



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

RAIRON FERNANDES DE AZEVÊDO CRUZ

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

Campina Grande, Paraíba  
Junho de 2013

RAIRON FERNANDES DE AZEVÊDO CRUZ

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido  
ao Departamento 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 George Rossany Soares de Lira, DSc.

Campina Grande, Paraíba  
Junho de 2013

RAIRON FERNANDES DE AZEVÊDO CRUZ

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Relatório de Estágio Supervisionado submetido ao Departamento 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 George Rossany Soares de Lira, DSc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a todas as pessoas maravilhosas que encontrei no curso de Engenharia Elétrica.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os envolvidos nas atividades de estágio, em especial ao professor George Rossany Soares de Lira que me orientou tanto no estágio quando em dois períodos de monitoria no Laboratório de Instalações Elétricas me incentivando e dando liberdade para desenvolver as atividades da melhor forma. Agradeço ainda por ter sido meu professor em duas disciplinas da graduação: Laboratório de Circuitos Elétricos II e Laboratório de Instalações Elétricas, sempre exigindo que usasse toda a minha capacidade e conseguisse progredir a cada aula nos conhecimentos necessários à boa formação.

Ao professor Edson Guedes da Costa e meu colega Tiago Oliveira pelo convite e parceria na elaboração de uma parte deste trabalho, que serviu também como pontapé inicial para elaboração de meu trabalho de conclusão de curso. Agradeço ainda ao professor Edson pelas disciplinas que tive o prazer de cursar sob sua orientação: Técnicas de Alta Tensão e Equipamentos Elétricos, onde obtive parte dos conhecimentos necessários à elaboração deste trabalho. Agradeço ainda ao colega Tiago pelos exemplos de responsabilidade e cordialidade oferecidos enquanto colegas de curso e estágio, além da ajuda em momentos de estudo e atividades práticas.

Agradeço a meus pais e demais familiares pelo apoio fornecido e à minha namorada Renata pela paciência e ajuda em todos os momentos.

Aos funcionários e demais professores do Laboratório de Alta Tensão pelo auxílio durante todas as atividades de estágio.

A todos os professores, amigos e colegas que me acompanharam nessa jornada intensa e cheia de desafios e alegrias que foi o curso de Engenharia Elétrica.

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais retorna ao tamanho original.”*

Albert Einstein.

## RESUMO

Neste relatório, são apresentadas atividades desenvolvidas pelo aluno Rairon Fernandes de Azevêdo Cruz durante realização de Estágio Supervisionado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sob orientação e supervisão do professor George Rossany Soares de Lira, no período de 3 de dezembro de 2012 a 20 de maio de 2013. São listadas atividades de: elaboração de um guia para utilização de controladores lógicos programáveis no Laboratório de Instalações Elétricas; ensaios de equipamentos para trabalho em linhas vivas, requisitados pelo Grupo Energisa; e manutenção de um transformador para ensaios em Alta Tensão, que apresentava defeito de descarga elétrica em seu interior.

**Palavras-chave:** Estágio, Controlador Lógico Programável, Laboratório de Instalações Elétricas, Transformador para Ensaio, LAT, Ensaio, Equipamentos para Trabalhos em Linha Viva.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Salão de Alta Tensão. Fonte: (SISTEMAS ELÉTRICOS, 2006).	13
Figura 2. Fotografia do veículo da Energisa utilizado para manutenções em redes de 69 kV.	20
Figura 3. Transformador para ensaios utilizado no LAT e sua mesa de controle.	20
Figura 4. Ensaio de luvas isolantes de borracha. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema. Fonte: (COPEL, 2006).	22
Figura 5 Luvas e mangas isolantes ensaiadas.	23
Figura 6. Ensaio de manga isolante de borracha. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema. (COPEL, 2006).	25
Figura 7. Manga isolante ensaiada do fabricante salisbury.	26
Figura 8. Manga isolante reprovada, ponto de carbonização destacado na imagem.	26
Figura 9. Ensaio de cobertura para condutores rígida. (a) Esquema de ensaio. Fonte: (COPEL, 2006). (b) Fotografia do esquema de ensaio. Ensaio realizado no LAT-UFCG em dezembro de 2012.	28
Figura 10. Fotografia de ensaio de proteção para condutores tipo flexível.	28
Figura 11. Fotografia de ensaio de cobertura protetora circular para postes.	29
Figura 12. Esboço de um anel de guarda para ensaio de varas de manobra. Fonte: (COPEL, 2006).	30
Figura 13. Ensaio de vara de manobra. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema de ensaio. Fonte: (COPEL, 2006).	31
Figura 14. Ensaio de Liner. (a) Esquema de ensaio. Fonte: (COPEL, 2006). (b) Fotografia do esquema de ensaio. Ensaio realizado no LAT-UFCG em dezembro de 2012.	32
Figura 15. Detalhes do ensaio da lança isolante.	33
Figura 16. Fotografia do transformador para ensaios.	34
Figura 17. Fotografia da parte ativa do transformador. Vistas lateral e frontal.	36
Figura 18. Fotografia da estufa utilizada.	36
Figura 19. Detalhe da localização do defeito no transformador.	37
Figura 20. Fio partido durante a manutenção e emenda reforçada.	38
Figura 21. Fotografia do circuito para medição de relação de tensão do transformador.	38
Figura 22. Circuito de medição de descargas parciais.	41
Figura 23. Montagem do circuito de medição de descargas parciais.	41
Figura 24. Resultado do ensaio de medição de descargas parciais.	42

# SUMÁRIO

Agradecimentos.....	5
Resumo.....	7
Lista de Ilustrações.....	8
Sumário.....	9
1 Introdução.....	10
2 Apresentação das Instituições.....	12
2.1 Grupo de Sistemas Elétricos.....	12
2.2 Laboratório de Alta Tensão.....	12
2.2.1 Sala de Alta Tensão.....	13
2.3 Grupo Energisa.....	15
3 Controladores Lógicos Programáveis.....	16
4 Ensaio em Equipamentos para Trabalho com Linhas Vivas.....	18
4.1 Luvas Isolantes de Borracha.....	21
4.2 Mangas Isolantes de Borracha.....	24
4.3 Coberturas Protetoras.....	26
4.3.1 Cobertura Protetora para Condutores Rígida.....	27
4.3.2 Cobertura Protetora para Condutores Tipo Flexível.....	28
4.3.3 Cobertura Protetora Circular.....	29
4.4 Bastões de Manobra.....	29
4.5 Cuba Isolante ( <i>Liner</i> ).....	31
4.6 Lança Isolante.....	32
5 Manutenção de Transformador para Ensaios.....	34
5.1 Localização do Defeito.....	35
5.2 Relação de Transformação.....	38
5.3 Ensaio de Descargas Parciais.....	40
6 Conclusão.....	43
Bibliografia.....	
APÊNDICE A – Guia de Instalações Industriais: Controladores Lógicos Programáveis.....	47

# 1 INTRODUÇÃO

Neste relatório, são apresentadas atividades desenvolvidas pelo aluno Rairon Fernandes de Azevêdo Cruz durante realização de Estágio Supervisionado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sob orientação e supervisão do professor George Rossany Soares de Lira, no período de 3 de dezembro de 2012 a 20 de maio de 2013.

O estágio curricular realizado no Laboratório de Alta Tensão da UFCG é de extrema importância para ampliação dos conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia Elétrica, observando diversas aplicações práticas dos conhecimentos obtidos. É possibilitado o contato com equipamentos utilizados em alta tensão, empresas do setor e profissionais com larga experiência nas áreas abrangidas.

Neste relatório, são listadas atividades de: elaboração de um guia para utilização de controladores lógicos programáveis no Laboratório de Instalações Elétricas; ensaios de equipamentos para trabalho em linhas vivas, requisitado pelo Grupo Energisa; e manutenção de um transformador para ensaios em Alta Tensão de propriedade do LAT. O primeiro item, elaboração de um guia para utilização em laboratório, tem importância na utilização de dispositivos de automação e controle no âmbito das instalações elétricas, conceito que vem sendo amplamente empregado, exigindo, portanto, que o profissional ligado à projeto e execução de instalações elétricas esteja atualizado. O segundo item, de ensaios em equipamentos da Energisa, descreve detalhadamente os ensaios realizados nos equipamentos de proteção individual (EPIs) e coletiva (EPCs) utilizados por funcionários da concessionária local na realização de trabalhos em linha viva. Ensaios de equipamentos são regidos por normas bastante específicas, seja em relação ao tipo de equipamento ensaiado ou ao nível de tensão, de modo que o profissional da Engenharia Elétrica se depara constantemente com a necessidade de interpretar e executar ensaios e procedimentos seguindo tais documentos. A realização dos ensaios de EPIs e EPCs em laboratório é de fundamental importância na compreensão do funcionamento e procedimento de ensaios destes equipamentos, sendo também importante para a familiarização com documentos técnicos desse tipo. Os ensaios foram importantes ainda, pois permitiram a familiarização com equipamentos largamente utilizados por concessionárias distribuidoras de energia elétrica, setor que emprega vasta mão

de obra oriunda dos cursos de graduação em Engenharia Elétrica, permitindo então ao estagiário o conhecimento dos procedimentos de segurança e materiais empregados nas atividades cotidianas do setor. O terceiro item é a manutenção de um transformador para ensaios, de propriedade do LAT, que encontrava-se fora de atividade, por ocasião de defeitos em seu funcionamento. A partir das atividades de drenagem, desmontagem, manutenção, remontagem e ensaios foi possibilitado o contato com as diversas partes, internas e externas, constituintes de um equipamento real, estudo mais aprofundado de detalhes de projeto e montagem de equipamentos elétricos de alta tensão e características gerais dos procedimentos gerais de manutenção de equipamentos. Por ser um transformador para ensaios, de uso exclusivo em laboratórios de alta tensão, o conhecimento acerca de tal equipamento torna-se ainda mais valioso pela sua especificidade e dificuldade de encontrar profissionais com experiência na sua utilização e manutenção.

## 2 APRESENTAÇÃO DAS INSTITUIÇÕES

### 2.1 GRUPO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

O grupo de Sistemas Elétricos (GSE) do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da UFCG compreende as atividades de ensino, pesquisa e extensão, realizadas por professores, pesquisadores, funcionários e alunos que encontram afinidade, ou estão lotados, na área de eletrotécnica do curso de Engenharia Elétrica. As atividades do GSE são divididas em linhas de pesquisa descritas a seguir:

- Análise de Sistemas Elétricos de Potência (SEP) em regime permanente;
- Dinâmica e controle de SEP;
- Dinâmica de mercado em SEP;
- Qualidade da energia;
- Análise de transitórios eletromagnéticos em SEP;
- Análise de fluxo de harmônicos em SEP;
- Equipamentos e técnicas de alta tensão;
- Cálculo de campos eletromagnéticos;
- Métodos de otimização aplicados a SEP;
- Técnicas de inteligência artificial aplicadas a SEP.

### 2.2 LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

O Laboratório de Alta Tensão (LAT) é parte integrante do Grupo de Sistemas Elétricos e é onde concentram-se as atividades experimentais relacionadas à alta tensão. Há capacidade de realização de ensaios em uma ampla faixa de tensões e de diversos tipos, como tensão em frequência industrial, impulso de tensão e impulso de corrente.

Além dos recursos materiais, observados na quantidade de equipamentos presentes, o maior patrimônio do LAT é constituído por um corpo técnico de excelente qualidade, composto por professores, funcionários e alunos que atuam na área de pesquisa, sejam graduação ou da pós-graduação, constituindo assim uma equipe com vasta experiência e intensa troca de conhecimentos.

### 2.2.1 SALA DE ALTA TENSÃO

A sala de Alta Tensão é onde concentram-se a maioria dos equipamentos destinados à realização de ensaios em alta tensão. Há transformadores para ensaios, isoladores e divisores capacitivos que permitem utilização de tensão alternada até o nível de 600 kV. Há ainda geradores de impulso de tensão até o nível de 700 kV, para ensaios de impulsos de tensão atmosférica e de manobra e algumas salas anexas com equipamentos destinados à geração de impulsos de corrente e ensaios de materiais elétricos. 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.



Figura 1. Salão de Alta Tensão. Fonte: .



## 2.3 GRUPO ENERGISA

O Grupo Energisa tem na distribuição de energia elétrica a principal base de seu negócio. Com cinco distribuidoras no Brasil, das quais três na região Nordeste (Energisa Sergipe - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de Energipe, no Estado de Sergipe, Energisa Paraíba - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de Saelpa e Energisa Borborema - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de CELB na Paraíba), uma na Zona da Mata de Minas Gerais (Energisa Minas Gerais - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de CFLCL) e uma em Nova Friburgo, no Estado do Rio de Janeiro (Energisa Nova Friburgo - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de CENF), abrange 91.180 km<sup>2</sup> de área coberta. Ao todo, são aproximadamente 2,4 milhões de consumidores e uma população atendida de 6,7 milhões de habitantes em 352 municípios. Atualmente, mais de 5,0 mil colaboradores diretos e indiretos fazem parte das suas empresas (ENERGISA, 2009).

Fundada em 1905, a Energisa Minas Gerais - Distribuidora de Energia S/A (nova denominação da Companhia Força e Luz Cataguazes-Leopoldina - CFLCL) é a empresa que originou o Grupo Energisa e que, até fevereiro de 2007, era a *holding* operacional. Com a conclusão do processo de desverticalização, a Energisa passou a ser a nova controladora de todas as empresas do Grupo.

### 3 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

O objetivo desta atividade de estágio foi a elaboração de um guia de experimentos para que os controladores lógicos programáveis (CLPs ou, em inglês, PLCs, *Programmable Logic Controller*) fossem utilizados no Laboratório de Instalações Elétricas, disciplina obrigatória, pertencente ao ciclo profissional da graduação em Engenharia Elétrica.

Controlador Lógico Programável é um dispositivo eletrônico utilizado para automação de processos industriais, como controle de motores, válvulas, sensores, etc. De uso inicialmente restrito às aplicações industriais mais sofisticadas, exigiam mão de obra bastante especializada para o projeto, programação e operação. Com o barateamento e sofisticação das instalações prediais e processos industriais mais simples, a utilização dos CLPs aumentou largamente, sendo necessário o conhecimento de suas funcionalidades a qualquer engenheiro eletricitista. São equipamentos projetados para trabalhar em ambientes hostis e são capazes de suportar grandes variações de temperatura, ambientes sujos ou empoeirados, apresentam imunidade a ruídos elétricos, e resistência à vibração e impacto. Os programas para o controle das máquinas são tipicamente armazenados em memórias somente de leitura, ou suportadas por baterias.

Os primeiros sistemas de controle foram desenvolvidos durante a revolução industrial, no final do século 19. As funções de controle eram implementadas através de engenhosos dispositivos mecânicos, os quais automatizam algumas tarefas críticas e repetitivas das linhas de montagem da época. Estes dispositivos tinham de ser desenvolvidos de acordo com a aplicação e devido à natureza mecânica tinham vida útil reduzida.

Na década de 1920, os dispositivos mecânicos foram substituídos pelos relés e contactores. A lógica a relés viabilizou o desenvolvimento de funções de controle mais complexas e sofisticadas mostrando ser uma alternativa de custo viável para automação de pequenas máquinas com um número limitado de transdutores e atuadores. Mas, para sistemas maiores, se tornava mais difícil a automação com lógica a relés por necessitar de uma equipe de técnicos e engenheiros atentos e bem treinados, para implementar, supervisionar e diagnosticar o sistema, tal como ocorre ainda hoje em algumas indústrias e principalmente, em sistemas de proteção mais antigos do sistema elétrico.

O próximo passo na evolução dos sistemas de controle foi a criação dos CLPs, que permitem uma programação flexível, adequando um mesmo dispositivo a uma infinidade de processos. Além disso, os fabricantes fornecem *softwares* de programação e simulação que facilitam a utilização do equipamento.

No Laboratório de Instalações Elétricas da UFCG, é utilizada atualmente para fins didáticos a lógica a relés. Para adequação técnica e tecnológica da formação dos alunos, será ampliada a gama de atividades do laboratório, sendo previstas montagens utilizando CLPs, sempre apresentando o paralelo com a lógica a relés utilizada inicialmente.

Os CLPs a serem utilizados já são parte integrante das bancadas didáticas de instalações elétricas industriais, os modelos são CLP CLIC 01 WEG e o *software* de conexão e simulações é disponibilizado no site do fabricante.

No Apêndice A é apresentado o guia elaborado para utilização no laboratório. O ideal é que tais montagens sejam realizadas logo que finalizadas aquelas que utilizam a lógica a relés.

## 4 ENSAIO EM EQUIPAMENTOS PARA TRABALHO COM LINHAS VIVAS

As exigências crescentes de índices de confiabilidade e continuidade dos sistemas de distribuição de energia elétrica têm exigido das concessionárias um grande esforço no sentido de reduzir as interrupções de fornecimento para manutenções. O campo mais propício ao desenvolvimento nesse sentido é a adoção de intervenções em linha viva, ou seja, realização de manutenções e ampliações na rede sem a necessidade de desenergização dos circuitos. Naturalmente que algumas medidas são necessárias para que se consiga intervir numa rede de distribuição aérea com potencial elevado, para tal, são empregados equipamentos e ferramentas que permitem isolar eletricamente as partes vivas da rede.

Nos sistemas de transmissão é comum a realização de atividades ao potencial, ou seja, ao invés de isolar eletricamente os técnicos das partes vivas, opta-se por elevá-los ao potencial da rede, evitando-se apenas o contato entre fases. Já na distribuição e subtransmissão, o mais comum é a utilização de ferramentas compostas de partes isolantes, que permitem a intervenção bem próxima das partes vivas e com considerável nível de precisão mas sem o contato elétrico entre técnicos e partes vivas.

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. Os equipamentos devem portanto serem submetidos a testes elétricos periódicos, obedecendo às especificações do fabricante e à legislação vigente, como as normas regulamentadoras NR 10:2004 (Segurança em instalações e serviços em eletricidade) e NR 6:2011 (Equipamentos de Proteção Individual – EPI).

A NR 10, com suas alterações feitas em 2004, dispõe sobre as diretrizes básicas para a implantação de medidas de controle e sistemas preventivos. Estas são destinadas a garantir saúde e segurança aos trabalhadores que direta ou indiretamente trabalham em instalações elétricas e serviços com eletricidade. A norma abrange o trabalho nas áreas de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas, e quaisquer trabalhos realizados em suas proximidades.

Os equipamentos utilizados para intervenções em linha viva descritos anteriormente são classificados em equipamentos de proteção individual (EPI) ou equipamentos de proteção coletiva (EPC). É de fundamental importância que tais equipamentos funcionem corretamente para que sejam evitados acidentes com técnicos, danos materiais à rede e interrupções.

O envelhecimento dos materiais dielétricos e o desgaste ou danificação durante o uso podem levar os equipamentos a condições insatisfatórias de trabalho, sobretudo com a diminuição da capacidade de isolamento. Os ensaios realizados com os EPI e EPC têm como objetivo verificar a integridade da isolamento do equipamento. O princípio dos métodos de ensaio é basicamente o mesmo para todos: aplica-se um determinado nível de tensão no equipamento e mede-se a corrente de fuga ou se avalia se a tensão aplicada causou-lhe algum dano visível. Os níveis de tensão aplicados e a intensidade da corrente de fuga dependem do equipamento e são definidos pelo fabricante e por suas respectivas normas.

No Laboratório de Alta Tensão 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 permitem 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. Ao longo do período de estágio, o aluno tem a oportunidade de participar cada vez mais ativamente das montagens, se tornando assim, capaz de coordenar ensaios desse tipo ao longo de sua vida profissional além de adquirir conhecimentos em relação à organização das equipes de trabalho e do tempo de realização das tarefas. No período de estágio descrito neste relatório, foi adquirida proveitosa experiência de trabalho com a equipe de profissionais do laboratório e da empresa contratante.

O Grupo Energisa frequentemente recorre ao LAT para a realização dos ensaios periódicos em seus equipamentos. Os ensaios descritos nesta seção foram solicitados pela empresa Energisa Paraíba. Na Figura 2, pode-se ver um dos veículos que trouxeram equipamentos para realização de ensaios, bem como ensaios no próprio veículo, que também deve atender a algumas exigências de isolamento e corrente de fuga.



Figura 2. Fotografia do veículo da Energisa utilizado para manutenções em redes de 69 kV.

Para a realização dos ensaios em alta tensão, são utilizados transformadores para ensaios, cuja principal característica é a aplicação de altas tensões controladas em seu terminal de alta tensão, sendo para isso disponibilizadas pequenas potências, o que acarreta a utilização de pequenos valores de corrente. Isto pode ser explicado pela característica altamente capacitiva dos objetos ensaiados. Na Figura 3 são mostrados o transformador para ensaios utilizado no LAT na realização dos ensaios e a sua respectiva mesa de controle.



Figura 3. Transformador para ensaios utilizado no LAT e sua mesa de controle.

## 4.1 LUVAS ISOLANTES DE BORRACHA

Ensaio em luvas isolantes de borracha regulamentam-se nas normas ASTM D120-95 (2010), NBR 122 (2005) e NBR 10622 (1989). O primeiro teste é uma inspeção visual. As luvas devem ser 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 1, são especificadas os níveis de tensão a 60 Hz para cada classe de luva, bem como a máxima corrente suportada no ensaio. Esta corrente tem características predominantemente capacitivas. Para fins de proteção mecânica, as luvas de borracha são utilizadas com um acompanhamento em couro, evitando desgaste na borracha que apresenta menor resistência à impactos, tração e atrito.

*Tabela 1. Variáveis para ensaio de luvas isolantes de borracha.*

Classe	Tensão de Ensaio (V)	Tensão Máxima de Uso (V)	Altura H (mm)	Corrente Máxima (mA)			
				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).

Fonte:

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 outro no lado oposto, medindo-se então a corrente de fuga entre as partes interna e externa da luva. O esquema para ensaio das luvas de borracha é mostrado na Figura 4. A luva objeto de teste é parcialmente submersa em água em um recipiente grande. Para que não submerja totalmente, é presa a um suporte que a mantenha na altura correta. Seu interior é parcialmente preenchido com água, de forma a deixar uma determinada altura H

(vide Tabela 1) entre a superfície da água e a extremidade fora da água da luva. Um eletrodo em forma de bastão é colocado dentro da luva, de modo que haja uniformidade na tensão elétrica aplicada em toda a área ensaiada, sem produzir efeito corona em nenhum ponto ou esforços mecânicos na luva. A água e a carcaça do tanque devem ser aterradas. Dessa forma é reproduzida a condição de trabalho real da luva, ou seja, aplicação de uma diferença de potencial entre o interior e o exterior e verifica-se seu correto funcionamento, ou falha. Em caso de falha, o equipamento é reprovado no laudo final e não deverá mais ser utilizado.

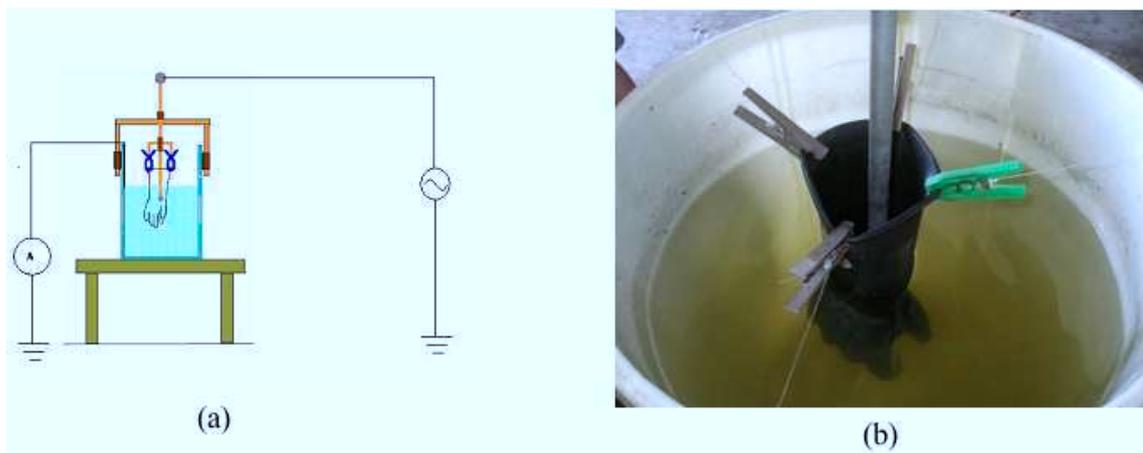


Figura 4. Ensaio de luvas isolantes de borracha. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema. Fonte:

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

A ocorrência de disrupção elétrica ou perfuração do material são motivos de reprovação. Mede-se também a corrente de fuga no equipamento, que deve estar abaixo do limite aceitável listado na Tabela 1. Durante a realização das atividades de estágio foram ensaiados diversos lotes de luvas e verificadas algumas reprovações, o que comprova a importância e necessidade de tais ensaios.

Por serem equipamentos críticos em relação à segurança do corpo técnico que os utiliza, os EPIs e EPCs são submetidos a ensaios de rotina exigentes. Acidentes causados por problemas com tais equipamentos e ferramentas causariam prejuízo humano sério e conseqüências financeiras e jurídicas indesejáveis para as empresas de distribuição. Além disso, os fabricantes fornecem dados relativos à periodicidade com que

devem ser ensaiados cada tipo de equipamento, sendo que tais intervalos podem ser diminuídos de acordo com a experiência da empresa. Por exemplo, as luvas isolantes de borracha utilizadas por técnicos que atuam na zona rural são submetidas a ensaios com menores intervalos de tempo do que as demais por estarem expostas ao contato com espinhos e galhos perfurantes durante os serviços de manutenção na rede. Devido o grande número de ensaios realizados no LAT, os especialistas têm a capacidade de perceber e sugerir maior periodicidade no ensaio de alguns tipos de equipamentos e ferramentas por perceberem que, ao longo do tempo, alguns deles são reprovados com mais frequência. Portanto, alguns ensaios são realizados com intervalos de tempo menores que o exigido em normas ou recomendado pelos fabricantes. Para as luvas isolantes por exemplo, a prática observada entre o LAT e a concessionária recomenda que haja ensaios com periodicidade de seis meses para luvas em uso. A depender das características de trabalho, tipo de utilização ou outro motivo que possa causar alguma deterioração anormal, este intervalo de tempo pode ser reduzido. A luva deve ser sempre ensaiada antes de ser colocada em uso, seja ela nova ou tendo sido colocada fora de serviço por longo período de tempo. Este é um equipamento fundamental na realização de trabalhos em linha viva por permitir a realização de trabalhos manuais precisos em componentes pequenos como porcas e parafusos.

Na Figura 5 são mostrados o conjunto de luvas e mangas isolantes ensaiadas para o veículo vista na Figura 2. Todos esses equipamentos são utilizados pela equipe treinada para trabalhos em redes de 69 kV.



Figura 5 Luvas e mangas isolantes ensaiadas

Ao final dos ensaios são emitidos laudos por parte do Laboratório de Alta Tensão, especificando quais equipamentos ou ferramentas foram aprovados ou reprovados, de posse do laudo técnico, a empresa contratante tem subsídios para descartar o material reprovado. Com isso é possibilitada a redução do número de acidentes de trabalho, bem como o cumprimento da legislação trabalhista. Um exemplo de resultados obtidos após ensaio de um conjunto de luvas é mostrado na Tabela 2.

*Tabela 2. Laudo técnico de ensaio de luvas isolantes de borracha.*

<b>Fabricante</b>	<b>Item</b>	<b>Nº de Série ou Identificador</b>	<b>Lado</b>	<b>Tamanho (pol.)</b>	<b>Corrente (mA)</b>	<b>Laudo</b>
Orion	01.01	1168677	Direito	10	Perfurou	<b>Reprovada</b>
Orion	01.02	1168666	Esquerdo	10	9,6 / 9,5	<b>Aprovada</b>
Orion	01.03	1303975	Direito	10 ½	8,2 / 8,1	<b>Aprovada</b>
Orion	01.04	1303960	Esquerdo	10 ½	8,6 / 8,5	<b>Aprovada</b>
Orion	01.05	1314086	Direito	9 ½	8,9 / 8,8	<b>Aprovada</b>
Orion	01.06	1314059	Esquerdo	9 ½	8,5 / 8,4	<b>Aprovada</b>
Salisbury	01.01	000925	Direito	10	10,6 / 10,5	<b>Aprovada</b>
Salisbury	01.02	001267	Esquerdo	10	10,5 / 10,4	<b>Aprovada</b>
Salisbury	01.03	-	Direito	10	10,5 / 10,4	<b>Aprovada</b>
Salisbury	01.04	-	Esquerdo	10	10,6 / 10,5	<b>Aprovada</b>

## 4.2 MANGAS ISOLANTES DE BORRACHA

Ensaio em mangas isolantes são regulamentados pelas normas ASTM D1051-95 (2000) e NBR 10623 (1989). Assim como as luvas, as mangas isolantes devem ser inspecionadas visualmente, a fim de encontrar pequenos defeitos que a inviabilizariam. Na Tabela 2 são mostrados o nível de tensão e a distância entre os eletrodos para o ensaio de tensão aplicada do equipamento.

*Tabela 3. Variáveis para ensaio de Mangas Isolantes de Borracha*

<b>Classe</b>	<b>Tensão máxima de uso (kV)</b>	<b>Tensão de ensaio CA (kV)</b>	<b>Tensão de ensaio CC (kV)</b>
---------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

0	1	5	20
1	7,5	10	40
2	17	20	50
3	26,5	30	30
4	36	40	70

Fonte:

Para a realização deste ensaio, várias montagens são sugeridas em função da classe de isolamento da manga. No ensaio realizado no LAT, adotou-se a montagem invertida, que consiste em inverter meia manga, puxando o punho através de sua parte interna, até formar uma cuba anular, como é mostrado na Figura 6. O procedimento experimental deste ensaio se assemelha ao da luva isolante descrito anteriormente.

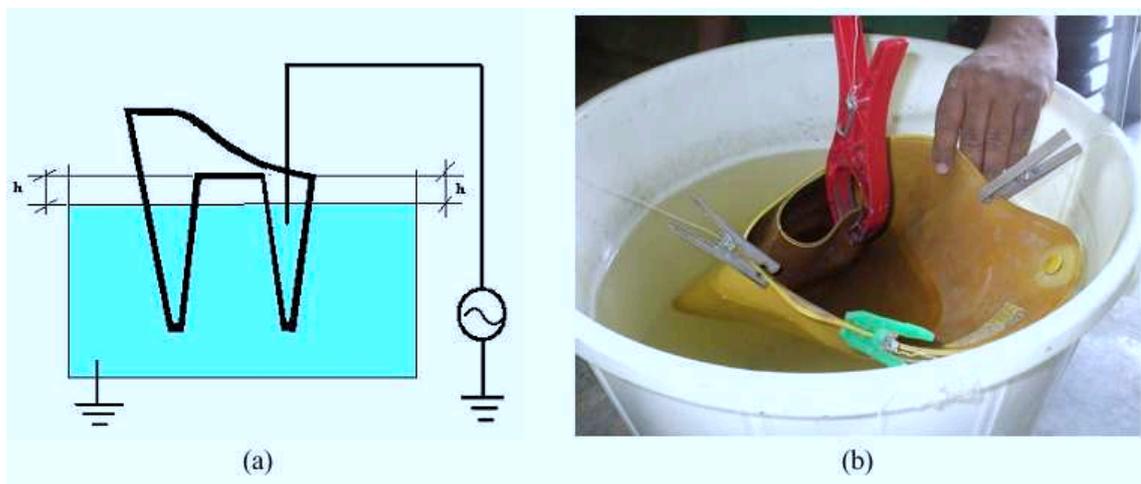


Figura 6. Ensaio de manga isolante de borracha. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema.

Mergulha-se parcialmente a manga na água. Enche-se a cuba anular com água até que os níveis de dentro e fora da cuba sejam iguais. Coloca-se um eletrodo em forma de bastão no interior da cuba. Após atingir a tensão nominal de ensaio, a tensão deverá permanecer aplicada por um tempo de um minuto

A manga será reprovada caso ocorra disrupção elétrica ou perfuração do material. Este tipo de equipamento deve ser ensaiado a cada doze meses ou quando se achar necessário em função de suspeita de comprometimento de seu isolamento. Na Figura 7 é vista uma das mangas ensaiadas.



Figura 7. Manga isolante ensaiada do fabricante salisbury

Na Figura 8 é mostrada uma das mangas isolantes reprovadas no ensaio. Houve descarga entre a região interna, onde foi aplicado o potencial elevado, e a região externa, aterrada.

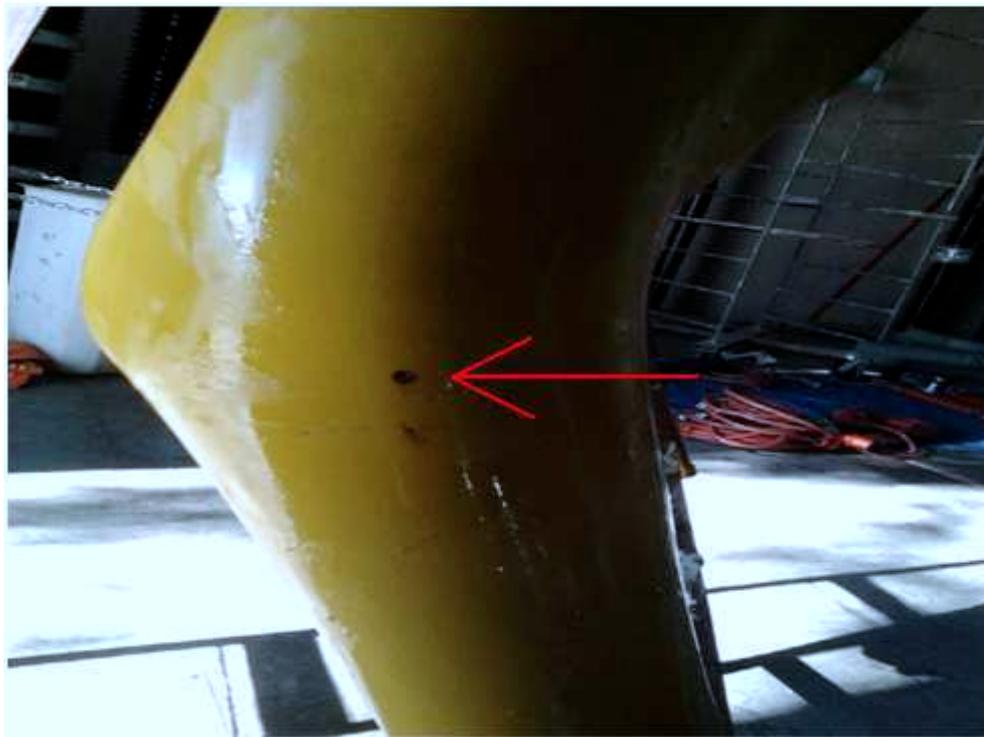


Figura 8. Manga isolante reprovada, ponto de carbonização destacado na imagem.

### 4.3 COBERTURAS PROTETORAS

Coberturas protetoras são ferramentas usadas para evitar contatos acidentais do trabalhador com partes energizadas. Oferecem grande área de proteção em áreas energizadas, sendo por isso, as mais utilizadas em trabalhos em linha viva. São disponíveis em vários modelos para atender aos diversos tipos de instalações elétricas com 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 com outras coberturas. Na Tabela 3, são listadas as tensões de uso das coberturas protetoras para cada classe de isolamento, considerando as configurações de fase-fase e fase-terra.

*Tabela 4. Tensão de uso de coberturas protetoras em função da classe de isolamento.*

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	27,0
6	72,5	41,8

Fonte:

Existem diferentes tipos de coberturas de proteção para trabalhos em linha viva. No entanto, no LAT foram realizados ensaios apenas para coberturas protetoras para condutor tipo rígido e tipo flexível e para coberturas protetoras circulares.

#### 4.3.1 COBERTURA PROTETORA PARA CONDUTORES RÍGIDA

Os ensaios em cobertura para condutores tipo rígida são regulamentados pelas normas ASTM F712-06 (2011) e ASTM F968 (2002). O esquema utilizado na realização do ensaio está representado na Figura 9.

O eletrodo interno à cobertura, em forma de bastão, é aterrado. O eletrodo externo é um molde no mesmo formato do objeto de teste. Os eletrodos interno e externo devem estar perfeitamente ajustados sobre a cobertura a ser ensaiada, evitando ao máximo vazios. Uma tensão alternada à frequência de 60 Hz é aplicada ao eletrodo externo. Eleva-se o nível de tensão até o valor determinado na Tabela 3 em função da classe de isolamento da ferramenta. A tensão aplicada deve ser mantida pelo tempo de um minuto.

Após a realização do ensaio, deve-se observar se o material não apresenta processos de degradação, como perfurações. Em caso positivo deve-se reprová-lo o equipamento. No lote ensaiado (caminhão para trabalhos em rede de 69 kV) nenhuma

cobertura rígida foi reprovada.

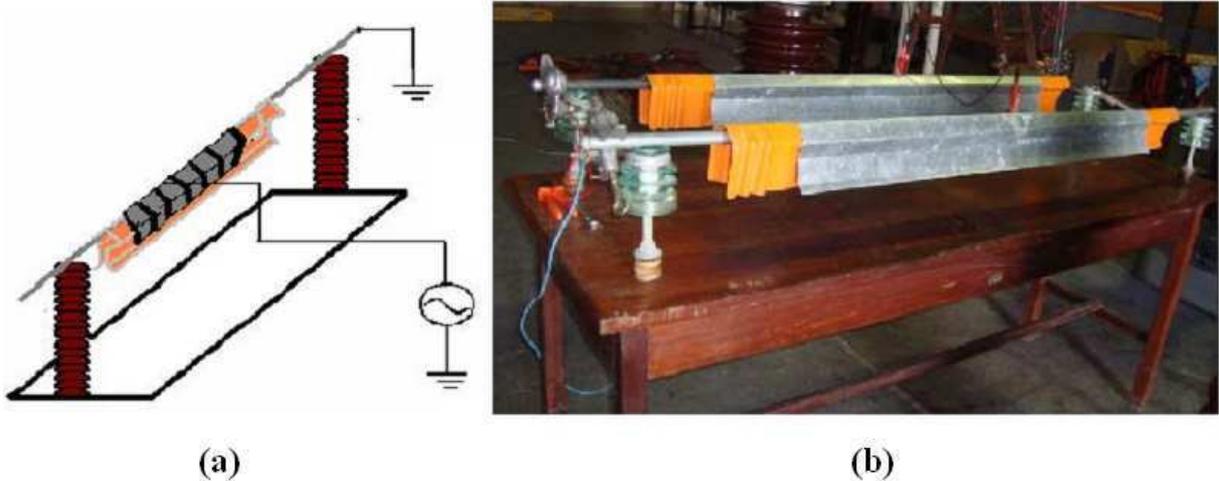


Figura 9. Ensaio de cobertura para condutores rígida. (a) Esquema de ensaio. Fonte: . (b) Fotografia do esquema de ensaio. Ensaio realizado no LAT-UFCG em dezembro de 2012.

#### 4.3.2 COBERTURA PROTETORA PARA CONDUTORES TIPO FLEXÍVEL

Os ensaios em cobertura para condutores do tipo flexível são regulamentados pela norma ASTM D1049 (2010). O esquema utilizado na realização do ensaio é mesmo usado para coberturas protetoras rígidas. A diferença é que neste, é eletrodo onde a tensão é aplicada é diferente. Enquanto que no primeiro usou-se um molde metálico, neste usa-se papel alumínio. Este papel é enrolado na cobertura, envolvendo-a. Na Figura 10, pode-se ver uma fotografia do ensaio. Foram ensaiadas 6 coberturas flexíveis classe 3, tipo II, com tensão aplicada de 30 kV (60 Hz) durante 1 minuto.



Figura 10. Fotografia de ensaio de proteção para condutores tipo flexível.

#### 4.3.3 COBERTURA PROTETORA CIRCULAR

Este tipo de ensaio é regulamentado pelas normas ASTM F712-06 (2011) e a ASTM F968-93 (2002). O esquema de ensaio é o mesmo usado para as coberturas de condutores rígida e flexível. Na Figura 11, pode-se ver uma fotografia do ensaio.

Este tipo de cobertura é utilizado para proteção de extremidades de postes, de cruzetas, de para-raios etc. Por não possuir uma aplicação específica, cada utilização merece cuidado especial, a fim de se certificar da real proteção que a cobertura oferece. Possui alça de corda sintética para facilitar sua instalação e remoção.

Para que se moldem perfeitamente, os eletrodos interno e externo tem o mesmo formato do objeto de teste. Enquanto o interno é aterrado, ao externo é aplicado um nível de tensão igual ao determinado na Tabela 3. O nível de tensão aplicado deve ser elevado gradualmente, do zero ao exigido. Após chegar ao máximo, o nível de tensão em valor eficaz deve permanecer constante por um minuto. Foram ensaiadas 10 coberturas circulares com diâmetro de 150 mm, com tensão aplicada de 15 kV (60 Hz) durante 1 minuto.



Figura 11. Fotografia de ensaio de cobertura protetora circular para postes.

#### 4.4 BASTÕES DE MANOBRA

Originalmente, os bastões de manobra eram usados em operações de grampos de linha viva e grampos de aterramento. Porém, devido à sua versatilidade, possuem hoje múltiplas aplicações, principalmente na manutenção de instalações elétricas energizadas.

Os ensaios para este tipo de equipamento são regulamentados pela norma NBR 11854 (1992). Segundo estas normas, eletrodos para realização de ensaios em hastes ou tubos isolantes confeccionados em fibra devem possuir anel de guarda. Estes servem para eliminar correntes elétricas de ionização do ar, que podem aumentar em até 200 % o valor real de corrente de fuga. Um esboço de um anel de guarda é ilustrado na Figura 12.

O ensaio é feito segundo esquema apresentado na Figura 13. 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. Na Tabela 4, são listados os valores de corrente de fuga para cada tipo de aplicação de tensão referidos a cada diâmetro da haste. Os bastões foram ensaiados com tensão aplicada de 100 kV (60 Hz) durante 1 minuto.

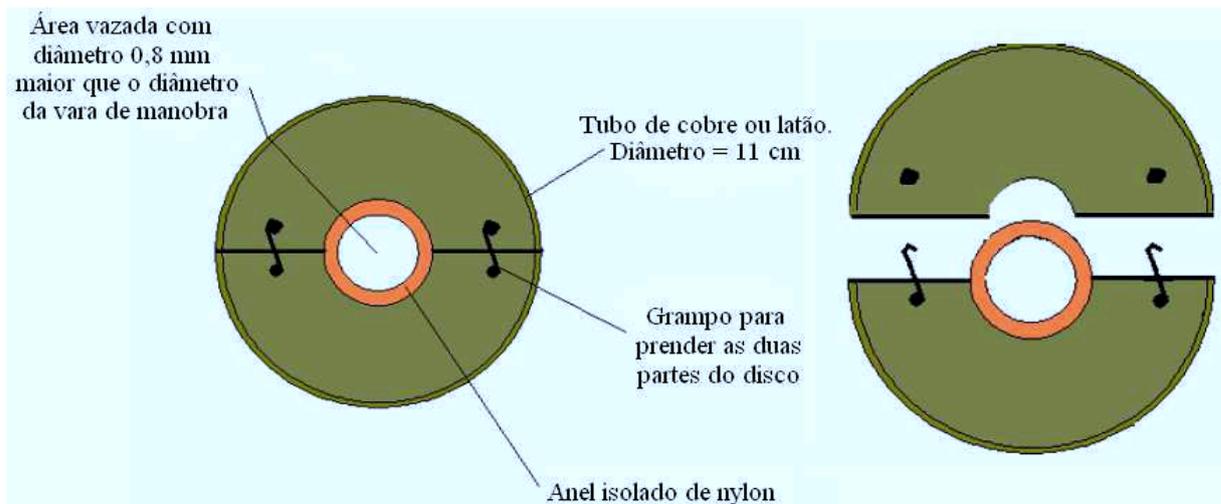


Figura 12. Esboço de um anel de guarda para ensaio de varas de manobra. Fonte:

Tabela 5. Corrente de fuga para ensaios em hastes e tubos de fibra.

Diâmetro (mm)	Corrente de fuga ( $\mu\text{A}$ )	
	50 kV	100 kV
32	5	10
38	6	12
51	8	15
64	10	20

Fonte:



Figura 13. Ensaio de vara de manobra. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema de ensaio. Fonte:

Além do bastão conhecido como vara de manobra, que é dividido em várias seções, existem ainda os bastões de suporte para *by-pass*, bastões afastadores, tesourões, garras de elevação, bastões de tração, içadores e cruzetas auxiliares. Todos esses equipamentos apresentam o princípio de funcionamento do bastão de manobra e seus ensaios são semelhantes.

#### 4.5 CUBA ISOLANTE (*LINER*)

*Liner* é uma cuba isolante que acomoda uma pessoa. Geralmente, é colocado num braço mecânico em cima de um caminhão, para que o operador seja levado até a linha viva.

A tensão suportada no ensaio deve ser de no mínimo: 30 kV à frequência de 60 Hz durante um minuto; ou 100 kV em corrente contínua durante três minutos. O esquema de ensaio pode ser visto na Figura 14. O ensaio foi realizado para apenas um item, com tensão aplicada de 30 kV (60 Hz) durante 1 minuto.

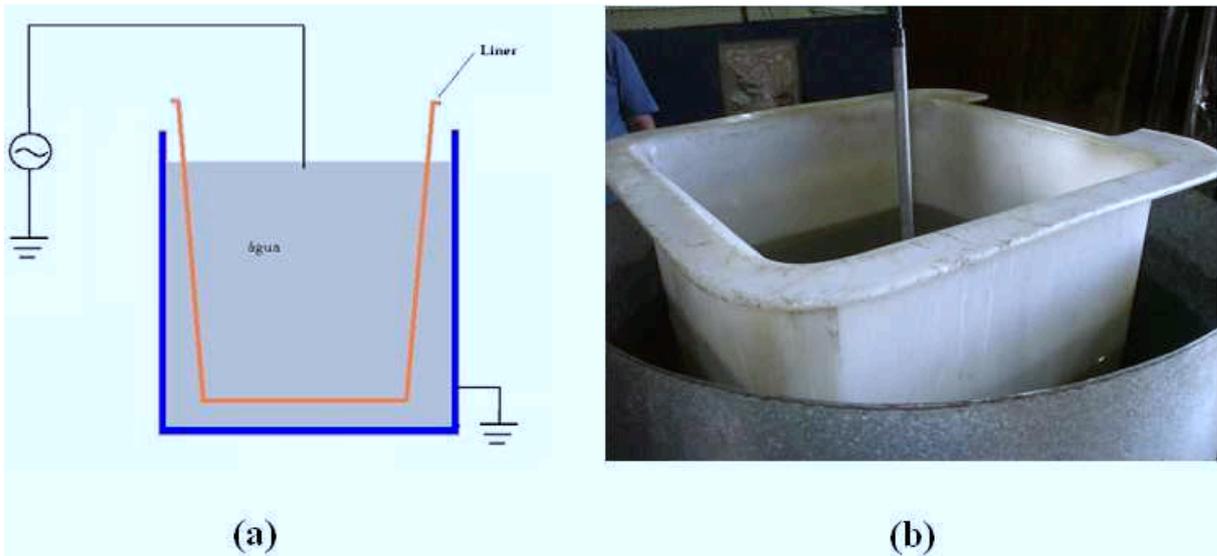


Figura 14. Ensaio de *Liner*. (a) Esquema de ensaio. Fonte: . (b) Fotografia do esquema de ensaio. Ensaio realizado no LAT-UFCG em dezembro de 2012.

## 4.6 LANÇA ISOLANTE

A lança isolante é utilizada para realizar a isolação entre o veículo e as caçambas isolantes (*liner*) que suportam os técnicos. Uma parte do braço de sustentação é feito de material isolante e deve ser ensaiado para medição da corrente de fuga, que não deve ultrapassar  $100 \mu\text{A}$ . O ensaio é realizado com aplicação de tensão de até  $100 \text{ kV}$  e as medições são realizadas a cada  $10 \text{ kV}$ .

Na Figura 15 são mostrados detalhes da forma de realização do ensaio. Um eletrodo é colocado na parte final da lança, próximo às caçambas isolantes, e nele é aplicada a tensão. Na carcaça metálica do veículo (caminhão) é realizado o aterramento, com isso, pode-se medir a corrente de fuga total e determinar o correto funcionamento da isolação elétrica necessária.



Figura 15. Detalhes do ensaio da lança isolante

## 5 MANUTENÇÃO DE TRANSFORMADOR PARA ENSAIOS

Transformadores para ensaios são largamente empregados na realização de pesquisas, ensaios e atividades didáticas na área de alta tensão. Nos ensaios de EPI e EPC descritos na seção anterior, por exemplo, todas as tensões utilizadas são provenientes de um transformador desse tipo.

Foi realizado um trabalho de manutenção em um transformador para ensaios do LAT que encontrava-se fora de operação por defeitos de funcionamento. Sempre que o equipamento atingia determinado nível de tensão, ocorria descarga entre seu enrolamento de alta tensão e a carcaça metálica aterrada. O equipamento é de três enrolamentos: primário, secundário e terciário. Os enrolamentos primário e terciário compõe o lado de baixa tensão do transformador, podendo serem utilizados em série ou paralelo. O enrolamento terciário tem ainda a finalidade de possibilitar a utilização do equipamento em cascata, ou seja, um de seus terminais é conectado ao terminal de alta tensão e o outro eleva esse potencial em 220 V. Quando é realizada a ligação de transformadores em cascata, o enrolamento terciário do primeiro transformador é utilizado para alimentar o enrolamento primário do segundo, partindo assim de um potencial elevado como referência. O transformador utilizado pode ser visto na Figura 16.



Figura 16. Fotografia do transformador para ensaios.

## 5.1 LOCALIZAÇÃO DO DEFEITO

A realização da manutenção iniciou-se pela drenagem do óleo do tanque do transformador, através de seu içamento e escoamento do líquido. Em relação ao óleo, verificou-se que, apesar da presença de algumas impurezas (pequenos pedaços de papel Kraft utilizado na isolação entre bobinas), o aspecto geral era satisfatório.

Na Figura 17 é mostrada a parte ativa do equipamento, ou seja, seu núcleo e bobinas. São vistos ainda os bornes de ligação na parte inferior e alguns fios que levam os potenciais aos bornes e à tampa (terminal de alta tensão que funciona como bucha).

Nesta etapa foram desenhados croquis que serviriam às atividades de simulação computacionais posteriores. Com paquímetro, régua e trena foram medidas todas as peças componentes do equipamento.

Desde o momento da drenagem, o equipamento foi sempre mantido em estufa para evitar o acúmulo de umidade e o óleo foi hermeticamente acondicionado. Sempre que alguma atividade era realizada, retirava-se o equipamento da estufa pelo mínimo tempo possível. Na fotografia da Figura 18 pode ser vista a estufa utilizada no LAT.

O defeito causava descargas elétricas no interior do transformador. Por inspeção visual, descobriu-se que o problema se encontrava na emenda entre um dos terminais do secundário e do terciário. Tal emenda pode ser vista na fotografia da Figura 19. Por ser grande, ficava suspensa, passando ao lado de toda extensão da lateral da bobina de alta tensão, causando assim elevação de potencial nas bobinas de baixa tensão, que não dispõem de isolação suficiente.

A bobina de alta tensão tem um de seus terminais aterrados, ou seja, em potencial de 0 V. Este é mostrado pelo fio branco na Figura 19. O terminal superior, mostrado pelo fio preto, está sempre em alta tensão. Como a emenda entre os enrolamentos secundário (alta tensão) e terciário estava caída ao lado dessa bobina, um fio com alta tensão ficava muito próximo ao enrolamento primário, de baixa tensão, e às espiras de tensão mais baixa do secundário. A solução mais simples encontrada foi encaixar a emenda entre as bobinas dos enrolamentos secundário e terciário, garantindo uma posição fixa que não causasse descargas.



Figura 17. Fotografia da parte ativa do transformador. Vistas lateral e frontal.



Figura 18. Fotografia da estufa utilizada.



Figura 19. Detalhe da localização do defeito no transformador.

Foi verificado ainda nessa etapa que durante o processo de manutenção, algumas emendas sofreram esforços mecânicos elevados e não suportaram. Houve ainda um fio que partiu-se completamente. Tal fato foi levado em consideração para que os movimentos com fios fossem o mais suaves possível e todas as emendas fossem revisadas. Na Figura 20 pode ser vista a ruptura do cabo e uma das emendas reforçadas.



Figura 20. Fio partido durante a manutenção e emenda reforçada

## 5.2 RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO

A relação de transformação de um transformador é dada por sua relação de espiras. A medição desta relação geralmente é feita através de um instrumento de precisão chamado Medidor de Relação de Transformação (MRT). A relação de tensão em um transformador é dada pela razão entre a tensão de saída e a tensão de entrada. É próxima da relação de espiras, mas não igual, pois existem perdas ôhmicas nos enrolamentos. A relação de espiras esperadas do transformador é de, aproximadamente:

Esta relação é muito alta, indo além da capacidade de medição do MRT. Assim, a relação de transformação será aproximada pela relação de tensão. Para a medição, fez-se uso do circuito mostrado na fotografia da Figura 21.



Figura 21. Fotografia do circuito para medição de relação de tensão do transformador.

O funcionamento do circuito é simples. Um transformador em perfeitas condições (à esquerda na Figura 21) aplica um determinado nível de tensão nos terminais do enrolamento secundário do transformador objeto de teste (à direita na Figura 21). O nível de tensão é controlado por uma mesa de controle exterior ao circuito. Um multímetro medindo tensão é ligado aos terminais do primário do objeto de teste. Assim, de posse da tensão no primário e da tensão no secundário do transformador objeto de teste, calcula-se sua relação de tensão.

Dois valores de tensão aplicada no enrolamento de alta tensão do transformador em estudo e a respectiva tensão medida no enrolamento de baixa tensão foram registrados durante o ensaio.

Aplicando-se 12 kV no secundário do objeto de teste, são medidos 43,8 V no primário. Aplicando-se 4,15 kV no secundário do objeto de teste, são medidos 15,4 V no primário. Há ainda um terceiro par de valores que corresponde à aplicação de tensão nula, ou seja, aplicando-se 0 kV no secundário do objeto de teste, a medição de tensão no primário apresenta também valor nulo. Dessa maneira dispõe-se de três pares de valores para estimação da relação de transformação real.

Para a estimação da relação de transformação será utilizado o método dos mínimos quadrados, cujo objetivo é obter uma reta que passe o mais próximo possível de todos os pontos disponíveis, ou seja, minimiza o erro de interpolação. A curva buscada é uma reta por que deve representar a relação de transformação real do equipamento, que, teoricamente, apresenta valor constante em todo o intervalo de tensões nominais.

Denotando por  $\varepsilon$  o erro de estimação de cada amostra, ou seja, a diferença entre o valor medido e o valor estimado por meio da interpolação e sabendo que a equação da reta obtida será da forma , o erro quadrático total (para as três amostras disponíveis) será dado pela equação 1.

(1)

O objetivo do método dos mínimos quadrados é encontrar os parâmetros  $a$  e  $b$  que minimizam o erro quadrático total. Para isso são calculadas as derivadas parciais da equação 1 em relação a  $a$  e a  $b$  e os resultados são igualados a zero, obtendo-se assim um sistema de duas equações e duas incógnitas. O resultado desse procedimento é expresso pelas equações expressas em (2).

(2)

Isolando os termos  $a$  e  $b$  nas equações expressas em (2) obtém-se os resultados apresentados em (3).

(3)

A resolução do sistema de equações apresentado em (3) fornece os valores  $a=274,49$  e  $b=-29,05$ . A relação de transformação corresponde à inclinação da reta obtida, portanto, o valor de relação de transformação será 274,49.

De posse destes dados, conclui-se que o processo de rebobinamento do enrolamento de alta não recuperou integralmente o número de espiras do transformador, mas apenas cerca de 60% delas.

### 5.3 ENSAIO DE DESCARGAS PARCIAIS

Descargas parciais (DP) ocorrem quando alguma forma de atividade elétrica dentro de um sistema resulta em uma rápida mudança na configuração de campo elétrico, o que causa um fluxo de corrente em um condutor conectado ao equipamento analisado. O que caracteriza a presença de descargas parciais durante a aplicação de campo elétrico a um equipamento é a intensidade dos picos de corrente, que devem ser suficientemente grandes para que seja possível a medição, e a regularidade de ocorrência, o que diferencia as descargas parciais dos ruídos no circuito de geração ou medição. Recentemente a medição de tal fenômeno vem sendo de importância crescente como forma de detecção de mau funcionamento, principalmente da isolação, no interior de equipamentos.

No Laboratório de Alta Tensão da UFCG é utilizado o equipamento detector de descargas parciais LDIC do fabricante LEMKE. O circuito utilizado na medição de descargas parciais no interior do transformador para ensaios em discussão é apresentado na Figura 22, onde  $Z$  é um filtro para evitar contaminação por imperfeições da rede,  $C_a$  é o objeto de teste,  $C_k$  é o capacitor de acoplamento,  $CD$  é o dispositivo de acoplamento,  $Z_{rmi}$  é a impedância de entrada do sistema de medição,  $CC$  é um cabo coaxial e  $MI$  é o instrumento de medição.

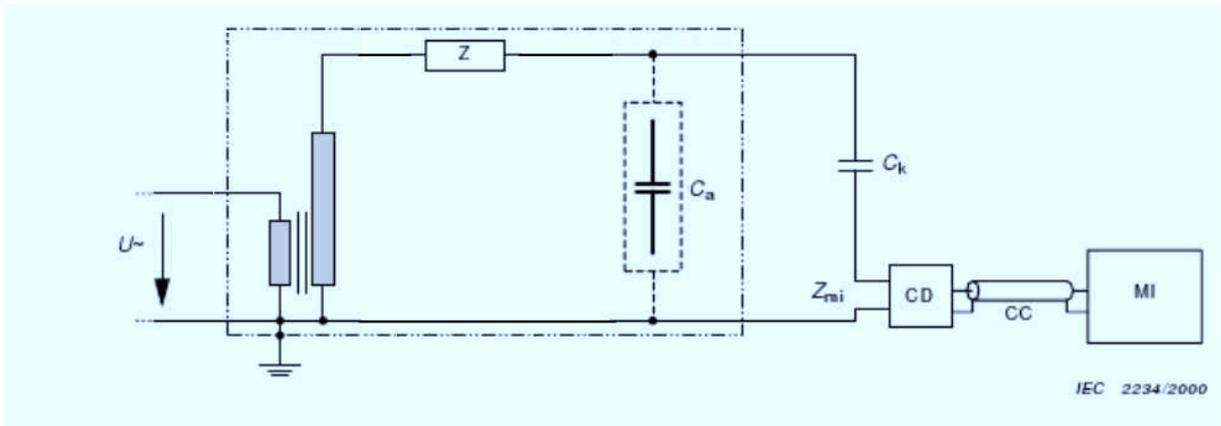


Figura 22. Circuito de medição de descargas parciais.

A montagem realizada em laboratório é apresentada na . Pode ser vista na Figura 23 a parte do circuito correspondente ao filtro e circuito a jusante.

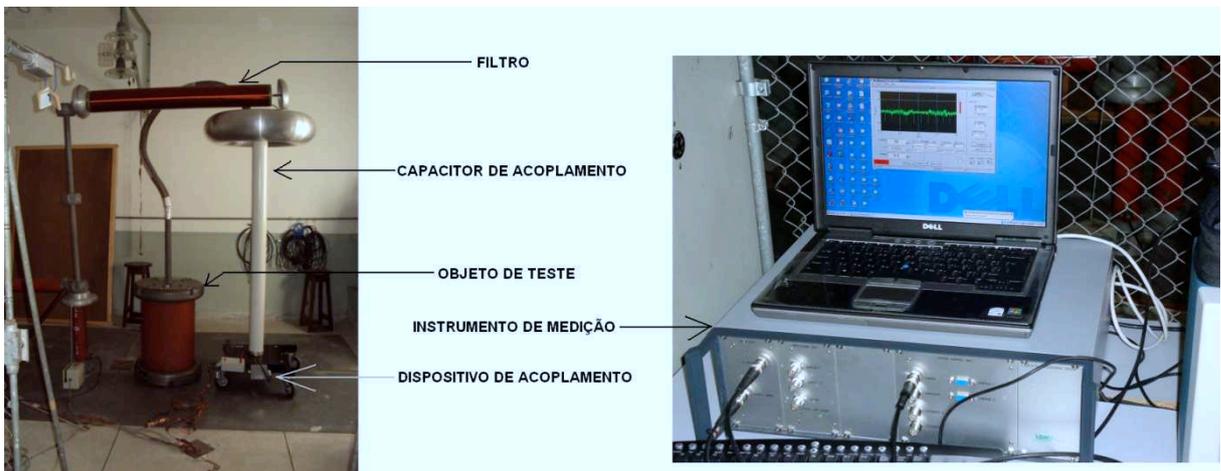


Figura 23. Montagem do circuito de medição de descargas parciais.

Durante a realização do experimento em laboratório, foi realizado acompanhamento por parte do doutorando Euler Cássio, conhecedor de larga base de dados relativa a ensaios desse tipo. O resultado foi considerado aceitável em termos de amplitude dos sinais de descargas parciais medidos em comparação com ensaios realizados em outros equipamentos. O gráfico observado no equipamento LDIC é visto na Figura 24.

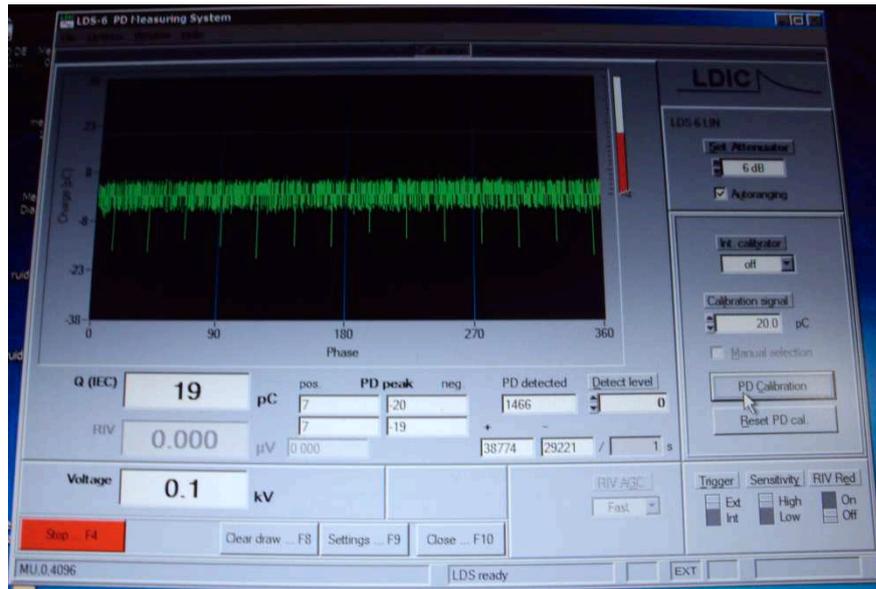


Figura 24. Resultado do ensaio de medição de descargas parciais.

## 6 CONCLUSÃO

O estágio curricular é disciplina obrigatória do curso de graduação em Engenharia Elétrica da UFCG. Seu objetivo principal é possibilitar o contato do estudante com o mercado de trabalho antes de sua habilitação à atuação como Engenheiro, dessa forma, o recém-formado adquire maior confiança quando iniciar sua vida profissional.

O estágio realizado no Laboratório de Alta Tensão da 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 à 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 pesquisa, ensino e atuação profissional durante a realização do estágio curricular, o que permite 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.

Em relação às áreas abordadas, houve experiências com a manutenção e projeto de equipamentos elétricos utilizados em ensaios de alta tensão, como o transformador para ensaios. A disciplina Técnicas de Alta Tensão fornece os conhecimentos teóricos necessários à realização de tal atividade, sendo portanto, bastante importante para os alunos que desejam prosseguir em estudos de pós-graduação na área de alta tensão. Em outra frente, houve contato com equipamentos utilizados no curso de graduação, na disciplina Laboratório de Instalações Elétricas, além do contato com alunos durante o processo de aprendizagem, o que facilitou a elaboração do material pois as carências e dificuldades foram melhor percebidas. As disciplinas Instalações Elétricas e Laboratório de Instalações Elétricas permitiram a obtenção de todo o ferramental teórico necessário à realização desta etapa do estágio. Além disso, a atividade de monitoria no Laboratório de Instalações Elétricas possibilitou o contato com alunos durante o processo de aprendizagem, o que permitiu melhor avaliar as formas de absorção dos conteúdos e assim, melhor preparo do material a ser utilizado, bem como a

identificação da deficiência de conteúdos da disciplina. Por último, a realização de ensaios de equipamentos de propriedade da concessionária Energisa permitiu a aproximação com uma empresa do setor de distribuição, parte de seu corpo técnico e a diversidade de equipamentos e ferramentas utilizadas em manutenções em linha viva, o que não havia sido possível apenas com as disciplinas regulares do curso de graduação, uma vez que a disciplina relacionada à área, Distribuição de Energia Elétrica, aborda mais amplamente os aspectos teóricos ligados ao tema.

Ao final das atividades, algumas impressões podem ser relatadas como a necessidade de maior participação dos alunos de graduação nas atividades de pesquisa científica realizadas nas dependências da UFCG. Isso seria possível se houvesse maior oferta de bolsas de iniciação científica e de participação em projetos de pesquisa e desenvolvimento realizados em convênio com empresas do setor. Em relação ao ensino, pode-se sugerir maior ênfase às disciplinas Instalações Elétricas e Laboratório de Instalações Elétricas devido à sua importância na formação dos alunos e ao vasto conteúdo que deve ser abordado. Seria bastante pertinente a discussão de aumento da carga horária desta disciplina ou mesmo desmembramento em duas áreas: Instalações Elétricas Prediais e Instalações Elétricas Industriais, onde poderiam ser aprofundados conhecimentos e permitida avaliação mais precisa do sucesso dos alunos na obtenção de tais matérias. No tocante à disciplina Distribuição de Energia Elétrica, o que se percebe é uma necessidade de melhor conhecer os procedimentos práticos, equipamentos e ferramentas utilizadas pelas concessionárias distribuidoras ou mesmo por empresas instaladoras de sistemas de distribuição. Tal carência poderia ser suprida com a criação de uma disciplina de laboratório.

Em resumo, é possível afirmar que o estágio é uma das atividades mais importantes e prazerosas do curso de graduação em Engenharia Elétrica devido ao contato com as aplicações práticas de todo o instrumental teórico obtido durante os anos de graduação.

## BIBLIOGRAFIA

ABNT. NBR 10622 - Luvas Isolantes de Borracha. Associação Brasileira de Normas Técnicas: ABNT. 1989. ABNT. NBR 10623 - Mangas Isolantes de Borracha. Associação Brasileira de Normas Técnicas: ABNT. 1989. ABNT. NBR 11854 - Bastão isolante para trabalho em redes energizadas de distribuição. Associação Brasileira de Normas Técnicas: ABNT. 1992. ABNT. NBR 122 - Aços ferramentas. Associação Brasileira de Normas Técnicas: ABNT. 2005. ALMEIDA, G. C. (2012. Relatório de Ensaio/Laudo. ASTM. ASTM D1051-95 - Standard Specification for Rubber Insulating Sleeves. ASTM International: ASTM. 2000. ASTM. ASTM F968-93 - Standard Specification for Electrically Insulating Plastic Guard Equipment for Protection of Workers. ASTM International: ASTM. 2002. ASTM. ASTM D1049-98 - Standard Specification for Rubber Insulating Covers. ASTM International: ASTM. 2010. ASTM. ASTM D120-95 - Standard Specification for Rubber Insulating Gloves. ASTM International: ASTM. 2010. ASTM. ASTM F712-06 - Standard Test Methods and Specifications for Electrically Insulating Plastic Guard Equipment for Protection of Workers. ASTM International: ASTM. 2011. BARTNIKAS, R. Partial Discharges: Their Mechanism, Detection and Measurement. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, outubro 2002. BOGGS, S. A. Partial Discharge: Overview and Signal Generation. IEEE Electrical Insulation Magazine, julho 1990. COSTA, E. G. da, SOUZA, R. T. de. Guia de Instalações Industriais. Laboratório de Instalações Elétricas - UFCG. COPEL, D. Manual de Instruções Técnicas - Procedimentos de Ensaios de Ferramentas e Equipamentos de Linha Viva: 2006. ENERGISA, G. Energisa Borborema. Energisa Borborema, 2009. Disponível em: <<http://www.energisa.com.br/borborema>>. Acesso em: 20 agosto 2012. IEC. IEC 60270 - High Voltage Test Techniques - Partial Discharges Measurements. International Electrotechnical Commission: IEC. 2000. MTE. NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Ministério do Trabalho e Emprego: MTE. 2004. MTE. NR 6 - Equipamentos de Proteção Individual - EPI. Ministério do Trabalho e Emprego: MTE. 2011. SISTEMAS ELÉTRICOS, G. D. Grupo de Sistemas Elétricos. Grupo de Sistemas Elétricos, 2006. Disponível em: <<http://www.dee.ufcg.edu.br/~gse/>>. Acesso em: 20 agosto 2012.



## APÊNDICE A – GUIA DE INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS:

### CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

No texto a seguir é apresentado o guia do Laboratório de Instalações Elétricas elaborado com a finalidade de familiarizar os alunos da disciplina com o uso de controladores lógicos programáveis.