



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

ÉRICA MANGUEIRA LIMA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Campina Grande, Paraíba

Agosto de 2014

ÉRICA MANGUEIRA LIMA

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.*

Local de Estágio: Laboratório de Alta Tensão - UFCG

Orientador:

Professor Genoilton João de Carvalho Almeida

Campina Grande, Paraíba
Agosto de 2014

ÉRICA MANGUEIRA LIMA

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.*

Local de Estágio: Laboratório de Alta Tensão - UFCG

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Genoilton João de Carvalho Almeida
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado coragem e perseverança para finalizar este Curso.

Agradeço aos meus pais, pelo apoio, paciência e incentivo diário, essencial para que eu superasse todas as adversidades do caminho. Também agradeço pelo esforço que fizeram para me garantir uma boa educação.

Agradeço ao professor Genoilton João de Carvalho Almeida, pela oportunidade do estágio e pela orientação, a professora Núbia Silva Dantas Brito pelo acompanhamento e supervisão e ao professor Tarso Vilela Ferreira, pela inestimável ajuda durante o estágio.

Agradeço a todos os meus amigos e especialmente, aos que me auxiliaram nos experimentos feitos no Laboratório de Alta Tensão, essa ajuda foi essencial para que eu concluísse esta atividade.

Finalmente, agradeço aos funcionários do LAT, principalmente a Eduardo, Adriano e Chico pela paciência, o acolhimento e por toda a ajuda durante a realização do estágio.

RESUMO

Neste relatório são descritas as atividades realizadas pela aluna Érica Manguiera Lima durante a realização do Estágio Supervisionado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sob orientação do professor Genoilton João de Carvalho Almeida no período de 30 de junho a 08 de agosto de 2014. Ao longo do estágio, foi possível: acompanhar ensaios de equipamentos para manutenção de linhas energizadas, montagem de um novo equipamento medidor de capacitância e tangente de perdas, realização de experimentos e elaboração de um manual de instruções.

Palavras-chave: LAT, Ensaios, Medidor de Tangente de Perdas.

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	5
Sumário.....	6
Lista de Figuras.....	7
Lista de Tabelas.....	8
1 Apresentação.....	9
2 Local do Estágio.....	10
2.1 Salão de alta tensão.....	10
2.2 Sala do <i>kit</i> de alta tensão.....	11
2.3 Salão do gerador de impulso de corrente.....	12
2.4 Laboratório de Sistemas de Potência.....	13
3 O Estágio.....	14
3.1 TDA <i>compact</i>	14
3.1.1 Análise da tangente de perdas.....	14
3.1.2 Ponte de Schering.....	15
3.1.3 O equipamento.....	17
3.1.4 Montagem.....	19
3.1.5 Experimento.....	23
3.2 Ensaios elétricos.....	25
4 Conclusões.....	31
Bibliografia.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Salão de alta tensão.	11
Figura 2. Sala do <i>kit</i> de alta tensão.	12
Figura 3. Gerador de impulso de corrente.	12
Figura 4. Diagrama fasorial.	15
Figura 5. Ponte de Shering.	16
Figura 6. (A) Painel frontal da unidade de medição e (B) Painel traseiro.	18
Figura 7. Desenho esquemático do transmissor FOT 2.	18
Figura 8. Desenho Esquemático do Capacitor SC5B.	19
Figura 9. Desenho esquemático do capacitor SC1/0 μ 5.	19
Figura 10. Circuito Básico para medição da Tangente de Perdas.	20
Figura 11. Diagrama de conexões para medição de tangente de perdas.	21
Figura 12. Modo de exibição SCOPE.	22
Figura 13. Modo de exibição METER.	22
Figura 14. Objeto teste (capacitor de 1200 pF).	23
Figura 15. Conexão entre SC5B e o FOT X, entre o SC5B e o objeto teste e conexão da alta tensão com o SC5B e o capacitor padrão.	23
Figura 16. Conexão entre o SC1/0 μ 5, o capacitor padrão e o FOT N.	24
Figura 17. Objeto teste ligado ao SC5B (situado em cima do capacitor padrão) e visão do capacitor padrão.	24
Figura 18. Painel traseiro da unidade de medição.	25
Figura 19. Caminhão equipado com Cesta Aérea e Lança Isolante.	26
Figura 20. Esquema para ensaio de lança categoria C.	27
Figura 21. Lança isolante ensaiada.	28
Figura 22. Esquema para ensaio de lança categorias A e B.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Associação dos Elementos para Montagem.....	20
Tabela 2. <i>Menu</i> SETUP.....	22
Tabela 3. Resultados Obtidos	25
Tabela 4. Resultados do ensaio da lança isolante categoria C.....	28
Tabela 5. Resultados do ensaio da lança isolante categoria B.....	29

1 APRESENTAÇÃO

No decorrer do curso de Engenharia Elétrica, são diversas as possibilidades para aumentar o conhecimento teórico, construindo a base do conhecimento para a vida profissional. Porém, mesmo com algumas atividades práticas realizadas nos laboratórios acadêmicos, o caráter prático da engenharia só é realmente observado no decorrer da vida profissional. Neste contexto, o estágio curricular permite que se ponha em prática o conhecimento teórico adquirido na formação acadêmica, contribuindo para o desenvolvimento no âmbito profissional.

Este relatório tem como objetivo apresentar as atividades desenvolvidas durante a realização do estágio supervisionado da aluna Érica Mangueira Lima, realizado no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina Grande, no período de 30/06/2014 a 08/08/2014, sob orientação do professor Genoilton João de Carvalho Almeida e supervisão da professora Núbia Silva Dantas Brito.

Durante o estágio foram desenvolvidas atividades de integração e conhecimento do laboratório de alta tensão, além disso foi feita a montagem de um novo equipamento medidor de tangente de perdas adquirido pelo laboratório, e partir da experiência foi elaborado um manual de instruções para este equipamento com o objetivo de facilitar as montagens e experimentos seguintes. Adicionalmente foi feito um experimento com o objetivo de avaliar a confiabilidade dos resultados obtidos com este equipamento. Outra atividade importante, foi o acompanhamento ensaios elétricos para empresas que aconteceram no laboratório durante o período de estágio, sendo esta uma ótima oportunidade para estudar a legislação vigente.

2 LOCAL DO ESTÁGIO

O Laboratório de Alta Tensão (LAT) começou a ser implantado em 1974, como resultado de uma associação de recursos nacionais e cooperações técnicas internacionais. O LAT pertence ao Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG, e tem como principal finalidade o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão.

O LAT é, na sua especialidade, o laboratório mais bem equipado do Nordeste do país, com uma área construída de 1.050 m². Além de possuir equipamentos sofisticados, o LAT dispõe de corpo técnico altamente qualificado, o que inclui docentes, pesquisadores, engenheiros e técnicos.

O LAT atende à diversas empresas para realizar serviços de ensaios elétricos, recebimentos e pós-reparos eletromecânicos, como por exemplo: PETROBRÁS, Chesf, Energisa, CEAL, JPW, CEMEC, ALCACE. Além dos serviços de extensão, no LAT são desenvolvidas pesquisas tanto à nível de graduação, quanto de pós-graduação. Atualmente o LAT é composto pelos seguintes ambientes:

- Salão de alta tensão,
- Sala do *kit* de alta tensão,
- Sala do gerador de impulso de corrente,
- Laboratório de sistemas de potência.

2.1 SALÃO DE ALTA TENSÃO

O salão de alta tensão é considerado o principal ambiente do LAT (Figura 1). Nele estão os equipamentos utilizados para os ensaios mais exigentes em termos de tensão, tais como: transformadores de potencial em cascata, que permitem a geração de até 600 kV com uma corrente de 1 A; gerador de impulsos de alta tensão (700 kV), com o qual se realizam ensaios em transformadores, isoladores, disjuntores e chaves.

No salão são realizados ensaios de validação de modelos computacionais, ensaios de envelhecimento, ensaios de descargas e ensaios de verificação de isolamento em

equipamentos de manutenção de linha viva. Há também uma câmara de névoa, necessária em ensaios envolvendo umidade ou névoa salina, como ensaios em isoladores.



Figura 1. Salão de alta tensão.

2.2 SALA DO *KIT* DE ALTA TENSÃO

Esse ambiente dispõe de um *kit* de alta tensão, composto por: transformador de 5 kVA, que eleva a tensão de 0 a 100 kV a partir de uma entrada de 220 V; capacitores de alta tensão; resistores de alta tensão; espinterômetros câmaras para descargas em gases ou vácuo, dentre outros (Figura 2). Também estão presentes uma mesa controladora que aciona um regulador de tensão por comandos manuais, além de uma Ponte de Schering e capacitores padrão.

A sala é utilizada como laboratório das seguintes disciplinas do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica: Materiais Elétricos, Técnicas de Alta Tensão e Equipamentos Elétricos, bem como em pesquisas, tanto à nível de graduação, quanto de pós-graduação.

Por possuir dimensões compactas, o *kit* de alta tensão facilita a execução de diversos experimentos, como por exemplo, ensaios de suportabilidade de cadeias de isoladores.



Figura 2. Sala do *kit* de alta tensão.

2.3 SALÃO DO GERADOR DE IMPULSO DE CORRENTE

Esse ambiente dispõe de um gerador de impulso de corrente, com capacidade de até 160 kA, 100 kV e 80 kJ, o qual é utilizado em experimentos envolvendo para-raios e injeção de corrente em malha de aterramento (Figura 3). A sala é utilizada como laboratório das seguintes disciplinas do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica: Técnicas de Alta Tensão e Equipamentos Elétricos, bem como em pesquisas, tanto à nível de graduação, quanto de pós-graduação.



Figura 3. Gerador de impulso de corrente.

2.4 LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE POTÊNCIA

O Laboratório de Sistemas de Potência (LSP) foi inaugurado em 1986 com a instalação de um minicomputador VAX-750, doado pelo Governo Alemão. Com a era dos PC, as atividades desenvolvidas no LSP passaram a ser realizadas utilizando microcomputadores adquiridos através de convênios com empresas do setor elétrico e de recursos próprios.

O LSP destina-se ao desenvolvimento de atividades de ensino e pesquisa, com ênfase no estudo e desenvolvimento de métodos para simulação digital dos Sistemas de Potência. Os usuários do LSP são os alunos de graduação e iniciação científica da área de Sistemas de Potência.

3 O ESTÁGIO

Um resumo das principais atividades realizadas durante o estágio é apresentado a seguir.

3.1 TDA *COMPACT*

O TDA *compact* é um equipamento portátil para medição de capacitância e tangente de perdas e usado, principalmente, na análise do isolamento de epóxi-mica presente nas máquinas girantes e dos sistemas com isolamento a óleo e papel.

3.1.1 ANÁLISE DA TANGENTE DE PERDAS

De um modo geral, o conceito de elemento ou equipamento ideal é largamente utilizado em estudos teóricos. Na prática entretanto, esse conceito, de fato, não se aplica. No caso de experimentos envolvendo materiais dielétricos utilizados como elementos de isolamento, a condição ideal de isolamento perfeito não existe. Em tais casos, as perdas devido, principalmente, às correntes resistivas e de polarização dos dipolos devem ser levadas em consideração. Em muitos casos, a magnitude dessas correntes é utilizada como indicador de qualidade do sistema de isolamento.

No caso de um capacitor ideal (C), considera-se que a resistência do seu dielétrico tem um valor infinito. Aplicando-se uma tensão alternada (U), a corrente (I_c) fica adiantada da tensão exatamente por 90° . Na prática, isso não acontece, visto que existe uma pequena corrente (I_R) em fase com a tensão de alimentação, que provoca uma defasagem δ entre a corrente real (I) e a corrente ideal (I_c), como pode ser visto na Figura 4.

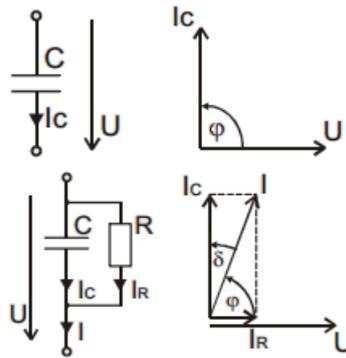


Figura 4. Diagrama fasorial.

A partir da equação 3.1 verificamos que as perdas são proporcionais a $\tan \delta$. Esse parâmetro é denominado de fator de perdas ou tangente de perdas e expressa a qualidade de um material dielétrico. O ângulo δ é chamado ângulo de perdas.

$$P = Q \cdot \tan \delta. \quad (3.1)$$

A análise da tangente de perdas é um método tradicional de avaliação da condição de um sistema de isolamento. Um bom sistema de isolamento apresenta normalmente, $\delta \sim 0^\circ$, logo, $\tan \delta \sim 0^\circ$. Portanto, quanto menor a tangente de perdas, maior a qualidade do sistema de isolamento.

3.1.2 PONTE DE SCHERING

Os testes de dielétricos em alta tensão, em especial o da tangente de perdas, são comumente feitos com uma ponte de Schering. Essa ponte é largamente utilizada para: medições de precisão em dielétricos sólidos e líquidos e testes de isolamento de cabos, enrolamentos de máquinas de alta tensão e revestimento de capacitores.

O diagrama da ponte de Schering é mostrado na Figura 5, sendo: C_x e R_x capacitância e resistência referentes ao sistema sob teste; C_2 um capacitor padrão de baixas perdas; C_1 um capacitor variável de baixa tensão e R , uma resistência variável.

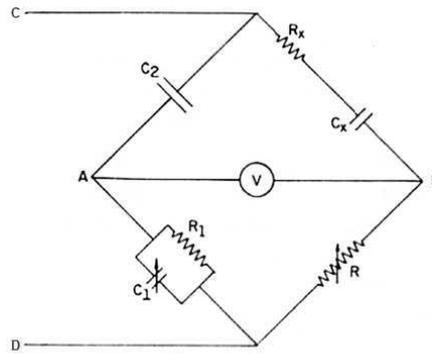


Figura 5. Ponte de Shering.

De forma sucinta, o princípio de funcionamento da ponte é o seguinte: o capacitor e o resistor variáveis devem ser ajustados até que a ponte atinja o equilíbrio, ou seja, até que o voltímetro V detecte diferença de potencial nula entre A e B. Considerando que:

$$Z_X = R_X - jX_{C_X}. \quad (3.2)$$

$$Z_2 = -jX_{C_2}. \quad (3.3)$$

$$Z_1 = \frac{(R_1)(-jX_{C_1})}{(R_1 - jX_{C_1})}. \quad (3.4)$$

$$Z_3 = R. \quad (3.5)$$

Na condição de equilíbrio da ponte, a tensão entre os pontos A e B é nula, ou seja:

$$(Z_x)(Z_1) = (Z_2)(Z_3). \quad (3.6)$$

Portanto:

$$R_X - jX_{C_X} = \frac{X_{C_2}R}{X_{C_1}R_1} (R_1 - jX_{C_1}). \quad (3.7)$$

Igualando as partes reais,

$$R_x = \frac{X_{C_2}R}{X_{C_1}} \text{ logo } R_x = \frac{C_1R}{C_2}, \quad (3.8)$$

e as partes imaginárias,

$$-X_{C_x} = \frac{X_{C_2}R}{R_1} \text{ logo } C_x = \frac{C_2R_1}{R}. \quad (3.9)$$

O fator de potência do ramo desconhecido é $\cos \varnothing$, sendo o ângulo \varnothing calculado pela equação (3.10). A tangente de perdas relacionada com o ângulo de perdas ($\delta = 90^\circ - \varnothing$) é calculada pela equação (3.11).

$$\varnothing = \tan^{-1} \frac{1}{\omega C_x R_x}. \quad (3.10)$$

$$\tan \delta = \omega C_x R_x = \omega C_1 R_1. \quad (3.11)$$

3.1.3 O EQUIPAMENTO

O TDA *compact*, assim como outros medidores fabricados pela *Power Diagnostix*, é um equipamento fabricado de modo modular e portanto, adaptável às necessidades da aplicação, dependendo apenas da seleção correta dos acessórios, como impedâncias de derivação, capacitores padrão e transmissores de fibra ótica. Esta escolha é o ponto crucial para precisão e confiabilidade nos resultados dos experimentos.

Em operação, o TDA *compact* exibe simultaneamente, a corrente alternada no equipamento sob teste e a tensão nos terminais de um capacitor de referência. As formas de ondas são avaliadas e a capacitância, a tangente de perdas e o nível de tensão são fornecidos. Como o medidor exibe e atualiza os resultados continuamente, não requer interação do usuário como uma ponte de Schering tradicional. Além disso, a atualização dos resultados não requer o tempo que as pontes de Schering automáticas exigiriam.

Na prática, o medidor pode ser utilizado de forma autônoma, sem necessidade de nenhum tipo de *hardware* ou *software*, porém, é equipado com uma interface para conexão com um computador para download de dados e controle do instrumento via *software*.

Um *kit* padrão inclui uma unidade de medição e dois transmissores de fibra ótica (FOT 2) com seus respectivos cabos de fibra ótica (FO). Essa é a configuração disponível no LAT. Conforme a aplicação, alguns acessórios podem ser fornecidos como capacitores de derivação (CSX, CSN) e capacitores padrões (CN). Os módulos presentes no *kit* TDA *compact* são descritos a seguir.

Unidade de Medição

Na Figura 6, é exibida a unidade de medição, principal módulo principal do instrumento. Possui cinco botões de controle localizados no painel frontal ao lado da tela de LCD e no painel traseiro, conectores para cabo de força, conexão borboleta para aterramento, conexões para computador (GPIB e RS232), conexões tipo BNC para carga dos transmissores FOT 2, conexões de fibra ótica para os sinais também vindos do FOT 2 e finalmente, indicadores em LED indicando conexões corretas com os outros módulos.

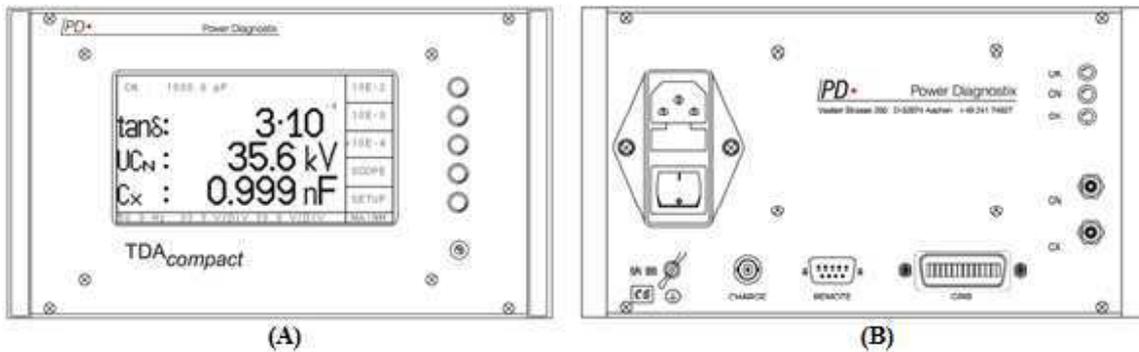


Figura 6. (A) Painel frontal da unidade de medição e (B) Painel traseiro.

Transmissores

Vemos na Figura 7 a esquematização do módulo transmissor. O TDA *compact* possui dois transmissores FOT 2 com funções de amplificar os sinais de tensão provenientes dos capacitores de derivação e isolar a unidade de medição. Esses dispositivos são adaptáveis a diferentes impedâncias, ajustando o nível de tensão de 10V a 100V no máximo. São equipados com uma bateria para operação mínima de 20 horas. Possui um LED que indica a operação normal do transmissor, além de uma entrada SMA para o cabo de fibra ótica e uma entrada BNC, utilizada como conexão paralela entre estes e os capacitores e conexão para carga da bateria do transmissor.

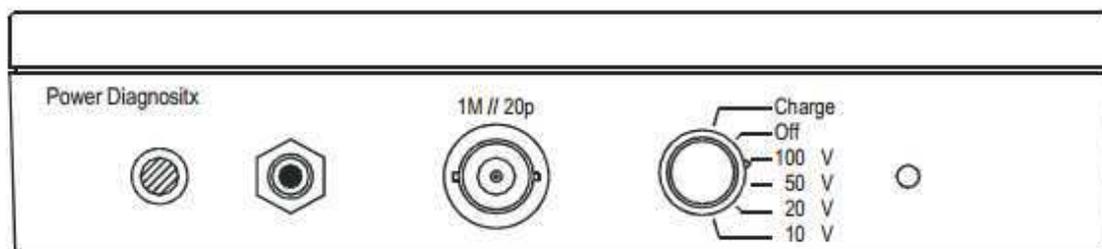


Figura 7. Desenho esquemático do transmissor FOT 2.

Capacitor SC5B

Na Figura 8, é possível ver o capacitor SC5B, dispositivo usado como capacitor de derivação com dois níveis de capacitância 10 μF e 100 μF . Normalmente, este capacitor é usado no ramo de alta tensão do objeto de teste. Neste caso, a tensão mais elevada deve ser conectada à entrada CASE e o objeto de teste, à entrada Cx. A entrada BNC deve ser conectada a um dos FOT 2. Como medida de segurança, se o capacitor estiver conectado no ramo de alta tensão, então a caixa deste capacitor deve ser mantida isolada do aterramento, pois neste caso, todo o invólucro estará também em alta tensão.

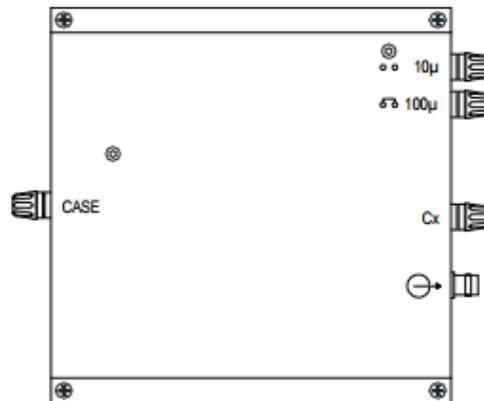


Figura 8. Desenho Esquemático do Capacitor SC5B.

Capacitor SC1/0 μ 5

O capacitor SC1/0 μ 5, exibido na Figura 9, é utilizado como capacitor em derivação com 0.5 μ F e deve ser conectado ao ramo no qual o capacitor padrão se encontra. O capacitor padrão deve ser conectado na entrada Csn, o FOT 2 de ser conectado na saída BNC e o SC1/0 μ 5 deve ser aterrado, assim como a conexão borboleta.

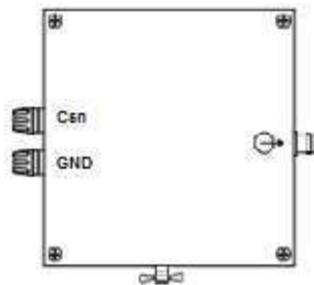


Figura 9. Desenho esquemático do capacitor SC1/0 μ 5.

3.1.4 MONTAGEM

Para medição da tangente de perdas, a montagem do equipamento deve ser feita conforme circuito mostrado na Figura 10, sendo:

- CN: capacitor padrão;
- CSN: capacitor *shunt* para o capacitor padrão;
- RSN: impedância de entrada do transmissor FOT 2 (1 M Ω);
- CSX: capacitor *shunt* para o objeto teste;
- RSX: impedância de entrada do transmissor FOT 2 (1 M Ω);
- CX: objeto de teste.

Cada um desses elementos pode ser associado conforme mostrado na Tabela 1.

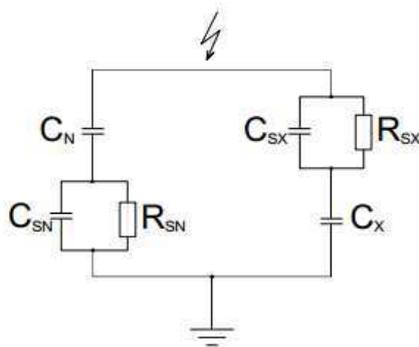


Figura 10. Circuito Básico para medição da Tangente de Perdas.

Tabela 1. Associação dos elementos para montagem.

Elemento	Equipamento
C_N	Capacitor Padrão
C_{SN}	Capacitor SC1/0 μ 5
R_{SN}	FOT 2
C_{SX}	Capacitor SC5B
R_{SX}	FOT 2

Conforme conexões do circuito mostrado na Figura 10, recomenda-se adotar os passos a seguir na etapa de montagem do equipamento.

- i. Conectar o capacitor SC5B em paralelo ao transmissor FOT 2 a partir dos conectores BNC existente em ambos. Esse transmissor passará a ser identificado como FOT X.
- ii. Conectar a saída CX do capacitor SC5B ao objeto de teste.
- iii. Se a capacitância desejada em CSX for 10 μ F, deve-se manter os soquetes presentes no SC5B em aberto. Caso se deseje 100 μ F, então conecta-se os soquetes com um plug banana fornecido no *kit* do equipamento.
- iv. A saída SMA (fibra ótica) do transmissor FOT X deve ser conectada à entrada CX da unidade medição.
- v. Conectar a entrada CSN do capacitor SC1/0 μ 5 ao capacitor padrão.
- vi. O capacitor SC1/0 μ 5 e o segundo transmissor FOT 2 devem ser conectados em paralelo a partir de seus conectores do tipo BNC. Esse transmissor passará a ser identificado como FOT N.
- vii. A entrada GND e a conexão borboleta do SC1/0 μ 5 devem ser aterradas.
- viii. A saída SMA (fibra ótica) do transmissor FOT N deve ser conectada a entrada CN da unidade de medição.
- ix. A unidade de medição deve ser alimentada com tensão alternada entre 85 e 246V e com frequência entre 47 e 440 Hz. Além disso, a conexão borboleta deve estar devidamente aterrada.
- x. Por fim, a fonte de alta tensão pode ser conectada a entrada CASE do capacitor SC5B assim como ao capacitor padrão finalizando a montagem.

Ao final, a montagem deve ficar conforme mostrado na Figura 11.

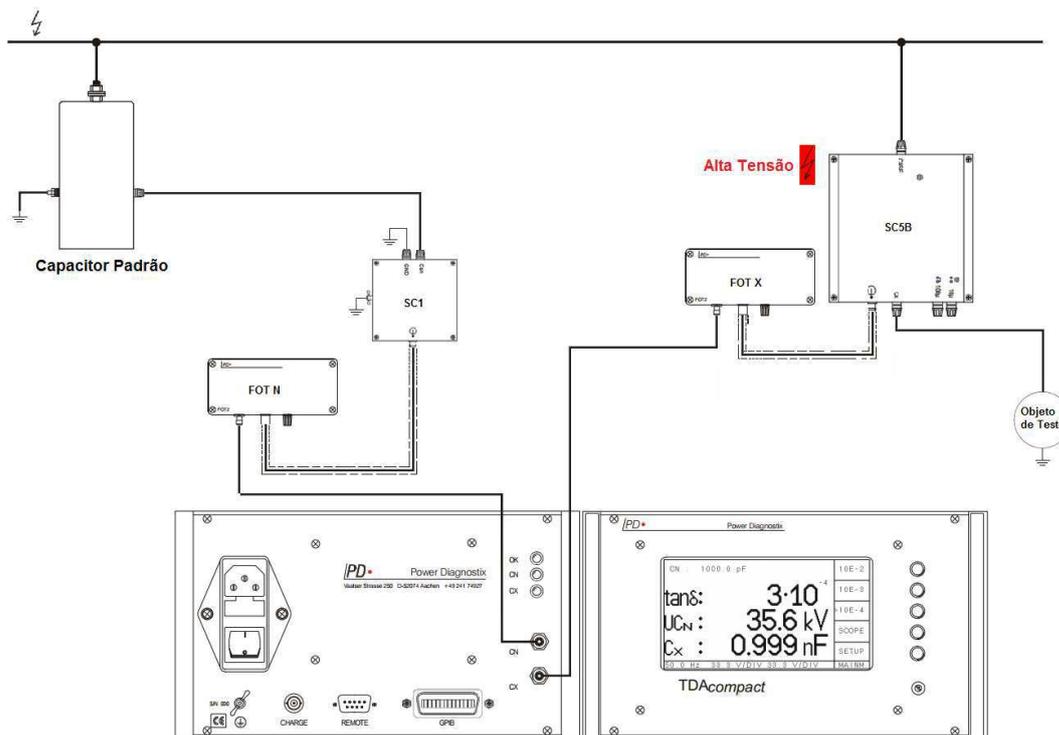


Figura 11. Diagrama de conexões para medição de tangente de perdas.

É importante destacar que, durante os experimentos, a tensão em SC5B e SC1/0 μ 5 não deve ultrapassar 250 V_{max}.

Para a medição são permitidos dois modos para o display, o modo METER e o modo SCOPE. Em ambos é possível exibir os seguintes valores:

- U: tensão calculada no capacitor padrão,
- Cx: capacitância calculada do objeto teste,
- $\cos \varphi$: fator de potência calculado,
- $\tan \delta$: tangente de perdas calculada.

A frequência fundamental da tensão aplicada (UN) é sempre exibida no canto inferior esquerdo da tela. Adicionalmente, no modo SCOPE, é exibido também o ângulo de perdas δ em radianos com valores entre 0 e $\pi/2$. Duas formas de onda, referentes aos terminais dos transmissores (CN e CX) são exibidas simultaneamente e seus fatores de escalas em volts por divisão são localizados na última linha da tela, sendo CN no centro e CX à direita (Figura 12).

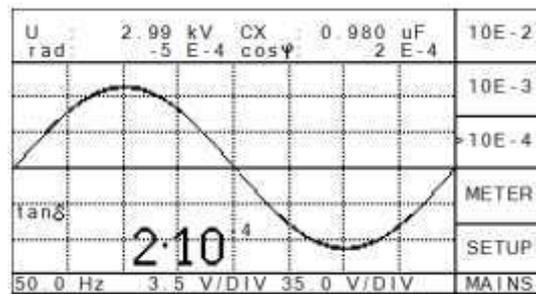


Figura 12. Modo de exibição SCOPE.

No modo METER, a primeira linha da tela exibe o valor da capacitância do capacitor padrão CN e nas linhas seguintes, é possível exibir três dos quatro valores padrões, os quais podem ser escolhidos no SETUP (Figura 13).

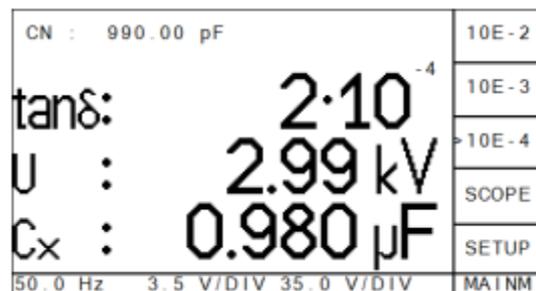


Figura 13. Modo de exibição METER.

O *menu* SETUP permite ajustar o instrumento às configurações físicas da aplicação e no *menu* HELP, o circuito base para medição da tangente de perdas é exibido. Os valores que devem ser ajustados antes da medição estão descritos na Tabela 2.

Adicionalmente, o TDA *compact* faz medições com frequências muito baixas em 0.1Hz. Em tais casos, o modo VLF deve ser selecionado no SETUP.

Tabela 2. *Menu* SETUP.

CN	Capacitor padrão.
TDN	Tangente de perdas do capacitor padrão (caso conhecida).
RSN	Impedância de entrada do FOT N (1MΩ).
FOT N	Nível de tensão escolhido no FOT N.
CSN	Capacitor <i>shunt</i> conectado ao capacitor padrão. (SC1/0μ5 - 500nF)
DIV N	Valor do pré-divisor conectado a FOT N (caso utilizado).
RSX	Impedância de entrada do FOT X (1MΩ).
FOT X	Nível de tensão escolhido no FOT X.
CSX	Capacitor <i>shunt</i> conectado ao objeto teste. (SC5B - 10μF ou 100μF)
DIV X	Valor do pré-divisor conectado a FOT X (caso utilizado).

3.1.5 EXPERIMENTO

Para validar a montagem do equipamento, realizou-se um experimento para medição de capacitância e tangente de perdas com o TDA *compact*. Como objeto de teste considerou-se o elemento mostrado na Figura 14.



Figura 14. Objeto teste (capacitor de 1200 pF).

Após aplicação da metodologia apresentada na seção 3.1.4, obteve-se a montagem mostrada nas Figuras 15 a 18.



Figura 15. Conexão entre SC5B e o FOT X, entre o SC5B e o objeto teste e conexão da alta tensão com o SC5B e o capacitor padrão.



Figura 16. Conexão entre o SC1/0 μ 5, o capacitor padrão e o FOT N.



Figura 17. Objeto teste ligado ao SC5B (situado em cima do capacitor padrão) e visão do capacitor padrão.



Figura 18. Painel traseiro da unidade de medição.

Em seguida, aplicaram-se valores de tensão até se obter 20kV. É importante destacar que se tomou cuidado ao se ajustar o nível de tensão no FOT X e no FOT N conforme as formas de onda no display da unidade de medição. Ao final, foram obtidos os resultados mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados Obtidos

Capacitância	1.2 nF
tan δ	2×10^{-4}

Uma que vez, segundo os dados do fabricante, era esperado o valor de capacitância 1200 pF ou 1.2 nF vemos que o resultado para a capacitância foi bastante satisfatório condizendo com o valor aguardado. Quando a tangente de perdas, o resultado também foi considerado aceitável uma vez que o dielétrico presente neste capacitor é de boa qualidade, de forma que enquadra-se com a baixa tangente de perdas resultante do experimento.

3.2 ENSAIOS ELÉTRICOS

O Laboratório de Alta Tensão realiza diversos serviços de extensão, como por exemplo, ensaios elétricos de recebimento e pós-reparos eletromecânicos. Um dos serviços mais rotineiros são os ensaios periódicos em equipamentos para trabalho com linhas vivas, que têm como objetivos emitir laudos para certificar o funcionamento correto desses equipamentos quando submetidos à altas tensões.

Durante o estágio, foi possível acompanhar alguns ensaios em lanças isolantes. Esse tipo de ensaio é normatizado pela Norma ABNT NBR 16092/2012, que estabelece os critérios para projeto, produção, ensaios e inspeção de cestas aéreas isoladas e não isoladas. Por definição, cesta aérea isolada é o equipamento veicular dotado de braço móvel projetado (extensível, articulado ou ambos) e usado para posicionar pessoas e componentes dielétricos e ensaiado para taxa de isolamento elétrico específico. Pode ser usado também para transporte de material, desde que projetado e equipado para tal. A lança é a seção isolante do braço superior das cestas aéreas isoladas, vista com destaques laranja na figura 19.



Figura 19. Caminhão equipado com Cesta Aérea e Lança Isolante.

Para este equipamento existem três categorias de isolamento:

- Categoria A: são as cestas aéreas, as quais são projetadas e fabricadas para trabalhos nos quais a lança é considerada como isolamento primário para trabalho com a mão nua (ao potencial).
- Categoria B: são as cestas equipadas com eletrodo de ensaio inferior, porém projetadas e fabricadas para trabalhos em que a lança não é considerada de isolamento primário, mas secundário (casos nos quais se usam luvas isolantes de borracha). Cestas dessa categoria devem ser classificadas em classes de tensão superiores a 46 kV e inferiores a 69 kV, com o objetivo de facilitar sua alteração para cestas aéreas de categoria A para trabalho ao potencial.
- Categoria C: são as cestas que não estão equipadas com sistema de eletrodo de ensaio inferior e são projetadas e fabricadas para trabalhos em

que a lança é considerada isolamento secundárias e para serem utilizadas em tensões iguais ou inferiores a 46 kV.

Segundo essa Norma, cada cesta aérea isolada deve ser ensaiada periodicamente, para uma tensão de qualificação, tal que a corrente de fuga relacionada não exceda os limites estabelecidos. O objetivo é verificar a resistividade dielétrica e detectar mudanças de condutividade nas seções de isolamento.

Para o caminhão sob ensaio com a lança isolante de uma cesta aérea categoria C (46 kV), o braço móvel é articulado e deve seguir o esquema para ensaio definido pela Norma (Figura 19). Para ensaios em áreas cobertas, como é o caso do salão de alta tensão do LAT, outras posições das lanças são aceitáveis.

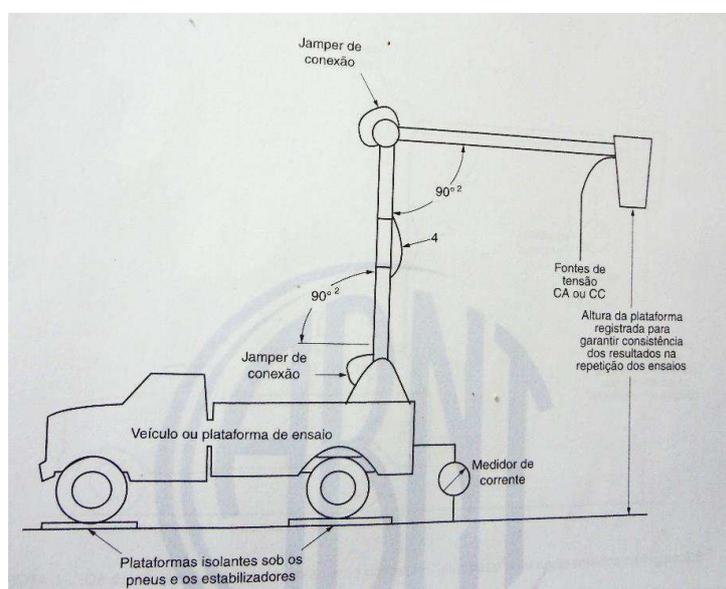


Figura 20. Esquema para ensaio de lança categoria C.

O ensaio consistiu na aplicação de tensão entre 10 e 100 kV, variando-se de 10 em 10 kV e medindo a corrente de fuga na lança, a qual não poderá ultrapassar 1000 μ A. Adicionalmente, mede-se também a corrente de fuga no aterramento da carroceria. A medição é para 100 kV é efetuada após a manutenção da tensão aplicada por 1 (um) minuto. A lança ensaiada é mostrada na Figura 20.



Figura 21. Lança isolante ensaiada.

Os resultados obtidos após o ensaio são mostrados na Tabela 4. Como a corrente de fuga para 100 kV não ultrapassou os 1000 μA , a lança foi aprovada no ensaio.

Tabela 4. Resultados do ensaio da lança isolante categoria C.

Ferramenta: Lança isolante		Fabricante: RITZ		
Tensão nominal: 46 kV - CAT. C		Mod.: -	Fab.: -	
Ensaio: Tensão aplicada com, medição da corrente de fuga		Nº de série: -		
Corrente de fuga máxima: 1000 μA / 100kV		Norma: NBR 16092/2012		
RESULTADOS:				
Item	Tensão aplicada (kV)	Corrente de fuga (μA)		Laudo
		Lança	Aterramento da carroceria	
01.01	10	3,8	68,1	Aprovada
	20	7,4	133,3	
	30	10,7	198,0	
	40	14,3	264,0	
	50	17,7	326,0	
	60	21,2	390,0	
	70	24,9	463,0	
	80	28,3	539,0	
	90	21,9	617,0	
	100		36,3/ 36,3*	

Procedimento semelhante foi aplicado a um caminhão com lança isolante de uma cesta aérea categoria B (69kV), cujo esquema de ensaio é mostrado na Figura 21. Para esta classe de isolamento a corrente de fuga máxima na lança é de 40 μ A para uma tensão de 40 kV.

Aplicando-se valores de tensão no intervalo entre 10 a 100kV, com passos de 10 kV e mantendo a tensão por 1 minuto antes da medição da corrente de fuga, obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 5. Como a corrente de fuga obtida em 40kV foi de 22,2 μ A na lança, então, esta foi aprovada no ensaio.

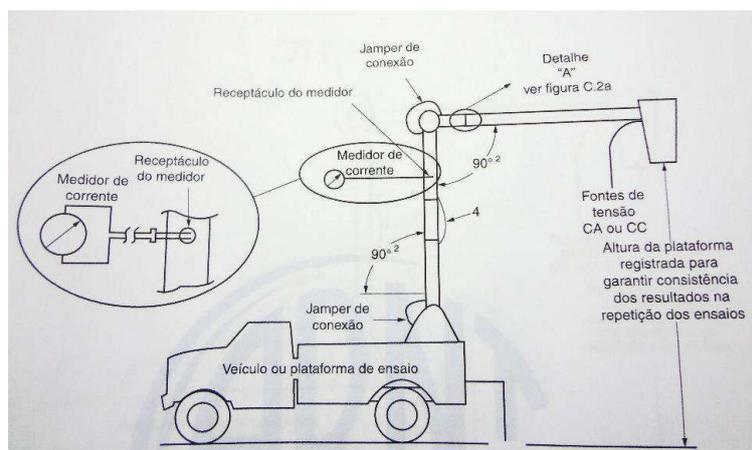


Figura 22. Esquema para ensaio de lança categorias A e B.

Tabela 5. Resultados do ensaio da lança isolante categoria B.

Ferramenta: Lança isolante		Fabricante: GUITON		
Tensão nominal: 69 kV - CAT. B		Mod.: GTI – 13,0 LV	Fab.: 02-02-13	
Ensaio: Tensão aplicada com, medição da corrente de fuga		Nº De série: 151012		
Corrente de fuga máxima: 40 μ A / 40 kV		Norma: NBR 16092/2012		
Item	Tensão aplicada (kV)	Corrente de fuga (μ A)		Laudo
		Lança	Aterramento da carroceria	
01.01	10	7,5	76,0	Aprovada
	20	13,2	150,0	
	30	17,1	230,0	
	40	22,3/22,2*	310,0	
	50	27,8	370,0	
	60	34,5	460,0	
	70	37,8	570,0	
	80	45,2	650,0	
	90	53,1	770,0	
	100	56,4/56,3*	840,0/835,0*	

4 CONCLUSÕES

Apesar do curto período do estágio, a imersão obtida durante o período permitiu aplicar uma boa parte dos conhecimentos teóricos adquiridos durante o curso de graduação, em particular na área de alta tensão.

Uma atividade importante do estágio foi a montagem de um novo equipamento de medição de tangente de perdas e capacitância de um espécime teste. O acompanhamento de todo o processo, permitiu que a estagiária confeccionasse um Manual de Instruções e Experimentos, que servirá como guia a ser utilizado em todos os experimentos que utilizem o referido equipamento.

Os ensaios realizados em equipamentos para manutenção de linhas vivas (ou energizadas) possibilitaram o conhecimento sobre a legislação vigente, ou seja, as normas regulamentadoras de equipamentos, a partir das quais, o engenheiro responsável é capaz de emitir um laudo sobre o estado do equipamento. Estas atividades são cruciais no mundo da engenharia elétrica de alta tensão, visto que as empresas são obrigadas através das normas regulamentadoras emitidas pelo Ministério do Trabalho a realizarem ensaios de forma periódica.

BIBLIOGRAFIA

Grupo de Sistemas Elétricos [Internet]. [Citado em 01 de Julho ed 2014]. Disponível em: <http://sites.google.com/a/dee.ufcg.edu.br/gse/home>

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16092 - Cestas Aéreas – Especificações e Ensaios**. 2012.

POWER DIAGNOSTIX SYSTEMS GmbH. **TDA compact: Loss Factor ($\tan\delta$), Capacitance and Voltage Measurement**. Rev. e2.21. Aachen, Alemanha. 38 p.

BIRD, J; QUEIROZ, L. C. & BARROSO, J. L. **Circuitos Elétricos: Teoria e Tecnologia**. 3^a ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SAY, M. G. **Eletricidade Geral**. São Paulo: Hemus, 2004.