



Universidade Federal  
de Campina Grande

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

RENATA GARCIA DUTRA DE OLIVEIRA

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

Campina Grande, Paraíba

Março de 2015

RENATA GARCIA DUTRA DE OLIVEIRA

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado  
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

Orientador:

Prof. Edson Guedes da Costa, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Março de 2015

RENATA GARCIA DUTRA DE OLIVEIRA

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado  
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

Aprovado em        /        /

**Prof. Karcius Marcelus Colaço Dantas, D. Sc.**

Universidade Federal de Campina Grande

Avaliador

**Prof. Edson Guedes da Costa, D. Sc.**

Universidade Federal de Campina Grande

Orientador, UFCG

*À minha mãe, Lucicleide, a quem dedico todo meu amor e eterna gratidão.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me fornecer saúde, determinação e força para enfrentar esta jornada repleta de surpresas e desafios que foram vencidos.

À minha mãe, Lucicleide, que é a minha inspiração. Pelos ensinamentos, pela confiança, pelo incentivo, pela paciência, pelo amor, enfim, por estar presente em todos os instantes da minha vida. Sem a dedicação e o apoio dado por ela, eu não chegaria até aqui.

À minha irmã, Renally, pelo amor, pela amizade, por todos os momentos felizes que me proporciona, dando um sentido ainda maior para minha vida.

Aos meus familiares, que sempre me apoiaram, incentivaram e entenderam os momentos de ausência. Em especial a minha avó, Bárbara, por todo carinho e orações.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica e de toda a Universidade Federal de Campina Grande pela dedicação. Particularmente, estendo meu agradecimento ao professor Edson e ao professor Genoilton pela oportunidade de estágio, orientação e supervisão.

Agradeço a toda a equipe do Laboratório de Alta Tensão pela transmissão do conhecimento e experiência que me foram passados.

Por fim, agradeço a todos os amigos que fui presenteada nesta caminhada, companheiros de curso e de vida, que contribuíram para construção de quem sou hoje.

## RESUMO

Neste relatório, serão apresentadas as atividades realizadas e os conhecimentos adquiridos durante o Estágio Supervisionado, o qual se constitui um requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. O programa do Estágio contou com uma carga horária de 180 horas, tendo seu início em 24 de novembro de 2014 e término em 10 de fevereiro de 2015. O estágio foi realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande. Durante o estágio foram realizados ensaios com isoladores poliméricos e cerâmicos, bem como em Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e Equipamentos de Proteção Coletiva (EPCs).

**Palavras-chave:** Ensaios, Equipamentos de proteção individual, Equipamentos de proteção coletiva, Isoladores poliméricos, Isoladores Cerâmicos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fotografia do Salão de Alta Tensão. ....	3
Figura 2. (a) Gerador de impulso de corrente; (b) Mesa de controle do GIC. ....	4
Figura 3. Fotografia do processo de umedecimento do isolador. ....	8
Figura 4. (a) Diagrama esquemático da montagem do experimento; (b) Fotografia da montagem do experimento no laboratório. ....	8
Figura 5. Fotografia do equipamento utilizado para detecção de radiação ultravioleta. ....	9
Figura 6. Fotografia (a) do detector de ruído ultrassônico; (b) da antena utilizada para detecção de ruído ultrassônico. ....	10
Figura 7. Fotografia do analisador de espectro utilizado no ensaio. ....	10
Figura 8. Fotografia da imagem obtida com o auxílio do DayCor II® (a) Presença de corona no terminal terra do isolado. (b) Presença de corona no terminal fase do isolador. (c) Presença de corona no centro do isolador. (d) Presença de corona em dois pontos distintos do isolador. .	11
Figura 9. Sinais de tensão no resistor <i>shunt</i> (azul), sinal de ultrassom (rosa) e sinal da tensão aplicada (verde) para o mesmo isolador (a) sem solução salina. (b) com solução salina. ....	12
Figura 10. Fotografia do lote de isoladores que serão utilizados nos ensaios. ....	13
Figura 11. Fotografia do (a) isolador 12; (b) núcleo exposto do isolador 10 e (c) pino com corrosão bem acentuada no isolador 14. ....	15
Figura 12. (a) Desenho da vista lateral da montagem experimental do conjunto mísula-isolador. (b) Fotografia da montagem do isolador no laboratório. ....	17
Figura 13. Localização das plataformas em relação ao isolador. ....	18
Figura 14. Fotografia do arranjo experimental. ....	20
Figura 15. Representação de um ensaio para radiografia com filme. ....	21
Figura 16. Fotografia do tomógrafo industrial de raio X, utilizado no ensaio. ....	22
Figura 17. Fotografia da montagem do ensaio (a) vista lateral. (b) vista frontal. ....	23
Figura 18. Radiografia digital obtida do terminal fase do isolador. ....	23
Figura 19. Diagrama esquemático de um isolador de vidro tradicional (FERREIRA, 2011). .	24
Figura 20. Diagrama esquemático do ensaio de corrente de fuga. ....	25

Figura 21. Fotografias do arranjo em laboratório do ensaio de corrente de fuga.....	25
Figura 22. Sinais de corrente de fuga (azul) e tensão aplicada (verde) no (a) Isolador 12/ Tensão – 10 kV. (b) Isolador 11/ Tensão – 15 kV. (c) Isolador 2/ Tensão – 18 kV. ....	26
Figura 23. Caminhão equipado com cesta aérea e lança isolante.....	28
Figura 24. Ensaio de lança isolante. ....	29
Figura 25. Ensaio em cuba isolante (a) Esquema de montagem. (b) Fotografia do ensaio.....	31
Figura 26. Ensaio em manga isolante (a) Esquema de montagem. (b) Fotografia do ensaio. .	32
Figura 27. Ensaio em coberturas para condutores do tipo rígido. (a) Esquema de montagem. (b) Fotografia do ensaio.....	34
Figura 28. Fotografia do ensaio em lençol isolante.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Lista de fatores avaliados na classificação dos isoladores.....	14
Tabela 2. <i>Ranking</i> de classificação dos isoladores. ....	16
Tabela 3. Laudo técnico do ensaio de lança isolante.....	30
Tabela 4. Laudo técnico do ensaio em cuba isolante. ....	31
Tabela 5. Laudo técnico do ensaio em mangas isolantes. ....	32
Tabela 6. Laudo técnico do ensaio em cobertura plástica para condutores rígida. ....	34
Tabela 7. Laudo técnico do ensaio em cobertura plástica para condutores flexível. ....	35
Tabela 8. Laudo técnico do ensaio em lençóis isolantes. ....	36

# SUMÁRIO

1	Introdução .....	1
2	Laboratório de Alta Tensão .....	2
2.1	Salão de Alta Tensão.....	2
2.2	Sala do Laboratório de Materiais Elétricos .....	3
2.3	Sala do Gerador de Impulso de Corrente .....	4
2.4	Sala do Kit de Alta Tensão.....	4
3	Atividades Desenvolvidas .....	6
3.1	Ensaio em Isoladores .....	6
3.1.1	Ensaio em Isoladores Poliméricos – 69 kV .....	7
3.1.2	Ensaio em Isoladores Poliméricos – 230 kV.....	13
3.1.3	Ensaio em Isoladores Poliméricos – 500 kV .....	20
3.1.4	Medição da Corrente de Fuga em Isoladores de Vidro .....	23
3.2	Ensaio em Equipamentos para Manutenção em Linhas Energizadas.....	27
3.2.1	Ensaio de Lança Isolante .....	28
3.2.2	Ensaio em Cuba Isolante ( <i>Liner</i> ) .....	30
3.2.3	Ensaio em Mangas Isolantes .....	31
3.2.4	Ensaio em Coberturas Protetoras de Condutor.....	33
3.2.5	Ensaio em Lençóis Isolantes .....	35
4	Conclusão .....	37
	Referências .....	38

# 1 INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas, a sociedade presenciou uma grande evolução da regulamentação do setor elétrico. Requisitos mínimos como confiabilidade, continuidade de serviço, qualidade e segurança estão sendo cobrados cada vez mais das empresas. Sendo assim, houve um investimento em novas tecnologias que proporcionam diversas melhorias para os processos de geração, transmissão e distribuição de energia. E, desse modo, tornou-se necessária a contratação de profissionais mais capacitados, atualizados e preparados para lidar com as novas exigências do mercado.

No curso de Graduação de Engenharia Elétrica diversos conhecimentos são adquiridos nas disciplinas, no entanto, apesar de algumas atividades práticas serem realizadas nos laboratórios, o desenvolvimento do caráter prático do aluno só é possível em sua vida profissional. Portanto, o estágio curricular se destaca, então, como uma atividade essencial, capaz de permitir que o aluno aplique os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo de sua formação acadêmica e aprimore sua desenvoltura no âmbito profissional.

Neste relatório, serão apresentadas atividades desenvolvidas pela aluna Renata Garcia Dutra de Oliveira durante a realização de Estágio Supervisionado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sob orientação e supervisão do professor Edson Guedes da Costa, no período de 24 de novembro de 2014 a 10 de fevereiro de 2015.

## 2 LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

O Laboratório de Alta Tensão (LAT) começou a ser implementado em 1974, devido a uma associação de recursos nacionais com os de algumas cooperações técnicas internacionais. O LAT possui equipamentos sofisticados e um corpo técnico formado por docentes-pesquisadores, engenheiros e técnicos qualificados e experientes. Tal combinação permite o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão relacionadas à ênfase de eletrotécnica (GSE, 2014).

Hoje, o LAT é composto pelos seguintes ambientes de laboratório: salão de Alta Tensão, sala do Laboratório de Materiais Elétricos, sala do Gerador de Impulso de Corrente e sala do Kit de Alta Tensão.

### 2.1 SALÃO DE ALTA TENSÃO

O Salão de Alta Tensão é o principal ambiente utilizado para realização de ensaios do LAT. Nele são realizados os ensaios que requerem níveis de tensão mais elevados, o que é possível devido à disponibilidade de equipamentos como o gerador de impulsos de alta tensão, de até 700 kV e dos transformadores de potência ligados em cascata, que permitem gerar até 600 kV. O laboratório ainda conta com um transformador menor, o qual pode ser utilizado quando não se necessita de tensões tão elevadas, podendo fornecer até 120 kV. A cabine de medição existente também no salão de alta tensão é equipada com uma mesa de controle, capaz de operar o nível de tensão gerado pelo transformador em uso e realizar as medições necessárias.

Os principais ensaios realizados neste salão são: ensaios de validação de modelos computacionais, ensaios de envelhecimento, ensaios de descargas e ensaios de rotina feitos em equipamentos de manutenção em instalações energizadas.

Além disso, também se encontra neste ambiente, uma câmara de névoa utilizada para ensaios com simulação de umidade ou névoa salina. Na Figura 1 é mostrada uma fotografia da visão geral do Salão de Alta Tensão.

Figura 1. Fotografia do Salão de Alta Tensão.



## 2.2 SALA DO LABORATÓRIO DE MATERIAIS ELÉTRICOS

O Laboratório de Materiais Elétricos é mais utilizado para fins didáticos como ocorre com a disciplina Laboratório de Materiais Elétricos. O laboratório tem como finalidade básica, a sedimentação dos conhecimentos adquiridos na disciplina Materiais Elétricos, componente curricular obrigatória do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica. Para realização dos experimentos, o laboratório possui um kit didático para Alta Tensão (100 kV), uma Ponte *Schering* e capacitores padrão.

Dentre os principais experimentos desenvolvidos na disciplina Laboratório de Materiais Elétricos, tem-se:

- Medição de capacitância, permissividade relativa e perdas em dielétricos;
- Determinação da rigidez dielétrica de óleos isolantes;
- Estudo da distribuição de tensão em cadeia de isoladores;
- Curva de magnetização e ciclos de histerese para núcleos de transformadores;
- Introdução ao estudo de descargas em gases;
- Caracterização elétrica de varistores.

## 2.3 SALA DO GERADOR DE IMPULSO DE CORRENTE

O Gerador de Impulso de Corrente (GIC) é um equipamento de fabricação da *Haefely*. Basicamente, o GIC é um circuito capaz de gerar correntes impulsivas de elevadas magnitudes (até 100 kA) em um intervalo de tempo da ordem de microssegundos ( $\mu\text{s}$ ). Seu funcionamento consiste no carregamento suave de capacitores de potência e descarregamento instantâneo, gerando uma corrente impulsiva. O objeto de teste, ao qual se deseja aplicar a alta corrente, é colocado na malha de descarregamento, de forma que toda a corrente de descarregamento dos capacitores passe pelo objeto de teste.

O GIC é um dos equipamentos mais importantes do LAT. Poucas instituições no Brasil dispõem desse equipamento. O mesmo tem sido utilizado para diversos objetivos, tais como: ensaios de equipamentos e pesquisas envolvendo aterramentos e para-raios. Na Figura 2 é apresentada uma foto do GIC, abrigado no LAT, e sua respectiva mesa de controle.

Figura 2. (a) Gerador de impulso de corrente; (b) Mesa de controle do GIC.



(a)



(b)

## 2.4 SALA DO KIT DE ALTA TENSÃO

O Kit de Alta Tensão é composto por: um transformador de 5 kVA com tensão de saída de até 100 kV, capacitores de alta tensão, resistores de alta tensão, espinterômetros, câmaras para descarga em gases e à vácuo, entre outros.

Possui uma mesa de comando pela qual se pode controlar o nível de tensão aplicada aos objetos de teste utilizando-se de comandos manuais, e também possui instrumentos de

medição, voltímetros de pico para tensões alternada, contínua e impulsiva. Os medidores estão associados aos divisores de tensão, capacitivo, resistivo e capacitivo, respectivamente.

O kit de alta tensão geralmente é utilizado por alunos das disciplinas de Materiais Elétricos, Equipamentos Elétricos e Técnicas de Alta Tensão. Além dos alunos de pós-graduação, tanto durante as disciplinas como na montagem de seus experimentos.

## 3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Durante o período de estágio foram feitos ensaios de rotina em equipamentos para manutenção em linhas energizadas, requisitados pela empresa Energisa. Além disso, houve a participação e o acompanhamento de projetos de pesquisa de alunos de pós-graduação e atividades desenvolvidas por professores, de outras instituições, no laboratório de alta tensão, envolvendo ensaios em isoladores poliméricos e cerâmicos. Todas as atividades, desenvolvidas com a participação da discente, também foram devidamente acompanhadas por professores, técnicos ou alunos de pós-graduação.

### 3.1 ENSAIOS EM ISOLADORES

Idealmente, os sistemas elétricos de transmissão devem operar de forma ininterrupta. A sociedade e as agências reguladoras têm requerido das empresas geradoras e transmissoras de energia uma alta confiabilidade nos serviços prestados. Por outro lado, as empresas de geração e distribuição de energia têm boa parte da sua lucratividade relacionada com a qualidade dos serviços prestados, lidando com prejuízos financeiros e multas em casos de desligamentos não programados de suas linhas de transmissão. Pesquisas indicam que parte dos desligamentos do sistema elétrico ocorre por falhas nos isolamentos elétricos.

O isolamento dos sistemas de transmissão é feito basicamente utilizando os isoladores. Historicamente, as linhas de transmissão têm empregado isoladores cerâmicos de porcelana e de vidro. Devido a sua importância nos sistemas elétricos, os isoladores requerem um cuidado especial. Para tanto, faz-se necessário ações para a manutenção preventiva como forma de antecipação a possíveis falhas. Dentro do possível, é desejável que a manutenção preventiva seja realizada utilizando-se de métodos não invasivos, permitindo sua aplicação durante o período de operação normal das linhas ou das subestações, isto é, sem necessitar da interrupção no fornecimento de energia elétrica para a realização da manutenção ou sem interferir no próprio sistema (GUEDES, 2014).

Os ensaios apresentados nesta seção foram realizados com um objetivo em comum: avaliar o estado de degradação dos isoladores testados. Foram feitos ensaios com isoladores

utilizados em linha de 69, 230 e 500 kV com o auxílio de diferentes métodos de monitoramento não invasivos, tais como: detecção de radiação ultravioleta, detecção de infravermelho, detecção de ultrassom, radiografia, análise do espectro eletromagnético, medição da corrente de fuga e medição de descargas parciais.

### 3.1.1 ENSAIOS EM ISOLADORES POLIMÉRICOS – 69 kV

Os professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Elias Teodoro da Silva Junior e Francisco José Alves de Aquino, contrataram a estrutura e os serviços do LAT para realização de ensaios em isoladores utilizados em linhas de 69 kV. O objetivo principal do ensaio é desenvolver um estudo comparativo para classificar o estado de degradação dos isoladores, fazendo uso dos seguintes métodos de monitoramento: detecção de radiação ultravioleta e ruído ultrassônico, medição da corrente de fuga e análise do espectro eletromagnético.

Os isoladores utilizados no experimento foram fornecidos pela Companhia Energética do Ceará (COELCE). Foram ensaiados um total de seis isoladores que possuem diferentes níveis de degradação. Cada isolador mede aproximadamente 90 centímetros de comprimento.

Diversas medições foram realizadas com cada amostra, isto é, todos os isoladores estiveram submetidos aos mesmos procedimentos durante a realização do experimento. Aplicaram-se diferentes níveis de tensão (0,8 p.u, 1,0 p.u. e 1,2 p.u.) nas amostras. Os ensaios, inicialmente, foram realizados com os isoladores a seco, em seguida, umedecidos com água destilada e por fim, umedecidos com uma solução salina.

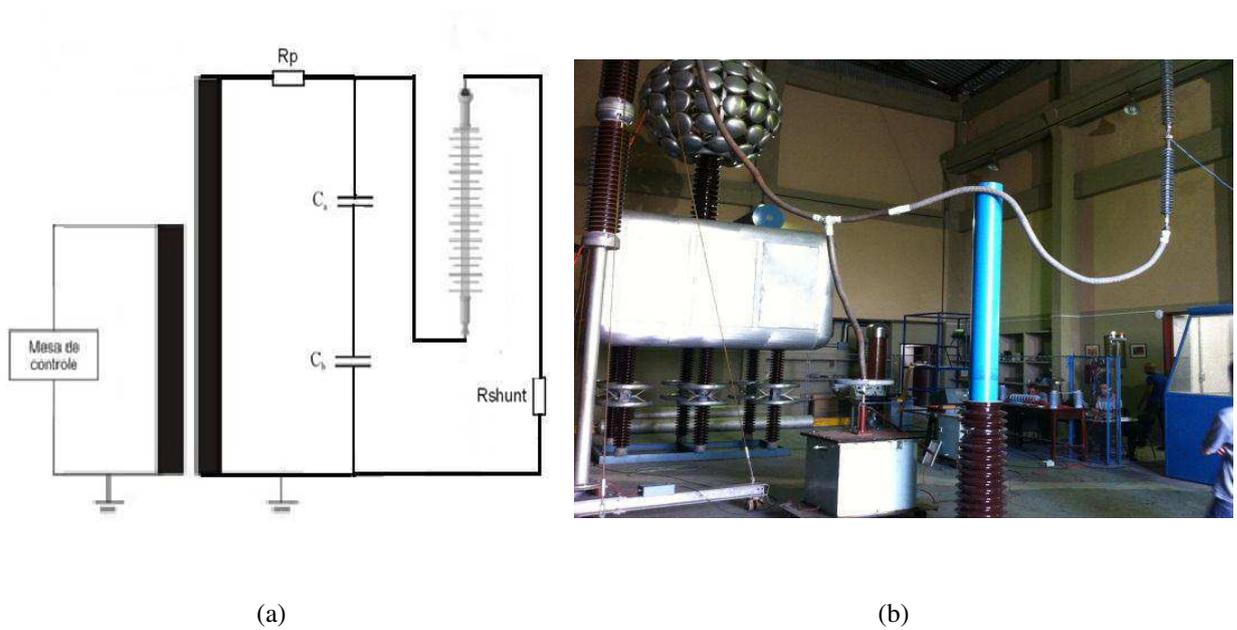
Ressalta-se que para umedecer os isoladores usou-se um borrifador a uma distância de 50 cm, conforme a Figura 3. Considerou-se três áreas do isolador com relação à altura (superior, mediana e inferior), e cada área foi borrifada entre 10 e 12 vezes a cada 90°.

Figura 3. Fotografia do processo de umedecimento do isolador.



Para realização do ensaio utilizou-se Gerador de Tensão CA, 120 kV – 1,0 A e o Divisor de Tensão Capacitivo 7816/1. Na Figura 4 é apresentado, o diagrama esquemático da montagem e uma fotografia da montagem do isolador no laboratório, respectivamente.

Figura 4. (a) Diagrama esquemático da montagem do experimento; (b) Fotografia da montagem do experimento no laboratório.



Para captação dos dados foram utilizados os seguintes equipamentos de monitoramento: um detector de radiação ultravioleta, um analisador de espectro portátil, um detector de ultrassom e um osciloscópio para visualização da diferença de potencial existem nos terminais do resistor *shunt*, pois para medir a corrente de fuga, utilizou-se o sistema de medição que faz uso de uma resistência de  $1.105 \Omega$ .

As descargas corona ocorrem em meio gasoso, quando há uma intensificação do campo elétrico nas proximidades do eletrodo, de modo que este seja submetido a solicitações superiores a sua rigidez dielétrica, porém as condições ainda não são suficientes para provocar um arco elétrico (um estágio anterior a ruptura).

O equipamento capaz de detectar atividades corona e de outras descargas superficiais que emitem radiação luminosa, transformando-as em imagem. É composto por uma câmera de imagem visível e outra de imagem UV, com filtro, combinadas eletronicamente, que viabilizam seu uso à luz do dia. As medições para detecção de ultravioleta nos isoladores poliméricos foram realizadas com o auxílio do DayCor II®, mostrado na Figura 5.

Figura 5. Fotografia do equipamento utilizado para detecção de radiação ultravioleta.



As medições de ruído ultrassônico foram realizadas a uma distância de aproximadamente 6,5 metros dos isoladores. O processo de atenuação dos níveis de ruídos ultrassônicos depende da distância entre fonte e objeto. Isso implica que, a partir de determinada distância, a eficiência na detecção de ruídos (dos atuais equipamentos), cai para limites que podem ser associados aos ruídos brancos do ambiente. Utilizou-se para as medições o equipamento SDT200™, mostrado na Figura 6.

Figura 6. Fotografia (a) do detector de ruído ultrassônico; (b) da antena utilizada para detecção de ruído ultrassônico.



(a)



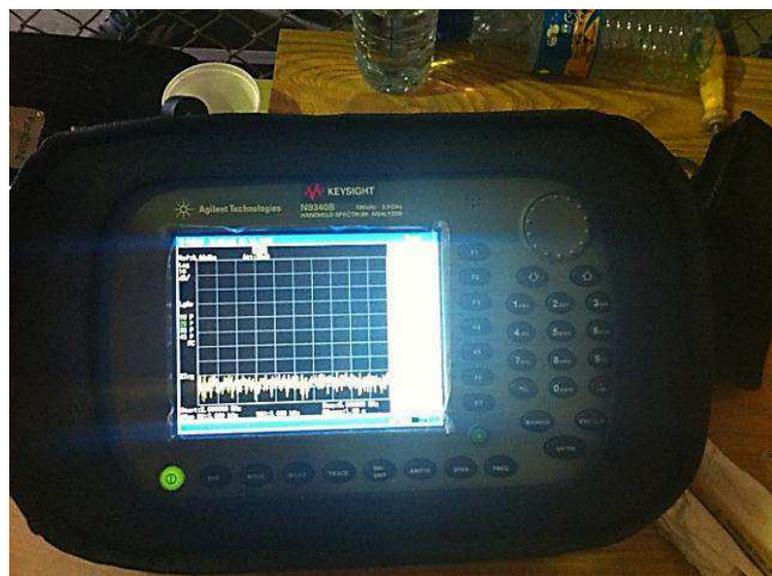
(b)

A energia em uma corrente de rádio frequência pode radiar de um condutor para o espaço como ondas eletromagnéticas (ondas de radio); essa é a base da tecnologia de rádio. O alcance e a capacidade de transportar a energia dependem da frequência do campo eletromagnético, da sua potência e da eficiência do acoplamento entre o emissor e receptor.

Descargas individuais de corona também provocam pulsos de tensão e corrente de curta duração que se propagam ao longo das linhas. Esses pulsos fazem com que a linha atue como antena, emitindo campos eletromagnéticos em suas imediações.

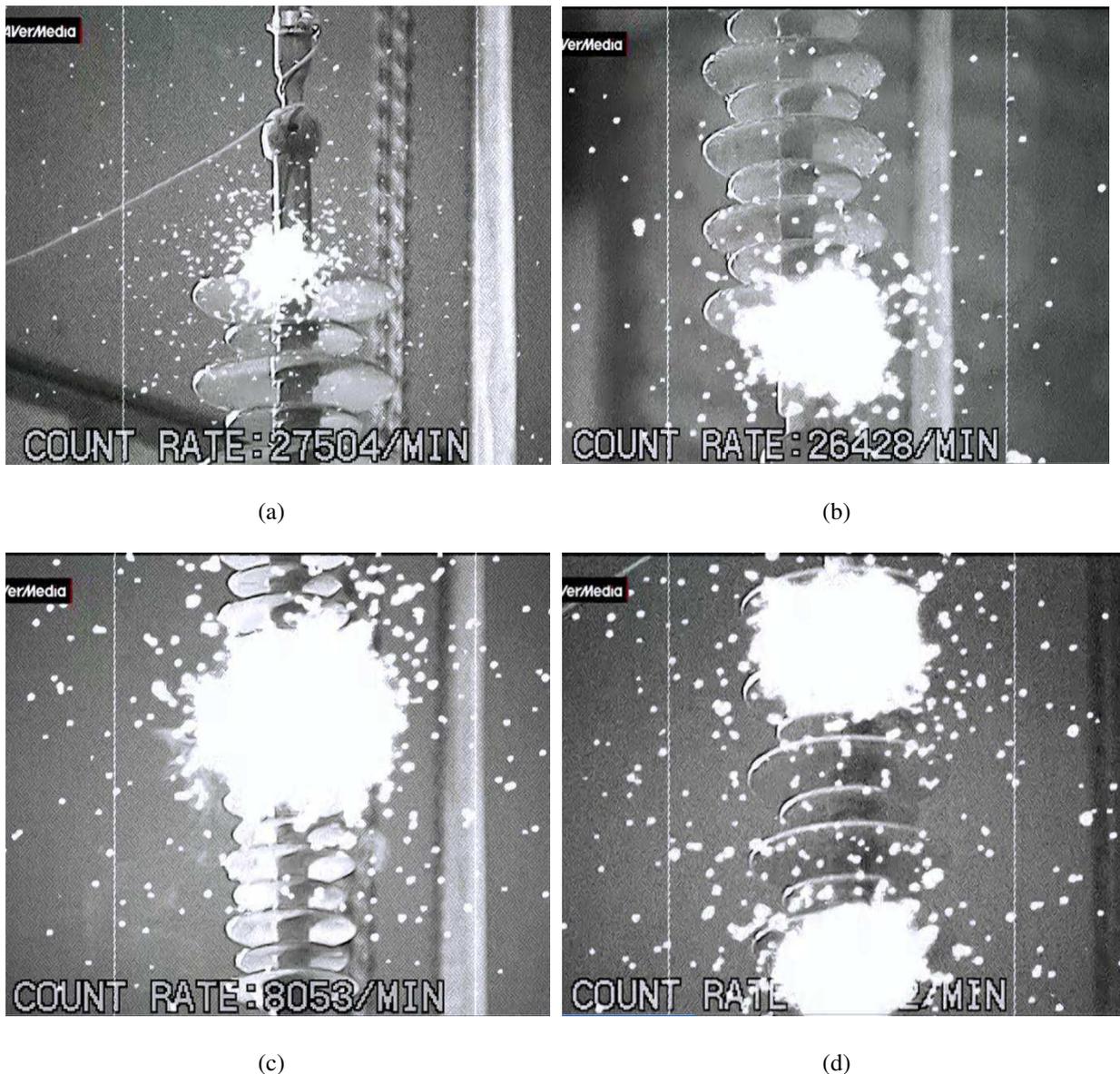
O analisador de espectro portátil Keysight N9340B, mostrado na Figura 7, foi o equipamento utilizado para visualizar o espectro eletromagnético irradiado pelo isolador.

Figura 7. Fotografia do analisador de espectro utilizado no ensaio.



Na Figura 8 são mostradas algumas amostras de descargas corona observadas durante o ensaio em isoladores distintos. As imagens capturadas, pela câmera do equipamento de detecção de radiação ultravioleta, contém o número de pontos de descarga por minuto.

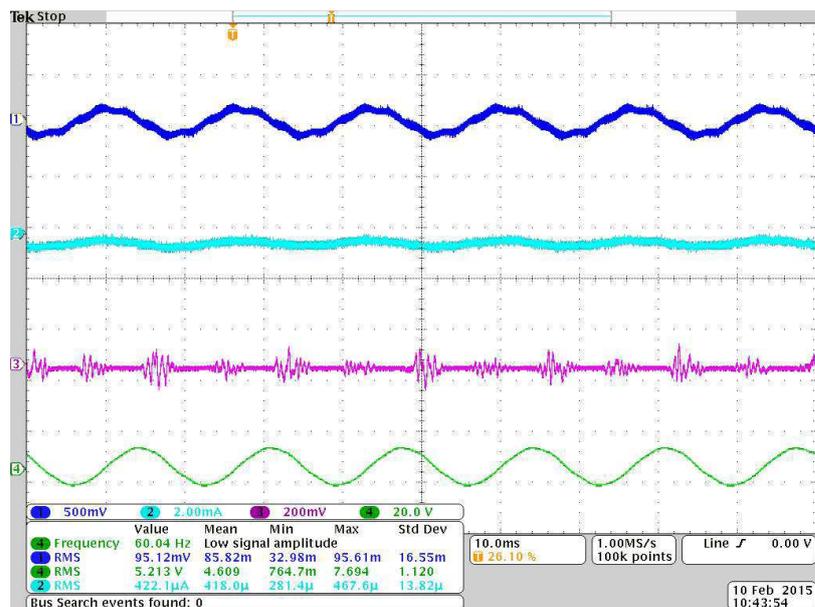
Figura 8. Fotografia da imagem obtida com o auxílio do DayCor II® (a) Presença de corona no terminal terra do isolado. (b) Presença de corona no terminal fase do isolador. (c) Presença de corona no centro do isolador. (d) Presença de corona em dois pontos distintos do isolador.



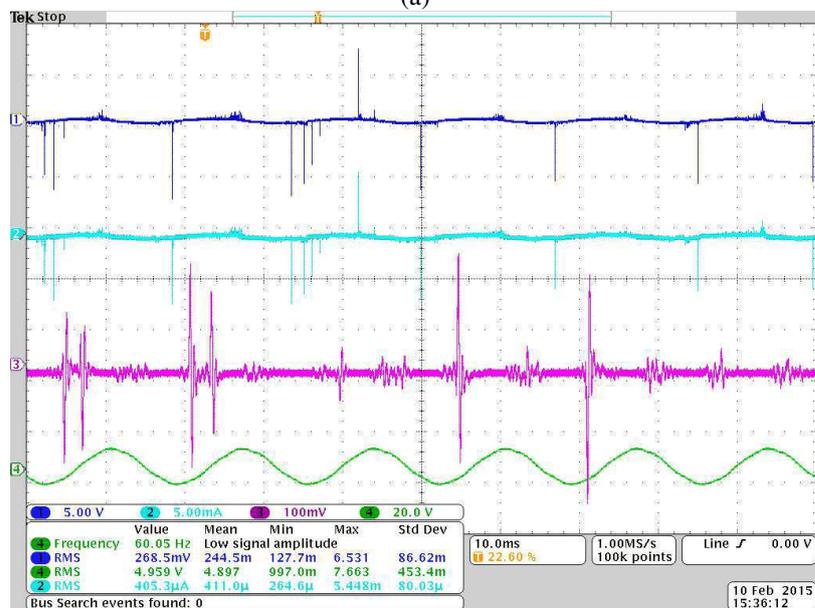
Os dados do sinal de ruído ultrassônico foram registrados no local da medição, assim como o sinal da tensão nos terminais do resistor *shunt* utilizado para obtenção do sinal da corrente de fuga do isolador, com o auxílio de um osciloscópio. Na Figura 9 estão mostrados

alguns dos sinais de corrente de fuga, ultrassom e tensão aplicada, observados durante o ensaio. Porém estes se apresentam em escalas distintas, a escala de do sinal de tensão nos terminais do resistor *shunt* na Figura 9.(a) é de 500 mV, já a escala deste mesmo sinal apresentado na Figura 9.(b) é de 5 V.

Figura 9. Sinais de tensão no resistor *shunt* (azul), sinal de ultrassom (rosa) e sinal da tensão aplicada (verde) para o mesmo isolador (a) sem solução salina. (b) com solução salina.



(a)



(b)

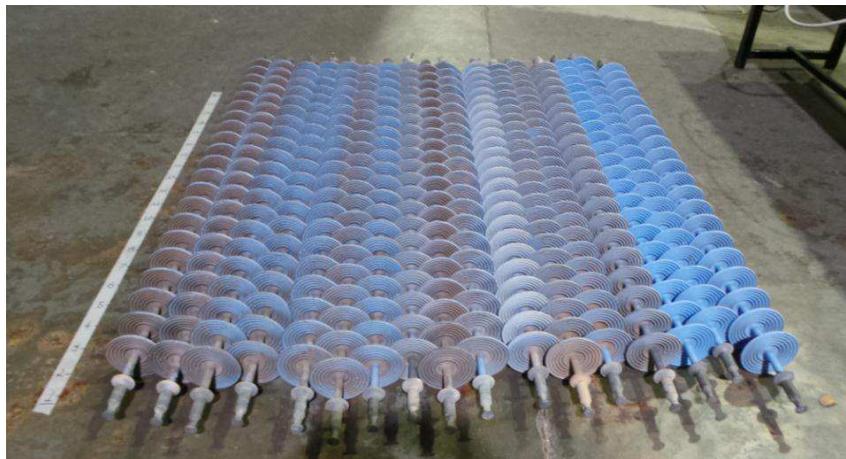
Na Figura 9 pode ser observada a diferença dos sinais tanto de corrente de fuga quanto de ruído ultrassônico obtidos para o mesmo isolador e com aproximadamente o mesmo nível de tensão (0,8 p.u.). Porém, os sinais mostrados na Figura 9.(a) foram obtido quando o isolador estava a seco, já os sinais mostrados na Figura 9.(b) foram obtidos quando o isolador estava umedecido com uma solução salina, percebe-se um aumento considerável no sinal da corrente de fuga e do ruído ultrassônico após o umedecimento do isolador com a solução salina.

### 3.1.2 ENSAIOS EM ISOLADORES POLIMÉRICOS – 230 kV

A degradação e o envelhecimento dos isoladores poliméricos ocorrem devido às condições climatológicas e aos estresses elétricos sofridos pelo material, que alteram suas propriedades, ao contrário do que ocorre nos isoladores à base de vidro e porcelana. Um dos principais objetivos deste experimento é desenvolver uma metodologia que permita classificar o grau de degradação dos isoladores.

Os isoladores utilizados no experimento foram fornecidos pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF). São um total de dezessete isoladores, a tensão de operação é 230 kV (entre fases), cada isolador possui 2,4 metros de comprimento, pesa aproximadamente 8,8 kg e contém 21 aletas. Na Figura 10 são apresentadas todas as amostras fornecidas pela CHESF.

Figura 10. Fotografia do lote de isoladores que serão utilizados nos ensaios.



Os ensaios dos isoladores estão sendo realizados pelos alunos de pós-graduação Camila Pires Gouveia Guedes, que tenta correlacionar o nível de intensidade das descargas parciais com o nível de corona produzido pelos isoladores quando da aplicação de esforços elétricos; Yorkismar de Andrade Mendonça, que pretende correlacionar o nível das descargas parciais com o nível e características da corrente de fuga; Marcus Túlios Barros Florentino, que pretende correlacionar o nível das descargas parciais com a intensidade do ruído ultrassônico; Bruno Almeida de Souza, que prevê a correlação das descargas parciais com a temperatura da superfície dos isoladores e Pedro Henrique Venske da Rocha, que, por sua vez, é responsável pela análise do espectro eletromagnético irradiado pelos isoladores quando submetidos a diferentes níveis de tensão.

As técnicas como a medição da intensidade de descargas parciais, medição para detecção de ultravioleta, termografia, análise do espectro eletromagnético e o estudo das características da corrente de fuga vêm se mostrando promissoras em pesquisas, e neste trabalho, buscar-se-á relacioná-las para entender melhor sua correlação.

Os isoladores que estão sendo utilizados nos ensaios estavam em campo e possuem diferentes níveis de poluição. Para avaliar o estado de degradação de cada isolador, criou-se um sistema que permitiu que o avaliador pudesse mensurar, a partir de uma análise minuciosa de cada isolador, a situação de determinadas características do equipamento.

Os membros da pesquisa elencaram uma série de fatores, que podem indicar o estado de degradação do equipamento. Logo após, foram selecionadas seis características para avaliação, e, a cada uma delas, foi dado um fator peso que indica o quão preponderante ela é em relação às outras. Por fim, obteve-se à Tabela 1.

Tabela 1. Lista de fatores avaliados na classificação dos isoladores.

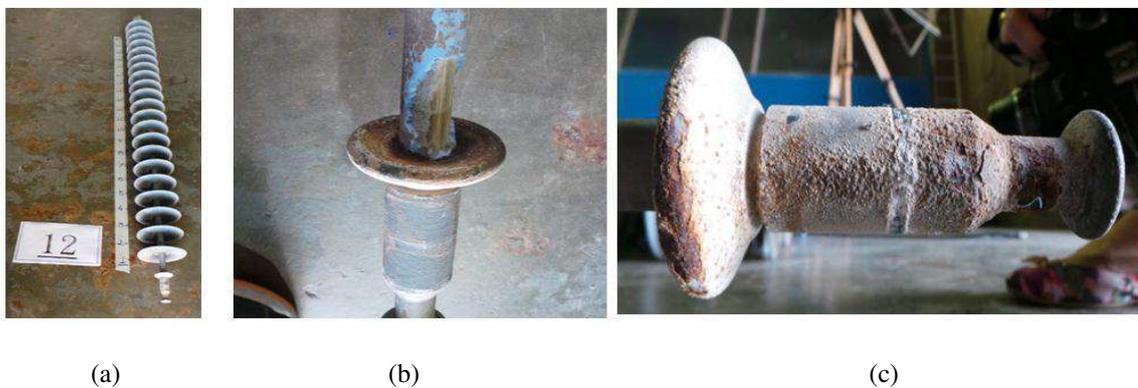
<b>Numeração do Fator</b>	<b>Fator Avaliado</b>	<b>Peso do Fator</b>
<b>1</b>	Nível de exposição do núcleo	<b>5</b>
<b>2</b>	Nível de erosão do isolador	<b>4</b>
<b>3</b>	Nível de poluição	<b>3</b>
<b>4</b>	Estado de corrosão dos terminais	<b>1</b>
<b>5</b>	Estado de degradação das aletas	<b>2</b>
<b>6</b>	Estado de degradação do selo	<b>4</b>

Para cada item foi dada uma nota de 0 a 5, quanto maior o valor pior seria o estado da característica.

Em seguida, os alunos envolvidos na pesquisa fizeram uma avaliação detalhada de cada isolador, primeiro identificando os isoladores a partir de uma numeração (de 1 a 17), e seguindo o procedimento descrito abaixo:

- Registrou-se a situação geral do equipamento avaliando o nível de poluição que este apresentava em toda a sua extensão, com atenção especial às aletas próximas ao terminal de fase (Figura 11.(a));
- Procurou-se em todas as partes do isolador iniciando da aleta 1 até a 21 (iniciando a contagem do terminal de fase para o terminal do terra) falhas estruturais como: exposição do núcleo, degradação das aletas e o nível de erosão (Figura 11.(b));
- Por fim, foi avaliado o estado dos terminais e o selo do isolador (Figura 11.(c)).

Figura 11. Fotografia do (a) isolador 12; (b) núcleo exposto do isolador 10 e (c) pino com corrosão bem acentuada no isolador 14.



Com todos os isoladores devidamente avaliados, os membros da pesquisa calcularam, para cada amostra, o Índice de Degradação do Isolador (IDI), que é a média ponderada das notas dadas às características avaliadas em relação aos pesos estabelecidos. Os valores do IDI variam de 0 a 10 e são dados pela seguinte equação:

$$IDI_n = 2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^6 P_i N_i}{\sum_{i=1}^6 P_i} \quad (1)$$

onde,  $n$  é o número do isolador avaliado;  $i$  é a numeração do fator avaliado;  $P_i$  é o peso do fator  $i$  e  $N_i$  é a nota dada ao fator  $i$ .

As notas foram computadas e foi feito uma média das avaliações. Na Tabela 2 é mostrada a classificação final.

Tabela 2. *Ranking* de classificação dos isoladores.

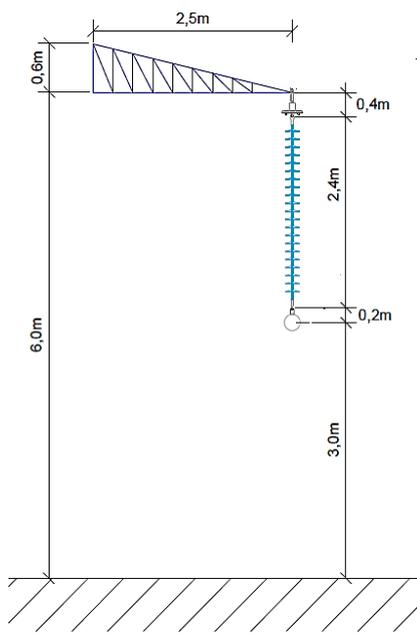
<b>Isolador</b>	<b>Índice de Degradação do Isolador</b>
<b>10</b>	8,971
<b>11</b>	8,618
<b>5</b>	5,676
<b>9</b>	5,471
<b>4</b>	4,588
<b>16</b>	4,147
<b>6</b>	3,971
<b>7</b>	3,941
<b>12</b>	3,941
<b>8</b>	3,882
<b>14</b>	3,500
<b>17</b>	3,382
<b>15</b>	3,324
<b>13</b>	3,265
<b>1</b>	0,000
<b>2</b>	0,000
<b>3</b>	0,000

A montagem do experimento ocorreu no Salão de Alta Tensão do LAT. Definiu-se a altura que os isoladores devem ser posicionados e como serão feitas as medições. Além disso, foram criadas estruturas para auxiliar no suporte do isolador e no apoio às medições.

A primeira estrutura simula uma mísula de uma torre de transmissão de energia elétrica, que possui 2,5 metros de comprimento em forma de uma pirâmide de base retangular de 1 metro por 60 centímetros. A mísula foi instalada a 6 metros de altura do chão do laboratório. Na Figura 12.(a) é ilustrado o desenho da vista lateral da montagem experimental

do conjunto mísula-isolador. Na Figura 12.(b) é mostrada a fotografia da montagem do isolador no laboratório.

Figura 12. (a) Desenho da vista lateral da montagem experimental do conjunto mísula-isolador. (b) Fotografia da montagem do isolador no laboratório.



(a)

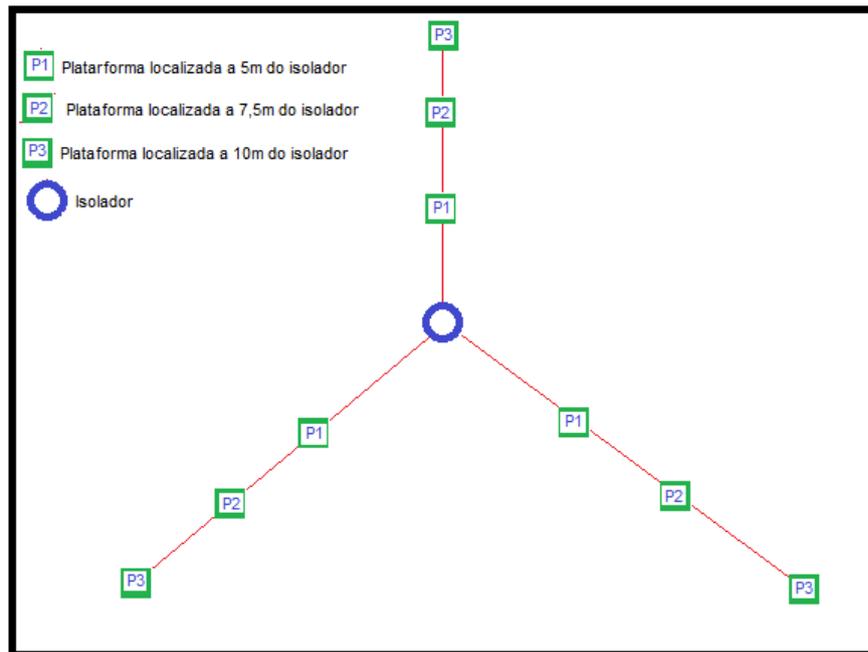


(b)

A segunda estrutura desenvolvida foram as plataformas de apoio às medições, projetadas para que o operador se posicionasse na altura do conector de fase do isolador, facilitando a utilização dos equipamentos para medição de descargas corona, medição termográfica e do ruído ultrassônico no isolador. Foram fabricadas três plataformas que estão posicionadas em locais estratégicos durante as medições para visualizar o isolador por todos os ângulos. As estruturas foram devidamente aterradas.

Na Figura 13 tem-se um esboço das posições das plataformas em relação ao isolador. No centro da Figura 13 encontra-se o isolador, o ponto  $P_1$  indica a localização da plataforma a 5 metros do isolador, o ponto  $P_2$  localiza-se a 7,5 metros e o ponto  $P_3$  a 10 metros da amostra. Cada medição, realizada sob as plataformas, visualiza a terça parte do isolador (ângulo de  $120^\circ$ ). No entanto, pretende-se realizar as medições nas três faces garantindo a cobertura visual de todo o equipamento (ângulo de  $360^\circ$ ).

Figura 13. Localização das plataformas em relação ao isolador.



Em seguida, foi feita a introdução de uma barra metálica na montagem do experimento, esta tem por função simular a linha de transmissão. Usou-se um tubo circular de 4 centímetros de diâmetro e 3 metros de comprimento. Para evitar a forte incidência de descargas corona nas extremidades, foram colocadas esferas ocas de 15 centímetros de diâmetro para suavizar o campo elétrico nas extremidades do tubo.

Por fim, conectou-se um isolador de vidro, utilizado em linha de 15 kV, para conectar o resistor utilizado na medição de corrente de fuga. Na Figura 12.(b) pode-se observar a montagem do isolador no laboratório.

Para medição da corrente de fuga utiliza-se uma resistência *shunt* de aproximadamente  $1.105 \Omega$ , que é ligado em paralelo a um isolador de vidro. A amostra encontra-se conectada em série a este isolador. Devido à baixíssima condutividade elétrica do isolador de vidro, a corrente que circula no isolador polimérico é conduzida pelo  $R_{shunt}$  do circuito, gerando um sinal de tensão que pode ser visualizado com o auxílio de um osciloscópio. Além disso, é realizada a medição da tensão aplicada sobre o isolador polimérico em teste, esse sinal é adquirido no painel de controle do laboratório. Um osciloscópio digital é utilizado para a visualização dos sinais e para a aquisição dos dados.

Já para a medição de Descargas Parciais (DP) utilizou-se o sistema computacional fabricado pela *Double Lemke Group*®, baseado na IEC 60270. Utilizando o software LDS-6

é possível detectar, numa escala de picocoulombs (pC) a intensidade das DP e a fase em que elas ocorrem. O circuito é composto por uma indutância em série, e um capacitor de acoplamento em paralelo ao objeto de teste, este é conectado a um filtro RLC e ligado por um cabo coaxial ao painel do equipamento. Por sua vez, o sinal é digitalizado e enviado para o computador com o *software* que adquire os dados.

O restante da montagem consistiu na conexão da saída do transformador à configuração projetada utilizando um condutor de 60 milímetros de diâmetro. Usar um condutor de diâmetro elevado auxilia na diminuição das descargas corona na extensão do mesmo, evitando, assim, interferências indesejadas nos equipamentos de medição. O condutor foi apoiado por dois conjuntos de isoladores encaixados no formato “V” sendo colocado a uma distância segura do solo e dos demais equipamentos presentes no salão de alta tensão.

Com tudo devidamente conectado, o circuito foi energizado com 159 kV (fase-terra). Utilizando o DayCor II®, equipamento que capta a radiação ultravioleta resultante o efeito corona, procurou-se os pontos do circuito que mais apresentavam descargas corona. Observaram-se três pontos principais: nas extremidades da barra que simula a linha de transmissão, na emenda que conectava o condutor ao terminal fase do isolador e no suporte feito de isoladores para o condutor.

Para solucionar o problema da barra, as esferas de 15 centímetros foram substituídas por esferas de 25 centímetros de diâmetro. A emenda, onde era possível ser visualizada descargas corona, foi eliminada quando se inseriu o circuito de medição de descargas parciais. E no suporte de isoladores colocou-se um anel equalizador. Logo em seguida, observou-se que os efeitos foram minimizados consideravelmente.

Após a conexão de todos os componentes do ensaio a montagem da estrutura necessária para realização do experimento, ficou como mostra a fotografia da Figura 14. Porém, devido a uma falha do equipamento de DP, as medições foram suspensas para que fosse solucionado o problema.

Figura 14. Fotografia do arranjo experimental.



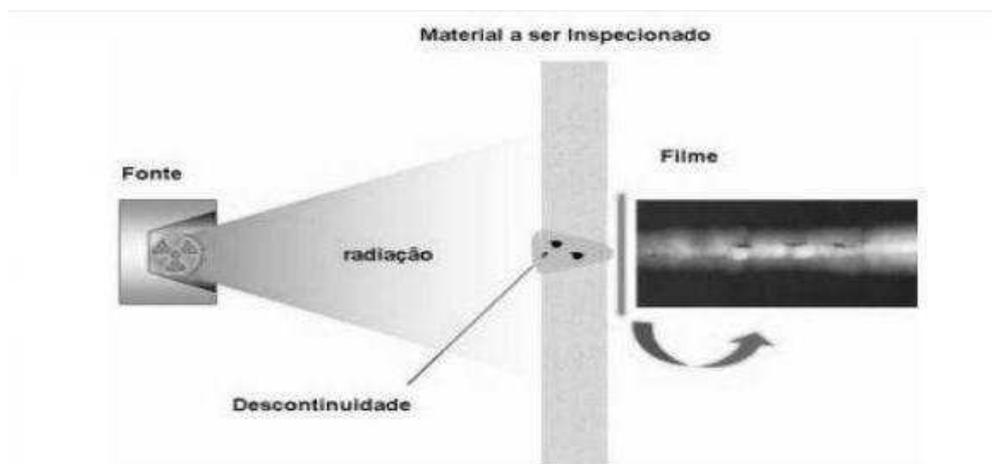
### 3.1.3 ENSAIO EM ISOLADORES POLIMÉRICOS – 500 kV

A utilização de novas técnicas como a radiografia digital industrial torna possível visualizar os defeitos no interior dos componentes de forma não-destrutiva. O ensaio realizado sob o comando do professor Armando Hideki Shinohara da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) tem como principal objetivo a montagem de uma estrutura e testes laboratorial de um sistema de radiografia digital de isolador polimérico de 500 kV em condição energizada.

O princípio fundamental de inspeção radiográfica baseia-se no fato de que as radiações incidentes na amostra ensaiada são modificadas pela passagem em descontinuidades ou defeitos que possam estar presentes, provocando alteração na intensidade da radiação emergente da amostra. A radiação que atravessa a amostra é detectada por um filme ou por sistemas com intensificadores de imagens, câmaras CCD e placas digitalizadoras, onde alterações de espessura e presença de descontinuidades são visualizadas por diferença de contraste na imagem final.

Na radiografia industrial coloca-se a amostra a ser ensaiada entre uma fonte emissora de radiação (raios X ou  $\gamma$ ) e um detector (filme ou cintilador). Imagens de raio X tradicionais são baseadas no contraste de absorção das partes de um objeto. Na Figura 15 é apresentado um arranjo para realização de uma radiografia convencional. A intensidade do feixe de raio X que atinge o filme radiográfico ou sensor num determinado ponto depende da atenuação sofrida pelo feixe no caminho percorrido (GODOI, 2005).

Figura 15. Representação de um ensaio para radiografia com filme.



No isolador polimérico, o contraste entre um vazio/defeito e a área livre de defeito nem sempre é perceptível visualmente, o que realça a necessidade de utilização de técnicas de processamento de imagens e reconhecimento de padrões para detecção dos defeitos presentes (GODOI, 2005).

O isolador utilizado no ensaio, pertencente ao LAT, tem aproximadamente 3,85 metros de comprimento. O equipamento utilizado para detecção da radiografia foi um tomógrafo industrial de raio X, apresentado na Figura 16. Para proteger o equipamento emissor de radiação, optou-se por colocá-lo dentro de uma cápsula de papelão revestido com papel alumínio.

Figura 16. Fotografias do tomógrafo industrial de raio X, utilizado no ensaio.



(a)

(b)

Por meio da Figura 17 pode-se observar a estrutura utilizada como suporte do tomógrafo industrial que é constituída por matérias isolantes (bastões). É importante salientar que durante o ensaio chegou-se a aplicar cerca de aproximadamente 1,1 p.u da tensão nos terminais do isolador.

A principal dificuldade encontrada durante a realização do ensaio está relacionada ao tempo de disparo do tomógrafo, o mesmo possui um recurso que dispara automaticamente, que dispensando o toque manual, porém, este tempo de espera para ocorrência do disparo era baixo (aproximadamente 1 minuto) para um operador programar o temporizador, se afastar do ambiente de medição e para um segundo operador aplicar o nível de tensão desejado.

Na Figura 18 é mostrado um dos resultados obtidos após a realização do ensaio, com esta radiografia é possível perceber a inexistência de rachaduras na amostra ensaiada, além disso, observa-se a eficiência do tomógrafo, quando este foi utilizado para radiografar um isolador em condições energizadas.

Figura 17. Fotografia da montagem do ensaio (a) vista lateral. (b) vista frontal.

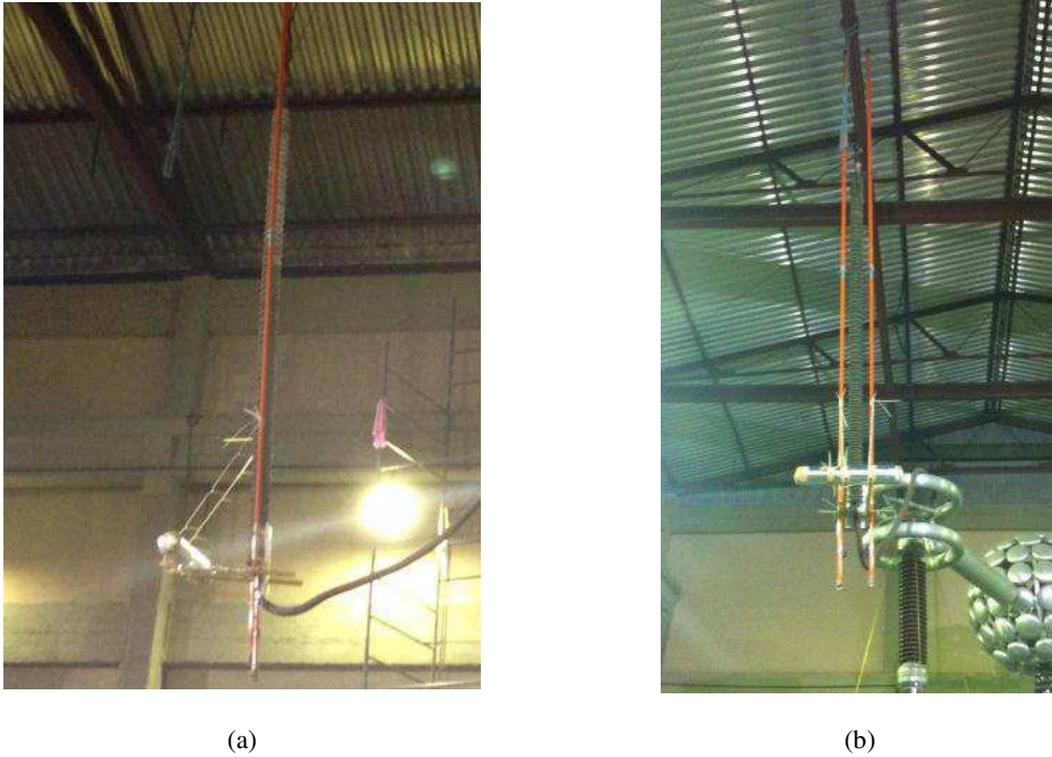


Figura 18. Radiografia digital obtida do terminal fase do isolador.



### 3.1.4 MEDIÇÃO DA CORRENTE DE FUGA EM ISOLADORES DE VIDRO

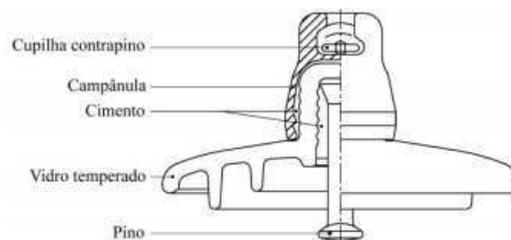
Durante as últimas décadas, com os avanços tecnológicos e das ciências dos materiais, diversas alternativas têm surgido para melhorar o desempenho dos isolamentos convencionais.

Os isoladores poliméricos são mais leves, menores e os custos associados são reduzidos quando comparados aos isoladores cerâmicos. A substituição dos isoladores cerâmicos pelos poliméricos representa uma possível solução para o problema da poluição no sistema elétrico. No entanto, o investimento associado é elevado, inviabilizando esta opção na maioria das situações. Uma solução, frequentemente utilizada pelas empresas, consiste na introdução de revestimentos poliméricos aos isoladores cerâmicos, onde características como hidrofobicidade são aperfeiçoadas, melhorando seu desempenho (STASIAK, 2009).

A aplicação de elementos típicos da região Nordeste na formulação do revestimento externo dos isoladores está sendo estudada no âmbito de uma pesquisa de mestrado de pós-graduação, de forma a aproveitar suas propriedades e possibilitar o desenvolvimento de um produto de baixo custo e com características semelhantes ou superiores aos revestimentos convencionalmente utilizados (NÓBREGA; COSTA, 2014).

Isoladores de suspensão de vidro temperado do fabricante *Sediver* estão sendo utilizados na pesquisa. Na Figura 19 pode-se observar o diagrama esquemático de um isolador cerâmico de suspensão em forma de disco, utilizado no ensaio.

Figura 19. Diagrama esquemático de um isolador de vidro tradicional (FERREIRA, 2011).



Durante o estágio foram realizados ensaios para medição da corrente de fuga de quatorze amostras deste isolador, com o objetivo de verificar se estes estavam em bom estado, bem como, coletar dados para realização de um estudo comparativo após a aplicação do revestimento, a ser desenvolvido, nestes mesmos isoladores.

Os ensaios foram realizados utilizando o Kit de Alta Tensão, obedecendo ao diagrama esquemático apresentado na Figura 20. Onde, pode-se observar a presença de um resistor *shunt*, este é utilizado para aquisição do sinal de corrente de fuga. Com o auxílio do osciloscópio, obtém-se o sinal de tensão presente nos terminais do  $R_{shunt}$ . Contudo, fazendo uso da Lei de Ohm ( $V = R.i$ ), é possível obter o nível da corrente de fuga do isolador. O

arranjo em laboratório do ensaio de corrente de fuga pode ser observado na Figura 21. As tensões aplicadas foram de 10 kV, 15 kV e 18 kV.

Figura 20. Diagrama esquemático do ensaio de corrente de fuga.

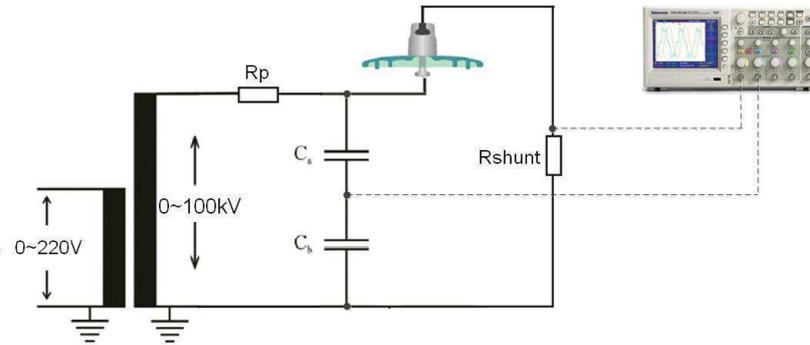


Figura 21. Fotografias do arranjo em laboratório do ensaio de corrente de fuga.



(a)



(b)

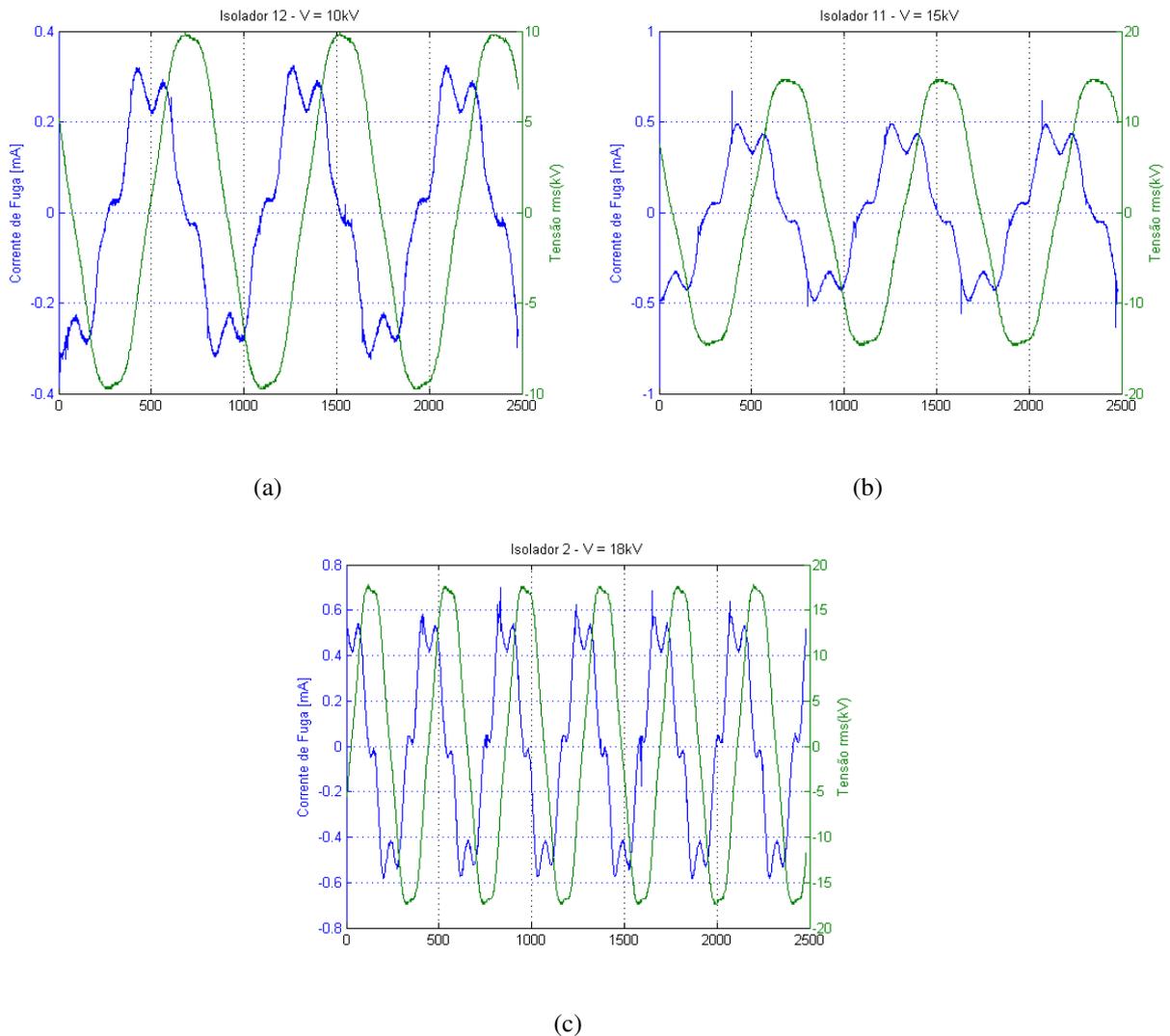


(c)

Na Figura 22 são mostrados alguns dos resultados obtidos após a realização do ensaio. Pode-se observar na Figura 22.(a) o sinal da corrente de fuga no isolador 12 para

quando foi aplicado uma tensão de 10 kV, na Figura 22.(b) é a apresentado o gráfico que contem o sinal da corrente de fuga no isolador 11 com 15 kV de tensão aplicada e na Figura 22.(c) pode ser observado o sinal da corrente de fuga do isolador 2 quando este foi submetido a uma tensão de 18 kV.

Figura 22. Sinais de corrente de fuga (azul) e tensão aplicada (verde) no (a) Isolador 12/ Tensão – 10 kV. (b) Isolador 11/ Tensão – 15 kV. (c) Isolador 2/ Tensão – 18 kV.



A corrente de fuga dos isoladores pode ser decomposta em uma componente capacitiva e outra resistiva, sendo predominante a componente capacitiva, a isto se deve a defasagem observada entre os sinais de tensão e de corrente mostrados na Figura 22.

Mediram-se os valores máximos de amplitude da corrente de fuga média para três níveis de tensão. A partir destes resultados observou-se o desvio da intensidade da corrente dos isoladores selecionados era, no máximo, 4%.

## 3.2 ENSAIOS EM EQUIPAMENTOS PARA MANUTENÇÃO EM LINHAS ENERGIZADAS

Com a crescente demanda de energia, surge a exigência de qualidade por parte das empresas responsáveis por geração, transmissão e distribuição de energia. Sendo assim, os serviços de manutenção em linhas energizadas são atividades de grande importância e são realizados por empresas do setor energético em todo o mundo.

Devido à necessidade de contato com condutores energizados, a utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs) e coletiva (EPCs) é obrigatória. Tais equipamentos proporcionam maior segurança, pois se destinam a evitar que os trabalhadores sejam submetidos a uma diferença de potencial, ocasionando choques elétricos.

Os equipamentos de proteção devem ser submetidos a ensaios periódicos para avaliar se estão em conformidade com os critérios determinados por normas. Os ensaios devem estar de acordo com a legislação vigente com as normas reguladoras NR-10 e NR-6 e também obedecendo as especificações do fabricante. Além disso, devem ser realizados por pessoas qualificadas, ou seja, pessoas que possuem competência profissional específica.

São realizados principalmente dois tipos de ensaios: corrente de fuga e ensaio de tensão aplicada. No primeiro, são realizados testes de corrente de fuga, em que a corrente medida deve ser inferior ao valor estabelecido nas normas que regulamentam o ensaio de cada equipamento, para que este seja aprovado. No ensaio de tensão aplicada, como o nome sugere, é aplicada no equipamento de proteção uma tensão por um determinado tempo (geralmente 1 minuto), se o equipamento suportar a tensão sem se danificar, também estará aprovado. Este tipo de ensaio geralmente detecta furos e outras inconformidades em equipamentos plásticos ou de borracha.

Os ensaios descritos a seguir foram realizados no LAT e foram solicitados pela empresa Energisa, responsável pela distribuição de energia elétrica no estado paraibano.

Os equipamentos utilizados na execução dos ensaios foram:

- Gerador de Tensão CA, 120 kV – 1,0 A;
- Divisor de Tensão Capacitivo 7816/1;
- Voltímetro de Pico Hafelly;
- Multímetro Digital MINIPA;

- Termo-Higrômetro MINIPA.

As incertezas associadas as medições são:

- Incerteza na medição de Tensão:  $\pm 0,05\%$
- Incerteza na medição de Corrente:  $\pm 0,01\%$

As condições atmosféricas foram:

- Temperatura:  $26,0^{\circ}\text{C}$ ;
- Umidade relativa do ar:  $62\%$ ;
- Pressão Atmosférica:  $962\text{ mbar}$ .

### 3.2.1 ENSAIO DE LANÇA ISOLANTE

Durante o estágio, foi possível acompanhar um ensaio em lanças isolante. Por definição, cesta aérea isolada é o equipamento veicular dotado de braço móvel projetado (extensível, articulado ou ambos) e usado para posicionar pessoas e componentes dielétricos e ensaiado para taxa de isolamento elétrico específico. Pode ser usado também para transporte de material, desde que projetado e equipado para tal. A lança é a seção isolante do braço superior das cestas aéreas isoladas, vista com destaques laranja na Figura 23.

Figura 23. Caminhão equipado com cesta aérea e lança isolante.



Para este equipamento existem três categorias de isolamento:

- Categoria A: são as cestas aéreas, as quais são projetadas e fabricadas para trabalhos nos quais a lança é considerada como isolamento primário para trabalho com a mão nua (ao potencial).
- Categoria B: são as cestas equipadas com eletrodo de ensaio inferior, porém projetadas e fabricadas para trabalhos em que a lança não é considerada de isolamento primário, mas secundário (casos nos quais se usam luvas isolantes

de borracha). Cestas dessa categoria devem ser classificadas em classes de tensão superiores a 46 kV e inferiores a 69 kV, com o objetivo de facilitar sua alteração para cestas aéreas de categoria A para trabalho ao potencial.

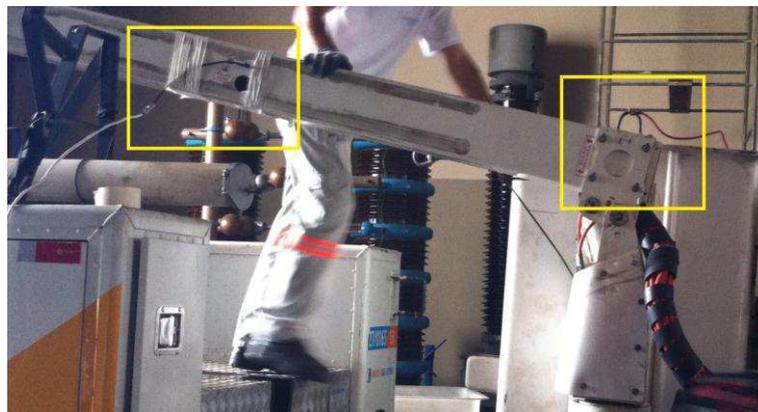
- Categoria C: são as cestas que não estão equipadas com sistema de eletrodo de ensaio inferior e são projetadas e fabricadas para trabalhos em que a lança é considerada isolamento secundárias e para serem utilizadas em tensões iguais ou inferiores a 46 kV.

A lança isolante do caminhão deve ser ensaiada periodicamente, para uma tensão de qualificação, tal que a corrente de fuga relacionada não exceda os limites estabelecidos. O objetivo é verificar a resistividade dielétrica e detectar mudanças de condutividade nas seções de isolamento.

O ensaio realizado no LAT foi referente à uma lança isolante de categoria C, consiste na aplicação de tensão entre 10 e 100 kV, variando-se de 10 em 10 kV e medindo as correntes de fuga na lança principal e na auxiliar, as quais não podem ultrapassar 1000  $\mu\text{A}$ . A medição para 100 kV é efetuada após a manutenção da tensão aplicada por 1 minuto.

Na Figura 24 são mostrados alguns detalhes da forma de realização do ensaio. Um eletrodo é colocado na parte final da lança, próximo às caçambas isolantes, e nele são aplicadas as tensões. Também na carcaça metálica do veículo é realizado o aterramento, com isso, pôde-se medir a corrente de fuga total e determinar o correto funcionamento da isolamento elétrica.

Figura 24. Ensaio de lança isolante.



As informações referentes ao ensaio e as características da lança são detalhados na Tabela 3, onde se observou que a corrente de fuga não excedeu ao limite estipulado. Logo, o caminhão de linha viva foi aprovado no teste de isolamento de sua haste isolante.

Tabela 3. Laudo técnico do ensaio de lança isolante.

<b>Ferramenta:</b> Lança Isolante		<b>Fabricante:</b> VERSILIFT		
<b>Tensão nominal:</b> 46 kV - CAT. C		<b>Mod.:</b> -	<b>FAB.:</b> 05/2013	
<b>Ensaio:</b> Tensão Aplicada com, Medição da Corrente de Fuga		<b>N° DESÉRIE:</b> SPOB1455,OD00917		
<b>Corrente fuga máxima:</b> 1000 $\mu$ A / 100kV		<b>Norma:</b> NBR 16092/2012		
<b>RESULTADOS:</b>				
Item	Tensão Aplicada (kV)	Corrente de Fuga ( $\mu$ A)		Laudo
		Isolamento Principal	Isolamento Auxiliar	
01.01	10	5,4	7,5	Aprovado
	20	8,3	12,6	
	30	12,4	17,0	
	40	15,7	23,5 / 23,4	
	50	19,3	-	
	60	22,4	-	
	70	26,5	-	
	80	32,7	-	
	90	41,6	-	
	100	49,8 / 49,6	-	

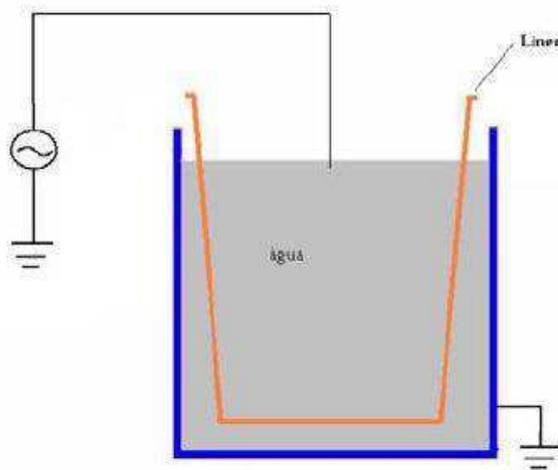
É importante salientar que o braço móvel articulado do caminhão não estava na posição de 90°, durante a realização do ensaio, como pede a norma, mas isso se justifica pelo fato do ensaio está sendo realizado em um ambiente fechado.

### 3.2.2 ENSAIO EM CUBA ISOLANTE (*LINER*)

A cuba é um componente projetado para ser acomodado dentro da caçamba, plataforma ou suporte similar e que é capaz de modificar as propriedades elétricas da caçamba/plataforma. Pode ser de natureza isolante, destinada a garantir a sua isolação elétrica, aplicável de acordo com a classe de isolação e método de trabalho, ou condutiva, destinada a equalizar o potencial entre a rede, as partes metálicas e o eletricista. Durante o período de estágio só foram realizados ensaios em cubas de natureza isolante.

O ensaio em *liner* de caminhão de linha viva deve ser realizado por meio de teste de tensão AC aplicada de 30 kV, 60 Hz, por 1 minuto, sem que ocorra descargas disruptivas ou rompimento do material. O ensaio deve ser realizado com o *liner* imerso em um tanque com água em sua parte externa e interna, sendo o eletrodo de terra a parte externa e o eletrodo de potencial a parte interna, como mostrado na Figura 25.

Figura 25. Ensaio em cuba isolante (a) Esquema de montagem. (b) Fotografia do ensaio.



(a)



(b)

Como conclusão do laudo técnico do ensaio acompanhado (Tabela 4), o *liner* foi aprovado, pois suportou os 30 kV aplicados durante 1 minuto sem sofrer danos ou descargas disruptivas.

Tabela 4. Laudo técnico do ensaio em cuba isolante.

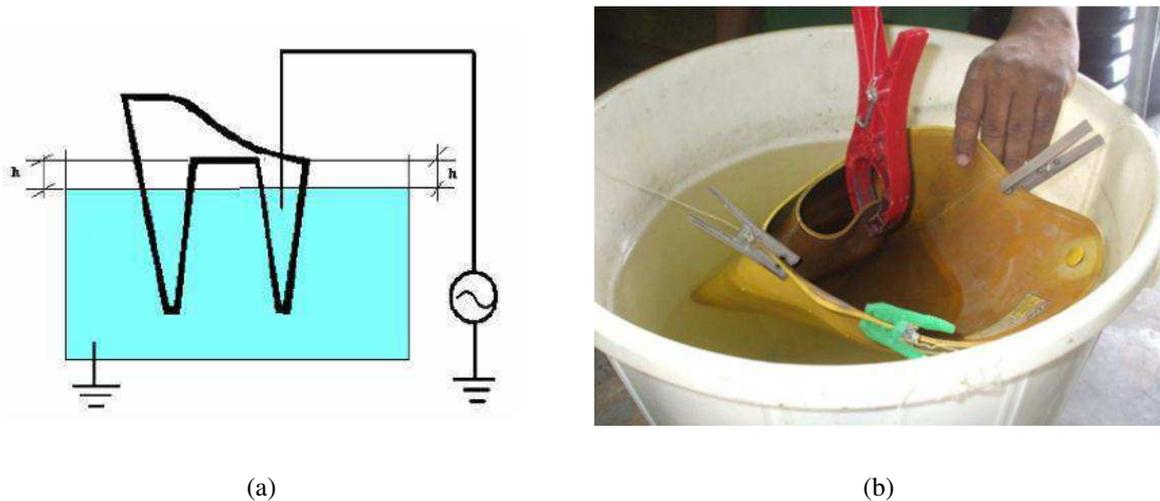
<b>Ferramenta:</b> Liner Isolante (caçamba)		<b>Fabricante:</b> -
<b>Tensão Nominal:</b> 46 kV cat. C		<b>Nº De Série:</b> -
<b>Ensaio:</b> Tensão Aplicada - 30 kV/60 Hz		<b>NORMA:</b> NBR 16092/2012
<b>RESULTADOS:</b>		
<b>Item</b>	<b>Nº de Série</b>	<b>Laudo</b>
02.01	-	Aprovado

### 3.2.3 ENSAIO EM MANGAS ISOLANTES

Mangas isolantes são equipamentos de proteção para os braços que protegem o electricista contra choques e arcos elétricos em trabalhos em linhas energizadas.

Para a realização do ensaio de tensão aplicada nas mangas isolantes, várias montagens são sugeridas em função da classe de isolamento da manga. Neste ensaio, realizado no LAT, adotou-se a montagem invertida que consiste em inverter meia manga, puxando o punho através de sua parte interna, até formar uma cuba anular, como é mostrado na Figura 26.

Figura 26. Ensaio em manga isolante (a) Esquema de montagem. (b) Fotografia do ensaio.



O ensaio de manga isolante consiste em aplicar um determinado valor de tensão, dependendo da classe da manga, ao eletrodo que é introduzido na água contida no interior da manga. Este eletrodo deve ser colocado de modo que a tensão elétrica aplicada seja uniforme em toda a área ensaiada sem produzir efeito corona em qualquer ponto ou esforços mecânicos. O recipiente com água deve ser devidamente aterrado, assim como no ensaio de cuba isolante.

A ocorrência da disrupção elétrica do material ou a perfuração do mesmo reprovava a manga. Foram ensaiadas um total de 6 mangas, os resultados destes ensaios, mostrando suas características, o total de mangas ensaiadas, assim como se foram aprovadas ou reprovadas, está mostrado na Tabela 5.

Tabela 5. Laudo técnico do ensaio em mangas isolantes.

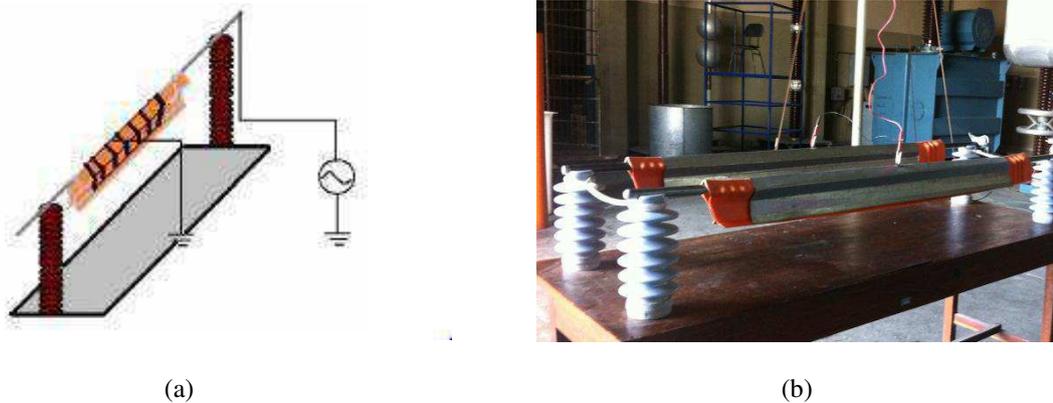
<b>Ferramenta:</b> Mangas Isolantes de borracha		<b>Fabricante :</b> SALISBURY e LEAL		
<b>Tensão Nominal:</b> 17 kV		<b>Classe:</b> 2 – <b>Tipo:</b> I		
<b>Ensaio:</b> Tensão Aplicada 20 kV/60Hz		<b>NORMA:</b> NBR – 10623/89		
<b>RESULTADOS:</b>				
<b>Item</b>	<b>Nº de Série</b>	<b>Lado</b>	<b>Tamanho</b>	<b>Laudos</b>
09.01	-	Direito	médio	Aprovada
09.02	-	Esquerdo	médio	Aprovada
09.03	-	Direito	médio	Aprovada
09.04	-	Esquerdo	médio	Aprovada
09.05	-	Direito	médio	Aprovada
09.06	-	Esquerdo	médio	Aprovada

### 3.2.4 ENSAIO EM COBERTURAS PROTETORAS DE CONDUTOR

As coberturas protetoras para condutor são amplamente utilizadas nos trabalhos em linhas energizadas, mais especificamente em linhas de alta e baixa tensão, pelo fato de oferecerem uma maior área de proteção. São produzidas em plástico de alta rigidez dielétrica e resistência a ozônio. Geralmente são da cor laranja, o que permite uma boa visualização, proporcionando além da proteção isolante a identificação da área sob intervenção. Possuem também uma área de encaixe macho/fêmea para conexão de duas ou mais unidades permitindo isolar uma área maior.

Os ensaios de cobertura para condutor devem ser realizados de acordo com o arranjo mostrado na Figura 27.(a). Um eletrodo cilíndrico, onde a cobertura ficará apoiada, deve ser colocado sobre plataformas isolantes, e um eletrodo de mesmo formato da cobertura isolante deve encobri-la. A tensão de ensaio deve ser aplicada no eletrodo interno e o eletrodo externo deve ser aterrado. Entretanto, uma divergência observada entre os procedimentos adotados, durante a realização do ensaio no LAT, e a norma foi o fato de que o eletrodo aterrado no laboratório foi o eletrodo interno. O arranjo utilizado no LAT para realização dos ensaios em coberturas protetoras para condutor do tipo rígida pode ser visto na fotografia mostrada na Figura 27.(b).

Figura 27. Ensaio em coberturas para condutores do tipo rígido. (a) Esquema de montagem. (b) Fotografia do ensaio.



Ao fim do período de ensaio, deve-se verificar se o equipamento apresenta algum sinal de falha, geralmente caracterizadas por perfurações do material. Caso seja constatado algum sinal, a cobertura não pode mais ser utilizada por não atender aos requisitos da norma e é considerada reprovada ou inapta para o uso. Foram ensaiadas um total de desesseis coberturas rígidas cujos resultados estão apresentados na Tabela 6, e seis coberturas flexíveis cujos resultados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 6. Laudo técnico do ensaio em cobertura plástica para condutores rígida.

<b>Ferramenta:</b> Cobertura Plástica para condutor (rígida)			<b>Fabricante:</b> RITZ e LEAL		
<b>Tensão Nominal:</b> 26,6 kV cat. C			<b>Comprimento:</b> 1500 mm		
<b>Ensaio:</b> Tensão Aplicada - 20 kV/60 Hz.			<b>NORMA:</b> ASTM F 712		
<b>RESULTADOS:</b>					
<b>Item</b>	<b>Nº de Série</b>	<b>Laudo</b>	<b>Item</b>	<b>Nº de Série</b>	<b>Laudo</b>
03.01	0904339	Aprovada	03.09	-	Aprovada
03.02	178351	Aprovada	03.10	-	Aprovada
03.03	-	Aprovada	03.11	-	Aprovada
03.04	-	Aprovada	03.12	-	Aprovada
03.05	-	Aprovada	03.13	-	Aprovada
03.06	-	Aprovada	03.14	-	Aprovada
03.07	-	Aprovada	03.15	-	Aprovada
03.08	-	Aprovada	03.16	-	Aprovada

Tabela 7. Laudo técnico do ensaio em cobertura plástica para condutores flexível.

<b>Ferramenta:</b> Cobertura de borracha para condutor				<b>Fabricante:</b> SALISBURY			
<b>Tensão Nominal:</b> 17 kV				Classe: 2			
<b>Ensaio:</b> Tensão Aplicada - 20 kV / 60 Hz				<b>NORMA:</b> ASTM D 1049.			
<b>RESULTADOS:</b>							
<b>Item</b>	<b>Nº de Série</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Laudo</b>	<b>Item</b>	<b>Nº de Série</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Laudo</b>
04.01	-	1400	Aprovada	04.04	-	1400	Aprovada
04.02	-	1400	Aprovada	04.05	-	1400	Aprovada
04.03		1400	Aprovada	04.06		1400	Aprovada

### 3.2.5 ENSAIO EM LENÇÓIS ISOLANTES

Os Lençóis isolantes são fabricados em borracha natural e são utilizados no isolamento elétrico temporário de cabos, transformadores de distribuição e barramentos e ferragens irregulares da rede elétrica de alta tensão.

O procedimento de ensaio de lençóis isolantes se resume ao posicionamento do lençol entre dois eletrodos. O eletrodo inferior deve estar devidamente aterrado e o superior deve acompanhar o formato do lençol, conforme a Figura 28. Em seguida, deve-se aplicar a tensão de ensaio, através do eletrodo superior referente à classe de isolamento de cada lençol durante um período de 1 minuto.

Figura 28. Fotografia do ensaio em lençol isolante.



Qualquer sinal visível de deterioração tais como rachaduras ou perfurações, deve ser considerado como evidência de falha acarretando na reprovação do lençol isolante. Foram ensaiados cinco lençóis de borracha conforme mostrado na Tabela 8, onde a reprovação do item 05.04 ocorreu devido à uma perfuração no equipamento de proteção, ocasionada após a aplicação da tensão de ensaio.

Tabela 8. Laudo técnico do ensaio em lençóis isolantes.

<b>Ferramenta:</b> Lençol Isolantes de borracha				<b>Fabricante:</b> SALISBURY e RITZ			
<b>Tensão de Ensaio:</b> Classe 2, 20kV e Classe 4, 35 kV				<b>Classe 4 / Tipo II</b>			
				<b>NORMA:</b> ASTM D 1048			
<b>RESULTADOS:</b>							
<b>Item</b>	<b>Nº de Série</b>	<b>Classe</b>	<b>Laudo</b>	<b>Item</b>	<b>Nº de Série</b>	<b>Classe</b>	<b>Laudo</b>
05.01	3134	2	Aprovado	05.04	-	2	<b>Reprovado</b>
05.02	3032	2	Aprovado	05.05	-	2	Aprovado
05.03	2132	4	Aprovado				

## 4 CONCLUSÃO

O estágio realizado foi extremamente importante, pois contribuiu substancialmente para o desenvolvimento do caráter prático da discente, que por meio da realização de atividades de acompanhamento e participação em diferentes projetos de pesquisa, e de ensaios técnicos em equipamentos para manutenção em instalações energizadas, pôde se envolver em diferentes áreas da engenharia.

As contribuições técnicas do estágio para o aluno foram: Experiência de trabalho com a equipe de profissionais do próprio laboratório, da empresa contratante (no caso a Energisa Paraíba) e de profissionais de outras instituições (no caso das equipes do IFCE e UFPE); Aprendizado de métodos para avaliação do estado de degradação dos isoladores poliméricos, mediante a medição de corrente de fuga, detecção da radiação ultravioleta, análise do espectro eletromagnético, radiografia, medição de descargas parciais e medição do ruído ultrassônico; Aprendizado dos procedimentos técnicos adotados para ensaios de rotina em equipamentos para manutenção em linhas energizadas.

Dessa forma, neste estágio o aluno teve a oportunidade de colocar em prática grande parte do conteúdo adquirido ao longo do curso, disciplinas como Materiais Elétricos, Sistemas Elétricos, Instalações Elétricas, Equipamentos Elétricos e muitas outras, mostraram-se de grande valia para o bom aproveitamento do estágio.

A discente, então, foi capaz de alcançar seus objetivos com a realização do estágio. São eles: Colocar em prática os seus conhecimentos teóricos, adquirir experiência e aperfeiçoar sua desenvoltura no âmbito profissional. Os resultados obtidos ao fim das atividades atenderam as expectativas, estando ainda em aberto à possibilidade para trabalhos futuros mais detalhados e em outras áreas do conhecimento.

## REFERÊNCIAS

- COPEL. Distribuição. Manual de Instruções Técnicas - Procedimentos de Ensaios de ferramentas e Equipamentos de Linha Viva. 2006.
- FERREIRA, T. V. Estimação Inteligente da Poluição de Isolamentos Elétricos Baseada nos VECSE do Ruído Ultrassônico. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande, 2011.
- GODOI, W. C. Detecção de Defeitos em Isoladores Poliméricos por Radiografia Digital. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, 2005
- GSE - Grupo de Sistemas Elétricos, 2014. Disponível em: <<https://sites.google.com/a/dee.ufcg.edu.br/gse/>>.
- GUEDES, C. P. G. Avaliação do Estado de Degradação de Isoladores Poliméricos pela Correlação dos Níveis de Descargas Parciais (Corona) e a Radiação UV. Proposta de Dissertação (Mestrado), 2014.
- NÓBREGA, R. B.; COSTA, E. G. Materiais Empregados no Revestimento de Isoladores Cerâmicos. In: Anais do 4º Encontro do Grupo de Sistemas Elétricos da Universidade Federal de Campina Grande – PB, Brasil, 2014.
- STASIAK, M. E. Estudo e Desenvolvimento de Composições Nano-Aditivadas. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional de Blumenau, 2009.