



Universidade Federal
de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

WALLYSSON DE VASCONCELOS SOUSA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Campina Grande, Paraíba.
Novembro de 2013

WALLYSSON DE VASCONCELOS SOUSA

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 Edson Guedes da Costa, Dr. Sc.

Campina Grande, Paraíba.
Novembro de 2013

WALLYSSON DE VASCONCELOS SOUSA

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 Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Edson Guedes da Costa, Dr. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha mãe, que é em minha vida um presente maravilhoso de Deus. Mulher cheia de garra, coragem, e que nunca permitiu que desistisse dos meus sonhos e propósitos, manteve firme e inabalável sua fé, por acreditar em mim nos momentos em que até eu duvidei da minha capacidade, obrigada por aceitar todos os meus erros e nunca ter me deixado.

AGRADECIMENTOS

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

Aos meus pais Eliezer e Aparecida, pelo amor, carinho, dedicação, compreensão, oportunidades, paciência, enfim, meus pais sem dúvida nenhuma são merecedores e grandes responsáveis por essa vitória.

Agradeço a minha irmã Wilma, por todos os momentos de apoio, carinho na construção desse sonho, e confiança depositada em mim.

Agradeço a minha esposa Walda, por ter me dado apoio, em todas as horas, em todos os bons e maus momentos, esteve sempre ao meu lado, me passando tranquilidade e torcendo por mim, e acreditando que eu seria vitorioso.

Ao meu filho Breno, que apesar da pouca idade, representa muito em minha vida, posso dizer que é a minha fonte de inspiração.

Agradeço ao coordenador do Laboratório de Alta Tensão, Professor Genoilton Carvalho Almeida, pela oportunidade de estágio.

Agradeço ao Professor Edson Guedes da Costa pela supervisão e orientação, sem o seu apoio à realização deste trabalho não seria possível.

Agradeço aos funcionários do LAT, mais especificamente a José Adriano Bezerra, José Eduardo da Silva e Francisco Freire Soares, pela grande ajuda durante o estágio e pela paciência.

Agradeço a todos os professores que tive durante o curso de graduação pelo conhecimento transmitido.

Agradeço às amigas que fiz durante o curso.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fotografia do gerador de impulsos de corrente.....	13
Figura 2 - Fotografia da mesa de controle do gerador.....	13
Figura 3 - Diagrama esquemático do gerador de impulso.....	14
Figura 4 - Configuração do ensaio no varistor para aquisição dos sinais de tensão e corrente.....	14
Figura 5 - Formas de ondas obtidas em impulso de corrente aplicado no Varistor.....	15
Figura 6 - Formas de ondas obtidas em impulso de corrente aplicado no Solo.....	16
Figura 7 – (a) Fotografia do transformador e do divisor de tensão capacitivo (b) Fotografia do multímetro utilizado para medição da corrente de fuga.....	18
Figura 8 - Esquema de montagem para ensaios em luvas isolantes. (Manual de Instruções Técnicas, 2006).....	20
Figura 9 - Fotografia do ensaio em luva isolante.....	20
Figura 10 - Esboço de um anel de guarda para ensaio de varas de manobra. (Manual de Instruções Técnicas, 2006).....	22
Figura 11- (a) Esquema de montagem para ensaios em bastões de manobra. (Manual de Instruções Técnicas, 2006). (b) Fotografia da montagem.....	23
Figura 12 – (a) Esquema de montagem para ensaios em <i>Liner</i> . (Manual de Instruções Técnicas, 2006). (b) Fotografia de ensaio em <i>Liner</i>	24
Figura 13 - Esquema de montagem para ensaios em condutor isolado para <i>jamper</i> . (Manual de Instruções Técnicas, 2006).....	25
Figura 14 - Fotografia de ensaio condutor isolado para <i>jamper</i>	26
Figura 15 - Esquema para ensaio de cesta aérea tipo B. (Manual de Instruções Técnicas, 2006).....	27
Figura 16 - Detalhes do ensaio da lança isolante (parte final da lança).....	27
Figura 17 - Detalhes do ensaio da lança isolante (na carcaça metálica é realizado o aterramento).....	28
Figura 18 – Fotografia do arranjo utilizado no ensaio de MRD.....	30
Figura 19 - Diagrama de blocos do sistema de MRD proposto.....	31
Figura 20 – Fotografia de Disjuntor PVO Siemens usado na Pesquisa.....	31
Figura 21 - Fotografias do Disjuntor PVO – Siemens.....	32
Figura 22- Curvas da MRD após aplicação de sobrecorrente.....	33
Figura 23 - Curvas da MRD após aplicação de curto circuito.....	34
Figura 24 - Estado dos contatos após ensaios de degradação dos contatos.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados técnicos do varistor utilizado nos ensaios.	15
Tabela 2 - Impedância impulsiva do aterramento para diferentes amplitudes.	16
Tabela 3- Variáveis para ensaio de luvas isolantes de borracha.	19
Tabela 4 - Laudo Técnico para as luvas de 500 v.....	21
Tabela 5 - Laudo Técnico para as luvas de 17kv.....	21
Tabela 6 - Correntes de fuga máximas para ensaios em materiais tubulares de fibra.....	22
Tabela 7 - Resultados dos ensaios em bastões de manobra.	23
Tabela 8- Resultados dos ensaios em Liner.....	24
Tabela 9 - Resultados dos ensaios em Cesta aérea	28

SUMÁRIO

1	Introdução.....	9
2	Apresentação das instituições.....	10
2.1	ATECEL.....	10
2.2	Laboratório de alta tensão.....	10
3	Atividades desenvolvidas.....	12
3.1	Medição de Impedância de um Aterramento Submetido a Impulsos de Corrente Elétrica.....	12
3.2	Ensaio em equipamentos de proteção para manutenção em linhas energizadas.....	17
3.2.1	Ensaio em Luvas Isolantes.....	19
3.2.2	Ensaio Bastões de Manobra Seccionável.....	21
3.2.3	Ensaio em Cuba Isolante (<i>Liner</i>).....	23
3.2.4	Condutor Isolado (<i>BY-PASS</i>).....	24
3.2.5	Verificação da Corrente de Fuga em Lança de Caminhão.....	26
3.3	Medição da resistência dinâmica dos contatos de disjuntores (MRDC).....	29
4	Conclusão.....	35
	Bibliografia.....	36

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a sociedade presenciou a grande evolução da regulamentação do setor elétrico. Requisitos mínimos como confiabilidade, qualidade, segurança e continuidade de serviço estão em foco cada vez mais das empresas concessionárias e operadores do sistema elétrico. Desse modo, tornou-se necessária a contratação de profissionais mais capacitados, atualizados e preparados para vencer as novas exigências do mercado.

No curso de Graduação de Engenharia Elétrica diversos conhecimentos são adquiridos nas disciplinas, no entanto, apesar de todas as atividades práticas realizadas nos laboratórios, o desenvolvimento profissional do aluno só é possível em contato com o mercado de trabalho. O estágio curricular se destaca então como uma atividade essencial, permitindo assim ao aluno consolidação de sua profissionalização e exploração das competências básicas indispensáveis para uma formação profissional, ética e responsabilidade social.

Neste relatório são apresentadas as atividades desenvolvidas durante o estágio supervisionado do aluno Wallysson de Vasconcelos Sousa na Associação Técnica Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior - ATECEL durante o período de 18/06/2013 a 30/09/2013, sob a supervisão e orientação do Professor Edson Guedes da Costa.

2 APRESENTAÇÃO DAS INSTITUIÇÕES

2.1 ATECEL

A Associação Técnica Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior (ATECEL) é uma entidade de direito privado, sem fins lucrativos, fundada por professores da antiga Escola Politécnica da Universidade Federal da Paraíba em 05 de agosto de 1967 e cujo nome é uma homenagem a um de seus fundadores.

A finalidade básica da ATECEL é apoiar e viabilizar os programas de Pesquisa e Extensão da Universidade Federal da Paraíba e Universidade Federal de Campina Grande. Todavia, também presta serviços de consultoria, elaboração de projetos e treinamento de pessoal nas diversas áreas do conhecimento, incluindo toda e qualquer interação pode ser viabilizada mediante convênios ou contrato de serviços. Além disso, os processos de articulação proporcionam a oportunidade, para que os vários setores da UFCG desenvolvam programas de pesquisas e de prestação de serviços, desta forma melhor capacitando-os e viabilizando a Universidade para cumprir o seu papel com a sociedade.

Pelos inúmeros serviços prestados, a ATECEL foi declarada de Utilidade Pública pela Lei Estadual Nº 3.738 de 20.12.1974 e pela Lei Municipal Nº 03-D/74-GP de 15.03.1974. Além disso, a ATECEL é marca registrada e membro da Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica Industrial (ABIPTI).

2.2 LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

O LAT começou a ser implantado em 1974, graças a uma associação de recursos nacionais com os de algumas cooperações técnicas internacionais. Hoje, é na sua especialidade, o laboratório melhor equipado do Norte-Nordeste do país, com uma área construída de 1.050 m².

Nos últimos 25 anos foi realizados um grande número de ensaios elétricos, de recebimentos e pós-reparos eletromecânicos, além de apoio às pesquisas de desenvolvimento de equipamentos. Várias empresas, a exemplo da CHESF, PETROBRÁS, ENERGISA, Eletrobrás Distribuição Alagoas, entre outras, que têm solicitado os serviços do LAT.

O LAT se destaca pela grande variedade de equipamentos disponíveis, muitos deles bastante sofisticados, e possui um corpo técnico formado por docentes-pesquisadores, engenheiros e técnicos dos mais qualificados e experientes, todos trabalhando sob a coordenação do professor Genoilton C. Almeida. Tal combinação permite o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão relacionadas à ênfase de eletrotécnica.

Atualmente o LAT é composto pelos seguintes ambientes de laboratório:

- Sala do Laboratório de Materiais Elétricos;
- Salão de Alta Tensão;
- Sala do Gerador de Impulso de Corrente;
- Sala do Kit de Alta Tensão;
- Sala do Laboratório de Descargas Parciais.

Dentre os equipamentos mais importantes do LAT, estão:

- Transformadores de potencia ligados em cascata que permitem a geração de até 600 kV, em corrente alternada;
- Gerador de impulsos de alta tensão, 700 kV e 36 kJ.
- Gerador de impulsos de alta corrente, 160 kA, 100 kV, onda 8/20 μ s;
- Kit didático para alta tensão, 100 kV;
- Digitalizador de formas de onda;
- Detector de descargas parciais;
- Ponte Schering e capacitores padrão.

3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

O estágio do candidato foi realizado nas dependências do Laboratório de Alta Tensão e que durante o período de estágio foram feitos ensaios em equipamentos para manutenção em linhas energizadas (EPI), requisitados por empresas privadas; participação e acompanhamento de projetos de alunos de doutorado; medição de resistência dinâmica dos contatos de disjuntores e avaliação de sistemas de aterramento. Todas as atividades foram devidamente acompanhadas por professores, técnicos ou alunos de pós-graduação do LAT. A seguir são descritas as atividades desenvolvidas com a participação efetiva do estagiário.

3.1 MEDIÇÃO DE IMPEDÂNCIA DE UM ATERRAMENTO SUBMETIDO A IMPULSOS DE CORRENTE ELÉTRICA

O aterramento de sistemas elétricos é fundamental para garantir a segurança de pessoas e instalações elétricas. Da mesma maneira, o aterramento deve estabelecer uma tensão de referência para todo o sistema elétrico em que está inserido. Sua função é oferecer um caminho de baixa impedância para escoamento de correntes provenientes de surtos atmosféricos e de chaveamentos dos sistemas elétricos, como também curtos-circuitos.

Para o bom funcionamento dos sistemas elétricos, o aterramento sem dúvida é item primordial. O desempenho do sistema de aterramento, tanto em regime permanente como em regime transitório garante qualidade e eficiência do sistema como um todo. Em regime permanente o sistema de aterramento atua no sentido de atenuar o surgimento de tensões no neutro pelo desbalanceamento de corrente nas fases.

No tocante aos casos de surtos de corrente e curtos-circuitos, o aterramento deve provocar o fluxo da corrente para a terra.

No projeto de pesquisa desenvolvido pela doutoranda Malone Soares de Castro, pretende-se avaliar o comportamento da impedância impulsiva de um sistema de aterramento submetido a impulsos de corrente elétrica em relação à amplitude da corrente injetada no solo, bem como da tensão aplicada.

Para realização dos ensaios foi utilizado um gerador de impulso de corrente da fabricante Haefely (80 kJ/100 kV), capaz de gerar impulsos de corrente com forma de onda de

8/20 μ s, 4/10 μ s, entre outras. Na Figura 1 é apresentada uma fotografia do gerador, o qual possui estágios formados por um capacitor e uma resistência variável de amortecimento. Dependendo da quantidade de estágios interligados, o gerador pode atingir uma tensão máxima de carregamento de 100 kV. O banco de capacitores deve ser carregado com a tensão desejada.



Figura 1 - Fotografia do gerador de impulsos de corrente.

O procedimento para geração do impulso de corrente é controlado por meio de uma mesa de controle, mostrada na Figura 2. Com o gerador, é possível produzir sinais de 8/20 μ s, forma de onda padronizada por norma para descargas atmosféricas, bem como, sinais de 4/10 μ s, padronizado por norma para onda rápida. Dependendo da combinação entre resistores, indutores e quantidade de estágios, é possível obter outros impulsos.



Figura 2 - Fotografia da mesa de controle do gerador.

A injeção de impulsos de corrente no solo provoca diversos fenômenos elétricos e magnéticos, que são simultâneos, em frequências elevadas e com altas amplitudes. Assim, a

análise dos efeitos das descargas atmosféricas nos aterramentos não se constitui em tarefa técnica trivial, em decorrência da complexidade física dos fenômenos, da dispersão dos seus parâmetros e da dificuldade de avaliação dos seus efeitos.

O diagrama esquemático do gerador de impulso é mostrado na Figura 3. Utilizando-se a mesa de controle, inicialmente as esferas, SG, do espinterômetro são afastadas. Inicia-se o carregamento do banco de capacitores com até a tensão desejada, em seguida as esferas do espinterômetro são aproximadas com o intuito de gerar uma descarga elétrica.

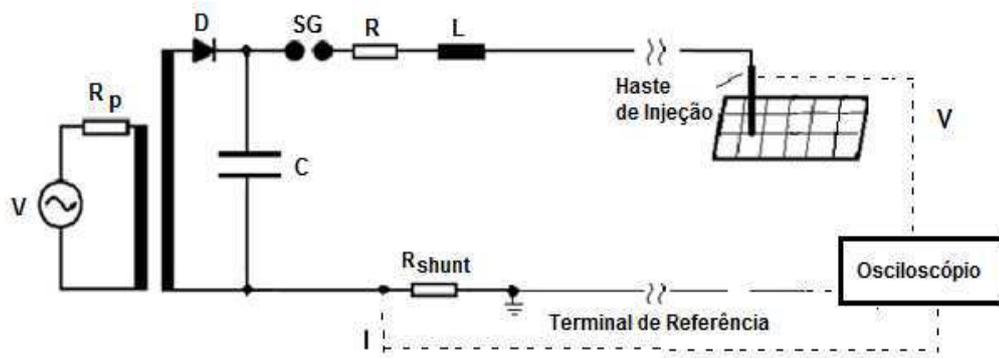


Figura 3 - Diagrama esquemático do gerador de impulso.

Para as medições dos sinais de tensão e corrente foi utilizado o osciloscópio digital Tektronix modelo TDS 2012. Inicialmente foram realizados ensaios, em um varistor com diferentes configurações do gerador de impulsos de corrente a fim de testar todas as configurações disponíveis no LAT combinando o número de estágios, o valor do resistor e o valor do indutor de forma a se obter o sinal de menor frequência. A configuração dos ensaios em que o varistor é utilizado pode ser observada na Figura 4.

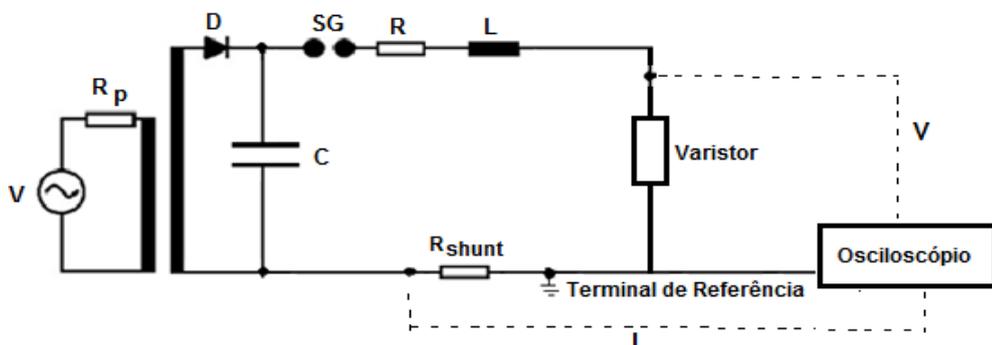


Figura 4 - Configuração do ensaio no varistor para aquisição dos sinais de tensão e corrente.

O varistor utilizado nos ensaios tem os dados técnicos mostrados na Tabela 1.

Tabela 1- Dados técnicos do varistor utilizado nos ensaios.

Dados Técnicos	Valores
Altura	$28 \pm 0,5$ mm
Diâmetro	$41 \pm 1,0$ mm
Classe	1
Tensão nominal	4 kV _{RMS}
Tensão de operação contínua	3,4 kV _{RMS}
Corrente nominal de descarga	10 kA
Tensão residual para impulso de corrente íngreme	14,63 kV _{PICO}
Tensão residual para corrente de impulso de manobra 500 A	10,67 kV _{PICO}
Tensão residual para impulso atmosférico de 5 kA	12,43 kV _{PICO}
Tensão residual para impulso atmosférico de 10 kA	13,2 kV _{PICO}
Tensão residual para impulso atmosférico de 20 kA	14,9 kV _{PICO}

A forma de onda apresentada na Figura 5 corresponde à aplicação do impulso no varistor.

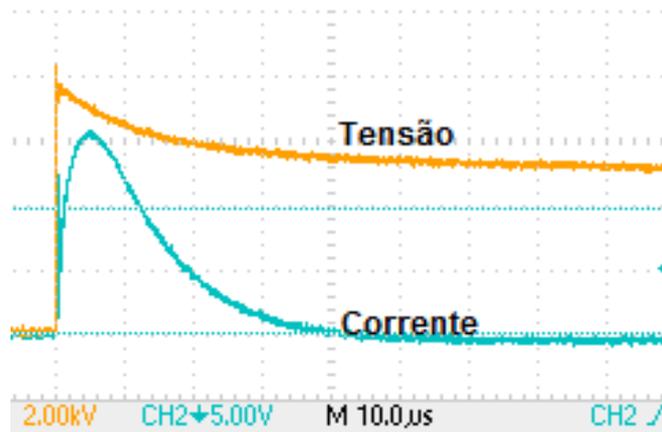


Figura 5 - Formas de ondas obtidas em impulso de corrente aplicado no Varistor.

Vale ressaltar que as componentes elétricas do solo passam a ter influência no circuito, o que provoca diferentes sinais de tensão e corrente em comparação àqueles obtidos com ensaios em varistor, mesmo mantendo-se a mesma configuração do gerador de impulsos. Este fenômeno pode ser constatado comparando-se a Figura 5 e a Figura 6.

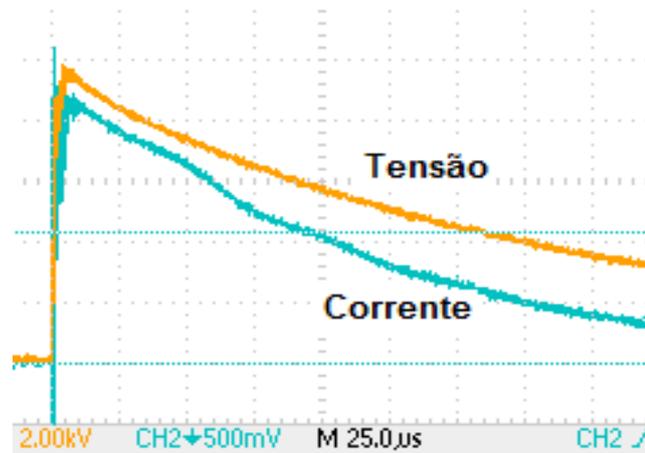


Figura 6 - Formas de ondas obtidas em impulso de corrente aplicado no Solo.

Devido à componente capacitiva do solo, a corrente tem um decaimento mais lento que no caso do varistor.

A partir das formas de onda de tensão e corrente pode-se calcular a impedância impulsiva de aterramento, parâmetro dado pela razão entre os valores de pico das ondas de tensão V_p e de corrente I_p . A impedância impulsiva (Z_p) é obtida pela razão V_p/I_p . Os valores obtidos para a impedância impulsiva, mantendo-se a frequência e variando-se a tensão de carregamento dos capacitores, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Impedância impulsiva do aterramento para diferentes amplitudes.

Tensão de carregamento (kV)	V (kV)	I (kA)	Z_p (Ω)	Desvio (Ω)
10	9,72	0,410	23,716	0,416
15	13,3	0,572	23,250	0,523
20	17,8	0,791	22,525	0,752
25	22,8	0,931	24,488	0,240
30	27,3	1,157	23,597	0,472
35	32,8	1,430	22,963	0,787

No decorrer dos ensaios o estagiário realizou a calibração e o ajuste do sistema de gatilhamento do osciloscópio para obtenção dos sinais medidos. Foi possível ainda aprender como utilizar a bancada de controle, onde se pode fazer o carregamento dos capacitores do

gerador de impulso de corrente, e também é possível aplicar o impulso através da aproximação dos centelhadores.

3.2 ENSAIOS EM EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO PARA MANUTENÇÃO EM LINHAS ENERGIZADAS.

As exigências crescentes de confiabilidade e continuidade dos sistemas de energia elétrica têm exigido das concessionárias um demasiado esforço no sentido de reduzir as interrupções de fornecimento para manutenções. Nesse sentido é bastante conveniente a adoção de intervenções em linha viva, ou seja, realização de manutenções e ampliações na rede sem a necessidade de desenergização dos circuitos. Para realização da manutenção em linha viva podem ser utilizados três métodos: método ao contato, método ao potencial e método à distância.

O método à distância consiste em se trabalhar com o auxílio de bastões isolados de elevação e fixação e bastões manuais isolados com ferramentas de encaixe universal, instaladas em suas extremidades. O método é recomendado para uma tensão de até 138 kV.

No método ao potencial, utiliza-se de medidas de segurança que garantam o mesmo potencial elétrico no corpo inteiro do eletricista, durante a execução manual das tarefas de manutenção. Entretanto, a técnica de equalizar o potencial elétrico no corpo do eletricista, se faz através de um conjunto de vestimenta condutiva (roupas, capuzes, luvas e botas), conectado através de um “cinto” ao condutor da rede. O método é recomendado para uma tensão igual ou acima de 138 KV.

No método ao contato o trabalhador tem contato com a rede energizada, mas não entra em contato direto com potencial da rede elétrica, pois está devidamente isolado, utilizando equipamentos de proteção individual (EPI) e equipamentos de proteção coletiva (EPC) adequados à tensão da rede.

O envelhecimento dos materiais isolantes e o desgaste ou danificação dos mesmos com a utilização intensa provoca o aumento no risco de falhas na isolação. Visando garantir a segurança dos operadores, os equipamentos de proteção tanto individual como coletivo devem ser ensaiados em laboratórios antes de serem usados no campo, bem como devem ser ensaiados periodicamente após o início do uso, verificando assim seu desgaste. Os ensaios

devem estar de acordo com a legislação vigente com as normas reguladoras NR-10 e NR-6 e também obedecendo às especificações do fabricante. Além disso, devem ser realizados por pessoas qualificadas, ou seja, pessoas com posse de um diploma técnico reconhecido pelo sistema oficial de ensino e competência profissional específica.

No LAT da UFCG são realizados diversos ensaios de EPI e EPC com objetivo de emissão de laudos certificando o correto funcionamento dos equipamentos quando submetidos a altas tensões. As atividades de estágio no LAT permitiram ao aluno o acompanhamento de todos os ensaios realizados, sempre acompanhado do corpo técnico formado por professores e funcionários do laboratório prontos para prestar auxílio na compreensão dos procedimentos e exemplificação das aplicações práticas dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso.

Equipamentos utilizados na realização dos ensaios:

- Gerador de Tensão AC, 120 kV- 1,0 A;
- Divisor de Tensão Capacitivo 7816/1.
- Voltímetro de Pico Hafelly;
- Multímetro Digital MINIPA;
- Termo-Higrômetro MINIPA.

A fotografia dos equipamentos utilizados para execução dos ensaios é mostrada nas Figura 7.



Figura 7 – (a) Fotografia do transformador e do divisor de tensão capacitivo (b) Fotografia do multímetro utilizado para medição da corrente de fuga

3.2.1 ENSAIOS EM LUVAS ISOLANTES

Ensaio em luvas isolantes de borracha são regulamentados nas normas ASTM D120-95 (2010), NBR 122 (2005) e NBR 10622 (1989). O primeiro teste é uma inspeção visual. As luvas devem estar isentas de irregularidades prejudiciais que possam ser constatadas através de inspeção visual, como pequenos furos. Devem cobrir totalmente a mão, pulso e parte do antebraço do usuário, permitindo a interdependência de movimentos entre os dedos. Na Tabela 3, são especificadas os níveis de tensão a 60 Hz para cada classe de luva, bem como a máxima corrente suportada no ensaio. Para fins de proteção mecânica, as luvas de borracha são utilizadas com um acompanhamento em couro, evitando desgaste na borracha que apresenta menor resistência a impactos, tração e atrito.

Tabela 3- Variáveis para ensaio de luvas isolantes de borracha.

Classe	Tensão de Ensaio (V)	Tensão Máxima de Uso (V)	Corrente Máxima (mA)				
			Altura H (mm)	Luva de 267 mm	Luva de 356 mm	Luva de 406 mm	Luva de 457 mm
00	2500	500	38	6	10	12	14
0	5000	1000	38	10	14	16	18
1	10000	7500	38	-	16	18	20
2	20000	17000	64	-	18	20	22
3	30000	26500	89	-	20	22	24
4	40000	36000	127	-	-	24	26

Notas:

- 1. Os valores de tensão referem-se a valores eficazes.
- 2. A altura H refere-se à parte emersa da luva (tolerância de +/- 8 mm).

Para realização dos ensaios das luvas isolantes, deve-se montar uma estrutura capaz de aplicar o mais uniformemente possível um potencial num dos lados (interno ou externo) do equipamento e zero Volts no lado oposto, medindo-se então a corrente de fuga entre as partes interna e externa da luva. Para realização de ensaios, a luva é colocada em um recipiente com um líquido condutivo, geralmente água adicionada de sais, o interior da luva também é preenchido com água, de modo que os níveis de água no interior da luva e no recipiente coincidam. O esquema de montagem para realização de ensaios de luvas é mostrado na Figura 8. Ensaio periódico devem ser realizados a cada seis meses para luvas em uso, de forma a garantir que o equipamento esteja em condições de uso.

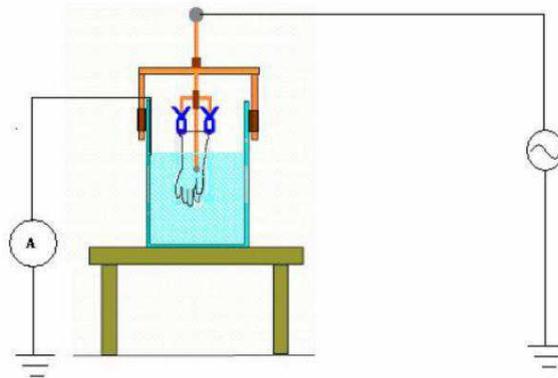


Figura 8 - Esquema de montagem para ensaios em luvas isolantes. (Manual de Instruções Técnicas, 2006).

A montagem feita no LAT pode ser vista na fotografia mostrada na Figura 9.



Figura 9 - Fotografia do ensaio em luva isolante.

O procedimento prevê a conexão do terminal de saída do transformado ao eletrodo que é introduzido na água contida no interior da luva. O aterramento deve ser conectado ao outro eletrodo, que é introduzido na água. Inicialmente em zero, a tensão deve ser elevada gradualmente, à razão aproximada de 3 kV/s, até atingir o valor de tensão de ensaio especificado na Tabela 3, o qual deve ser mantido por 1 (um) minuto, e em seguida retornar a tensão ao valor zero, também gradualmente.

A corrente de fuga através da luva, durante o ensaio de tensão aplicada não deve exceder os valores especificados na Tabela 3. Um exemplo de resultado obtido após ensaio de um conjunto de luvas é mostrado nas Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4 - Laudo Técnico para as luvas de 500 v.

Ferramenta: Luvas Isolantes de Borracha			Fabricante: ORION		
Tensão Nominal: 500 V			Classe 00 / Tipo II		
Ensaio: Tensão Aplicada - 2,5 kV/60Hz			NORMA: NBR – 10622/89		
RESULTADOS:					
Item	Nº de Série	Lado	Tamanho (pol.)	Corrente de fuga (mA)	Laudo
01.01	205165	Direito	10	4,1 / 4,0*	Aprovada
01.02	205174	Esquerdo	10	4,2 / 4,1*	Aprovada

* Medição efetuada após manutenção da tensão aplicada por 1,0 minuto

Tabela 5 - Laudo Técnico para as luvas de 17kv.

Ferramenta: Luvas Isolantes de Borracha			Fabricante: ORION		
Tensão Nominal: 17 kV			Classe 2 / Tipo II		
Ensaio: Tensão Aplicada - 20 kV/60Hz			NORMA: NBR – 10622/89		
RESULTADOS:					
Item	Nº de Série	Lado	Tamanho (mm)	Corrente de fuga (mA)	Laudo
02.01	373788	Direito	10	Perfurou	Reprovada
02.02	373814	Esquerdo	10	Perfurou	Reprovada
02.03	982765	Direito	10	9,3 / 9,2*	Aprovada
02.04	982735	Esquerdo	10	9,6 / 9,5*	Aprovada
02.05	1296188	Direito	10	9,3 / 9,2*	Aprovada
02.06	1296175	Esquerdo	10	9,9 / 8,8*	Aprovada
02.07	1123467	Direito	10	10,1 / 10,0*	Aprovada
02.08	1123417	Esquerdo	10	10,2 / 10,1*	Aprovada
02.09	373807	Direito	10	10,3 / 10,2*	Aprovada
02.10	373767	Esquerdo	10	8,9 / 8,8*	Aprovada
02.11	985796	Direito	10	8,9 / 8,8*	Aprovada
02.12	982856	Esquerdo	10	9,2 / 9,1*	Aprovada

* Medição efetuada após manutenção da tensão aplicada por 1,0 minuto

3.2.2 ENSAIOS BASTÕES DE MANOBRA SECCIONÁVEL

Bastões de manobra são equipamentos utilizados para manobras em redes energizadas ou não. São produzidos em fibra de vidro e resina epóxi e apresentam alta resistência mecânica e dielétrica. São equipamentos muito versáteis e podem ser utilizados em diversas ocasiões, como operações de grampo em linha viva, grampos de aterramento e corte de galhos de árvores próximos a redes energizadas.

As normas que regem os ensaios em material tubular de fibra são a NBR 14540 e a NBR 11854. Na Tabela 6 são fornecidos os valores de tensão de ensaio e os limites máximos de correntes de fuga aceitáveis de acordo com o diâmetro dos bastões. Segundo as normas, eletrodos para realização de ensaios em hastes ou tubos isolantes confeccionados em fibra

devem possuir anel de guarda. Os anéis servem para minimizar os efeitos das correntes de fuga capacitiva (parasita), que podem aumentar em até 200% o valor real de corrente de fuga, dependendo do arranjo/posição no laboratório. Um esboço de um anel de guarda é ilustrado na Figura 10.

Tabela 6 - Correntes de fuga máximas para ensaios em materiais tubulares de fibra

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

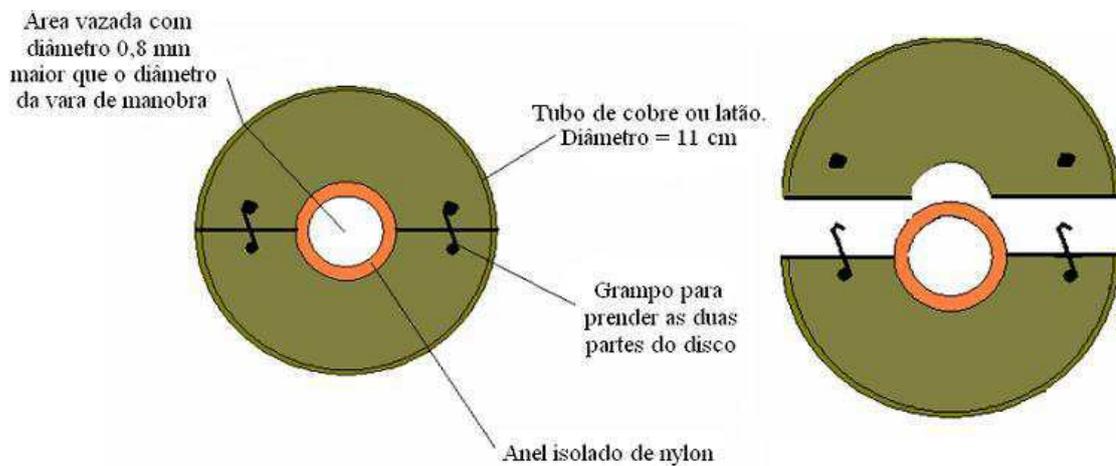


Figura 10 - Esboço de um anel de guarda para ensaio de varas de manobra. (Manual de Instruções Técnicas, 2006).

O ensaio é feito segundo esquema apresentado na Figura 11. Os eletrodos devem distar um do outro de 15 cm para 50 kV, e de 30 cm para 100 kV. O tempo de duração da tensão aplicada deve ser de um minuto. Os bastões foram ensaiados com tensão aplicada de 100 kV (60 Hz) durante 1 minuto.

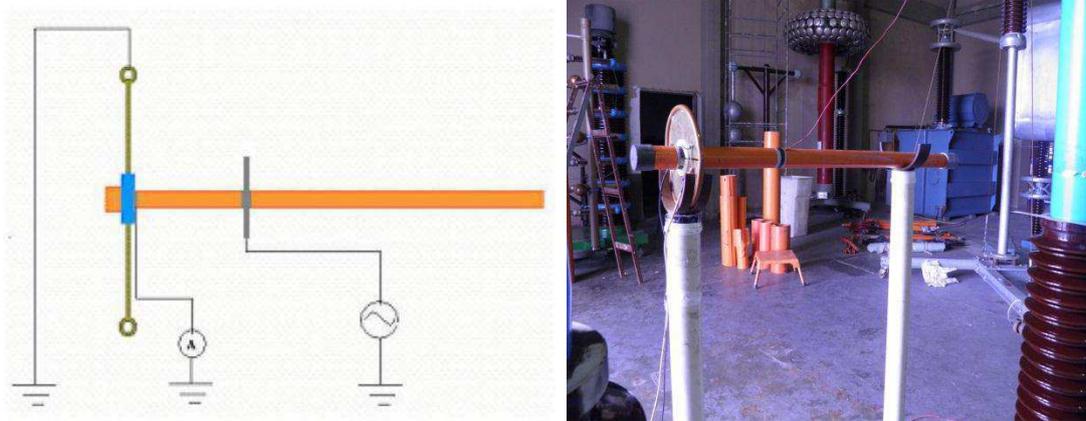


Figura 11- (a) Esquema de montagem para ensaios em bastões de manobra. (Manual de Instruções Técnicas, 2006). (b) Fotografia da montagem.

Os resultados obtidos estão mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados dos ensaios em bastões de manobra.

Ferramenta: Vara de Manobra Seccionável (05 elementos)			Fabricante: RITZ Data Fáb.: 07/2011		
Ensaio: Tensão Aplicada 100 kV/60Hz			NORMA: NBR 14540//2000		
RESULTADOS:					
Item	Patrimônio	Seção / Diâmetro (mm)	Comprimento Ensaiado (mm)	Corrente de fuga (μA)	Laudo
03.01	10359741	Ponta / 25	300	5,7 / 5,6*	Aprovada
		Interm. / 32	300	6,0 / 5,9*	Aprovada
		Interm. / 32	300	5,7 / 5,6*	Aprovada
		Interm. / 32	300	5,8 / 5,7*	Aprovada
		Punho / 32	300	6,0 / 5,9*	Aprovada

*Medição efetuada após manutenção da tensão aplicada por 1,0 minuto.

3.2.3 ENSAIO EM CUBA ISOLANTE (*LINER*)

Liner é uma cuba isolante que acomoda uma pessoa. Os *liners* são cubas isoladas que ficam acopladas ao extremo da lança do caminhão. Nele o eletricitista pode realizar trabalhos em altura e submetido ao potencial da linha, daí a importância de seu isolamento. Para o ensaio elétrico, o *liner* deve ficar parcialmente imerso em um tanque com água (porém, não deve tocar o fundo, mas ser apoiado em bases isolantes), que também deve ser colocada em seu interior até igualar-se ao nível do tanque. O eletrodo aterrado deve ser colocado no

interior da cuba isolada, enquanto o eletrodo energizado exterior a ela, conforme ilustrado na Figura 12.

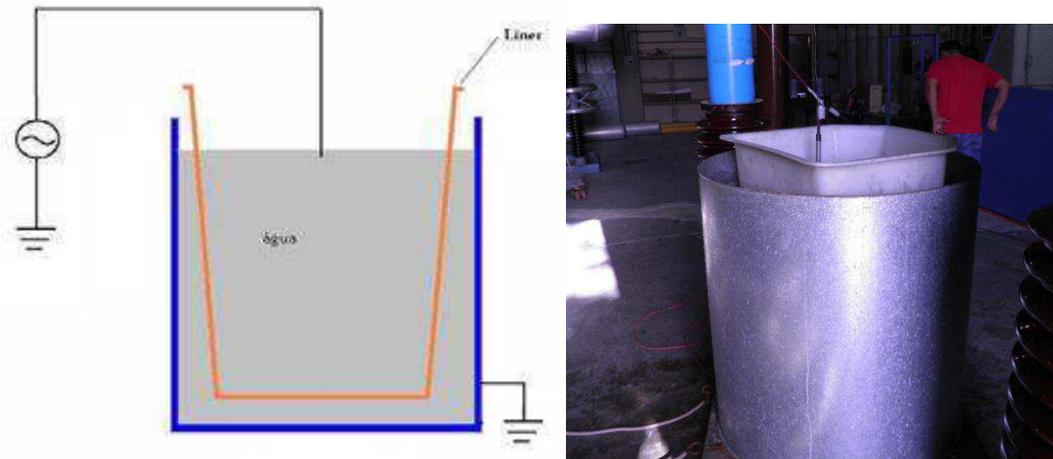


Figura 12 – (a) Esquema de montagem para ensaios em *Liner*. (Manual de Instruções Técnicas, 2006).
(b) Fotografia de ensaio em *Liner*.

O *liner* deve suportar no mínimo 30 kV, 60 Hz, por 1 (um) minuto ou 100 kV em correntes contínua, por 3 minutos, sem ocorrer descargas disruptivas ou ruptura ou perfuração do material. Os resultados obtidos estão mostrados na Tabela 8.

Tabela 8- Resultados dos ensaios em *Liner*.

Ferramenta: <i>Liner</i> Isolante (caçamba)		Fabricante: -
Tensão Nominal: -		Nº De Série: -
Ensaio: Tensão Aplicada - 50 kV/60 Hz		NORMA: NBR 16092/2012
RESULTADOS:		
Item	Nº de Série	Laudo
02.01	-	Aprovada
02.02	-	Aprovada

3.2.4 CONDUTOR ISOLADO (*BY-PASS*)

O termo *by-pass* é o nome dado à operação de "isolamento" de equipamentos, desviando a corrente e a tensão do equipamento, para tarefas de manutenção ou substituição, provendo segurança aos operadores e continuidade do fornecimento de energia. Os cabos protegidos para *by-pass* possuem um isolamento para 15 kv. Esses cabos, extremamente flexíveis ainda que em temperaturas baixas, têm combinações de coberturas e isolamento

resistente à abrasão, óleo, calor, umidade e ozônio. Sua cor laranja é natural do revestimento à base de EPR - etileno-propileno.

O ensaio de *by-pass* é realizado para testar a isolação do cabo, para isso utiliza-se um recipiente com água. As coberturas isolantes dos cabos ficam imersas na água que esta dentro do reservatório conectado ao aterramento, e os grampos metálicos são fixados em um eletrodo que esta conectado na alta tensão, conforme a Figura 15. Ao fim do ensaio deve-se verificar se houve algum processo indicativo de falhas, como rachaduras e perfurações do material isolante, e caso sejam constatados o *by-pass* deve ser reprovado.

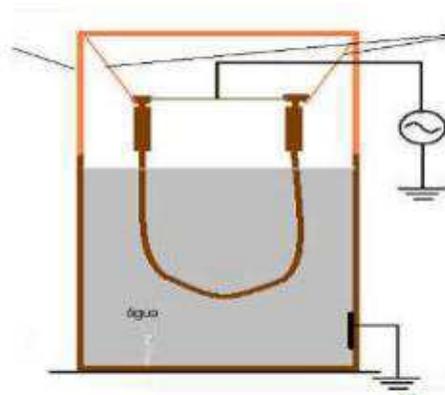


Figura 13 - Esquema de montagem para ensaios em condutor isolado para *jamper*. (Manual de Instruções Técnicas, 2006).

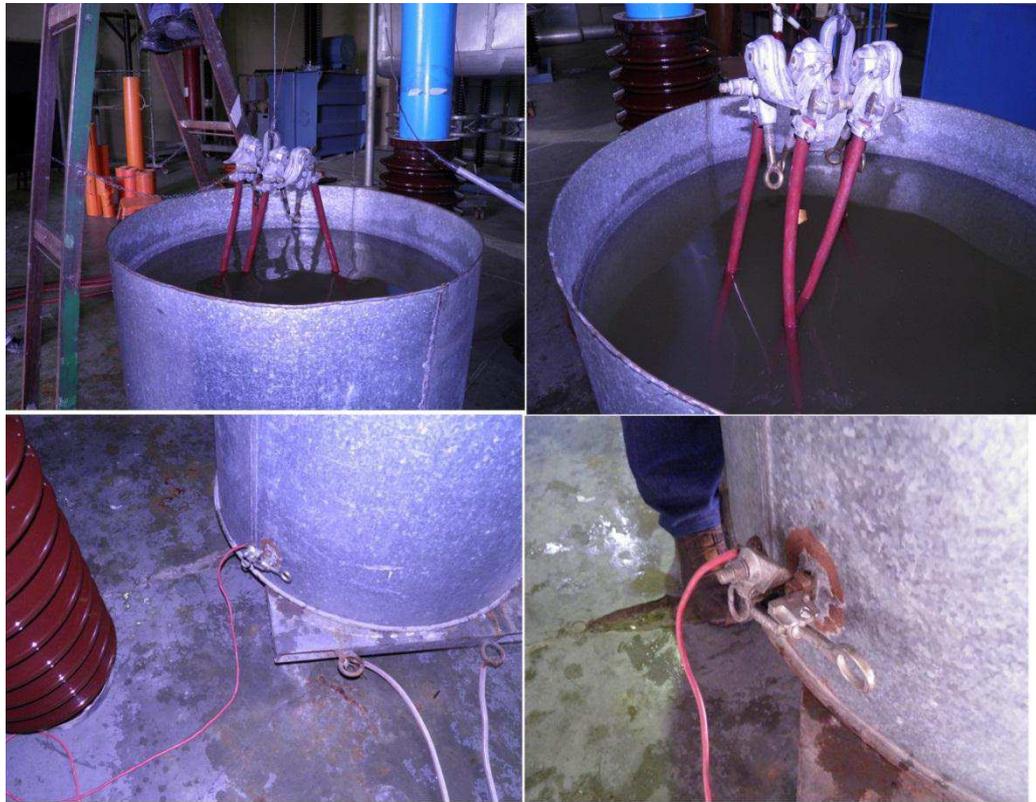


Figura 14 - Fotografia de ensaio condutor isolado para *jumper*.

3.2.5 VERIFICAÇÃO DA CORRENTE DE FUGA EM LANÇA DE CAMINHÃO

A lança isolante é utilizada para realizar a isolação entre o veículo e as caçambas isolantes (*liner*) que suportam os técnicos. Como forma de verificação dessa integridade, os equipamentos devem ser submetidos periodicamente a ensaios elétricos seguindo as normas vigentes e especificações do fabricante.

Para verificação da corrente de fuga na lança do caminhão, aplicou-se uma tensão na região condutora a qual a cesta é fixada, de 10 KV, elevando-a de 10 em 10 KV até o limite de 100 KV (sempre se anotando a corrente correspondente a cada valor de tensão). Após um minuto da aplicação de 100 KV, a corrente de fuga não deve ultrapassar 100 μ A, do contrário a lança estará reprovada.

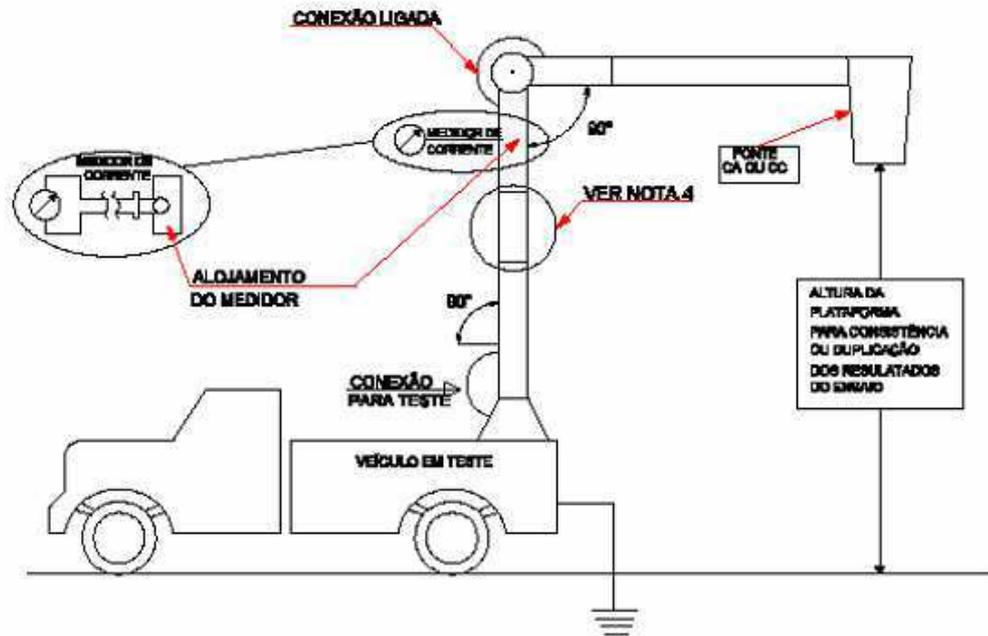


Figura 15 - Esquema para ensaio de cesta aérea tipo B. (Manual de Instruções Técnicas, 2006).

Nas Figura 15 e 18 são mostrados detalhes da forma de realização do ensaio. Um eletrodo é colocado na parte final da lança, próximo às caçambas isolantes, onde é aplicada a tensão. Na carcaça metálica do veículo (caminhão) é realizado o aterramento. A localização do medidor de corrente segundo a norma é no terminal do sistema de eletrodos inferior, e no ensaio o amperímetro deve obrigatoriamente ser conectado com cabo coaxial. É importante que o ensaio seja realizado sempre da mesma forma para que se obtenha repetitividade, e assim, os valores de corrente de fuga medidos ao longo do tempo possam ser comparados.



Figura 16 - Detalhes do ensaio da lança isolante (parte final da lança).



Figura 17 - Detalhes do ensaio da lança isolante (na carcaça metálica é realizado o aterramento).

Tabela 9 - Resultados dos ensaios em Cesta aérea

Ferramenta: Cesta Aérea Isolada		FABRICANTE: GUITON	
Classe de Isolação: 69 kV – Cat. B	MOD.: -	FAB.: 05/09/2002	
Ensaio: Tensão Aplicada de 100 kV.	Nº DESÉRIE: -		
Corrente Fuga Máxima Admissível: 40 µA em 40 kV	NORMA: NBR 16092/2012		

RESULTADOS:

Item	Tensão Aplicada (kV)	Corrente de Fuga (µA)			Laudo
		Hidráulico	Lança	Total	
01.01	10	0,3	8,4	8,7	Aprovada
	20	0,5	15,2	15,7	
	30	0,7	21,1	21,8	
	40	0,9 / 0,9*	27,9 / 27,9*	28,8 / 28,8*	
	50	1,2	34,7	35,9	
	60	1,4	41	42,4	
	70	1,6	48	49,6	
	80	1,9	55,5	47,4	
	90	2,1	62,5	64,6	
	100	2,5 / 2,5*	70,9 / 70,9*	73,4 / 73,4*	

3.3 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DINÂMICA DOS CONTATOS DE DISJUNTORES (MRDC)

Os disjuntores são dispositivos mecânicos de manobra e proteção projetados para conduzir, restabelecer e interromper as correntes elétricas num determinado ponto do circuito, por isso contribuem em grande parte para a confiabilidade, economia e continuidade da operação em sistemas elétricos.

A função predominante de um disjuntor no sistema elétrico é interromper as correntes de defeitos, no menor espaço de tempo possível, antes que os seus efeitos térmicos e mecânicos causem danos às pessoas e à instalação elétrica protegida. Enquanto ocorre a separação dos contatos fixo e móvel existe a formação de arcos elétricos devido a um processo de ionização térmica. Arcos possuem temperatura muito elevada, podendo atingir cerca de 25000 K, e são os principais responsáveis pela degradação dos contatos.

A verificação dos componentes e das características de operação dos disjuntores é fundamental para uma eficiente avaliação do seu estado operativo, objetivando aumentar a confiabilidade do sistema e reduzir custos de operação e manutenção.

Atualmente método utilizado para avaliar o grau de degradação dos contatos de um disjuntor é a medição da resistência estática. Este tipo de medição é feito em cada fase dos disjuntores, submetendo o mesmo a passagem de corrente contínua e verificando a queda de tensão. No entanto o método não avalia isoladamente o estado dos contatos principais e contatos de arco.

Com o intuito de gerar dados mais conclusivos na avaliação da resistência de contato, algumas pesquisas têm sido direcionadas para a medição da resistência dinâmica dos contatos (MRD) em disjuntores de alta tensão, analisando tanto dos contatos principais quanto os contatos de arco.

No projeto de pesquisa desenvolvido pelo doutorando Ronimack Trajano de Souza foi avaliada a correlação entre o nível de degradação dos contatos fixo e móvel e a configuração da curva de resistência dinâmica de contato em disjuntores de alta tensão e suas atividades foram acompanhadas pelo estagiário. Os objetivos destas atividades foram:

- Validar a utilização da resistência dinâmica de contato como parâmetro eficiente no monitoramento da degradação das câmaras de extinção de arco em disjuntores de alta tensão;

- Desenvolver um sistema de inserção gradativa de desgaste dos contatos fixo e móvel em disjuntores de alta tensão;
- Supervisionar os níveis de degradação dos contatos fixo e móvel através da curva de resistência dinâmica de contato nos diferentes estágios de degradação dos contatos;
- Avaliar a correlação entre o nível de degradação dos contatos e a curva de resistência dinâmica de contato.

Na Figura 20 é apresentada uma fotografia do arranjo montado em laboratório para os ensaios de MRD.

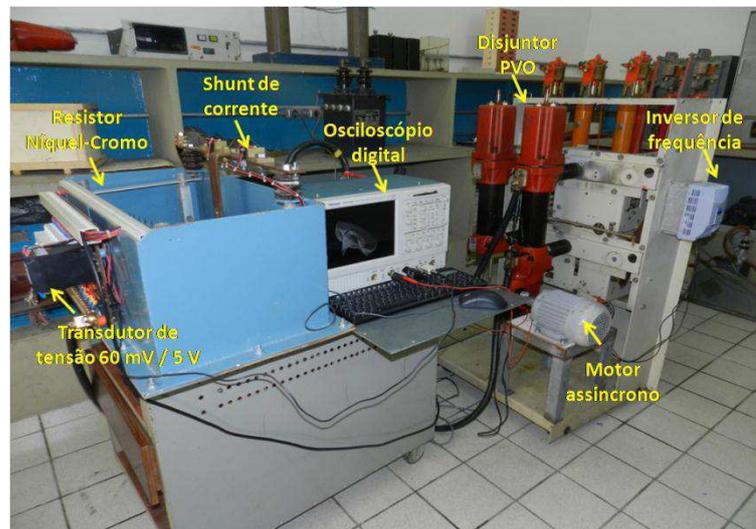


Figura 18 – Fotografia do arranjo utilizado no ensaio de MRD.

No ensaio para medição da curva a MRD dos contatos, o sistema de medição utilizado apresenta as seguintes características:

- Capacidade de injeção de corrente de contínua de até 300 A (fonte de tensão: bateria estacionária 12 V);
- Ajuste da corrente da bateria através de resistor de Níquel-Cromo regulável ($40 \text{ m}\Omega - 1,3 \Omega / 3 \text{ kW}$);
- Medição da corrente com shunt de corrente ($500 \text{ A} / 60\text{mV}$) e transdutor de tensão/tensão ($60 \text{ mV} / 5 \text{ V}$);
- Aquisição das informações captadas na MRD (corrente e queda de tensão nos contatos) através de osciloscópio digital;

Na Figura 21 é mostrado o diagrama de blocos simplificado do sistema proposto e adotado no desenvolvimento da pesquisa de doutoramento.

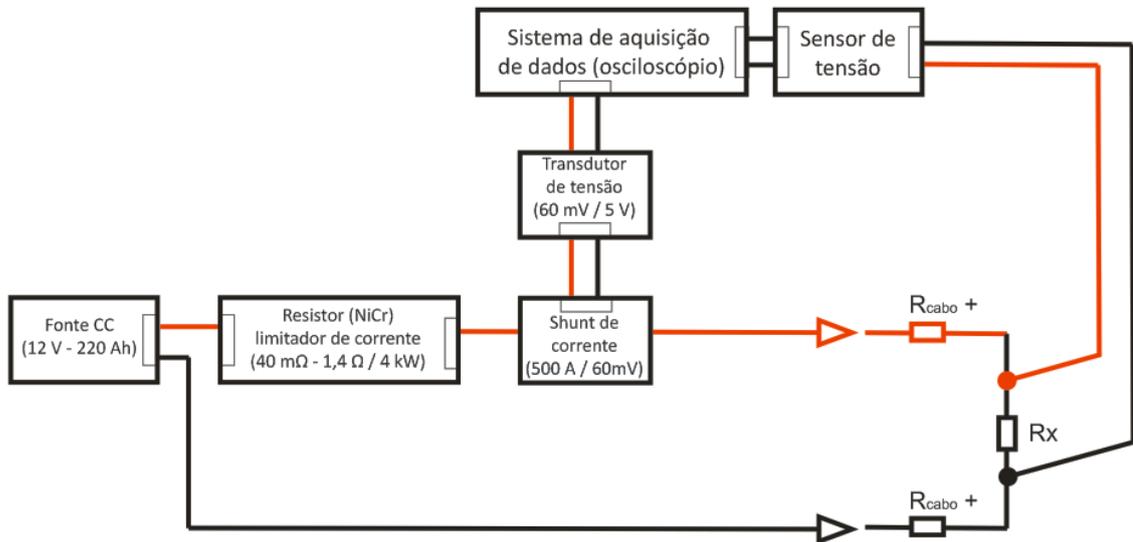


Figura 19 - Diagrama de blocos do sistema de MRD proposto.

A avaliação do processo de degradação dos contatos de disjuntores através da curva de MRD deve levar em conta o processo de evolução do desgaste desde o estágio inicial, contatos novos, até os estágios avançados de degradação, contatos danificados em razão do estresse elétrico (arco elétrico e/ou sobretensão).

Na Figura 20 é mostrada uma fotografia dos contatos utilizados na pesquisa, cada par de contatos é formado por um contato fixo e um contato móvel, com ampacidade de 800 A.



Figura 20 – Fotografia de Disjuntor PVO Siemens usado na Pesquisa.

Foi realizado ensaio para o levantamento da curva MRD dos contatos novos, para que esses dados servissem como referência para avaliar o comportamento da curva após os ensaios de estresse elétrico.

Após a etapa de levantamento da curva MRD dos contatos novos, foram realizados ensaios de envelhecimento acelerado com sobrecorrente e ensaios de envelhecimento acelerado com aplicação de curto circuito entre o contato móvel e o contato fixo

Os contatos novos e desgastados utilizados nos ensaios da MRD foram instalados em um disjuntor de média tensão, fabricação Siemens, modelo: 3AC - BRA / 800 - 12,5 / 15 HN – PVO; N° 0003709; Ano 1978; $U_n = 15 \text{ kV}$; $I_n = 800 \text{ A}$; $I_{cc} = 12,5 \text{ kA} / 60 \text{ Hz}$. Na Figura 11 é apresentada fotografia do disjuntor adotado na pesquisa.



Figura 21 - Fotografias do Disjuntor PVO – Siemens.

Na obtenção da curva da MRD é aplicado um sinal de tensão contínua proveniente da bateria entre os contatos do disjuntor. Em série com os contatos do disjuntor é colocado um resistor NiCr para limitar a corrente entre os contatos do disjuntor. Através do ajuste do valor da resistência do resistor NiCr é estabelecido o nível de corrente desejado entre os contatos do disjuntor. O sinal de corrente entre os contatos do disjuntor é medido através de um sistema shunt de corrente/transdutor de tensão ($500 \text{ A} \rightarrow 60 \text{ mV} \rightarrow 60 \text{ mV} \rightarrow 5 \text{ V}$) e enviado a um dos

canais do osciloscópio. Paralelamente, o sinal de queda de tensão entre os contatos é medido diretamente através de outro canal do osciloscópio.

Após a obtenção da curva da MRD para contatos novos, é realizado vários ensaios de degradação cujo objetivo inicial dos é acelerar o processo de desgaste dos contatos através da aplicação de sobrecorrentes e curto circuito entre os contatos.

O ensaio de aplicação de sobrecorrente nos contatos consiste em aplicar uma corrente que proporcione a degradação dos contatos durante um intervalo de tempo pré-estabelecido. Durante a realização do ensaio o nível de sobrecorrente aplicado ao contato foi pré-estabelecido para 120% da corrente nominal dos contatos, aproximadamente 960 A em frequência de 60 Hz. O ensaio de aplicação de curto circuito nos contatos consiste em aplicar um curto circuito “franco” que proporcione a degradação dos contatos. No ensaio de curto circuito os níveis de corrente e intervalo de duração do curto não são monitorados, tendo em vista que o objetivo é monitora apenas o desgaste do contato.

Na Figura 22 são apresentadas as curvas obtidas da MRD entre os contatos do disjuntor após cada seção de ensaio de sobrecorrente.

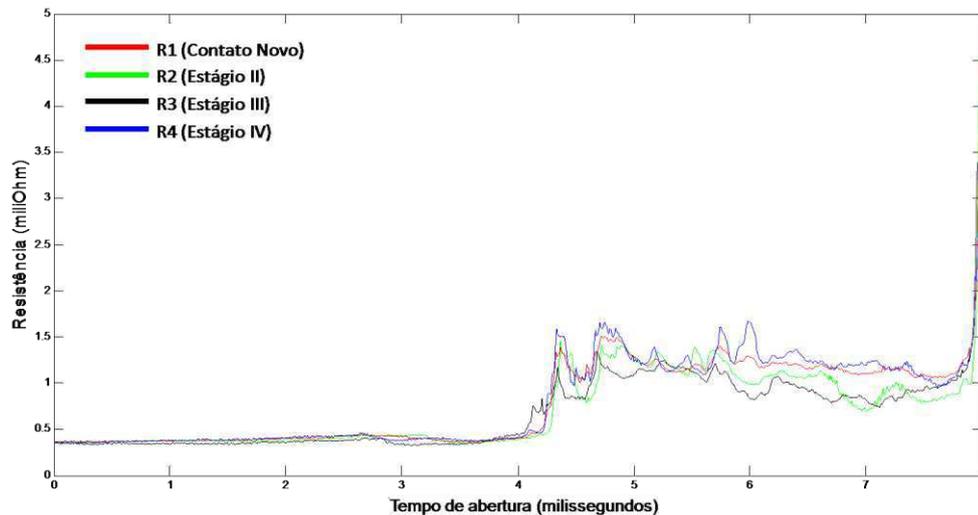


Figura 22- Curvas da MRD após aplicação de sobrecorrente.

Na Figura 23 são apresentadas as curvas obtidas da MRD entre os contatos do disjuntor após cada seção de ensaio de curto circuito.

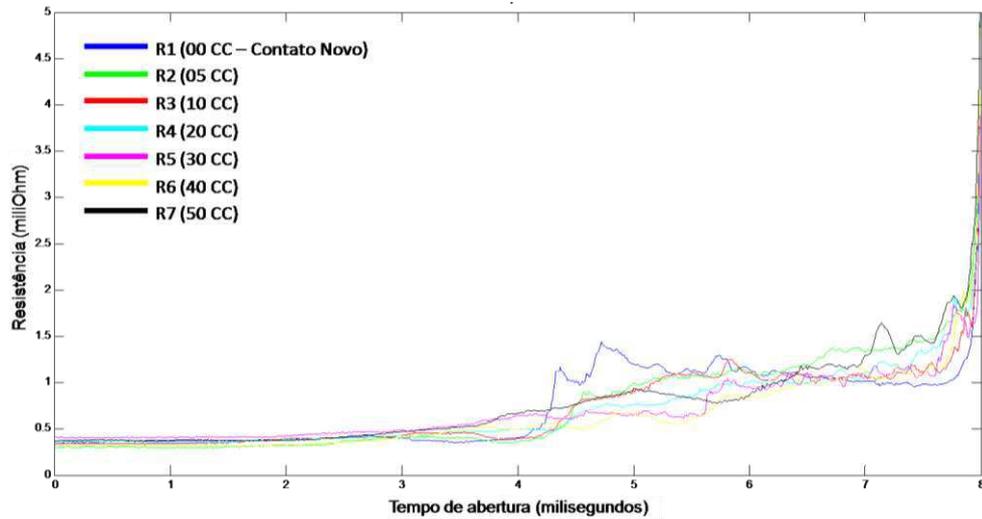


Figura 23 - Curvas da MRD após aplicação de curto circuito.

Na Figura 24 são apresentadas fotografias dos contatos novos e degradados após ensaios de laboratório.



Figura 24 - Estado dos contatos após ensaios de degradação dos contatos.

As contribuições do estagiário para este projeto foram: Exportação das medições do osciloscópio para um computador, carregamento e acionamento do disjuntor, elaboração de uma rotina no Matlab para obtenção das curvas de resistência dinâmica.

4 CONCLUSÃO

O estágio realizado foi extremamente importante, pois contribuiu substancialmente para o desenvolvimento do caráter prático do aluno. 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. Assim o estagiário, pôde se envolver em diferentes áreas da engenharia eletrotécnica, tais como aterramentos, geração de impulsos de corrente, descargas parciais, disjuntores, ensaios em equipamentos de proteção, dentre outros.

O estágio realizado no LAT/ UFCG foi bastante proveitoso devido ao contato intenso com equipes de trabalho variadas. Houve atividades relacionadas com a empresa distribuidora de energia elétrica, atividades relacionadas às pesquisas realizadas por professores, alunos de graduação e de pós-graduação e atividades relacionadas ao ensino, voltadas à melhoria da qualidade da graduação em Engenharia Elétrica.

Dessa forma, foram contempladas as áreas de atuação profissional durante a realização do estágio curricular, o que permitiu ao estagiário um contato inicial com várias áreas de atuação profissional. O melhor aproveitamento de todas as experiências vivenciadas no período de estágio foi possível principalmente devido ao acesso irrestrito aos professores orientadores, no sentido de ampliar a percepção do estagiário acerca do relacionamento entre as atividades realizadas e os conteúdos adquiridos ao longo do curso.

Ao final das atividades, algumas impressões não tão positivas podem ser relatadas como a necessidade de maior participação dos alunos de graduação nas atividades de pesquisa científica realizadas nas dependências da UFCG. Em relação ao ensino, pode-se sugerir maior ênfase ou reestruturação de ementa das disciplinas ligadas diretamente à área de eletrotécnica dada a sua importância na formação dos alunos e o vasto e diversificado conteúdo que deve ser abordado.

Bibliografia

[1] ABNT. **NBR 10622 - Luvas isolantes de borracha**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 1989. p. 31.

[2] ABNT. **NBR 11854 - Bastão isolante para trabalho em redes**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 1992. p. 14.

[3] ABNT. **NBR 14540 - Bastão e escadas isolantes e ferragens para trabalho em instalação energizada - Transmissão**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT. 2000. p. 13.

[4] ABNT. **NBR 6028 - Informação e documentação - Resumo - Apresentação**. [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2003. p. 2.

[5] ABNT. **NBR 16092 - Cestas aéreas - Especificações e ensaios**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 2012. p. 55.

[6] **GRUPO DE SISTEMAS ELÉTRICOS**. Site do Grupo de Sistemas Elétricos da UFCG. Disponível em: <<http://dee.ufcg.edu.br/~gse/>>. Acesso em: 31 de Novembro de 2013.

[7] **MANUAL DE INSTRUÇÕES TÉCNICAS**. Procedimentos de Ensaios de ferramentas e Equipamentos de Linha Viva. COPEL Distribuição, MIT 161703,2006.