



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

JALBERTH FERNANDES DE ARAÚJO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Campina Grande, Paraíba
Março de 2012

JALBERTH FERNANDES DE ARAÚJO

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:

Professor Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Março de 2012

JALBERTH FERNANDES DE ARAÚJO

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 / /

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Tarso Vilela Ferreira, M. Sc.

Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Agradecimentos

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela minha vida e pelo dom da perseverança, que me permitiu concluir este trabalho.

Agradeço ao coordenador do Laboratório de Alta Tensão, professor Genoilton C. Almeida, pela oportunidade de estágio.

Agradeço ao professor Tarso Vilela Ferreira pela orientação na execução do estágio e por ter me proporcionado participar de diferentes atividades durante o mesmo, as quais certamente contribuíram muito na minha aprendizagem. Além disso, agradeço pela oportunidade dada para a colaboração com as atividades realizadas no Laboratório de Alta Tensão, pois há muito esperava por isso, e também agradeço por toda sua paciência nos momentos de sanar as dúvidas.

Agradeço ao professor Edson Guedes por ter me aceitado na equipe do laboratório, e por todo seu conhecimento que foi transmitido durante o curso.

Agradeço ao professor George Lira também pelo conhecimento que foram transmitidos, certamente contribuíram bastante na minha formação.

Agradeço aos amigos que tive durante o curso.

Agradeço a toda a equipe do laboratório pela transmissão do conhecimento e experiência que me foram passados.

Agradeço a minha família pela educação e apoio durante minha existência.

Agradeço a minha noiva, Mônica, pela compreensão e apoio durante o curso.

Lista de Ilustrações

Figura 1. Salão de alta tensão.....	3
Figura 2. (a) Gerador de impulso de corrente; (b) Mesa de controle do gerador de impulso de corrente.	4
Figura 3. (a) Esquema de medição, (b) reservatório, (c) isoladores dispostos no reservatório.	8
Figura 4. Imagem da câmera ultravioleta em um isolador (a) antes da névoa ensaio e (b) após névoa.	10
Figura 5. Registro da retirada de unidades de isoladores de vidro.....	11
Figura 6. Modelo de medidor ultravioleta utilizado nas medições.	11
Figura 7. Diagrama da subestação da TermoPE.....	12
Figura 8. (a) Ancoragem 0ADR10, (b) Ancoragem 0ADR20, (c) e (d) Chave 1ADS01, (e) Chave 1ADS12.	13
Figura 9.(a) Ancoragem 0ADR10, (b) Ancoragem 0ADR20, (c) e (d) Chave 1ADS01, (e) Chave 1ADS12, (f) Disjuntor 2ADD20.	14
Figura 10. Kit do sistema ultrassônico.....	15
Figura 11. Medição de ruído ultrassônico em equipamentos da subestação da TermoPE.	15
Figura 12. (a) Ancoragem 0ADR10, (b) Disjuntor 2ADD20, (c) Chave 1ADS01, (d) TP 1ADC00.....	16
Figura 13. (a)Esquema do ensaio e (b) montagem física para ensaio da luva isolante.....	18
Figura 14. (a)Esquema do ensaio e (b) montagem física para ensaio da manga.....	19
Figura 15. Ensaio em lençol inteiriço.	20
Figura 16. Ensaio em lençol com entalhe.	21
Figura 17. Ensaio para coberturas para condutores tipo rígida.....	22
Figura 18. Cobertura tipo rígida que foi reprovada durante ensaio.....	23
Figura 19. Ensaio em cobertura tipo flexível.	23
Figura 20. Ensaio em cobertura tipo circular.	24
Figura 21. Cobertura que for a reprovada durante ensaio.	25
Figura 22. Eletrodo de guarda.	26
Figura 23. Bastões de manobra.	26
Figura 24. Ensaio em <i>liner</i>	28
Figura 25. Exemplo esquemático de defeitos que podem ser causados por descargas parciais (Macedo <i>et al.</i> , 2012).....	29
Figura 26. Esquema de medição de descargas parciais.....	29
Figura 27. (a) Medição de descargas parciais com presença de ruído. (b) Medição de descargas parciais após a aplicação de um filtro para redução do ruído.....	30
Figura 28. Arranjo para separar a componente resistiva da corrente de fuga.....	31
Figura 29. Arranjo experimental para medição da corrente de fuga.	32
Figura 30. Sinal na saída do divisor de tensão (Azul) e da corrente de fuga (Verde).	33
Figura 31. Sinal da tensão aplicada no varistor (Azul) e componente resistiva da corrente de fuga (Verde)	33
Figura 32. Terrômetro Digital utilizado na medição da resistividade do solo.	34
Figura 33. Método de Wenner.....	35
Figura 34. Partes do terreno onde foram feitas as medições.	35
Figura 35. Pontos para medição da resistividade do solo no terreno SE.....	35
Figura 36. Diagrama de medição de resistividade no terreno SE.	36
Figura 37. Pontos para medição da resistividade do solo no terreno Galpão.	37
Figura 38. Diagrama de medição de resistividade no terreno Galpão.....	37
Figura 39. Pontos para medição da resistividade do solo no terreno Tancagem.....	38
Figura 40. Diagrama de medição de resistividade no terreno Tancagem.....	38
Figura 41. (a) Resultado obtido durante medição. (b) Utilização do terrômetro para medição da resistividade. (c) Fincamento das hastes para medição da resistividade do solo.	39
Figura 42. Configuração utilizada para medição.	40
Figura 43. Sinais de tensão e corrente na haste.	40
Figura 44. Circuito de Marx.....	41
Figura 45. Transformador aberto durante a introdução do óleo.....	42
Figura 47. Relação de tensão do divisor do gerador.	43

Figura 48. Gerador de Impulso de Tensão do LAT.44

Lista de Tabelas

Tabela 1. Valores máximos de corrente de fuga nos isoladores.	10
Tabela 2. Equipamentos inspecionados.	12
Tabela 3. Propriedades elétricas das luvas para correntes alternadas.....	17
Tabela 4. Laudo técnico para as luvas.	18
Tabela 5. Propriedades elétricas para CA e CC.....	19
Tabela 6. Laudo técnico para mangas.....	20
Tabela 7. Propriedades elétricas dos lençóis isolantes.....	20
Tabela 8. Laudo técnico para lençol inteiriço.....	21
Tabela 9. Laudo técnico para lençol de entalhe.....	21
Tabela 10. Tensão de uso das coberturas protetoras em função da classe de isolamento.....	22
Tabela 11. Laudo técnico para cobertura tipo rígida.....	23
Tabela 12. Laudo técnico para cobertura tipo flexível.....	24
Tabela 13. laudo técnico para cobertura circular.....	25
Tabela 14. valores máximos para corrente de fuga em hastes e tubos de fibra.....	27
Tabela 15. Laudo técnico para bastões de manobra.....	27
Tabela 16. Laudo técnico para o <i>liner</i>	28
Tabela 17. Medições de resistividade realizadas no terreno SE.....	36
Tabela 18. Medições de resistividade realizadas no terreno Galpão.....	37
Tabela 19. Medições de resistividade realizadas no terreno Tancagem.....	38
Tabela 20. Resultados obtidos no teste do divisor do gerador.....	42
Tabela 21. Tempos de descarregamento dos capacitores.....	43

Sumário

Agradecimentos.....	iv
Lista de Ilustrações.....	v
Lista de Tabelas.....	vii
Sumário.....	viii
1 Introdução.....	1
2 Laboratório de Alta Tensão.....	2
2.1 Salão de Alta Tensão.....	2
2.2 Laboratório de Materiais Elétricos.....	3
2.3 Laboratório de Sistemas Elétricos.....	4
2.4 Sala do Gerador de Impulso de Corrente.....	4
2.5 Sala do Kit de Alta Tensão.....	5
2.6 Sala do Laboratório de Instalações Elétricas.....	5
2.7 Sala do Laboratório de Sistemas de Potência.....	5
2.8 Atividades desenvolvidas para terceiros.....	6
3 Atividades desenvolvidas.....	7
3.1 Ensaio em isoladores.....	7
3.2 Visitas à TermoPE.....	10
3.3 Ensaio em ferramentas para manutenção de linhas energizadas.....	16
3.3.1 Ensaio em luvas isolantes.....	17
3.3.2 Ensaio em mangas isolantes.....	19
3.3.3 Ensaio em lençóis isolantes.....	20
3.3.4 Ensaio em coberturas protetoras.....	21
3.3.5 Coberturas protetoras para condutor.....	22
3.3.6 Cobertura protetora circular.....	24
3.3.7 Ensaio em bastões de manobra.....	26
3.3.8 Ensaio em cuba isolante.....	27
3.4 Ensaio de descargas parciais em um transformador de potencial.....	28
3.5 Ensaio em um varistor para diagnóstico de para-raios de óxido de zinco.....	30
3.6 Medição da resistividade do solo da Termoelétrica CG.....	33
3.7 Ensaio com o gerador de impulsos de corrente.....	39
3.8 Gerador de impulso de tensão.....	41
4 Conclusões.....	45
5 Referências Bibliográficas.....	46
ANEXO A.....	47

1 Introdução

A evolução tecnológica vivenciada nas últimas décadas tem provocado grandes mudanças no setor elétrico, envolvendo a geração, transmissão, e distribuição de energia elétrica. Como consequência do processo, faz-se necessário a formação de profissionais com perfis cada vez mais atualizados e compatíveis com as novas exigências do mercado.

Dessa forma, o engenheiro precisa ter uma postura de questionamento das soluções tradicionais, procurando inovar e efficientizar processos, através do entendimento dos problemas e formulação das soluções apropriadas.

A aplicação dos conhecimentos adquiridos nas disciplinas e laboratórios durante a formação é essencial, uma vez que o senso perceptivo necessário para empregar os conhecimentos na solução de problemas é uma habilidade que deve ser estimulada e lapidada pela experiência prática.

Nesse contexto, esse relatório apresenta as atividades desenvolvidas durante o estágio supervisionado do aluno Jalberth Fernandes de Araújo, relatando as experiências adquiridas e as dificuldades encontradas durante o período de sua vigência.

2 Laboratório de Alta Tensão

O Laboratório de Alta tensão (LAT) começou a ser implementado em 1974, graças a uma associação de recursos nacionais com recursos de algumas cooperações técnicas internacionais. Na sua especialidade, o LAT, é hoje, o laboratório melhor equipado do Norte-Nordeste do país, com uma área construída de 1.350 m². O LAT possui equipamentos sofisticados e um corpo técnico formado por docentes-pesquisadores, engenheiros e técnicos dos mais qualificados e experientes.

O Grupo de Sistemas Elétricos (GSE) é resultado da fusão de antigos grupos de Sistemas de Potência e Alta Tensão, ocorrida em 1999. A fusão dos dois grupos resultou na incorporação de novas linhas de pesquisa, além da consolidação e fortalecimento das linhas de pesquisa existentes. O GSE tem como finalidade básica o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão relacionadas à ênfase de eletrotécnica (Grupo de Sistemas Elétricos, 2012).

Nos últimos 25 anos, foram realizados um grande número de ensaios elétricos, de recebimento e pós-reparos eletromecânicos, além de apoio a pesquisas de desenvolvimento de equipamentos. Várias empresas tais como, a PETROBRAS, Chesf, Energisa, CEAL, JPW, CEMEC, ALCACE, têm solicitado os serviços do LAT.

Atualmente o LAT é composto pelos seguintes ambientes: Salão de Alta Tensão, Laboratório de Materiais Elétricos, Laboratório de Sistemas Elétricos, Sala do Gerador de Impulso de Corrente, Sala do Kit de Alta Tensão, Sala do Laboratório de Instalações Elétricas e Sala do Laboratório de Sistemas de Potência.

2.1 Salão de Alta Tensão

O Salão de Alta Tensão é o principal ambiente dentro do LAT. Neste ambiente são realizados os ensaios mais exigentes em termos de potência, visto que possui equipamentos como transformadores de potencial em cascata, que permitem a geração de até 600 kV, e o gerador de impulsos de alta tensão (700 kV), com o qual se realizam ensaios em transformadores, isoladores, disjuntores e chaves. A cascata de

transformadores pode suprir tensões de até 600 kV com uma corrente de 1 A. Dentre os ensaios realizados neste salão tem-se: ensaios de validação de modelos computacionais, ensaios de envelhecimento, ensaios de descargas, e ensaios de verificação de isolamento em equipamentos manutenção de linha viva.

Além disso, há também nesse ambiente uma câmara de névoa, útil em ensaios envolvendo umidade ou névoa salina, a qual é utilizada em ensaios em isoladores. A Figura 1 mostra uma fotografia do Salão de Alta Tensão.



Figura 1. Salão de alta tensão (Grupo de Sistemas Elétricos, 2012).

2.2 Laboratório de Materiais Elétricos

Este laboratório tem como finalidade a sedimentação dos conhecimentos adquiridos na disciplina de Materiais Elétricos. Dentre os principais experimentos realizados neste laboratório podem-se citar:

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

Para realização destes experimentos o laboratório possui um Kit Didático para Alta Tensão (100 kV), uma Ponte *Schering* e capacitores padrão.

2.3 Laboratório de Sistemas Elétricos

O Laboratório de Sistemas Elétricos complementa a disciplina Sistemas Elétricos, do curso de graduação em Engenharia Elétrica, e tem como finalidade básica a sedimentação dos conhecimentos adquiridos na mesma. Neste laboratório são realizadas montagens e medições necessárias para análise de grandezas elétricas na forma de experimentos que tangem tensões e correntes de circuitos indutivos, correção de fator de potência, tensões e correntes em um circuito trifásico equilibrado, e medição da potência ativa e reativa nos circuitos trifásicos.

Para realização destes experimentos, o laboratório possui bancadas equipadas com motores, reatores, capacitores, resistências de carga e instrumentos de medição.

2.4 Sala do Gerador de Impulso de Corrente

O Gerador de Impulso de Corrente dá apoio a algumas disciplinas de graduação, como o laboratório de Equipamentos Elétricos, técnicas de Alta Tensão, como também auxiliam a realização de ensaios experimentais da Pós-Graduação e de projetos de pesquisa. Neste laboratório são ministrados experimentos envolvendo equipamentos de alta tensão, como para-raios. A capacidade do gerador de impulso de corrente é de 100 kA, 100 kV, 80 kJ. Com o gerador, também é possível realizar ensaios de impulsos de alta corrente, entre outros. Na Figura 2 são mostrados o Gerador de impulso de corrente e sua respectiva mesa de controle, respectivamente.



(a)



(b)

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

2.5 Sala do Kit de Alta Tensão

O kit de Alta tensão é indicado para ensaios que necessitem de uma faixa de tensão de 0 kV a 100 kV, como por exemplo, ensaios de suportabilidade de cadeias de isoladores. Este kit dá apoio a várias disciplinas de graduação e pós-graduação, como materiais elétricos, técnicas de alta tensão, e equipamentos elétricos. Por possuir dimensões compactas, facilita a execução dos experimentos.

O Kit dispõe de uma mesa de controle, a qual consta de um transformador de 220 V/100 kV, capacitores de alta tensão, resistores de alta tensão, espinterômetros, tubos para descargas em gases ou vácuo, dentre outros.

2.6 Sala do Laboratório de Instalações Elétricas

O laboratório de instalações elétricas complementa o aprendizado da disciplina instalações elétricas do curso de graduação em Engenharia Elétrica. O laboratório também oferece cursos de extensão e de treinamento coordenados pelo professor Edson Guedes da Costa. Atualmente, a disciplina dispõe de experimentos como:

- Fotometria;
- Instalações prediais;
- Instalações industriais;

O laboratório de instalações elétricas possui infraestrutura de rede elétrica, em concordância com a NBR 5410.

2.7 Sala do Laboratório de Sistemas de Potência

O laboratório de sistemas de potência (LSP) foi criado em 1986 com a instalação de um microcomputador VAX-750, doado pelo governo alemão. Posteriormente foram adicionados microcomputadores mais modernos, os quais foram adquiridos através de convênios com a Eletrobrás e de recursos próprios.

O LSP tem como finalidade básica o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão, com ênfase no estudo de métodos para simulação de sistemas elétricos, modelagem digital de equipamentos elétricos, redes neurais, desenvolvimento

de interfaces gráficas, etc. Os usuários do LSP constituem-se de professores, alunos de pós-graduação, e alunos de iniciação científica.

2.8 Atividades desenvolvidas para terceiros

O LAT desenvolve algumas atividades de ensaios elétricos de recebimento e pós-reparos eletromecânicos, além de apoio a pesquisas de desenvolvimento de equipamentos. Durante o estágio, as empresas que solicitaram serviços do LAT foram a Energisa, a TermoPernambuco S.A. (TermoPE) e a Usina Termoelétrica Campina Grande (UTE CG).

A empresa, na Borborema, possui duas subestações, 2.958 transformadores de distribuição, e sua potência total instalada de distribuição é de 332 MVA. O LAT realiza ensaios em ferramentas de manutenção para linha viva quando a empresa solicita estes serviços.

A TermoPE está localizada no Porto de Suape, em Ipojuca/PE. Utiliza o gás natural como combustível, possuindo três turbinas em sistema de ciclo combinado, sendo duas turbinas a gás e uma a vapor, com potência média combinada de 532 MW. O terreno ocupado pela empresa possibilita a duplicação da usina podendo atingir a potência de 1.064 MW [2]. A TermoPE possui um vínculo com o LAT conforme contrato de P&D PacTc-PB/UFCEG/TermoPE-TPE38, nos moldes regulamentados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Tal projeto visa criar um sistema que seja capaz de emitir recomendações de lavagem ou não lavagem de isolamentos, a partir do ruído ultrassônico emitido por eles (TermoPE, 2012).

A UTE CG funciona como uma reserva energética que entra em operação apenas em caso insuficiência de fornecimento do sistema da Chesf/Eletrôbrás. A usina utiliza óleo combustível B1¹ como combustível principal, e óleo diesel como alternativo. A unidade geradora funciona em ciclo térmico simples, com 164 MW de capacidade instalada. O serviço desenvolvido para a UTE CG foi de realizar medição anual da resistividade do solo em terrenos onde a empresa está localizada. Estas medições periódicas são requeridas a fim de que o funcionamento da UTE seja permitido pelas agências regulamentadoras (UTE CG, 2012).

O óleo combustível B1 é uma fração residual dos processos de refino do petróleo que apresenta baixo teor de enxofre.¹

3 Atividades desenvolvidas

Durante o estágio foram realizados vários ensaios elétricos e acompanhamentos a medições em empresas de geração de energia. As atividades serão descritas posteriormente. Todas as atividades foram acompanhadas por professores ou alunos de pós-graduação do GSE.

3.1 Ensaio em isoladores

As falhas em isolamentos elétricos são as principais causas das interrupções no fornecimento de energia elétrica aos diversos consumidores supridos por um sistema de potência. Interrupções no fornecimento de energia elétrica causam, mundialmente, perdas financeiras em torno de 100 bilhões de dólares. Uma interrupção momentânea de um segundo ou menos, muitas vezes causadas por isoladores que falham, tem o mesmo impacto financeiro que uma interrupção de vários minutos, para indústrias de processos contínuos.

Tratando-se de subestações, seu desempenho está diretamente relacionado com o desempenho dos seus isolamentos. A operação de uma subestação em ambiente marinho, principalmente na região Nordeste, onde o grau de salinidade do mar é alto, requer cuidados especiais. A lavagem dos seus isolamentos é uma condição necessária para o bom funcionamento da subestação. Assim, a definição de períodos ótimos para a lavagem dos isolamentos reduziria custos com lavagens indevidas ou evitaria desligamentos desnecessários ou indevidos. Com isto, estudos podem ser realizados mediante a medição de descargas corona e ruído ultrassônico, a fim de parametrizar estas grandezas com a determinação de instantes ótimos para lavagem dos isolamentos.

As descargas de corona produzem luz, cheiro, rádio interferência e som, além de outros subprodutos. Assim, uma alternativa aceitável e economicamente acessível para realização de inspeções em sistemas elétricos são os detectores de ruídos eletromagnéticos e os detectores de ruídos sonoros.

Além disso, fatores como umidade, clima da região e grau de poluição nos isolamentos inspecionados podem influenciar diretamente nos resultados, aumentando o risco de interpretações equivocadas.

Neste contexto, foram realizados ensaios em laboratório visando a parametrização e quantificação dos sinais de ruídos sonoro advindos de isolamentos utilizados na TermoPE. O instrumento que foi utilizado como referência para a parametrização foi uma câmera sensível à radiação ultravioleta emitida pelas descargas corona.

Assim, o objetivo central destes ensaios, é desenvolver um sistema capaz de emitir recomendações de lavagem ou não lavagem de isolamentos, a partir do ruído ultrassônico emitido pelos isolamentos. Desta forma, foi empregado como câmara de névoa um reservatório para líquido de uso geral, com dimensões 1,2 x 1,0 x 1,0 m, de modo que se pudessem realizar os experimentos de aplicação de tensão em isoladores submetidos à névoa salina.

No interior do reservatório foram colocados isoladores de vidro que serviram de suporte e bloqueio de corrente de fuga para as amostras a serem ensaiadas no interior da câmara de névoa. O esquema de medição, o reservatório e os isoladores dispostos dentro do reservatório, respectivamente, estão mostrados na Figura 3.

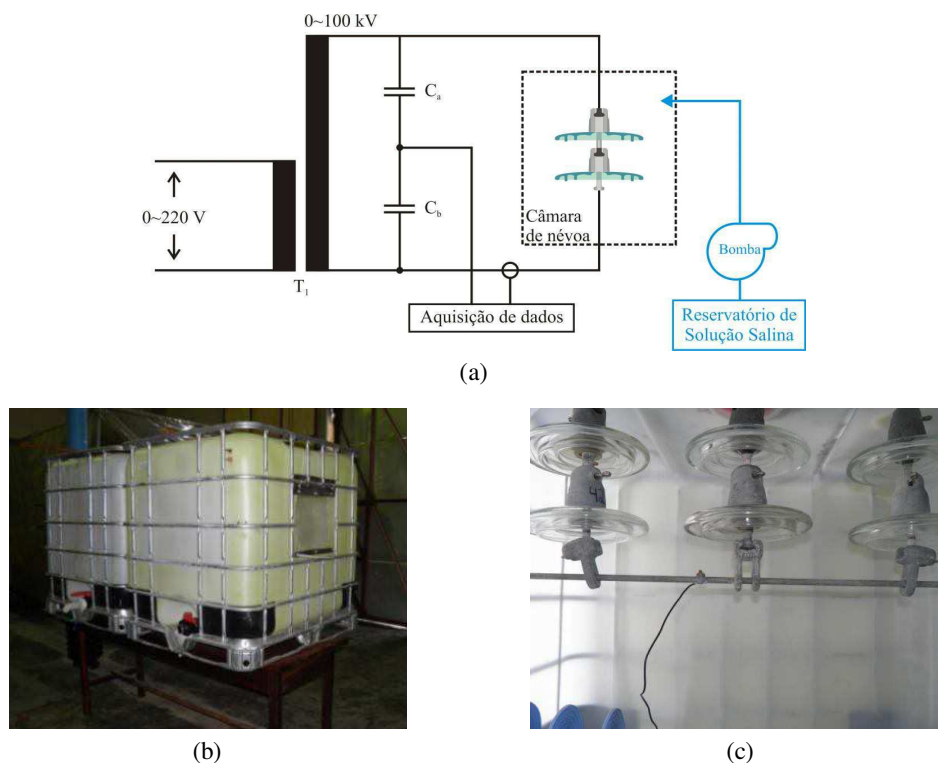


Figura 3. (a) Esquema de medição, (b) reservatório, (c) isoladores dispostos no reservatório.

Os isoladores foram retirados aos pares da estrutura que os abriga na TermoPE, resultando em três pares de isoladores com diferentes salinidades. O processo de retirada dos isoladores da estrutura deve ser feito com cuidado para que a poluição salina depositada em cima do isolador não seja afetada no processo, comprometendo-a.

As amostras foram trazidas para o Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e foram submetidas à tensão elétrica e névoa para que a corrente elétrica e o campo elétrico fossem monitorados em tais condições. O monitoramento foi realizado através da medição de corrente de fuga e emissão ultravioleta.

Os ensaios aqui descritos tiveram como objetivo determinar, para cada isolador, a emissão de radiação ultravioleta e de corrente de fuga sob poluição salina natural do ambiente da TermoPE.

Inicialmente, os isoladores foram submetidos à tensão de 11,3 kV a seco, durante 30 minutos, para que atingissem o regime de corrente de fuga e permitindo um aquecimento apreciável do mesmo. Em seguida, foi realizada a inspeção de emissão ultravioleta nos isoladores. A tensão de 11,3 kV é aplicada nos isoladores devido a ser com esta tensão que os mesmos ficariam submetidos a uma condição de maior passagem de corrente de fuga, simulando o pior caso.

Quando passados 30 minutos da aplicação de tensão a seco, os isoladores foram submetidos à névoa limpa, o que aumenta o valor da corrente de fuga devido à presença de sal depositado na superfície do isolador. Após um determinado período de tempo sob névoa, o valor da corrente de fuga diminui, dado que a névoa depositada sobre o isolador tende a limpar o sal que se encontrava depositada no mesmo. Após a diminuição desta corrente até um valor estável, a névoa é interrompida e as medições de emissão ultravioleta e ultrassom são realizadas, as quais são realizadas com aparelhos específicos que serão apresentados mais adiante.

A Figura 4 ilustra a concentração de descargas corona em um isolador antes do ensaio e após o ensaio.

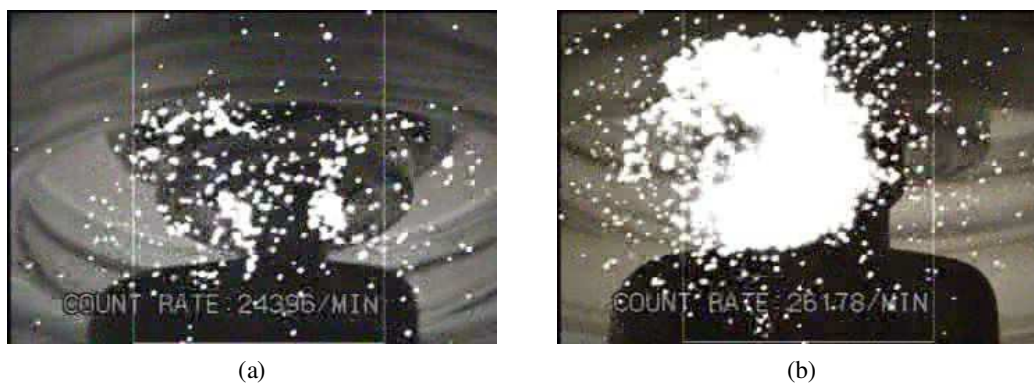


Figura 4. Imagem da câmera ultravioleta em um isolador (a) antes da névoa ensaio e (b) após névoa.

As correntes de fuga medidas apresentam um resultado coerente, na medida em que crescem quando da aplicação da névoa. Os resultados de três isoladores que foram ensaiados são mostrados na Tabela 1.

TABELA 1. VALORES MÁXIMOS DE CORRENTE DE FUGA NOS ISOLADORES.

	R1I1	R2I1	R3I1
Corrente a seco (mA)	0,47	0,48	0,46
Corrente sob névoa (mA)	1,4	2,1	1,6

3.2 Visitas à TermoPE

Durante o estágio foram feitas duas visitas à TermoPE, as seguintes atividades foram realizadas no local:

- Retirada de dois isoladores de vidro, para ensaios no LAT, os quais estavam expostos à brisa marítima, em um local próximo à subestação. Os isoladores estavam desenergizados;
- Medição do ruído ultrassônico em isolamentos da subestação;
- Medição de radiação ultravioleta em isolamentos da subestação.

Uma estrutura foi erguida na TermoPE para servir de abrigo para os isoladores de vidro. A ideia é proteger tais isoladores da chuva para que os mesmos ficassem submetidos apenas à poluição salina do ambiente. Tal estrutura está mostrada na Figura



Figura 5. Registro da retirada de unidades de isoladores de vidro.

As medições para detecção de ultravioleta nos isoladores e isolamentos de chaves, disjuntores, etc., foram realizadas com o auxílio do DayCor II™, o qual está mostrado na Figura 6.



Figura 6. Modelo de medidor ultravioleta utilizado nas medições.

Nas duas visitas que o estagiário acompanhou, os mesmos equipamentos foram inspecionados. A Tabela 2 mostra os equipamentos inspecionados, nas visitas feitas à TermoPE. Estes foram escolhidos por apresentarem maiores evidências de descargas de corona, historicamente. A Figura 7 apresenta o diagrama unifilar da subestação, mostrando os equipamentos que foram inspecionados.

TABELA 2. EQUIPAMENTOS INSPECIONADOS.

Equipamentos Inspeccionados	Nomenclatura Utilizada
TP	1ADC00 fase B
Cadeia de Ancoragem	0ADR10 1ADP01 geração fase A
Chave	1ADS01 fase A
Disjuntor	1ADD10 fase C
Chave	1ADS12 fase C
Disjuntor	1ADD20 fase C
Disjuntor	1ADD30 fase C
Cadeia de Ancoragem	0ADR30 1ADP01 carga fase C
Disjuntor	2ADD20 fase C
Cadeia de Ancoragem	0ADR 3ADP01 geração fase A
Disjuntor	3ADD20 fase C

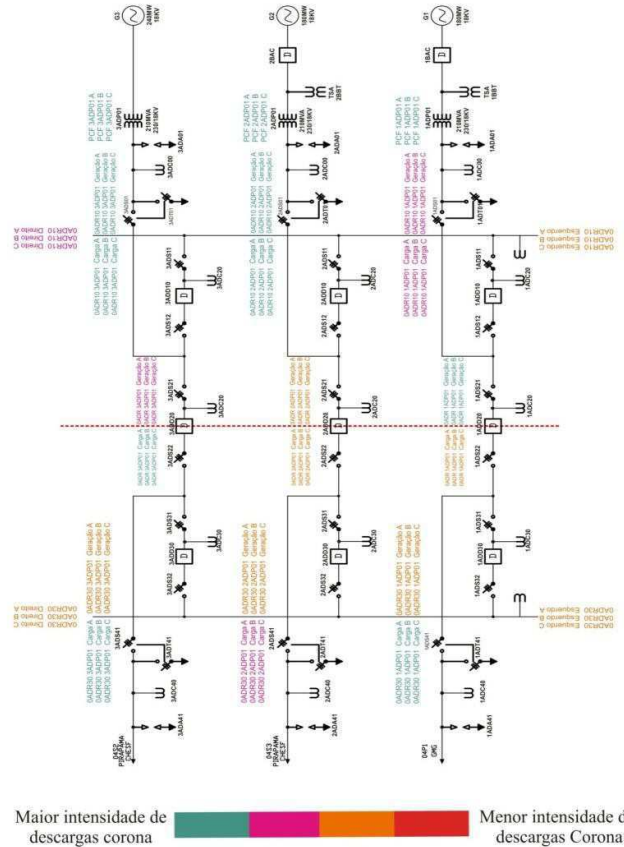


Figura 7. Diagrama da subestação da TermoPE.

Durante a primeira medição realizada no estágio, verificou-se que os referidos equipamentos inspeccionados estavam limpos. Os únicos equipamentos que apresentaram algum vestígio de descargas corona na análise foram as chaves 1ADS01 e 1ADS12 e as cadeias de ancoragem 0ADR10 e 0ADR20. Ainda assim, pouca evidência de corona foi observada nas chaves. A Figura 8 apresenta algumas fotografias obtidas durante as medições.

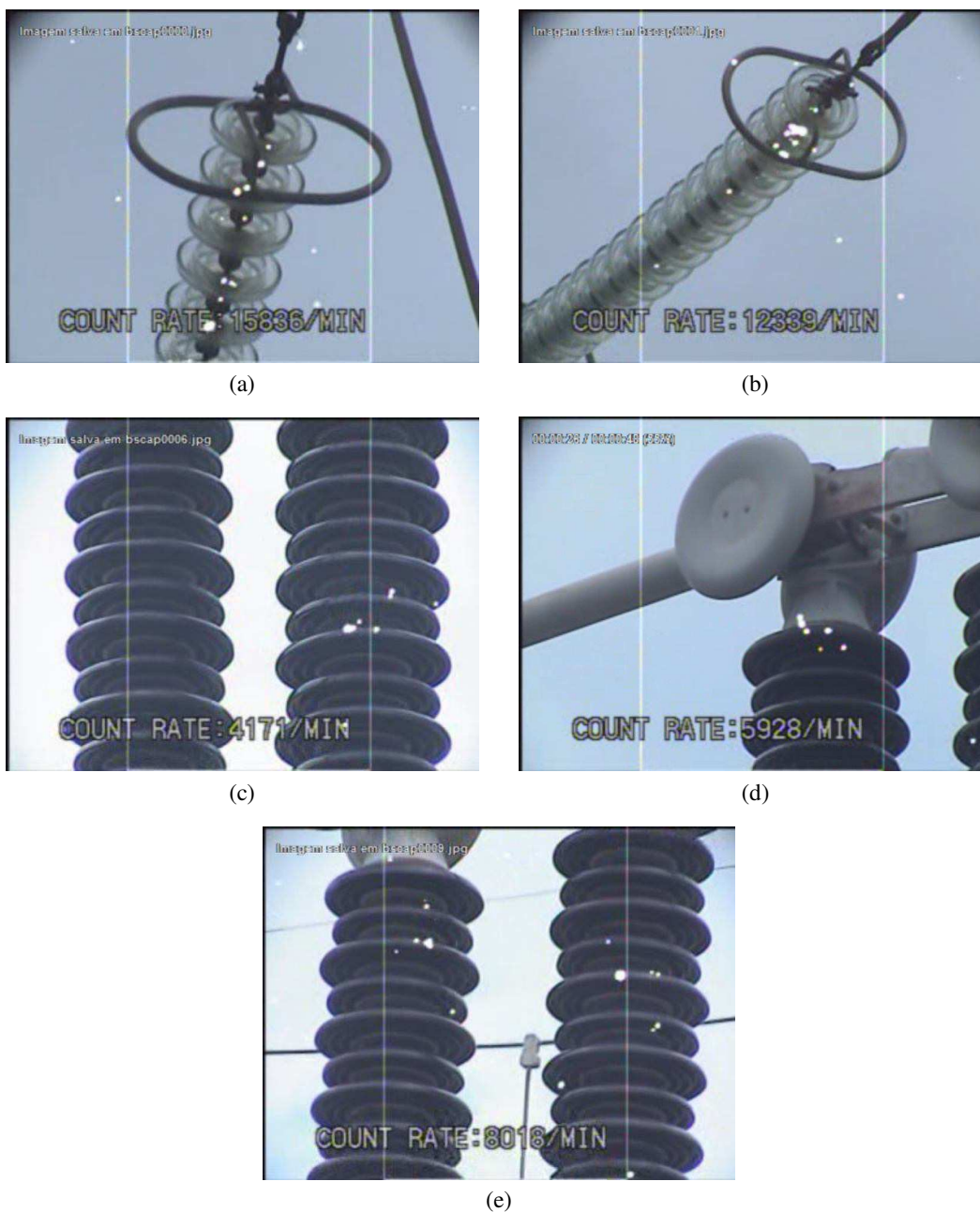


Figura 8. (a) Ancoragem 0ADR10, (b) Ancoragem 0ADR20, (c) e (d) Chave 1ADS01, (e) Chave 1ADS12.

Na segunda visita foi percebido um grau maior de corona. A Figura 9 apresenta as fotografias registradas no dia da visita.

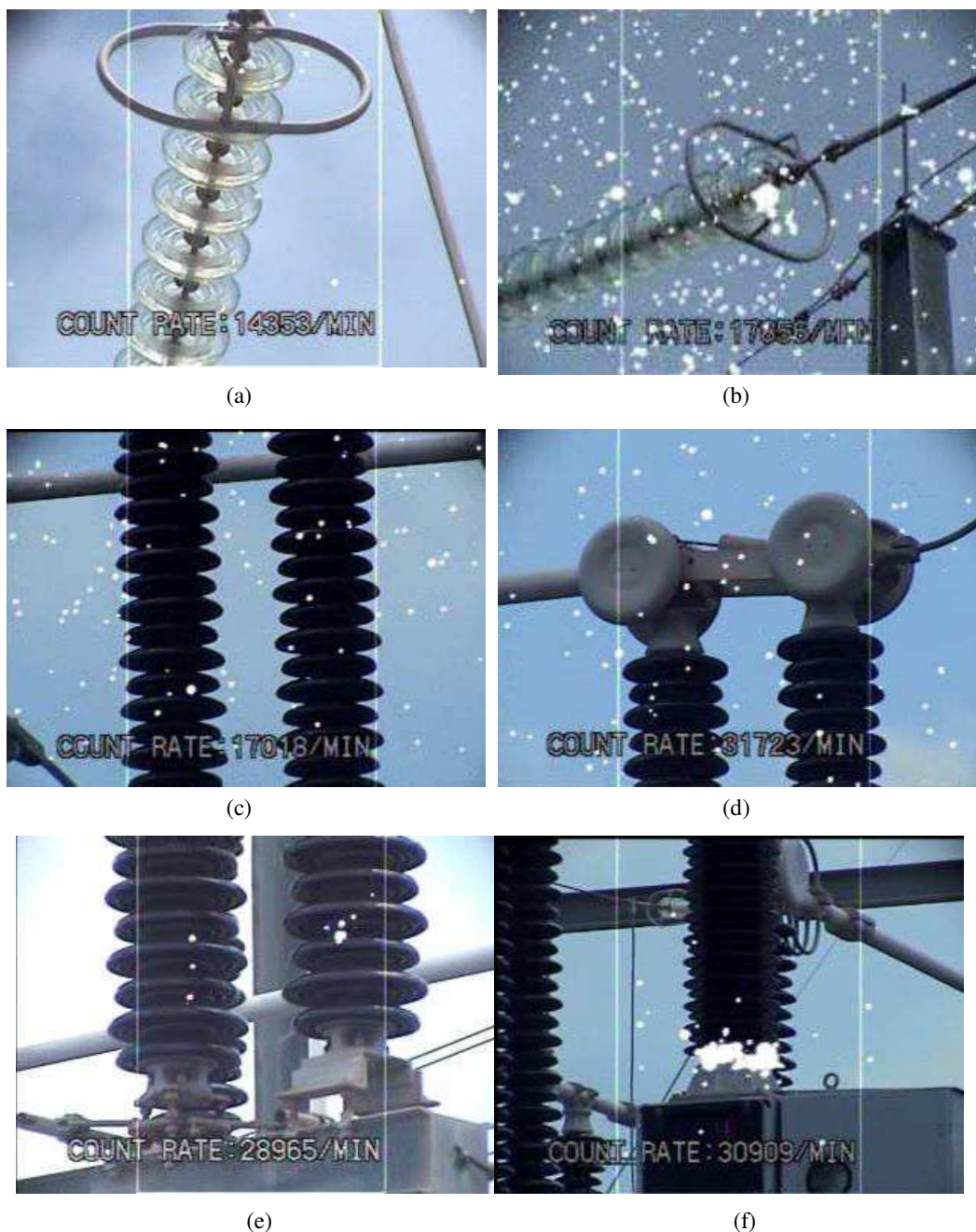


Figura 9.(a) Ancoragem 0ADR10, (b) Ancoragem 0ADR20, (c) e (d) Chave 1ADS01, (e) Chave 1ADS12, (f) Disjuntor 2ADD20.

A Figura 9 – (b) teve sua medição invalidada, pois no momento da medição havia uma máquina de solda em uso próximo no local, o que causou interferência no equipamento e a medição teve que ser descartada. O disjuntor 2ADD20, Figura 9 – (f) apresentou uma grande concentração de corona em sua base.

Na subestação da TermoPE foram realizadas medições de ruído ultrassônico utilizando o ULTRAPROBE® 2000, o qual é mostrado na Figura 10



Figura 10. Kit do sistema ultrassônico.

As medições foram realizadas com o auxílio do estagiário, o qual é o realizador deste relatório. Uma das medições realizadas está mostrada na Figura 11.



Figura 11. Medição de ruído ultrassônico em equipamentos da subestação da TermoPE.

Os dados do sinal de ruído ultrassônico foram registrados no local da medição, com o auxílio de um computador portátil. Na Figura 12 estão mostrados alguns dos sinais de ultras som, obtidos no momento da medição. Os sinais mostrados na Figura 12 foram normalizados.

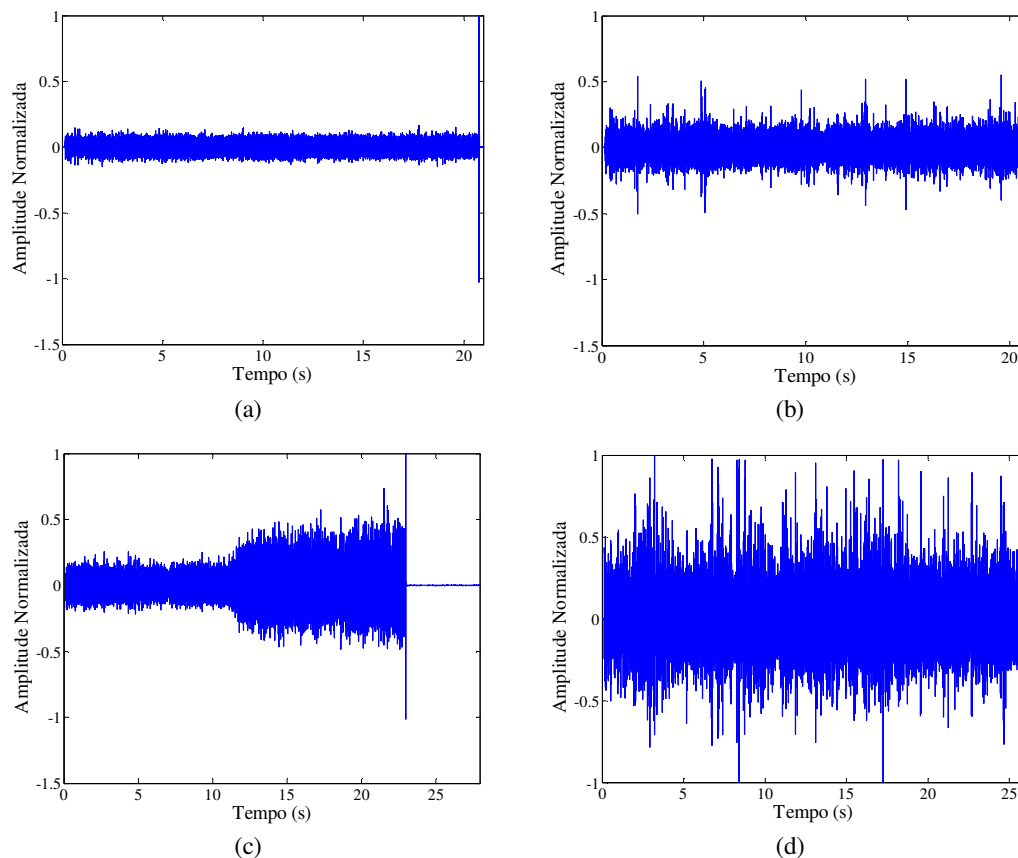


Figura 12. (a) Ancoragem 0ADR10, (b) Disjuntor 2ADD20, (c) Chave 1ADS01, (d) TP 1ADC00.

3.3 Ensaios em ferramentas para manutenção de linhas energizadas

O serviço em linha energizada tem se tornado cada vez mais importante para empresas do setor energético mundial. Este serviço é executado por trabalhadores que devem estar protegidos por equipamentos, ferramentas e dispositivos isolantes ou equipados com materiais isolantes, destinados ao trabalho em alta tensão. Os equipamentos devem ser submetidos a testes elétricos periódicos, obedecendo-se as especificações do fabricante e a legislação vigente como as normas regulamentadoras NR-10 e NR-6 (Manual de Instruções Técnicas, 2006).

Os ensaios mencionados acima, geralmente, são feitos por empresas certificadoras especializadas. A única maneira de avaliar se uma luva tem isolamentos suficientes para uso nos serviços em linha viva é submetê-la aos ensaios previstos em normas ou especificações do fabricante.

Os ensaios descritos a seguir foram realizados no LAT e foram solicitados pela empresa Energisa. Os equipamentos utilizados na execução do ensaio foram: gerador de tensão AC, 100 kV, divisor de tensão capacitivo, multímetro digital, termo-higrômetro.

3.3.1 ENSAIOS EM LUVAS ISOLANTES

As luvas isolantes devem ser isentas de irregularidades prejudiciais, que possam ser constatadas através de inspeção visual. Além disso, as luvas devem cobrir totalmente a mão, pulso e parte do antebraço do usuário, permitindo a interdependência de movimentos entre os dedos.

Todas as luvas devem suportar tensão alternada, a uma frequência de 60 Hz, conforme especificado na Tabela 3.

TABELA 3. PROPRIEDADES ELÉTRICAS DAS LUVAS PARA CORRENTES ALTERNADAS (MANUAL DE INSTRUÇÕES TÉCNICAS, 2006).

Class e das luvas	Tensão de ensaio (V)	Tensão máxima de uso (V)	Distância H (mm)	Cor	Corrente máxima de fuga (mA)			
					L = 267	L = 356	L = 406	L = 457
00	2500	500	38	Bege	6	10	12	14
0	500	1000	38	Vermelha	8	12	14	16
1	10000	75000	38	Branca	-	14	16	18
2	20000	17000	64	Amarela	-	16	18	20
3	30000	26500	89	Verde	-	18	20	22
4	40000	36000	127	laranja	-	-	22	24

Notas:

- Exceto para luvas classe 00 e 0, a tensão máxima de uso deve ser baseada na fórmula:
tensão máxima de uso = 0,95 da tensão de ensaio - 2000V.
- Os valores da tensão (V) referem-se a valores eficazes.
- L = comprimento da luva em milímetros.
- A distância H refere-se a parte emersa da luva (tolerância + ou - 8 mm).

A montagem física para ensaio das luvas isolantes obedece ao esquema representado pela Figura 13.

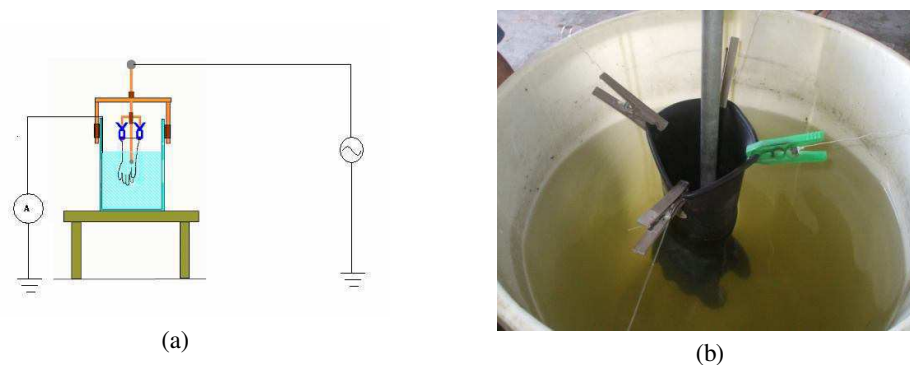


Figura 13. (a)Esquema do ensaio e (b) montagem física para ensaio da luva isolante (Manual de Instruções Técnicas, 2006).

O ensaio de luva isolante consiste em aplicar um determinado valor de tensão ao eletrodo que é introduzido na água contida no interior da luva. 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 na luva. A parte da luva acima da linha d'água deve estar rigorosamente seca. O recipiente com água onde a luva foi imersa deve ser devidamente aterrado.

Iniciando em zero, a tensão deve ser elevada gradualmente, até atingir o valor da tensão de ensaio da Tabela 3, o qual deve ser mantido por 1 (um) minuto, e em seguida retornar a tensão ao valor zero, também gradualmente. A água usada neste ensaio deve ser renovada a cada lote de, no máximo, 50 luvas ou quando se tornar necessário, devendo estar isenta de bolhas de ar ou material em suspensão. O ensaio deve ser executado à temperatura ambiente.

A ocorrência da disrupção elétrica do material ou a perfuração do mesmo reprovava a luva. Mede-se, também, a corrente de fuga na ferramenta para monitorar se a mesma está entre os limites aceitáveis, os quais estão mostrados na Tabela 2.

Durante o ensaio, foram ensaiadas um total de 6 luvas. O laudo técnico para as luvas, mostrando o total de luvas ensaiadas, assim como a quantidade de aprovadas e reprovadas, está mostrado na tabela 4.

TABELA 4. LAUDO TÉCNICO PARA AS LUVAS.

Item	Nº de Série ou Identificador	Lado	Tamanho (pol)	Corrente (mA)	Laudo
11.01	000322917	Direito	10	7,9 / 7,8*	Aprovada
11.02	000387964	Esquerdo	10	perfurou	Reprovada
11.03	000382000	Direito	10	9,5 / 9,4*	Aprovada
11.04	000381977	Esquerdo	10	9,5 / 9,5*	Aprovada
11.05	000759771	Direito	9 ½	9,0 / 9,0*	Aprovada
11.06	000759799	Esquerdo	9 1/2	8,9 / 8,8*	Aprovada

3.3.2 ENSAIOS EM MANGAS ISOLANTES

A Classe de isolamento das mangas refere-se à tensão de ensaio e uso, como pode ser visto na Tabela 5.

TABELA 5. PROPRIEDADES ELÉTRICAS PARA CA E CC (MANUAL DE INSTRUÇÕES TÉCNICAS, 2006).

Classe da manga	Tensão máxima de uso (kV)	Tensão de ensaio AC (kV)	Tensão de ensaio DC (kV)
0	1	5	20
1	7,5	10	40
2	17	20	50
3	26,5	30	30
4	36	40	70

Para a realização do ensaio de tensão aplicada nas mangas isolantes, várias montagens são sugeridas, em função da classe de isolamento da manga. No ensaio realizado no LAT-UFCG 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 mostra a Figura 14. O procedimento experimental do ensaio se assemelha ao da luva isolante descrito na seção anterior.

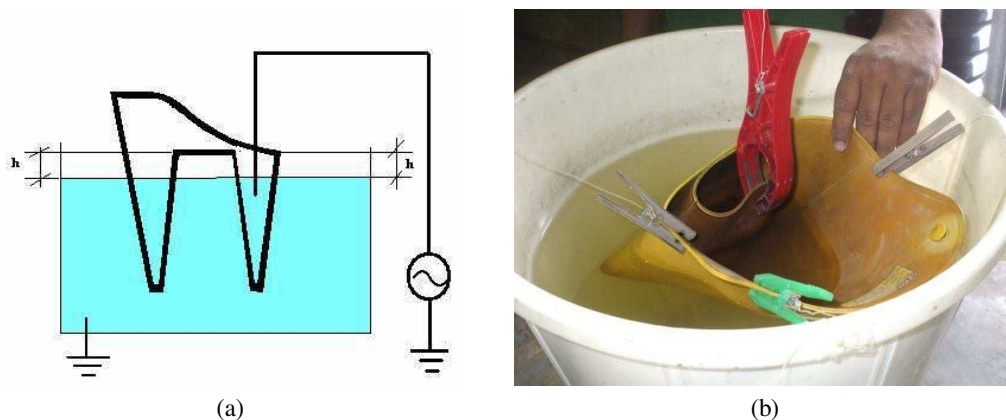


Figura 14. (a)Esquema do ensaio e (b) montagem física para ensaio da manga (Manual de Instruções Técnicas, 2006).

Após atingir a tensão nominal de ensaio, a tensão deverá permanecer aplicada por um tempo de 1 (um) minuto.

A manga será reprovada na ocorrência de ruptura elétrica do material ou a perfuração do mesmo.

O laudo técnico para as mangas está mostrado na Tabela 6.

TABELA 6. LAUDO TÉCNICO PARA MANGAS.

Item	Nº de Série ou Identificador	Lado	Tamanho	Laudo
12.01	351	Direito		Aprovada
12.02	351	Esquerdo		Aprovada
12.03	539	Direito		Aprovada
12.04	539	Esquerdo		Aprovada
12.05	784	Direito		Aprovada
12.06	784	Esquerdo		Aprovada

3.3.3 ENSAIOS EM LENÇÓIS ISOLANTES

Basicamente existem dois tipos de lençóis confeccionados em borracha natural: os lençóis inteiriços e os lençóis para uso geral com entalhe. A Tabela 7 mostra as propriedades elétricas dos lençóis isolantes.

TABELA 7. PROPRIEDADES ELÉTRICAS DOS LENÇÓIS ISOLANTES (MANUAL DE INSTRUÇÕES TÉCNICAS, 2006).

Classe de isolamento	Tensão de teste (V)	Distância entre eletrodos (mm)
0	5000	76
1	10000	76
2	20000	127
3	30000	178
4	40000	178

A montagem dos eletrodos para estes dois tipos de lençóis deve acompanhar a forma do lençol, e respeitar as classes de isolamento a que se destinam e também as distâncias entre eletrodos estabelecidas pela tabela 7. A Figura 15 representa o esquema de montagem para a realização do ensaio em lençóis inteiriços e a Figura 16 apresenta o esquema de montagem para a realização do ensaio em lençóis com entalhe.



Figura 15. Ensaio em lençol inteiriço.

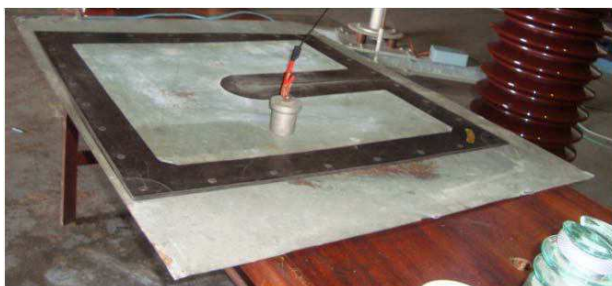


Figura 16. Ensaio em lençol com entalhe.

Os procedimentos para a realização do ensaio se resumem em colocar o lençol isolante sobre o eletrodo inferior que deve estar devidamente aterrado. Em seguida coloca-se o eletrodo superior sobre o lençol, neste eletrodo aplica-se a tensão exigida pela classe de isolamento do lençol durante o tempo de 1 (um) minuto.

Qualquer sinal visível de deterioração por ozônio tais como rachaduras ou perfurações, deve ser considerado como evidência de falha acarretando na reprovação do equipamento

Os laudos técnicos para os lençóis inteiros e de entalhe estão mostrados na Tabela 8 e na Tabela 9, respectivamente.

TABELA 8. LAUDO TÉCNICO PARA LENÇOL INTEIRO.

Item	Nº de Série ou Identificador	Dimensões (mm)	Condições	Laudo
08.01	-	900 x 900	Usada	Aprovado
08.02*	-	900 x 900	Usada	Aprovado
08.03*	-	900 x 900	Usada	Aprovado

TABELA 9. LAUDO TÉCNICO PARA LENÇOL DE ENTALHE.

Item	Nº de Série ou Identificador	Dimensões (mm)	Condições	Laudo
09.01	-	900 x 900	Usada	Aprovado

3.3.4 ENSAIOS EM COBERTURAS PROTETORAS

As coberturas protetoras devem ser consideradas como ferramentas usadas somente para evitar o contato acidental do trabalhador com as partes energizadas. A margem de segurança deve ser feita entre a máxima tensão para a qual elas são usadas e testadas. Os valores das margens de segurança podem ser vistas na Tabela 10. O equipamento é projetado somente para exposição entre fase-terra e fase-fase.

TABELA 10. TENSÃO DE USO DAS COBERTURAS PROTETORAS EM FUNÇÃO DA CLASSE DE ISOLAMENTO (MANUAL DE INSTRUÇÕES TÉCNICAS, 2006).

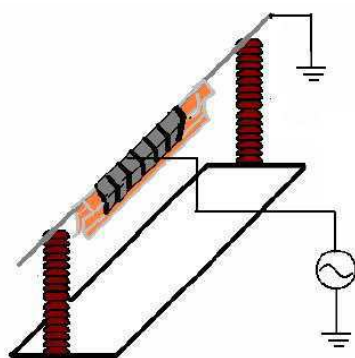
Classe	Tensão de uso (kV)	
	Fase-Fase	Fase-Terra
2	14,6	8,4
3	26,4	15,3
4	36,6	21,1
5	48,3	27
6	72,5	41,8

Existem diferentes tipos de coberturas de Proteção para trabalhos em linha viva. Entretanto, no LAT-UFCG foram realizados ensaios apenas para as coberturas protetoras para condutor, tipo rígido e tipo flexível, e para as coberturas protetoras circulares.

3.3.5 COBERTURAS PROTETORAS PARA CONDUTOR

As coberturas protetoras para condutor são as que oferecem a maior área de proteção nas áreas energizadas e por isso são as mais utilizadas nos trabalhos em linha viva. São disponíveis em vários modelos para atender aos diversos tipos de instalações elétricas de tensões nominais até 48,3 kV. Suas extremidades são dotadas de sistemas de encaixe macho/fêmea, que permitem a conexão de duas ou mais unidades, ou a sua conexão com outras coberturas.

O arranjo utilizado na realização do ensaio para as coberturas para condutores do tipo rígidas esta representado pela Figura 17.



(a)



(b)

Figura 17. Ensaio para coberturas para condutores tipo rígida (Manual de Instruções Técnicas, 2006).

O eletrodo interno à cobertura é aterrado, e ao eletrodo externo aplica-se uma tensão alternada (valor eficaz) com frequência de 60 Hz. Eleva-se a tensão alternada até

o valor determinado pela Tabela 10, em função da classe de isolamento da ferramenta, mantendo a tensão aplicada pelo tempo de 1 (um) minuto.

Após a realização do ensaio deve-se observar se o material não apresenta processos de degradação causados pelo ensaio como, por exemplo, perfurações. Em caso positivo deve-se reprová-lo. A Figura 18 apresenta uma cobertura que foi reprovada no ensaio.



Figura 18. Cobertura tipo rígida que foi reprovada durante ensaio.

O laudo técnico para cobertura tipo rígida está mostrado na tabela 11.

TABELA 11. LAUDO TÉCNICO PARA COBERTURA TIPO RÍGIDA.

Item	Nº de Série ou Identificador	Comprimento (mm)	Condições	Laudo
03.01	-	1500	Usada	Aprovada
03.02	-	1500	Usada	Aprovada
03.03	-	1500	Usada	Reprovada
03.04	-	1500	Usada	Aprovada
03.05	-	1500	Usada	Aprovada

Na Figura 19 mostra-se o ensaio em cobertura para condutores do tipo flexível, também conhecida como coberturas isolantes de borracha.



Figura 19. Ensaio em cobertura tipo flexível.

O procedimento experimental para este ensaio é o mesmo apresentado no ensaio para as coberturas para condutores do tipo rígidas, descrito anteriormente.

O laudo técnico para cobertura tipo flexível está mostrado na Tabela 12.

TABELA 12. LAUDO TÉCNICO PARA COBERTURA TIPO FLEXÍVEL.

Item	Nº de Série ou Identificador	Comprimento (mm)	Condições	Laudo
05.01	-	1400	Usada	Aprovada
05.02	-	1400	Usada	Aprovada
05.03	-	1400	Usada	Aprovada
05.04	-	1400	Usada	Aprovada
05.05	-	1400	Usada	Aprovada
05.06	-	1400	Usada	Aprovada

3.3.6 COBERTURA PROTETORA CIRCULAR

Devido à sua versatilidade, as coberturas circulares são utilizadas para a proteção das extremidades dos postes, proteção das cruzetas, proteção dos pára-raios, etc. Por não possuir uma aplicação específica, cada utilização merece cuidado especial, no sentido de averiguar a real proteção que a cobertura oferece. Este tipo de cobertura possui alça de corda sintética pra facilitar a instalação e remoção com luvas isolantes.

Da mesma forma que no caso do arranjo para ensaio em cobertura de condutores, os eletrodos interno e externo devem estar perfeitamente ajustados sobre a cobertura a ser ensaiada, evitando ao máximo vazios.

Para a realização deste ensaio considera-se que o eletrodo externo será o eletrodo de potencial e o eletrodo interno o eletrodo de terra. A Figura 20 apresenta o arranjo aplicado.



Figura 20. Ensaio em cobertura tipo circular.

Em caso de ruptura considera-se que o material está reprovado. A Figura 21 mostra uma cobertura circular que fora reprovada durante ensaio.

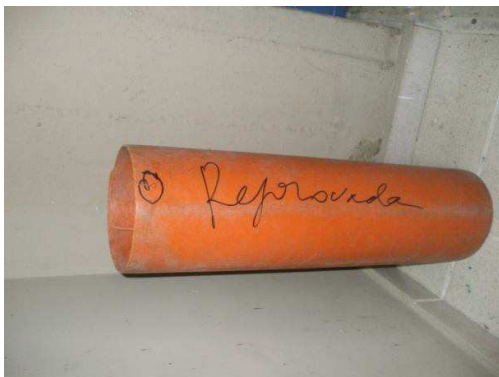


Figura 21. Cobertura que for a reprovada durante ensaio.

No eletrodo externo aplica-se uma tensão alternada, 60 Hz. Eleva-se a tensão até se atingir a tensão de ensaio para a classe da ferramenta testada. Ao se atingir a tensão de ensaio manter esta pelo tempo de 1 (um) minuto.

O laudo técnico para as coberturas tipo circular está mostrado na Tabela 13.

TABELA 13. LAUDO TÉCNICO PARA COBERTURA CIRCULAR.

Item	Nº de Série ou Identificador	Comprimento (mm)	Condições	Laudo
06.01	-	900	Usada	Aprovada
06.02	-	900	Usada	Aprovada
06.03	-	900	Usada	Aprovada
06.04	-	600	Usada	Aprovada
06.05	-	600	Usada	Aprovada
06.06	-	600	Usada	Aprovada
06.07	-	600	Usada	Aprovada
06.08	-	600	Usada	Aprovada
06.09	-	600	Usada	Aprovada
06.10	-	600	Usada	Aprovada
06.11	-	600	Usada	Aprovada
06.12	-	600	Usada	Aprovada
06.13	-	600	Usada	Aprovada
06.14	-	600	Usada	Reprovada
06.15	-	600	Usada	Aprovada
06.16	-	300	Usada	Aprovada
06.17	-	300	Usada	Aprovada
06.18	-	300	Usada	Aprovada
06.19	-	300	Usada	Aprovada
06.20	-	300	Usada	Aprovada
06.21	-	300	Usada	Aprovada
06.22	-	300	Usada	Aprovada

3.3.7 ENSAIO EM BASTÕES DE MANOBRA

Os bastões de manobra foram originalmente projetados para operações de grampos de linha viva e grampos de aterramento, porém face à sua versatilidade eles possuem hoje múltiplas aplicações, principalmente nas manutenções de instalações elétricas energizadas.

Os eletrodos para se realizar o ensaio em hastes ou tubos isolantes confeccionados em fibra devem possuir anel de guarda, com o objetivo de eliminar correntes elétricas de ionização do ar, que podem aumentar em até 200 % o valor real de corrente de fuga. O eletrodo de guarda é ilustrado pela Figura 22.

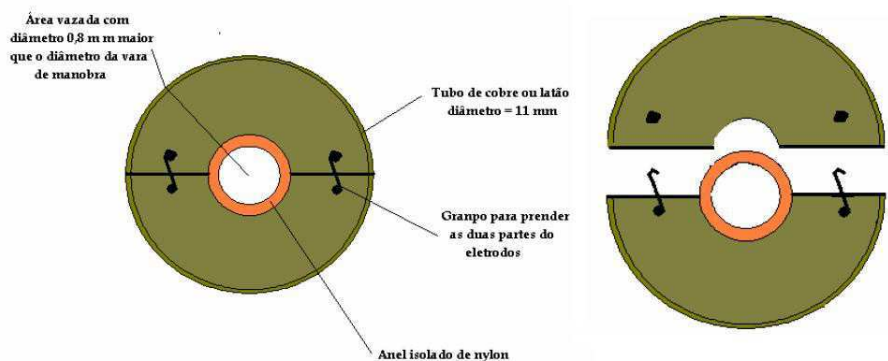


Figura 22. Eletrodo de guarda (Manual de Instruções Técnicas, 2006).

Para se realizar o ensaio de bastões de manobra, sugere-se a montagem apresentada pela Figura 23.

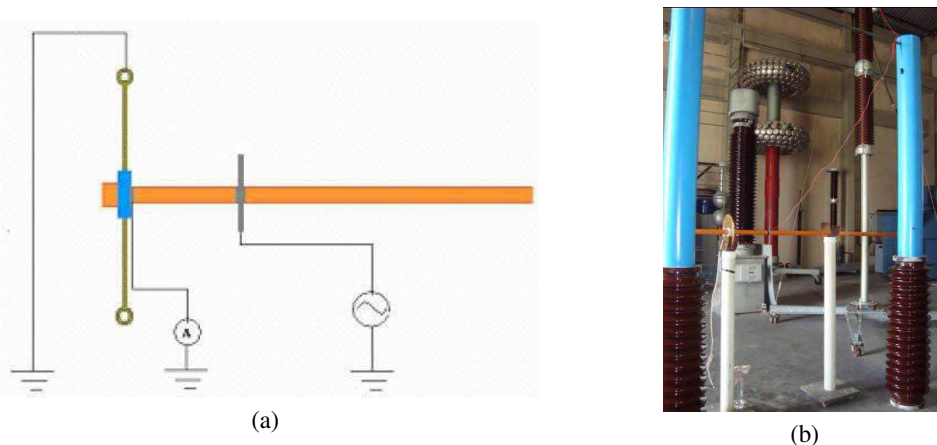


Figura 23. Bastões de manobra (Manual de Instruções Técnicas, 2006).

Os ensaios em bastões de manobra e hastes de fibra devem seguir as determinações da Tabela 14. A tensão deve ser aplicada durante 1 (um) minuto com uma corrente de fuga, de acordo com o diâmetro do bastão.

O laudo técnico para os bastões de manobra que foram ensaiados está mostrado na Tabela 15.

TABELA 14. VALORES MÁXIMOS PARA CORRENTE DE FUGA EM HASTES E TUBOS DE FIBRA (MANUAL DE INSTRUÇÕES TÉCNICAS, 2006).

Diâmetro (mm)	Corrente de fuga (uA)	
	100 (kV)	50 (kV)
32	10	5
38	12	6
51	15	8
64	20	10

TABELA 15. LAUDO TÉCNICO PARA BASTÕES DE MANOBRA.

Item	Nº de Série / Identificador	Tipo / Diâmetro (mm)	Comprimento Ensaiado (mm)	Corrente de fuga (µA)	Resultado
09.01	-	Tração / 32 **	150	7,4 / 7,3*	Aprovado
09.02	-	Torção / 32	1000	57,0 / 56,0*	Aprovado
09.03	-	Universal / 32	300	7,1 / 7,0*	Reprovado
09.04	-	Universal / 32	300	6,6 / 6,5*	Reprovado
09.05	-	Pega Tudo / 32	1200	63,0 / 62,0*	Aprovado
09.06	-	Pega Tudo / 32	1500	46,0 / 45,0*	Aprovado
09.07	-	Garra / 38	300	8,1 / 8,0*	Aprovado
09.08	-	Mastro / 64	300	17,5 / 17,4*	Aprovado
09.09	-	Suporte p/Bypass / 32 **	150	8,0 / 7,9*	Aprovado
09.10	-	Cruzeta Auxiliar / 64	300	16,1 / 16,0*	Aprovado
09.11	-	Cruzeta Auxiliar / 64	300	15,5 / 15,4*	Aprovado
09.12	-	Catraca de Elevação / 38	300	8,5 / 8,4*	Aprovado
09.13	-	Alicarte à Distância / 38	1100	72,0 / 71,0*	Aprovado
09.14	-	Tesourão: Braço a / 32	300	7,9 / 7,8*	Aprovado
		Tesourão: Braço b / 32	300	9,0 / 8,9*	Aprovado
09.15	-	Tesourão: Braço a / 32	300	7,3 / 7,2*	Aprovado
		Tesourão: Braço b / 32	300	9,3 / 9,2*	Aprovado

3.3.8 ENSAIO EM CUBA ISOLANTE

O ensaio em cuba isolante (*Liner*) de caminhão de linha viva deve ser realizado por meio de teste de tensão alternada aplicada, no qual o *liner* é imerso em um tanque com água em sua parte externa e interna, sendo o eletrodo de potencial a parte interna e o eletrodo de terra a parte externa, como mostra a Figura 24.

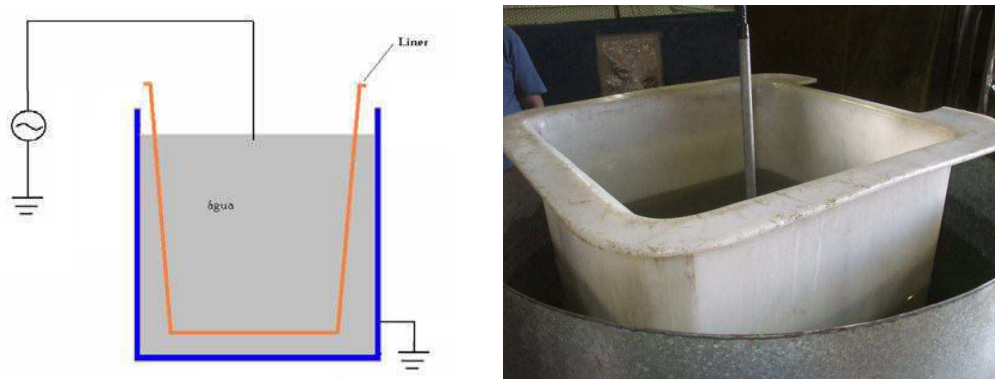


Figura 24. Ensaio em *liner* (Manual de Instruções Técnicas, 2006).

O *liner* fica em cima do caminhão, e o mesmo é usado como cuba isolante para o ser humano, quando este tem que ser elevado do caminhão até a linha.

O *liner* deve suportar no mínimo 30kV, 60 Hz, por 1 (um) minuto ou 100 kV em correntes contínua, por 3 minutos, sem ocorrer descargas disruptivas ou rompimento do material.

O laudo técnico para o *liner* está mostrado na Tabela 2.

TABELA 16. LAUDO TÉCNICO PARA O *LINER*.

Item	Tensão aplicada (kV)	Laudo
02.01	30,0	Aprovada
02.02	30,0	Reprovada

3.4 Ensaio de descargas parciais em um transformador de potencial

Descargas parciais podem ser definidas como descargas elétricas localizadas que ocorrem nas cavidades do dielétrico (IEC 60270, 2000)[5]. São prejudiciais ao isolamento dos equipamentos de alta tensão. Elas acarretam perdas e geram agentes oxidantes, como o ozônio. Dependendo da intensidade da descarga, o tempo de vida do isolamento pode ser consideravelmente reduzido. As descargas parciais podem resultar, também, de radiações eletromagnéticas.

A medição e a análise de descargas parciais permitem o monitoramento e integridade dos isolamentos em alta tensão. A grandeza comumente utilizada para indicar uma descarga parcial é o Coulomb (normalmente medida em pC). Ela pode

ocorrer nas junções de dois materiais dielétricos diferentes, em regiões adjacentes a um eletrodo ou no vácuo (Macedo *et al.*, 2012). A Figura 25 mostra um dielétrico e suas regiões propícias a ocorrências de descargas parciais.

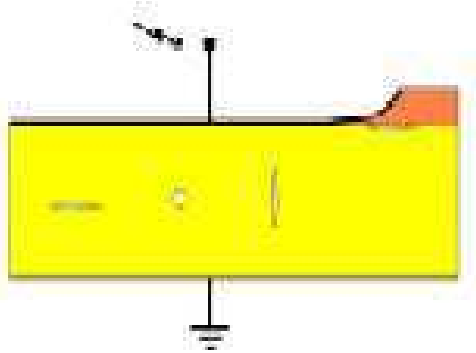


Figura 25. Exemplo esquemático de defeitos que podem ser causados por descargas parciais (Macedo *et al.*, 2012).

O ensaio de descargas parciais foi feito em um transformador de potencial a fim se desenvolver uma técnica de filtragem baseada em Transformada Wavelet. Assim, pretende-se fazer um monitoramento do nível de descargas parciais para se evitar possíveis defeitos que venham a ocorrer no equipamento.

Diversas técnicas são propostas para estimação de descargas, uma vez que estas são difíceis de serem medidas, visto que são muito sensíveis a ruído e interferências. Além disso, técnicas de filtragem de ruído também são utilizadas para melhoramento das medições de descargas parciais.

A Figura 26 mostra o sistema de medição de descargas parciais em um transformador de potencial.



Figura 26. Esquema de medição de descargas parciais.

Através de um medidor de descargas parciais comercial, durante o ensaio, fez-se a medição das descargas e, além disso, aplicou-se um filtro baseado na Transformada Wavelet para filtragem do ruído, e obtiveram-se os resultados mostrados na Figura 27.

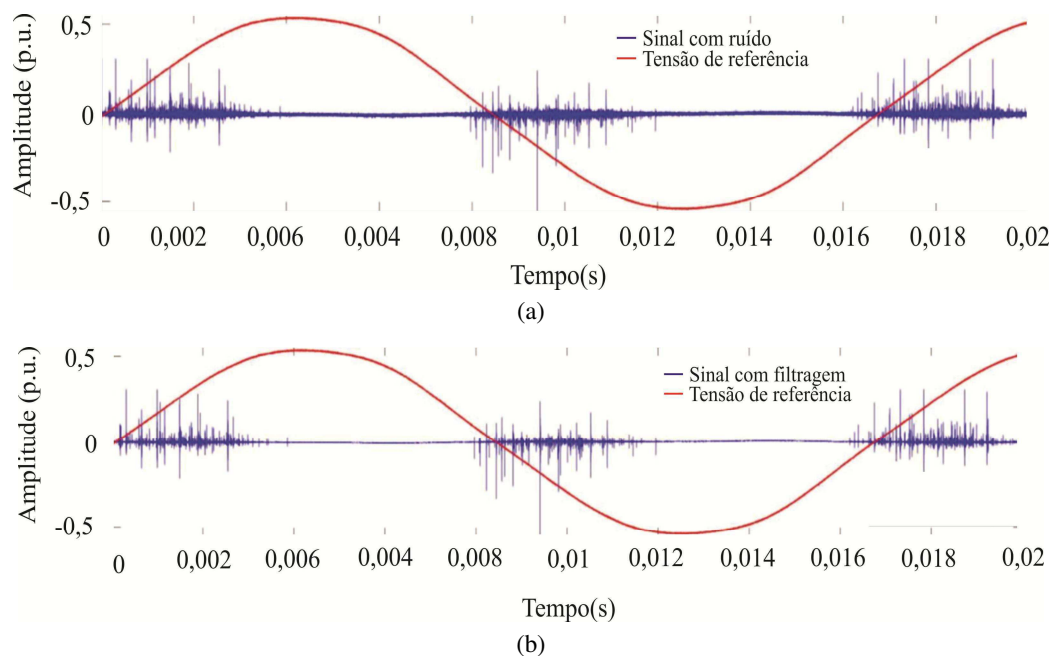


Figura 27. (a) Medição de descargas parciais com presença de ruído. (b) Medição de descargas parciais após a aplicação de um filtro para redução do ruído (Macedo *et al.*, 2012).

3.5 Ensaio em um varistor para diagnóstico de para-raios de óxido de zinco

Os para-raios são dispositivos essenciais na proteção dos equipamentos dos sistemas elétricos, principalmente contra sobretensões atmosféricas e de manobra, e descargas de alta intensidade e de curta duração. Eles são constituídos principalmente por elementos não lineares, os varistores. Durante o estágio, foi ensaiado apenas um varistor para fazer o diagnóstico de um para-raios de óxido de zinco.

Além disso, um varistor ruim se mostra degradado quando feito um ensaio no mesmo, de forma que sua corrente de fuga ultrapasse os limites impostos pelo fabricante. Quanto mais degradado o varistor, maior é componente resistiva da sua corrente de fuga.

Os ensaios no varistor foram feitos com o objetivo de se aperfeiçoar e comparar técnicas de monitoramento e diagnóstico de para-raios de óxido de zinco (ZnO) e

também para comparar técnicas . Isto é feito baseado na análise da corrente de fuga total e de suas componentes resistivas, capacitivas e harmônicas. O desenvolvimento de métodos de comparação é importante, pois existem diversas técnicas que são propostas para se fazer este diagnóstico, porém não existe consenso sobre a eficácia de cada uma delas (Brito *et al.*, 2012).

Na falha dos para-raios de ZnO instalados em campo podem ocorrer desligamentos não programados, danos a outros equipamentos de uma subestação e principalmente implicar em riscos de morte aos profissionais que trabalham em campo. Tudo isso se traduz em prejuízos financeiros às concessionárias de energia elétrica, sejam através de multas por parte dos órgãos reguladores, processos judiciais, ou danos à imagem das empresas. Dessa forma é de crucial importância o desenvolvimento e aplicação de técnicas que permitam o monitoramento e diagnósticos de para-raios de ZnO de forma preditiva, minimizando , portanto, o seu risco de falhas durante sua operação em campo (Brito *et al.*, 2012).

Atualmente, para medições em campo, duas técnicas estão sendo utilizadas no monitoramento de para-raios em sistemas de alta tensão: a análise de imagens termográficas e a medição da componente resistiva da corrente de fuga em para-raios.

O método utilizado para medição da corrente de fuga de um para-raios durante o ensaio foi o método da compensação diferencial capacitiva.

O método utiliza um arranjo similar ao mostrado na Figura 28 para separar a componente resistiva da corrente de fuga.

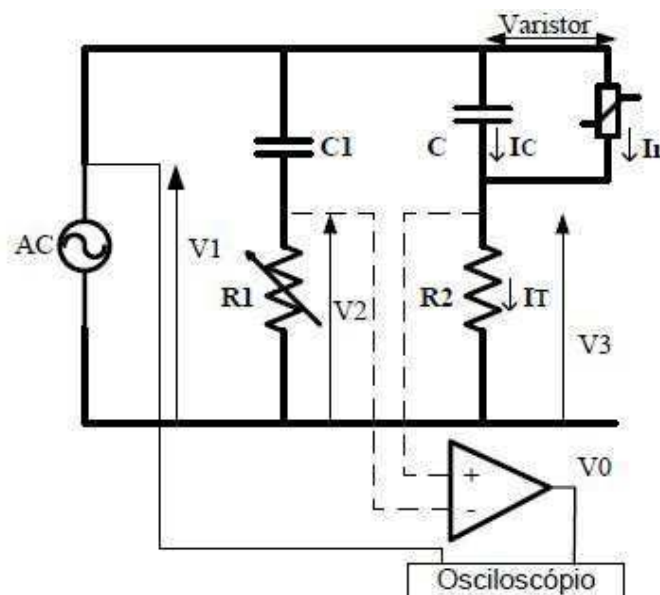


Figura 28. Arranjo para separar a componente resistiva da corrente de fuga (Brito *et al.*, 2012).

À medida que se varia o valor da resistência $R1$, tenta-se compensar o valor da componente capacitiva, I_c , da corrente de fuga do varistor, a fim de se determinar apenas a componente resistiva, I_r , desta corrente, a qual, neste momento, estará em fase com a tensão $V3$.

Durante o ensaio, foi utilizado o arranjo experimental mostrado na Figura 29.



Figura 29. Arranjo experimental para medição da corrente de fuga.

O circuito é composto por uma mesa de controle com fonte de tensão senoidal regulável, um transformador elevador de tensão, um ramo RC, um divisor resistivo, e o varistor à ZnO em série com uma resistência *shunt* utilizada na medição da corrente que percorre o varistor.

Como discutido anteriormente, o resistor $R1$ é ajustado até que a saída $V0$ ($V3-V2$) esteja em fase com a tensão aplicada ao varistor, neste momento a componente capacitiva da corrente de fuga estará compensada. A operação de subtração entre os sinais $V3$ e $V2$ foi realizada através de funções internas do osciloscópio digital utilizado.

Para que fosse possível a observação dos sinais $V0$ e $V3$ em fase, o resistor $R1$ foi incrementado gradualmente, e a cada incremento, os sinais eram observados na tela do osciloscópio. Esse procedimento foi repetido até o momento em que os sinais $V0$ e $V3$ estivessem em fase.

A partir do osciloscópio utilizado no ensaio foram obtidas as formas de onda da tensão aplicada ao varistor, através do divisor de tensão (sinal $V3$), e da corrente de fuga, através da resistência “*shunt*” (sinal $V1$), observadas na figura 30. Na Figura 31 são observadas as formas de onda da tensão aplicada ao varistor (sinal $V3$) e a corrente resistiva obtida (sinal $V0$) utilizando o método da compensação diferencial capacitiva.

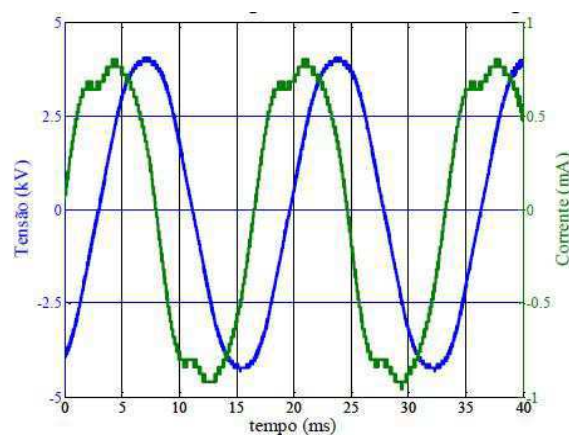


Figura 30. Sinal na saída do divisor de tensão (Azul) e da corrente de fuga (Verde) (Brito *et al.*, 2012).

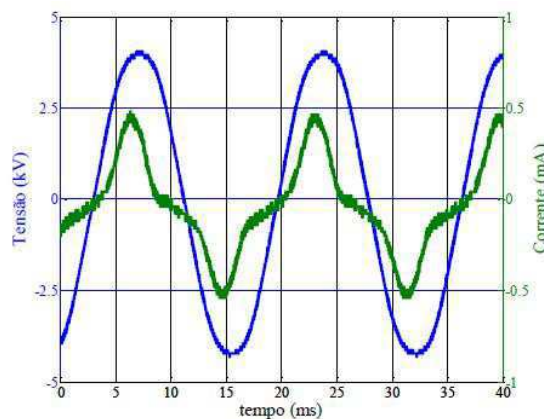


Figura 31. Sinal da tensão aplicada no varistor (Azul) e componente resistiva da corrente de fuga (Verde) (Brito *et al.*, 2012).

Como foi dito no início da seção, percebe-se pelas duas figuras, anteriormente mostradas, que o varistor estava em boas condições. O sinal representativo da componente resistiva do varistor foi utilizado para fazer a comparação entre diferentes técnicas de diagnóstico e monitoramento de para-raios de óxido de zinco.

3.6 Medição da resistividade do solo da Termoelétrica CG

O estudo da resistividade do solo é de fundamental importância para a implantação de malhas de aterramento, que servirão para o uso em subestações, descarregamento de cargas elétricas, e correntes de fuga de equipamentos, como também para o descarregamento de impulsos atmosféricos dissipados por sistemas tipo SPDA.

A implantação de malhas de aterramento deve ser estudada, pois concerne a um dos principais elementos para a segurança de pessoas e equipamentos. Sua função

básica é fornecer um caminho de baixa resistência para escoamento de correntes oriundas de surtos atmosféricos e de chaveamentos de sistemas elétricos, e corrente de desbalanceamento na frequência industrial.

A medição teve o objetivo de avaliar o nível de resistividade presente no solo terraplanado do entorno da Termoelétrica de Campina Grande – PB. Na análise foram utilizados os dados das medições obtidas em cada terreno terraplanado com o uso do Terrômetro Digital 6472 da AEMC Instruments mostrado na Figura 32 (ANDRADE Jr, 2011).



Figura 32. Terrômetro Digital utilizado na medição da resistividade do solo (ANDRADE Jr, 2011).

Para medição da resistividade do solo foram consideradas as seguintes premissas na realização das análises das áreas terraplanadas da Termoelétrica – CG:

- O solo era composto por um material argiloso compactado de ótima condutividade que iria favorecer um bom escoamento das correntes no solo;
- A medição foi realizada num dia com umidade de 61% e o solo encontrava-se com baixa umidade devido à ausência de precipitação de chuvas nos dias anteriores à medição;
- As hastes fincadas no solo foram do tipo aço cobreado. As hastes foram fincadas no solo com profundidade de 10 cm;
- Durante a medição não foram detectadas correntes de fuga no solo, o que não gerou interferências na medição da resistividade pelo terrômetro.

O método de Wenner foi adotado para medição da resistividade do solo, mostrado na Figura 33.

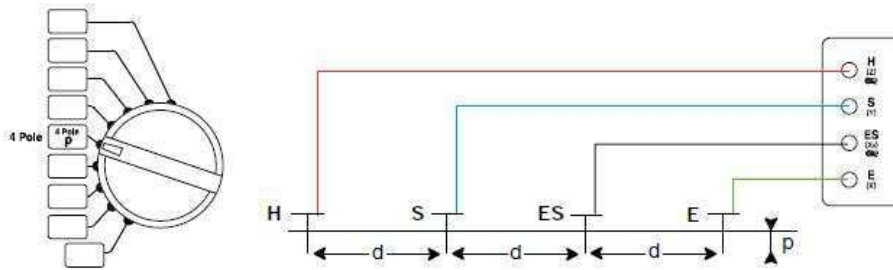


Figura 33. Método de Wenner (ANDRADE Jr, 2011).

Pela Figura 33 tem-se que S e ES são os eletrodos de potencial que irão captar as correntes injetadas pelos eletrodos de corrente H e E. Adotou-se a profundidade p como sendo 10 cm e a distância d corresponde ao afastamento entre os eletrodos.

Foram feitas medições em três partes do terreno, mostradas na Figura 34.

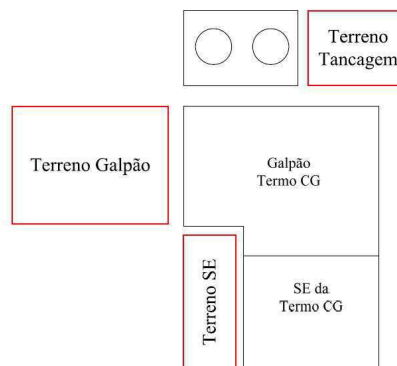


Figura 34. Partes do terreno onde foram feitas as medições (ANDRADE Jr, 2011).

Os pontos para medição foram dispostos em cinco direções A, B, C, D, e E conforme mostrado na Figura 35.

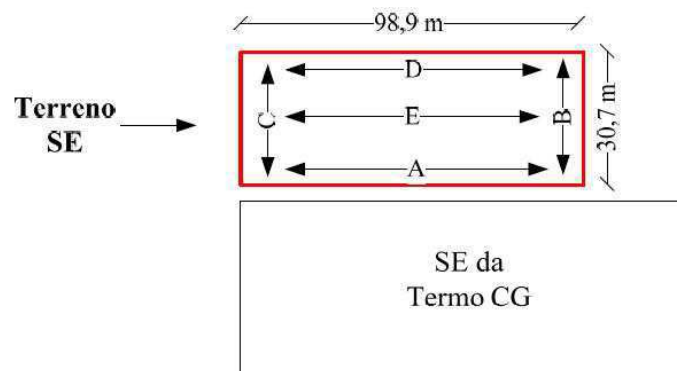


Figura 35. Pontos para medição da resistividade do solo no terreno SE (ANDRADE Jr, 2011).

Foram realizadas 21 medições, como mostrado na Tabela 17. Trata-se de um solo homogêneo de baixa resistividade, da ordem de $40 \Omega \cdot m$.

TABELA 17. MEDIÇÕES DE RESISTIVIDADE REALIZADAS NO TERRENO SE (ANDRADE JR, 2011).

Posição	Valores medidos									
	R (Ω)	ρ (Ω .m)	R (Ω)	ρ (Ω .m)	R (Ω)	ρ (Ω .m)	R (Ω)	ρ (Ω .m)	R (Ω)	ρ (Ω .m)
2	1,07	13,4	4,83	60,6	2,68	33,7	4,7	59,1	2,9	36,5
4	0,58	14,7	2,26	56,8	1,31	32,9	2,07	52,1	1,49	37,4
8	0,15	7,66	0,8	40,2	0,56	28,2	0,83	41,7	0,68	34
16	0,06	6,14	-	-	-	-	0,35	35,1	0,25	24,9
32	0,05	10,4	-	-	-	-	0,29	58,3	0,19	38,4
Direção	A		B		C		D		E	

A partir das medições de resistividade, levantou-se o modelo do solo estratificado em duas camadas, três e quatro camadas. O que melhor se adequou foi o de quatro camadas, por apresentar o menor erro percentual entre as resistividades medidas e as que são calculadas pelo *software*. O erro percentual foi de 3%. O resultado está mostrado na Figura 36.

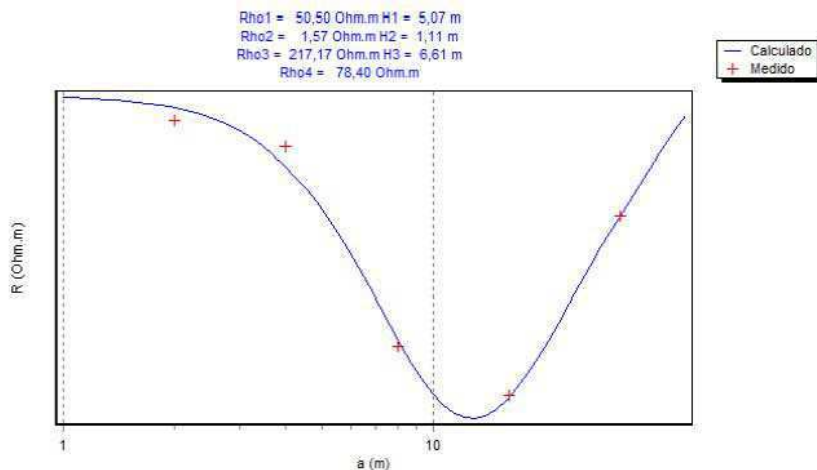


Figura 36. Diagrama de medição de resistividade no terreno SE (ANDRADE Jr, 2011).

Na Figura 36, as cruzes em vermelho representam os valores medidos, e o sinal em azul representa a aproximação gerada pelo *software*. O programa fornece os valores das resistividades nas camadas, os quais são mostrados em azul, na Figura acima, e estes valores são utilizados para o cálculo da resistividade equivalente. Como se pode perceber são mostrados quatro valores de resistividades, os quais são referentes a cada uma das quatro camadas que foram utilizadas para estratificar o solo.

Fez-se o mesmo para o terreno do galpão. A estratificação de três camadas gerou melhores resultados, apresentando um erro percentual de 2%. O terreno e o resultado para as medições estão mostrados na Figura 37, na Figura 388 e na Tabela 18.

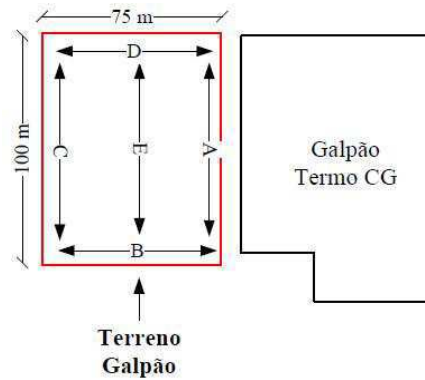


Figura 37. Pontos para medição da resistividade do solo no terreno Galpão (ANDRADE JR, 2011).

TABELA 18. MEDIÇÕES DE RESISTIVIDADE REALIZADAS NO TERRENO GALPÃO (ANDRADE JR, 2011).

Posição	Valores medidos									
	R (Ω)	ρ ($\Omega.m$)	R (Ω)	ρ ($\Omega.m$)	R (Ω)	ρ ($\Omega.m$)	R (Ω)	ρ ($\Omega.m$)	R (Ω)	ρ ($\Omega.m$)
2	4,43	55,7	7,07	88,9	4,56	57,3	4,55	57,2	3,89	48,9
4	1,60	40,3	2,9	72,8	1,9	47,7	1,84	46,3	1,4	35,3
8	0,61	30,8	1,02	51,1	0,97	48,8	0,85	42,5	0,72	36
16	0,33	33,6	0,43	47,4	0,4	40,6	0,47	47,1	0,48	48,6
32	0,19	38,9	-	-	0,37	74,7	-	-	0,35	70,3
Direção	A		B		C		D		E	

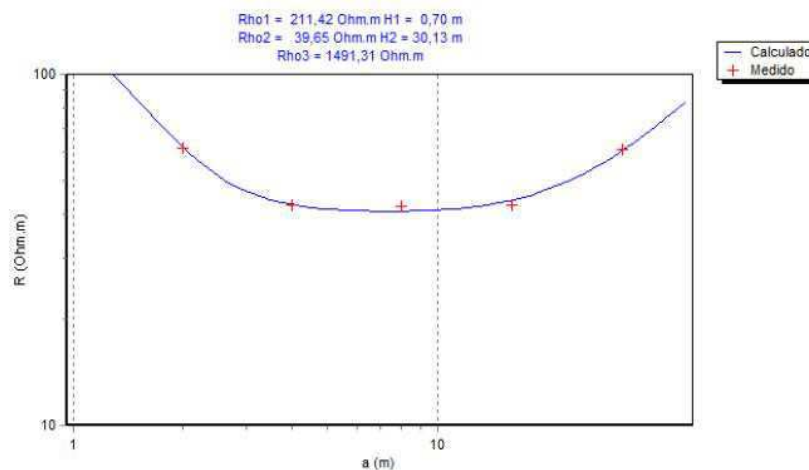


Figura 38. Diagrama de medição de resistividade no terreno Galpão (ANDRADE JR, 2011).

Também foi feito para o terreno de tancagem. A estratificação em duas camadas gerou um erro percentual de 0%, não sendo necessário testar para um número maior de camadas. Os resultados estão mostrados na Figura 39, na Figura 40, e na Tabela 19.

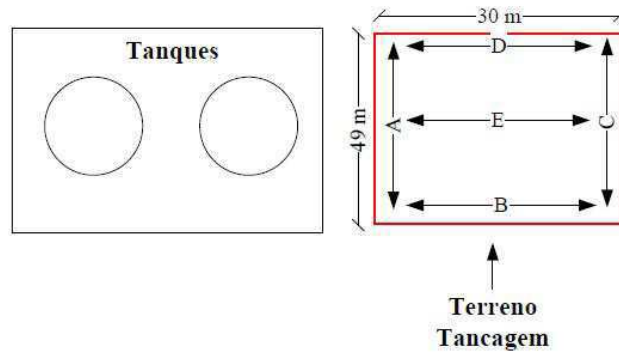


Figura 39. Pontos para medição da resistividade do solo no terreno Tancagem (ANDRADE Jr, 2011).

TABELA 19. MEDIÇÕES DE RESISTIVIDADE REALIZADAS NO TERRENO TANCAGEM (ANDRADE JR, 2011).

Posição	Valores medidos										
	d (m)	R (Ω)	ρ (Ω .m)	R (Ω)	ρ (Ω .m)	R (Ω)	ρ (Ω .m)	R (Ω)	ρ (Ω .m)	R (Ω)	ρ (Ω .m)
2	2,6	2,6	32,7	2,78	34,9	3,88	48,8	3,79	47,6	3,14	39,4
4	1,42	1,42	35,8	1,79	45	2,16	54,3	2,15	54	2,02	50,8
8	1,06	1,06	43,2	0,97	48,9	1,53	77	1,41	70,7	1,41	70,7
16	0,69	0,69	69,1	-	-	0,91	91,4	-	-	-	-
Direção		A		B		C		D		E	

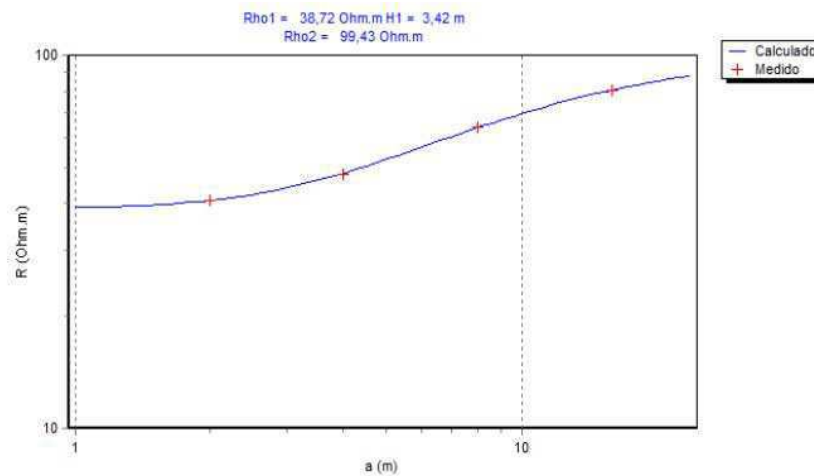


Figura 40. Diagrama de medição de resistividade no terreno Tancagem (ANDRADE Jr, 2011).

As fotografias retiradas durante a medição estão mostradas na Figura 41.



(a)



(b)



(c)

Figura 41. (a) Resultado obtido durante medição. (b) Utilização do terrômetro para medição da resistividade. (c) Fincamento das hastes para medição da resistividade do solo.

3.7 Ensaio com o gerador de impulsos de corrente

Foram realizados ensaios experimentais com o objetivo de avaliar a impedância característica dos eletrodos que são utilizados em malhas de aterramento de subestações de alta tensão. Além disso, os ensaios servirão para desenvolvimento de um equipamento que será capaz de captar os sinais impulsivos que são provenientes de descargas atmosféricas, de modo que se tenha o comportamento destes sinais no solo e também o nível de tensão nos sensores que são usados para captar os sinais.

Para tanto, os eletrodos foram submetidos a correntes impulsivas provenientes de um gerador de impulsos de alta corrente. Foram utilizados impulsos com formas de onda 8/20 μ s, a qual é comumente utilizada para representar descargas atmosféricas. Os sinais de corrente foram adquiridos por meio de um osciloscópio digital de 4 canais (Castro *et al.*, 2012).

A função básica do aterramento é fornecer um caminho de baixa resistência para escoamento de correntes oriundas de surtos atmosféricos e de chaveamentos dos sistemas elétricos, e corrente de balanceamento na frequência industrial.

As conexões elétricas, eletrodos de aterramento e solo podem estar dispostos de diferentes maneiras, e podem facilitar o escoamento da corrente elétrica.

O solo que foi utilizado no ensaio possui uma estrutura dura e rochosa, e em períodos de pouca chuva, com o solo muito seco, torna-se difícil o cravamento de hastes.

Os impulsos de correntes foram originados a partir de um gerador de impulso de corrente, os sinais de corrente foram medidos a partir de um resistor *shunt* com o osciloscópio. A tensão do eletrodo de injeção de corrente foi obtida por meio de um divisor capacitivo. A configuração utilizada na medição está mostrada na Figura 42.

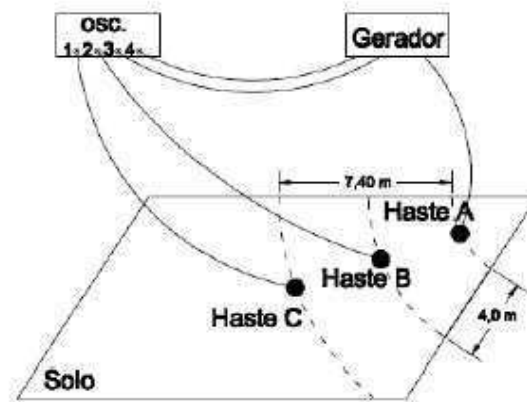


Figura 42. Configuração utilizada para medição (Castro *et al.*, 2012).

Na Figura 43 são mostradas as formas de onda de tensão e corrente na haste de injeção de corrente. Os sinais foram obtidos utilizando uma tensão de carregamento de 15 kV.

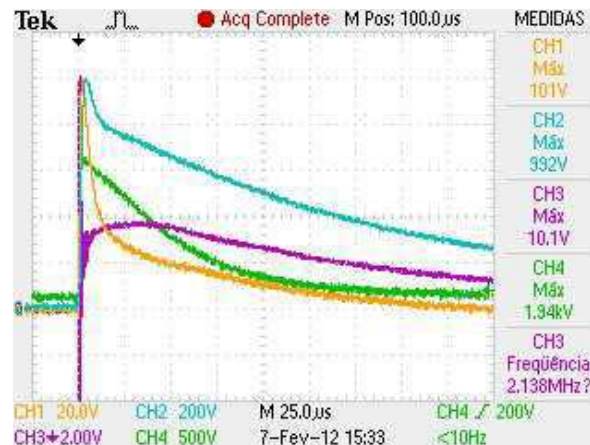


Figura 43. Sinais de tensão e corrente na haste (Castro *et al.*, 2012).

O equipamento a ser desenvolvido será capaz de captar os sinais impulsivos. Estes sinais foram utilizados para avaliação da impedância característica de eletrodos que são utilizados em malhas de aterramento.

3.8 Gerador de impulso de tensão

A geração de tensão na forma de impulsos em laboratórios é de fundamental importância e tem como finalidade simular o efeito de sobretensões de manobra, decorrentes da abertura ou fechamento de chaves seccionadoras e disjuntores nas linhas de transmissão, e também simular o efeito das descargas atmosféricas. Esses tipos de impulsos são usados em laboratório para avaliação da suportabilidade dielétrica dos equipamentos de potência (NAIDU *et al*, 1995).

O LAT dispõe de um kit gerador de impulso que tem a finalidade de testar a suportabilidade dielétrica de alguns materiais. Atualmente o circuito de gatilhamento do gerador de impulso de tensão do LAT encontra-se defeituoso, reduzindo sua capacidade de realização de ensaios.

Um impulso de alta tensão é obtido através da utilização do circuito mostrado na Figura 44, chamado de circuito de Marx.

No circuito de Marx, vários capacitores idênticos são carregados em paralelo e depois descarregados em série, obtendo-se assim uma tensão total múltipla da tensão de carregamento. O fator de multiplicação é o número de estágios.

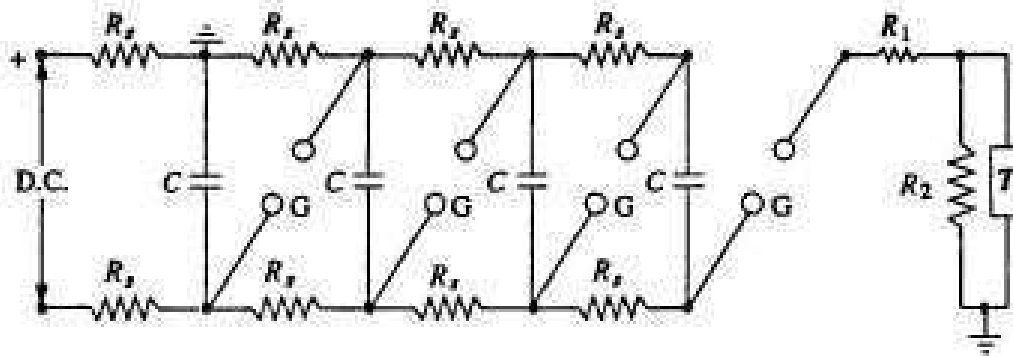


Figura 44. Circuito de Marx (NAIDU *et al*, 1995).

Os capacitores de estagio C são carregados para o nível de tensão de entrada via o resistor em paralelo R_s . O gerador de impulso de tensão do LAT possui sete estágios.

Quando todos os *spark gap* G centelham, os capacitores C se conectam em série, e carregam. Finalmente, todos os capacitores C descarregam pelos resistores.

Para a operação do circuito de Marx é essencial que todos os *spark gap* centelhem simultaneamente. Isto é obtido configurando um espaçamento de abertura ligeiramente menor para o primeiro *spark gap* e provocando-o com uma descarga auxiliar. Esta descarga é fornecida por um circuito de gatilhamento externo ao circuito

multiplicador de Marx e tem o objetivo de fornecer um pulso de tensão num valor tal que garanta a ruptura dos *gaps*.

A forma de onda impulsiva depende dos valores dos resistores que compõem o circuito de Marx.

Durante o estágio foram feitos ensaios com o intuito de se fazer a recuperação do gerador de impulso de tensão. O diagrama que mostra as partes que compõem o gerador está mostrado no anexo A.

Inicialmente, testou-se o transformador. Para tanto, abriu-se o transformador, verificou-se o nível de óleo, fez-se uma limpeza externa no mesmo, trocou-se o óleo, trocou-se conectores que estavam desgastados. A Figura 45 mostra o transformador aberto quando estava se completando o seu nível de óleo.



Figura 45. Transformador aberto durante a introdução do óleo.

Após isso, testou-se o circuito divisor de tensão do gerador, o qual permite medir-se a tensão aplicada aos capacitores de carga. Os resultados são mostrados na Tabela 20.

TABELA20. RESULTADOS OBTIDOS NO TESTE DO DIVISOR DO GERADOR.

Entrada (Vpico)	Saída (Vpico)	Relação	R2 (MΩ)	R1(MΩ)
44	0,5	88	1,32	115
100	0,6	166,66	1,32	219
340	1,66	204,81	1,32	269
710	3,52	201,70	1,32	265
1140	5,7	200	1,32	263
1680	8,4	200	1,32	263

O gráfico mostrado na Figura 46 mostra o comportamento da tensão quando do teste de determinação da relação de tensão.

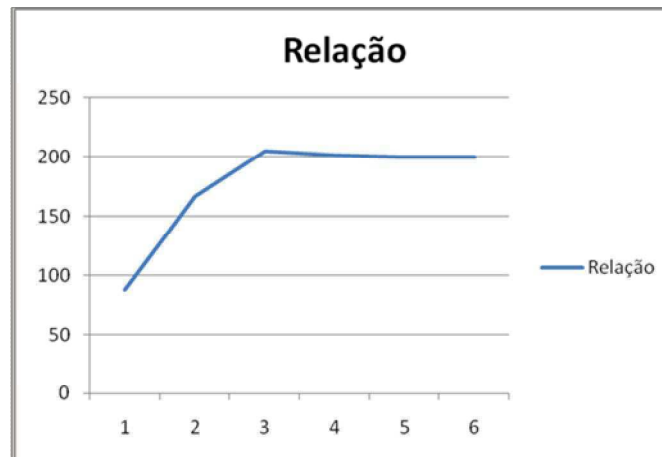


Figura 46. Relação de tensão do divisor do gerador.

Analisando a tabela e o gráfico, mostrados anteriormente, percebe-se que a relação de transformação se estabiliza a partir de 3 kV, apresentando uma relação em trono de 200.

Após isso, foi realizado um teste nos capacitores, verificando-se os seus respectivos tempos de descarregamento., a fim de avaliar se os mesmos estavam com bom funcionamento A Tabela 21 mostra os resultados obtidos neste teste.

TABELA 21. TEMPOS DE DESCARREGAMENTO DOS CAPACITORES.

Capacitor	Tempo de descarregamento			Média
	Tempo 1	Tempo 2	Tempo 3	
1	83s	87s	85s	85s
2	83s	87s	84s	85s
3	88s	88s	87s	88s
4	88s	91s	90s	90s
5	88s	86s	89s	88s
6	84s	86s	87s	86s
7	79s	79	83s	80s

Verificou-se que os tempos de descarregamento estão muito próximos, e que todos os capacitores carregaram-se normalmente com alta tensão. Daí, concluiu-se que os capacitores estavam em boas condições.

As etapas posteriores, que visam recuperação do gerador, serão realizadas não mais durante o período do estágio. Essas etapas consistem em: confecção de resistores para substituição dos que estavam defeituosos, montagem de uma plataforma para ajuste do posicionamento das esferas, recuperação da mesa de controle, construção de um controle automático microprocessado para gatilhamento do gerador.

O gerador de impulso de tensão está mostrado na Figura 47.



Figura 47. Gerador de Impulso de Tensão do LAT.

4 Conclusões

O estágio realizado contribuiu bastante para experiência do aluno, pois as atividades desenvolvidas envolveram áreas diversas da engenharia, como por exemplo: medição da resistividade do solo, medição de descargas parciais, ensaios elétricos em diversos equipamentos para manutenção em linha viva, ensaio para medição de correntes impulsivas, ensaios para determinação da componente resistiva da corrente de fuga em um para-raios, ensaios em isoladores para diagnóstico de lavagem dos mesmos, medição de radiação ultravioleta e ruído ultrassônico na subestação da TermoPE.

O aluno teve oportunidade de acompanhar diversos ensaios em diferentes ambientes do laboratório, podendo aprender um pouco mais sobre diversos assuntos que envolvem os trabalhos lá realizados. Assim, pôde colaborar não só com a realização dos ensaios, mas também com o laboratório em si, que se apresenta como uma equipe como um todo. Além disso, pôde vivenciar e acompanhar medições em empresas como a Termoelétrica CG e a TermoPE, podendo encontrar os trabalhos que são realizados em campo.

5 Referências Bibliográficas

Grupo de Sistemas Elétricos, 2012. Disponível em: <<http://www.dee.ufcg.edu.br/~gse/>>.

TermoPE, 2012. Disponível em: <<http://www.termope.com.br>>.

UTECEG, 2012. Disponível em: <<http://www2.informazione.com.br>>.

Energisa Borborema, 2012. Disponível em: <<http://www.energisa.com.br/borborema>>.

ANDRADE JR, G. V. **RELATÓRIO DE ANÁLISE TÉCNICA Nº LAT- 01/2011: AVALIAÇÃO DA RESISTIVIDADE DO SOLO TERMOELÉTRICA CG**. Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior, 2011.

BRITO, V. S.; LIRA, G. R. S.; COSTA, E. G.; ALMEIDA, G. J. C. Estudo Comparativo de Métodos de Decomposição da Corrente de Fuga Total em Para-Raios ZnO. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos**, 2012.

CASTRO, M. S.; COSTA, E. G.; FREIRE, R. C. S.; MACEDO, E. C. T.; RODRIGUES, M. A. O.; LIRA, G. R. S.; ANDRADE Jr, G. V.. Avaliação Experimental da Impedância em um Eletrodo de Aterramento Submetido a Impulsos de Corrente. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos**, 2012.

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

MACEDO, E. C. T. et al. Wavelet transform processing applied to partial discharge evaluation, 2012.

Manual de Instruções Técnicas. Procedimentos de Ensaios de ferramentas e Equipamentos de Linha Viva. COPEL Distribuição, MIT 161703,2006.

NAIDU, M. S.; KAMAJARU, V. **High Voltage Engineering**, 1995.

ANEXO A

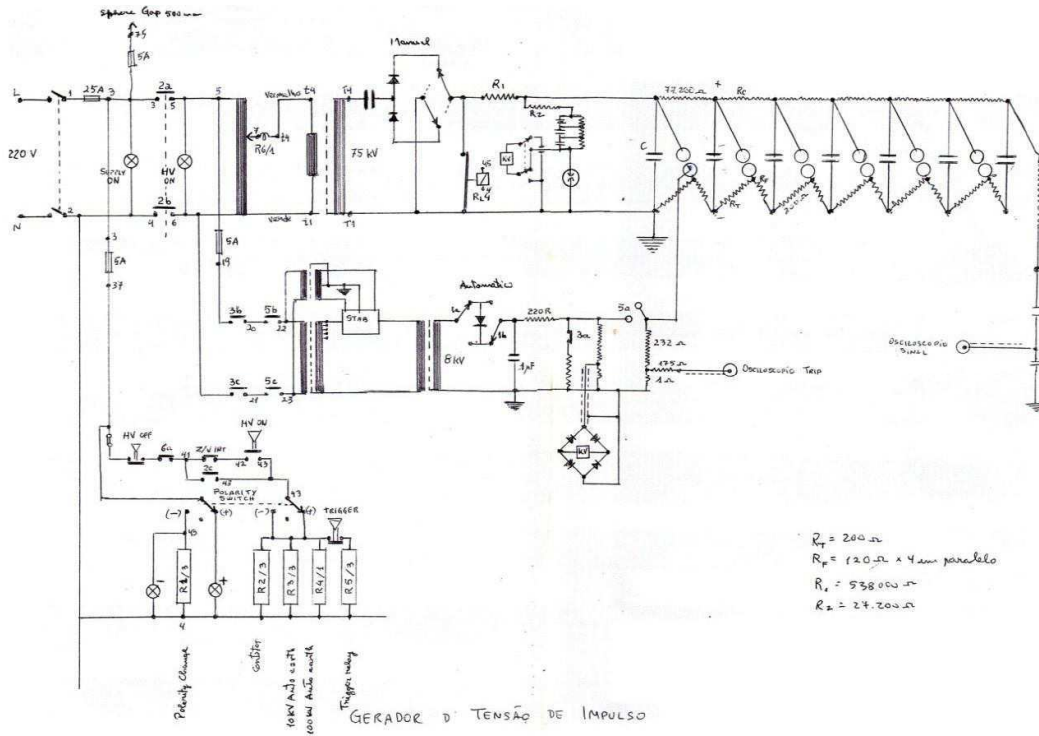


Diagrama do circuito do gerador de impulso de tensão.