<sub>2</sub>.

<b>ENTRADA (VOLTS)</b>	<b>SAÍDA (VOLTS)</b>
<b>2.06</b>	0,70
<b>4.0</b>	1,36
<b>5.60</b>	1,90
<b>10.65</b>	3,67
<b>13.10</b>	4,42
<b>16.76</b>	5,64
<b>21.70</b>	7,32
<b>28.40</b>	9,59
<b>34.7</b>	11,74
<b>45</b>	15,25
<b>50.5</b>	17,11
<b>55.9</b>	18,90

De posse das dimensões físicas do núcleo e número de espiras dos enrolamentos, foi possível obter uma estimativa da curva B x H do material magnético do núcleo, na qual B representa a indução magnética cuja unidade é o Tesla (T), e H representa o campo magnético, cuja unidade é Ampère por metro (A/m). A curva foi traçada no Matlab® e pode ser vista na Figura 16.

Figura 16. Curva BxH referente ao enrolamento  $X_2$ .

Fonte: Autoria Própria.

O acompanhamento dos estudos posteriores relacionados ao transformador utilizado no experimento não foram realizados pela estagiária visto que o período de estágio chegou ao fim.

## 5.6 ESTUDOS INTRODUTÓRIOS AO PROCESSO DE ACREDITAÇÃO DE LABORATÓRIOS

Finalizando as atividades do estágio, foi realizado um estudo dirigido referente ao processo de acreditação de laboratórios. De acordo com os requisitos estabelecidos na norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005, a acreditação é aplicável à laboratórios de calibração e de ensaio e é concedida à laboratórios que realizam serviços de calibração e/ou ensaios em instalações permanentes, móveis, e/ou de clientes. No caso de mais de uma instalação permanente, a acreditação deve ser realizada individualmente.

A direção deve se organizar com a entidade legalmente responsável, de modo a suprir os requisitos da Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 e atender às necessidades dos clientes. O laboratório deve contar com a presença de pessoal técnico e gerencial, estar livre de pressões e influências, ter proteção de informações confidenciais, prover supervisão adequada dos ensaios, calibrações e treinamentos em execução.

É de fundamental importância, como requisitos da diretoria:

- A existência de sistemas de gestão;
- Controle de documentos;
- Análise crítica de pedidos;
- Propostas e contratos;
- Subcontratação de ensaios e calibração (por razões imprevistas);
- Aquisição de serviços e suprimentos;
- Atendimento ao cliente;
- Controle de ensaios e calibração não-conforme e melhorias;
- Controle de registros e auditorias internas.

Com relação aos requisitos técnicos é necessário que o pessoal seja devidamente qualificado, referente à formação, treinamento, experiência e habilidades específicas, bem como acomodações adequadas às condições ambientais, seleção correta dos métodos de ensaio e calibração a serem realizados na instalação. Além disso, devem contar com a aparelhagem necessária para o desempenho adequado do laboratório, garantindo a qualidade dos resultados dos ensaios e calibrações e seus respectivos relatórios e certificados.

O pedido de acreditação deve ser feito à DICLA (Divisão de Acreditação de Laboratórios e de Provedores de Ensaio de Proficiência) via e-mail. Ao preencher os formulários relacionados ao escopo da proposta de solicitação devem ser considerados, no caso de laboratório de calibração, uma consulta à NIT-DICLA-012, para o preenchimento do FOR-CGCRE-011 e a utilização do formulário FOR-CGCRE-011 para cada grupo de serviços de calibração e local de realização.

Se o laboratório é de ensaio, realiza-se consulta à NIT-DICLA-016 para o preenchimento do FOR-CGCRE-012 (Formulário - Proposta Escopo da Acreditação) e utilização das tabelas contidas no formulário eletrônico de solicitação, utilizando um formulário FOR-CGCRE-012 distinto para cada local de realização do serviço e a inclusão da amostragem no FOR-CGCRE-012, caso o laboratório realize amostragem relacionada aos ensaios objeto da solicitação.

Todos os documentos requeridos devem ser apresentados. Caso falte algum, é concedido um prazo de 20 (vinte) dias, para complementação da documentação. O seu não cumprimento acarreta a não aceitação da solicitação e a devolução da documentação.

A decisão sobre a concessão da acreditação é tomada pelo Coordenador da Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro (CGCRE), com base nas recomendações da equipe de avaliação, do Gestor de Acreditação, do Chefe de Núcleo e da Comissão da Acreditação.

Um Ofício enviado ao laboratório oficializa o processo, documento que é acompanhado do Certificado de Acreditação e do Escopo da Acreditação, emitidos pela CGCRE. Também são encaminhados o Símbolo da Acreditação e a autorização para seu uso. Quando da concessão da acreditação, é providenciada a inserção do laboratório no catálogo de laboratórios acreditados disponível na Internet, no endereço eletrônico do Inmetro.

## 6 CONCLUSÃO

O estágio realizado foi extremamente importante por contribuir substancialmente para o desenvolvimento do caráter prático da aluna, que por meio da realização de atividades de acompanhamento e participação em diferentes projetos de pesquisa pôde se envolver nas mais diferentes áreas da engenharia, tais como disjuntores, antenas, transformadores, elaboração de ensaios, estudos de normas e resolução dos mais diversos problemas.

O acompanhamento das pesquisas proporcionou à estagiária a integração dos conhecimentos adquiridos ao longo da graduação em Sistemas Elétricos, Engenharia de Micro-ondas, Instalações Elétricas etc. com atividades práticas, além de fornecer um contato com a pós graduação, algo indispensável para a motivação de executar as atividades sempre o maior empenho possível.

As contribuições técnicas do estágio para a aluna foram: Experiência com trabalho em equipe; conhecimento mais aprofundado sobre o funcionamento de disjuntores e como realizar o monitoramento dos mesmos mediante a medição da resistência dinâmica dos contatos; conhecimento introdutório do uso de antenas para monitoramento de disjuntores, tornando evidente uma integração entre as ênfases de Telecomunicações e Eletrotécnica; noções de testes em transformadores, entre tantas outras coisas.

Conclui-se, portanto, que o objetivo da realização do estágio foi alcançado com sucesso, visto que a aluna conseguiu colocar em prática os conhecimentos teóricos, adquirir experiência e aprimorar sua desenvoltura no âmbito profissional.

## REFERÊNCIAS

- ADAM M.; BARABOI A.; PANCU C. *Monitoring and diagnostic system for high voltage circuit breakers*. International Conference on Electromechanical and Power Systems, pp. 55-60, 2007
- ANSI / IEEE STD C37.09. *Test procedure for ac high-voltage circuit breakers*, 1999.
- ARAÚJO R. L. *Disjuntores*. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Paraná, 2001.
- BHEL. *Handbook of switchgears*. McGraw-Hill Professional, New York, 2006.
- BRAITHWAITE N. S. J. *Introduction to gas discharges*. Plasma Sources Sci. Technol. United Kingdom, vol. 9, pp. 517-527, 2000.
- BEGHIM EQUIPAMENTOS E SISTEMAS. Disponível em: <http://www.beghim.com.br/>. Acesso em 28 de Agosto de 2017.
- CARVALHO A. C. C. *et al. Disjuntores e chaves: aplicação em sistemas de potência*. Niterói-RJ: EDUFF, 1995.
- D'AJUZ A.; RESENDE F. M.; CARVALHO F. M. S.; NUNES I. G. *Equipamentos Elétricos: Especificação e Aplicação em Subestações de Alta Tensão*. FURNAS/UFF. 1985
- FLURSCHEIM C. H. *Power circuit breaker theory and design. V. 1*. The Institution of Engineering and Technology. London, 2008.
- FRONTIM S. O. *Equipamentos de alta tensão – prospecção e hierarquização de inovações tecnológicas*. Brasília: Teixeira, 2013.
- GARZON R. D. *High voltage circuit breakers: Design and applications*. CRC Press, New York, 2002.
- GILL P. *Electrical power equipment maintenance and testing*. Boca Raton: CRC Press, 2008.

GREMMEL H. *Switchgear Manual*. Central-Druck Trost GmbH & Co. 10<sup>o</sup> ed, Berlin, 2002.

LANDRY M.; MERCIER A.; OUELLET G.; RAJOTTE C.; CARON J.; ROY M.; BRIKCI F. *A New Measurement Method of the Dynamic Contact Resistance of HV Circuit Breakers*. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, pp. 1002-1009, 2006.

LANDRY M.; TURCOTTE O.; BRIKCI F. *A Complete Strategy for Conducting Dynamic Contact Resistance Measurements on HV Circuit Breaker*. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 23, pp. 710-716, 2008

MCDONALD J. D. *Electric Power Substations Engineering*. CRC Press, Florida, 2003

NBR ISO/IEC 17025:2005. *Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração*, ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, 2006.

OLIVEIRA A. C. *Ensaio de Resistência Dinâmica em Disjuntores: Análise de Sensibilidade da Corrente e da Velocidade de Abertura dos Contatos*. Dissertação (Mestrado). Campina grande, Brasil: Universidade Federal de Campina Grande, 2015.

PANCU C.; BARABOI A.; ADAM M. *New Approach Regarding the Electroerosion Estimation of the Circuit Breakers Contacts*. WSEAS Transactions on Circuits and Systems, Vol. 8, pp. 157-166, 2009.

SANTOS D. T. *Sistema inteligente para apoio a programação da manutenção de disjuntores de alta tensão*. Dissertação (Mestrado). Florianópolis, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

SOUZAR. T. & COSTA E. G. *Diagnóstico da Condição dos Contatos em Disjuntores Através da Resistência Dinâmica*. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE), Montevideú, 2014.