

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica
Grupo de Sistemas Elétricos

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

André Dantas Germano

Campina Grande, fevereiro de 2009

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica
Grupo de Sistemas Elétricos

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

*Relatório de Estágio Integrado apresentado à Coordenação do
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências
para obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.*

Orientador:

Prof. Tarso Vilela Ferreira, M. Sc.

Campina Grande, fevereiro de 2009.

APRESENTAÇÃO

O presente relatório refere-se ao estágio integrado realizado pelo aluno do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), André Dantas Germano, no Laboratório de Alta Tensão (LAT), da mesma instituição. O estágio teve vigência durante o período de 08/08/08 a 16/02/2009, sob orientação e supervisão do Professor Tarso Vilela Ferreira.

O estágio supervisionado teve carga horária de 1000 horas, e é uma disciplina integrante da grade curricular do curso de Engenharia Elétrica, indispensável para obtenção do diploma de Engenheiro Eletricista.

1. INTRODUÇÃO

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

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

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

Nesse contexto, esse relatório apresenta as atividades desenvolvidas durante o estágio integrado, relatando as experiências adquiridas e as dificuldades encontradas ao longo do período.

2. O LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

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

Nos últimos 25 anos, foi realizado um grande número de ensaios elétricos, de recebimentos e pós-reparos eletromecânicos, além de apoio às pesquisas de desenvolvimento de equipamentos. Várias empresas têm solicitado os serviços do LAT, a exemplo da CHESF, PETROBRÁS, Energisa, CEAL, JPW, CEMEC, ALCACE, entre outras.

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

2.1. LABORATÓRIO DE MATERIAIS ELÉTRICOS

O Laboratório Materiais Elétricos é coordenado pelo professor Genoilton João de Carvalho Almeida, e tem como finalidade básica a sedimentação dos conhecimentos adquiridos na disciplina Materiais Elétricos do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Nos últimos semestres, a disciplina Laboratório de Materiais Elétricos conta com experimentos que abrangem: medição de capacitância, permissividade relativa e perdas em dielétricos; determinação da rigidez dielétrica de óleos isolantes; estudo da distribuição de tensão em cadeia de isoladores; curva de saturação e ciclo de histerese para ferro de transformadores; introdução ao estudo de descargas em gases e caracterização elétrica de varistores. Estes experimentos têm importância no ensino da disciplina, e muitas vezes auxiliam linhas de pesquisa. Para a realização dos mesmos, o laboratório possui um Kit Didático para Alta Tensão (100 kV), uma Ponte Schering e capacitores padrão.

2.2. LABORATÓRIO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

O Laboratório de Sistemas Elétricos dá suporte à disciplina Sistemas Elétricos, do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, e tem como finalidade básica a sedimentação dos conhecimentos adquiridos na mesma. Atualmente o laboratório está sob coordenação do professor Antônio do Nascimento Epaminondas.

No Laboratório de Sistemas Elétricos, são realizadas montagens e medições necessárias para a análise de grandezas elétricas, na forma de experimentos que tangem tensões e correntes de circuito indutivo, correção do fator de potência, tensões e correntes em um circuito trifásico equilibrado, e medição da potência ativa e reativa nos circuitos trifásicos. Para a realização destes experimentos, o laboratório possui bancadas munidas de motores, reatores, capacitores, resistências de carga e instrumentos de medição.

2.3. SALA DO GERADOR DE IMPULSO DE CORRENTE

O Gerador de Impulso de Corrente supre necessidades experimentais da Pós-Graduação, além de algumas disciplinas da graduação, como o Laboratório de Equipamentos Elétricos e Técnicas de Alta Tensão, ambas ministradas pelo professor Edson Guedes da Costa.

No Laboratório de Equipamentos elétricos são ministrados experimentos envolvendo equipamentos de alta tensão, como pára-raios. A capacidade do Gerador de Impulso de Corrente é de até 160 kA, 100 kV, com onda 8/20 μ s.

2.4. SALA DO KIT DE ALTA TENSÃO

O Kit de Alta Tensão aplica-se a várias disciplinas de Graduação e Pós-graduação, como Materiais Elétricos, Técnicas de Alta tensão e Equipamentos Elétricos, podendo fornecer tensões de até 100 kV. Sua apresentação em dimensões compactas facilita a execução de experimentos, o que o transforma na opção ideal para ensaios de baixa potência na faixa de tensão em que este opera.

O kit dispõe de mesa de controle, transformador de 220 V/100 kV-10 kVA, capacitores de alta tensão, resistores de alta tensão, espinterômetros, tubos para descargas em gases ou vácuo, dentre outros.

2.5. LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

O Laboratório de Instalações tem como finalidade básica a sedimentação dos conhecimentos adquiridos na disciplina Instalações Elétricas do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica. O laboratório também oferece cursos de extensão e de treinamento, e é coordenado pelo professor Edson Guedes da Costa.

Atualmente, a disciplina Laboratório de Instalações Elétricas conta com experimentos sobre fotometria, atividades sobre instalações prediais e comandos elétricos. Periodicamente, também são ministradas aulas práticas e experimentais sobre introdução ao uso de controladores lógicos programáveis (CLP) e instalação de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas.

O Laboratório de Instalações Elétricas possui infra-estrutura de rede elétrica, em concordância com a NBR 5410, e está localizado nas dependências do Laboratório de Alta Tensão.

2.6. SALÃO DE ALTA TENSÃO

O salão é o principal ambiente do LAT, uma vez que os ensaios mais exigentes em termos de potência são realizados nele. A área abriga equipamentos como os dois transformadores de potencial em cascata, que permitem a geração de até 600 kV com uma corrente de 1 A, e o gerador de impulsos de alta tensão (700 kV, 36 kJ), com os quais se realizam ensaios em transformadores, chaves, isoladores e disjuntores.

Neste ambiente realizam-se ensaios de várias naturezas, incluindo de envelhecimento, ensaios de tensão suportável, ensaios de descargas, ensaios para validação de modelos computacionais, ensaios de verificação de isolamento em equipamentos de manutenção de linha viva, dentre outros.

2.7. LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE POTÊNCIA

O Laboratório de Sistemas de Potência (LSP) foi criado em 1986, com a instalação de um minicomputador VAX-750, doado pelo governo alemão. Com o advento dos PC, as atividades desenvolvidas no LSP passaram a ser realizadas com microcomputadores adquiridos através de convênios com a ELETROBRÁS e recursos próprios. Atualmente, o laboratório é coordenado pela professora Núbia Silva Dantas Brito.

O LSP tem como finalidade básica o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão, com ênfase no estudo de métodos para simulação de sistemas elétricos, modelagem digital de equipamentos elétricos, redes neurais, desenvolvimento de interfaces gráficas, etc. Os usuários do LSP constituem-se de professores, alunos de pós-graduação e alunos de iniciação científica.

3. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

No Laboratório de Alta Tensão, onde ocorreu o estágio, realizaram-se as atividades de manutenção na bancada do Kit de Alta Tensão, desenvolvimento de uma rotina de apoio à decisão para diagnóstico de isoladores e, por fim, uma série de ensaios elétricos para avaliação do estado de degradação de isoladores poliméricos. Todas as atividades foram acompanhadas por professores ou alunos de pós-graduação do GSE, e serão detalhadas nas próximas seções.

3.1. MANUTENÇÃO DA BANCADA DO KIT DE ALTA TENSÃO

A mesa de controle do Kit de Alta Tensão (descrito no item 2.4) possui várias chaves de controle, e, dentre elas, duas chaves para ajuste da tensão aplicada (S14 e S15). Essas chaves são apresentadas na Figura 1(b), e o diagrama elétrico do setor do circuito onde as mesmas atuam pode ser visto na Figura 2. A chave à direita da Figura 1(b) aumenta e diminui a tensão aplicada com uma taxa de crescimento ou redução máxima. A chave da esquerda, por sua vez, é responsável pelo ajuste fino, regulando a tensão numa velocidade que varia 0 a 100% da velocidade máxima, de acordo com a regulação do potenciômetro mostrado na Figura 1(c).



(a)



(b)



(c)

Figura 1. (a) Painel de controle da mesa de controle do Kit de Alta Tensão; (b) Reguladores de tensão em detalhe; (c) Regulador de velocidade em detalhe.

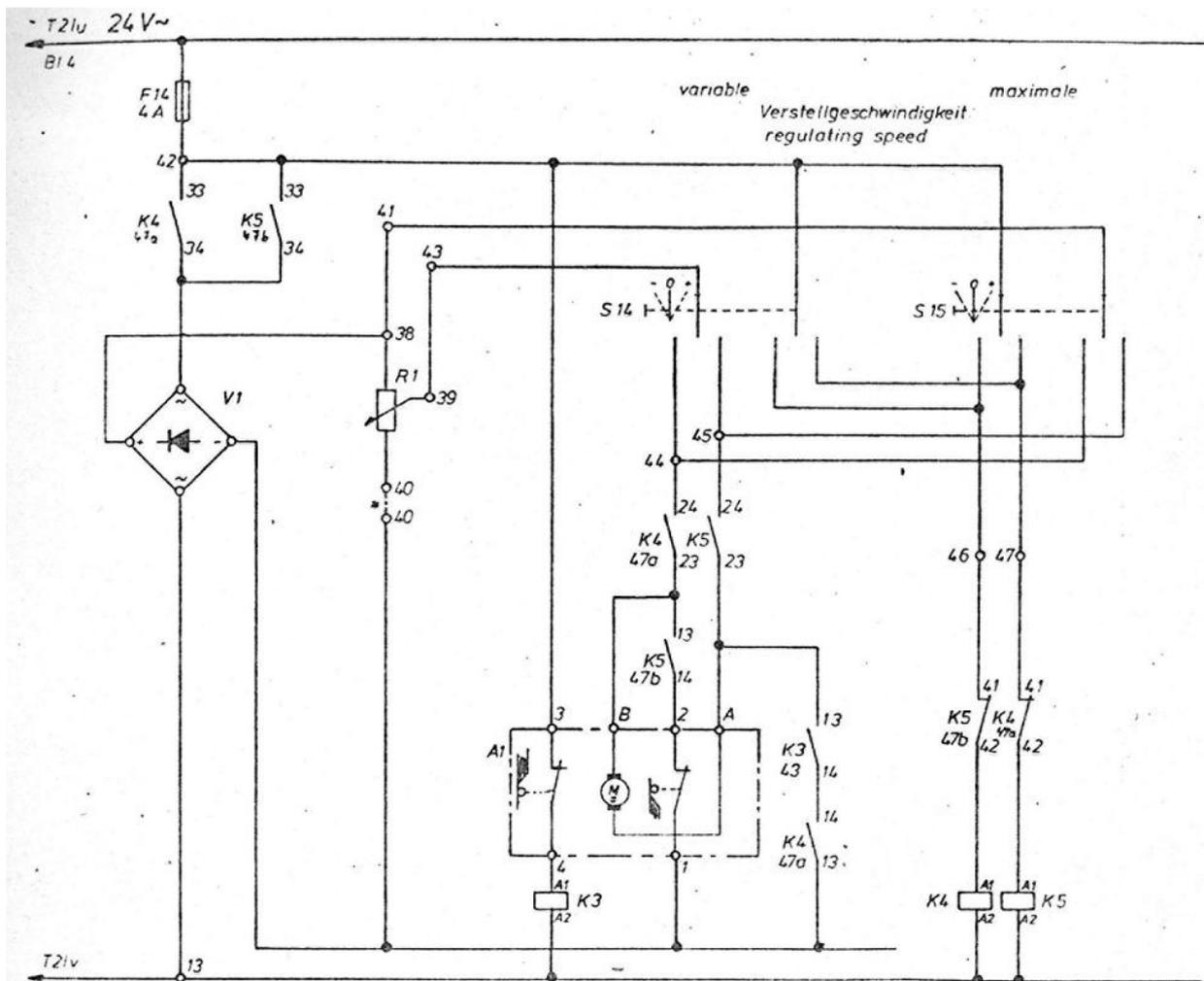


Figura 2. Diagrama elétrico do setor do circuito onde atuam as chaves de ajuste de tensão (S14 e S15).

Após alguns anos sem manutenção, os controles do equipamento apresentavam alguns problemas. O ajuste de velocidade já se encontrava quebrado há algum tempo, o que dificultava a aplicação de valores precisos de tensão. Como se pode ver na Figura 3, os contatos das chaves encontravam-se bastante degradados. As partes plásticas estavam ressecadas e quebradiças, e uma limpeza havia resultado na quebra dos encaixes de três contatos, inutilizando as chaves S14 e S15 e, conseqüentemente, algumas funções importantes do equipamento.

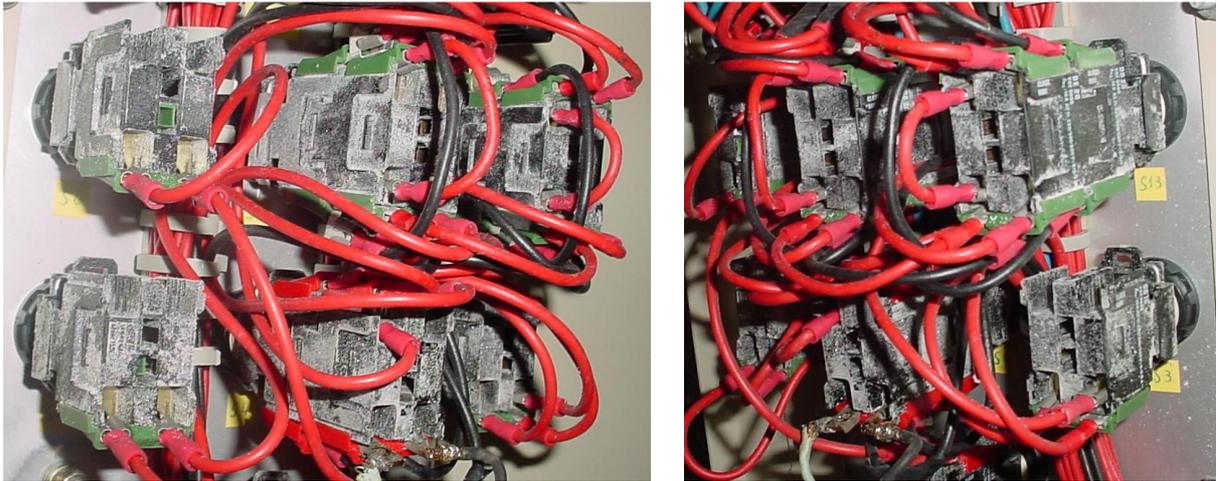
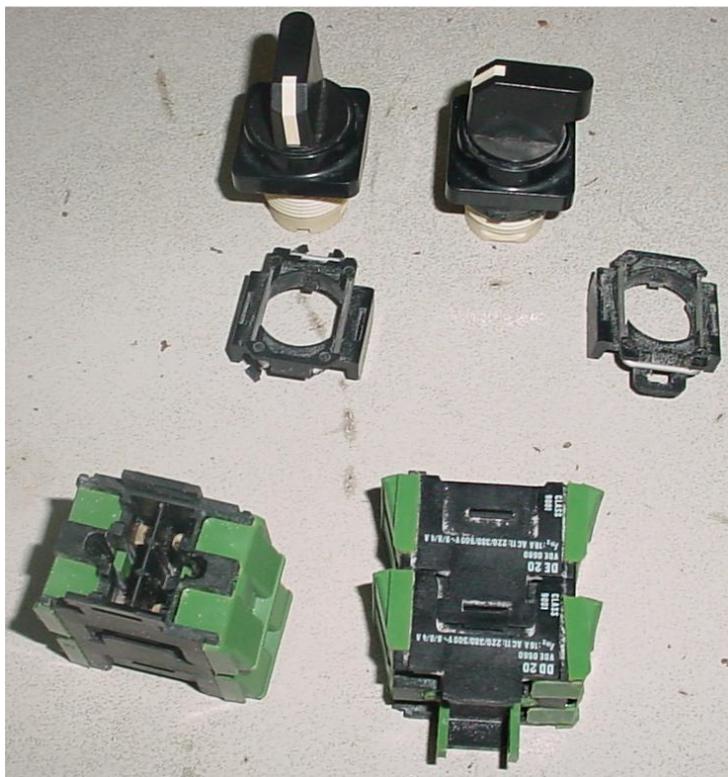
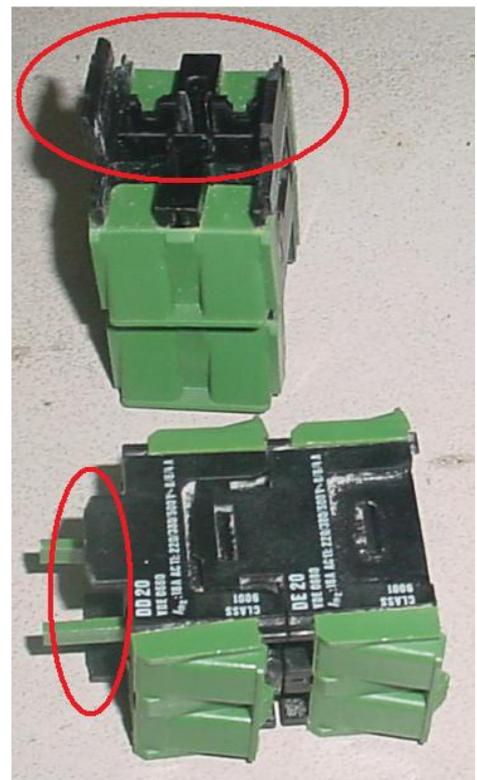


Figura 3. Contatos dos controles do Kit de Alta Tensão, em detalhe.

Como não foi possível encontrar contatos cujos encaixes fossem compatíveis com os danificados, todo o conjunto (duas chaves e oito contatos) precisou ser substituído. As chaves retiradas, juntamente com seus contatos, são mostradas Figura 4. O diagrama elétrico do circuito, já apresentado na Figura 2, é mostrado por completo no Anexo A.



(a)



(b)

Figura 4. (a) Chaves e contatos substituídos; (b) Encaixes danificados dos contatos, destacados em vermelho.

Na Figura 5, mostrada a seguir, pode-se observar a vista posterior da mesa de controle, após a substituição dos componentes danificados.

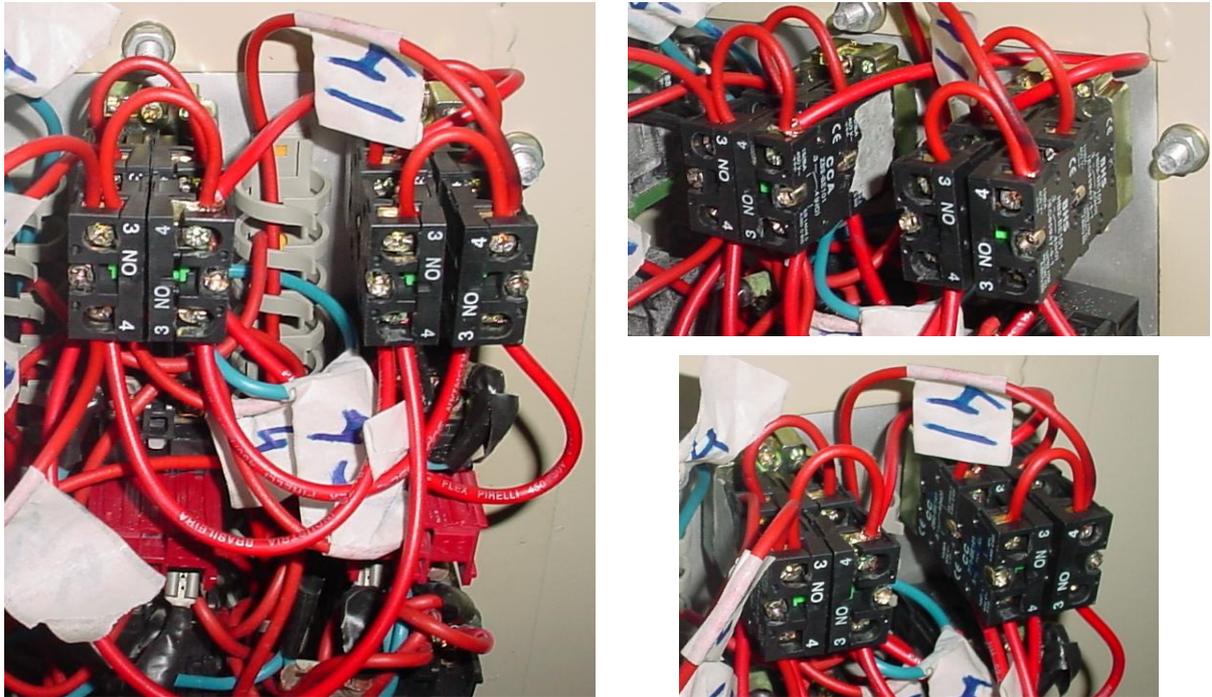


Figura 5. Novos contatos das chaves S14 e S15.

Após a substituição, a mesa de controle do Kit de Alta Tensão voltou a operar perfeitamente. Ambas as chaves de regulação de tensão funcionaram conforme esperado, e o regulador de velocidade, responsável pela alteração da taxa de crescimento ou redução através da chave S14, funcionou normalmente.

3.2. DIAGNÓSTICO DE ISOLADORES ATRAVÉS DE REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS

Quando energizado, um isolador frequentemente apresenta emissão de ruído acústico. Tal fenômeno é uma das manifestações físicas das descargas corona, que ocorrem em torno de um eletrodo energizado quando a energia do campo elétrico criado pelo mesmo ultrapassa a energia de ionização do meio isolante (gás). Além do ruído acústico, as descargas corona geram ondas de radiação ultravioleta, ozônio, erosão mecânica da superfície, ondas eletromagnéticas na faixa de radio recepção, dentre outros efeitos (BARTNIKAS & McMAHON, 1979).

Empiricamente, sabe-se que os padrões de emissão acústica mudam de acordo com o grau de poluição ou umidade no ambiente onde o isolador opera, além de serem influenciados por defeitos suficientemente pronunciados no isolamento. O objetivo do experimento foi determinar o estado de isoladores através de uma técnica não-invasiva. Esta técnica envolve a detecção do ruído ultra-sônico emitido pelo equipamento, e sua posterior classificação baseada em um software de apoio à tomada de decisão.

3.2.1. Redes Neurais Artificiais

As redes neurais artificiais (RNA) são modelos de processamento de informação inspirados na estrutura física natural do cérebro humano. Conceitualmente, RNA são sistemas paralelos, não lineares e distribuídos, compostos por unidades de processamento simples (neurônios). Essas unidades, por sua vez, estão dispostas em estruturas interligadas por um grande número de conexões (sinapses).

Dentre as características inerentes às redes neurais artificiais, a principal é a capacidade de se adaptar a novas situações. Tal capacidade é alcançada a partir de um estágio de aprendizado (treinamento), onde o conhecimento sobre a aplicação é passado através de exemplos (SILVA, 2005). Outra característica importante é a de generalização, quando se avaliam com sucesso outros padrões similares, mas não necessariamente idênticos aos utilizados durante o aprendizado (HAYKIN, 2001).

Em diversas situações redes neurais artificiais são empregadas para classificar padrões. Cada classe C contém n padrões que a representam, e a união de todos os padrões de todas as classes é chamada base de dados, como graficamente representado na Figura 6. Todas as classes têm o mesmo número de padrões, a fim de que a RNA não seja apresentada a um número maior de padrões de determinada classe, o que poderia limitar sua capacidade de generalização.

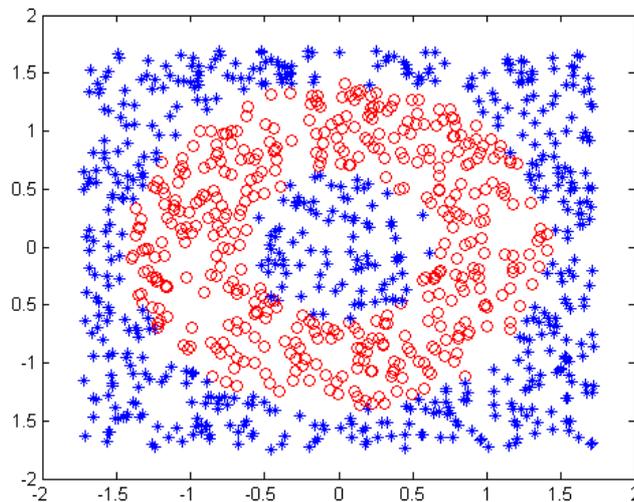


Figura 6. Representação de uma base de dados com 1000 amostras bidimensionais, divididas em duas classes (FERREIRA, 2008).

Uma vez definida a base de dados, seus padrões são aleatoriamente dispostos, e divididos em três subconjuntos: treinamento, validação e teste.

- **Treinamento:** Responsável por passar efetivamente o conhecimento sobre a aplicação em questão. Durante a etapa de treinamento todos os padrões de treinamento são apresentados sucessivas vezes à RNA, em iterações chamadas Épocas.
- **Validação:** O conjunto de validação é utilizado para supervisionar o desenvolvimento da capacidade de generalização da rede durante a fase de aprendizagem. Ao fim de cada época o conjunto de dados de validação é apresentado à RNA, permitindo-se verificar se a rede consegue tomar decisões corretas a partir de dados que não compõem o conjunto de treinamento.
- **Teste:** o conjunto de teste só é aplicado ao final da etapa de aprendizagem, para verificar a qualidade do aprendizado da rede.

Dentre as diversas arquiteturas de RNA, destacam-se como muito difundidas as redes Perceptron de Múltiplas Camadas, ou redes MLP (*Multilayer Perceptron*), consiste de uma camada de entrada constituída de unidades sensoriais, uma ou mais camadas ocultas e uma camada de saída, todas conectadas, conforme mostrado na Figura 7.

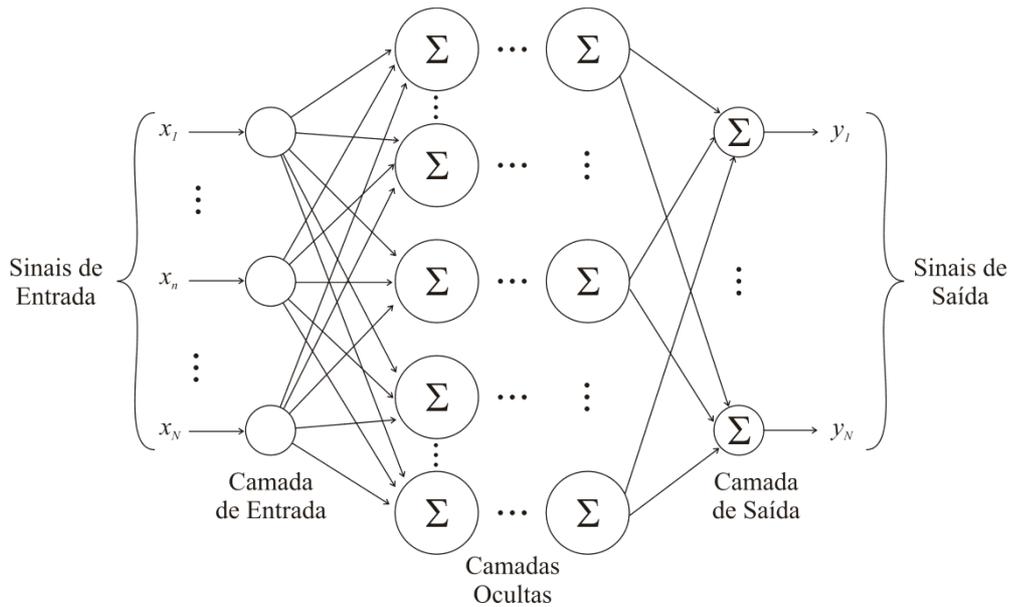


Figura 7. Arquitetura de uma rede Perceptron de Múltiplas Camadas.

3.2.2. Materiais e Métodos

Foram realizados ensaios utilizando isoladores de vidro, de aproximadamente 3,5 kg cada, contaminados com graus diferentes de poluição (atmosfera limpa, contaminação leve e contaminação muito pesada) e preparados em conformidade com os critérios estabelecidos por EPRI (1975). Os pares de isoladores foram conectados a um braço de torre montado dentro do laboratório de alta tensão da UFCG. O circuito experimental pode ser contemplado na Figura 8.

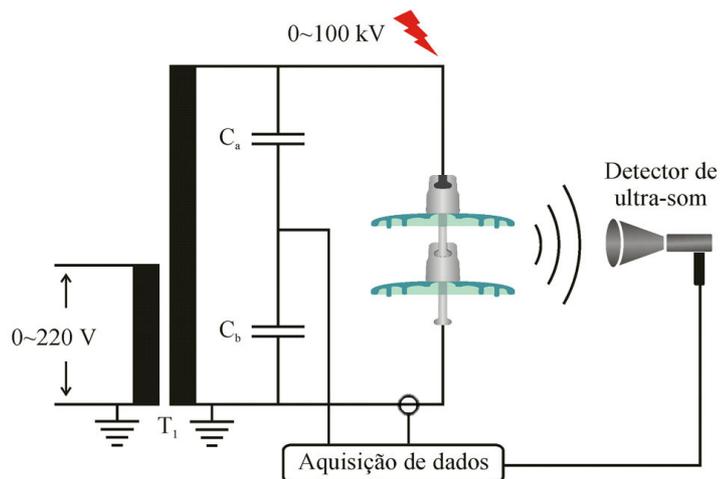


Figura 8. Diagrama esquemático dos isoladores empregados nos ensaios (FERREIRA, 2008).

De acordo com o ajuste na mesa de comando (não representada na Figura 8), o transformador T_1 fornece ao arranjo alta tensão. Os capacitores C_a e C_b formam um divisor de tensão que permite a medição indireta e segura da alta tensão pelo sistema de aquisição de dados. Os sinais de ultra-som emitidos pelo isolador são adquiridos pelo detector, e em seguida digitalizados pelo sistema de aquisição de dados. A corrente de fuga foi também adquirida e digitalizada.

Através de uma câmara de névoa, era produzido um ambiente de umidade saturada em torno de duas unidades de isoladores, sobre as quais previamente foram pulverizadas soluções contendo os diferentes níveis de poluição. A partir deste instante, era aplicada tensão elétrica até se atingir o nível de 14 kV, suficiente para produzir descargas superficiais sem conduzir o isolador à descarga total.

Segundo BEZERRA et al. (2003) a distribuição de tensão para as duas unidades é linear, representando, portanto, que cada unidade foi submetida à tensão de ensaio 7 kV durante todo o experimento. Depois de energizado, o arranjo foi mantido em regime permanente por alguns minutos, a fim de estabilizar os padrões de emissão ultra-sônica. Em seguida, foram realizadas aquisições de ultra-som de aproximadamente cinco segundos. As taxas de aquisição utilizadas sempre respeitaram os critérios de Nyquist-Shanon. Os arquivos de áudio capturados foram, em seguida, tratamento computacionalmente.

Dado que o processo de aprendizagem da RNA tem início com pesos sinápticos aleatórios, é natural que para uma mesma base de dados, o tempo de aprendizagem e as taxas de acertos sejam diferentes em execuções distintas do algoritmo. No intuito de reduzir os efeitos desta aleatoriedade inicial, cada base de dados foi processada 10 vezes, e em seguida foram calculados média e desvio padrão para o conjunto de taxas de acerto da base de dados em questão.

3.2.3. Resultados

Os sinais de ruído ultra-sônicos foram utilizados para treinar a RNA, a fim de que a mesma detectasse as particularidades de cada classe e efetuasse a classificação dos padrões. Na Figura 9 podem-se ver os sinais das três classes de ruído ultra-sônico, após tratamento e condicionamento dos dados.

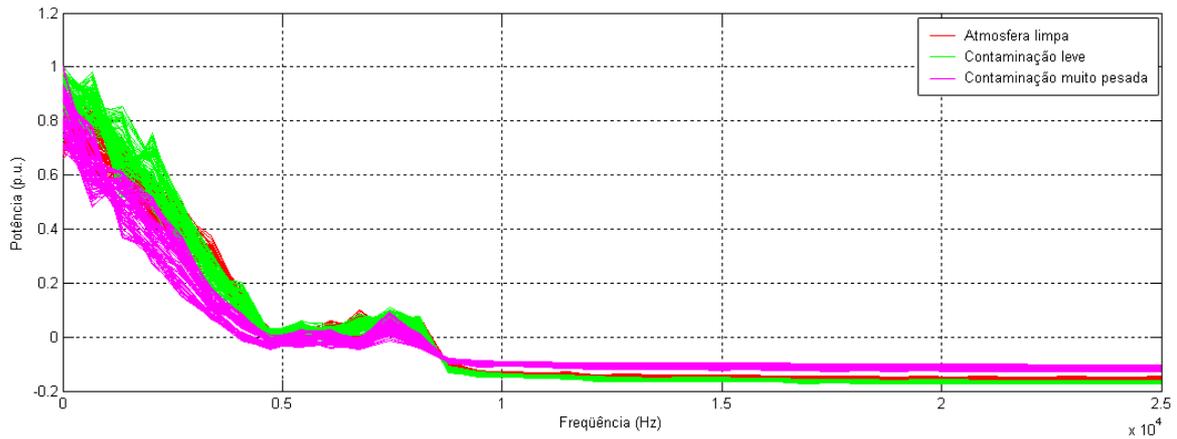


Figura 9. Sinais das amostras de três classes de ruído ultra-sônico, plotados de maneira sobreposta (FERREIRA, 2008).

Os resultados das 10 execuções do algoritmo para a base de dados podem ser observados na Tabela 1, onde se verifica altas taxas de acerto, com baixíssimo desvio padrão. É importante ressaltar que como existiam três classes apenas, caso as saídas da rede neural fossem determinadas ao acaso, haveria 33% de probabilidade de acerto. Os valores obtidos representam, portanto, excelentes resultados.

Tabela 1. Taxas de acertos baseadas em três classes de ruído ultra-sônico.

| Execução | Percentual de acertos (%) |
|----------------------|---------------------------|
| 1 | 100,00 |
| 2 | 100,00 |
| 3 | 97,50 |
| 4 | 100,00 |
| 5 | 100,00 |
| 6 | 100,00 |
| 7 | 100,00 |
| 8 | 100,00 |
| 9 | 97,50 |
| 10 | 100,00 |
| Média | 99,50 |
| Desvio Padrão | 0,80 |

3.3. ENSAIOS ELÉTRICOS

A motivação desta seção vem da grande variedade de agentes degradantes aos quais os isoladores poliméricos estão sujeitos. Os materiais que constituem os isoladores poliméricos devem, portanto, apresentar uma substancial robustez a estes fatores. Dentre os fatores degradantes se incluem agentes mecânicos, químicos, ambientais e elétricos.

Os ensaios elétricos apresentados nesta seção são resultados parciais de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento da CELPE/CPqD/UFCG-PaqTcPB, que visa à realização de Ensaio Elétrico para Envelhecimento Acelerado e Ensaio Elétrico para Diagnóstico, com o objetivo de avaliar os efeitos elétricos da degradação de isolamentos poliméricos.

Entre os equipamentos ensaiados encontram-se isoladores poliméricos de suspensão e de pino, espaçadores em forma de losango para linhas trifásicas compactas, pára-raios e laços plásticos de topo para isoladores de pino. Todos estes equipamentos são novos, retirados do almoxarifado. Os ensaios elétricos realizados foram: medição de corrente de fuga, tensão suportável em 60 Hz e tensão de descarga disruptiva. A metodologia utilizada em cada um dos ensaios e os resultados obtidos são apresentados nas próximas seções.

3.3.1. Corrente de Fuga

A corrente de fuga de um isolamento ou pára-raios fornece informações importantes acerca do estado de operação do equipamento. No caso dos isoladores, uma elevada corrente de fuga pode indicar presença de poluição, perda da capacidade isolante do material polimérico, carbonização, etc. Um isolador em boas condições geralmente apresenta corrente de fuga da ordem de alguns microampère, quando exposto a sua tensão nominal de operação.

Nos pára-raios de óxido de zinco, que apresentam correntes típicas de alguns décimos de miliampère, a extração de informações pode ser realizada também em termos de componentes harmônicas da corrente. Este tipo de análise pode indicar o grau de deterioração dos elementos varistores, constituintes semicondutores fundamentais do pára-raios.

O ensaio para medição de corrente de fuga pode ser descrito como um arranjo experimental no qual o equipamento sob ensaio é submetido à alta tensão enquanto a corrente do circuito é medida. A Figura 10 apresenta um diagrama esquemático da montagem para medição da corrente de fuga.

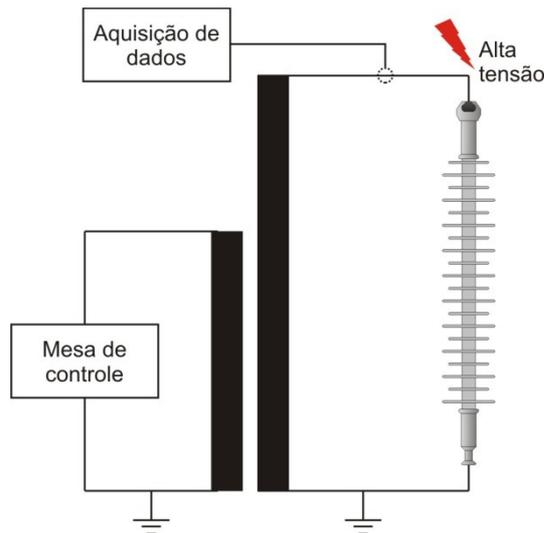


Figura 10. Diagrama esquemático da montagem para medição da corrente de fuga.

Seis amostras de cada equipamento foram submetidas aos ensaios. Neste relatório serão apresentados apenas os resultados referentes aos isoladores de suspensão e espaçadores em forma de losango.

3.3.1.1. *Isoladores poliméricos classe 15 kV (suspensão), Inael.*

Os isoladores poliméricos, 15 kV, da marca Inael, tiveram suas correntes de fuga medidas a seco. Uma fotografia do arranjo pode ser vista na Figura 11. Os resultados podem ser contemplados na Tabela 2.



Figura 11. Arranjo para aferição da corrente de fuga dos isoladores Inael, 15 kV.

Observações:

- Equipamentos novos, sem presença de poluição;
- Tensão máxima de operação nominal do equipamento em regime (1.1 p.u.): 12,39 kV.
- Temperatura ambiente: 23,1°C
- Umidade ambiente: 82%

Tabela 2. Aferição da corrente de fuga dos isoladores Inael.

| Amostra | Tensão aplicada (kV _{pico}) | Corrente de fuga (μA _{pico}) |
|--------------|---------------------------------------|--|
| Is15_inael 1 | 13,63 | 12,93 |
| Is15_inael 2 | 13,01 | 13,47 |
| Is15_inael 3 | 13,01 | 10,24 |
| Is15_inael 4 | 13,01 | 10,24 |
| Is15_inael 5 | 13,01 | 11,31 |
| Is15_inael 6 | 13,51 | 11,04 |

Na Figura 12 são mostrados os sinais de tensão aplicada e corrente de fuga para todas as amostras ensaiadas. É importante observar que as grandezas apresentadas na Figura 12 representam sinais obtidos nos divisores de tensão e no resistor shunt.

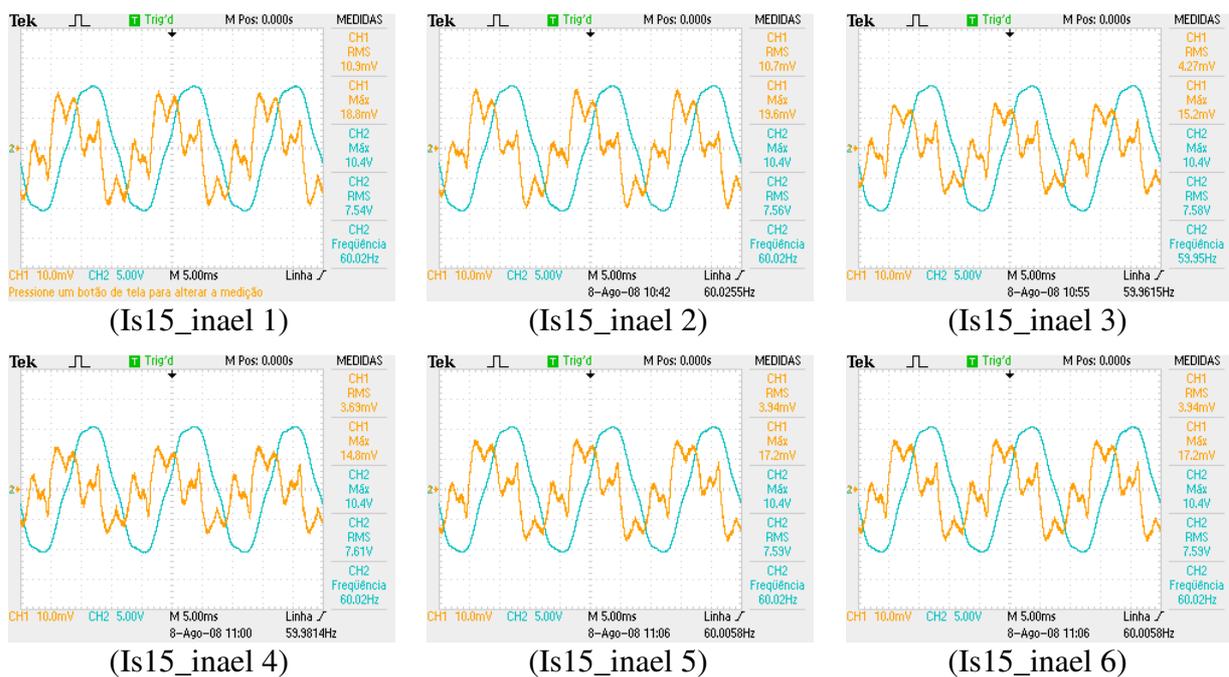


Figura 12. Sinais de tensão aplicada e corrente de fuga dos isoladores Inael, 15 kV.

As distorções visíveis nos sinais de corrente são resultado da presença de ruídos externos à medição, bem como à influência de capacitâncias e indutâncias parasitas. Todos os isoladores apresentaram correntes de fuga típicas e coerentes com seu estado de conservação e poluição.

3.3.1.2. Espaçador em forma de losango, classe 15 kV, Prysman.

Os espaçadores em forma de losango, classe 15 kV, da marca Prysman tiveram suas correntes de fuga medidas a seco. Uma fotografia do arranjo pode ser vista na Figura 13. Os resultados podem ser contemplados na Tabela 3.



Figura 13. Arranjo para aferição da corrente de fuga dos espaçadores Prysman, 15 kV.

Observações:

- Equipamentos novos, sem presença de poluição;
- Tensão máxima de operação nominal do equipamento em regime (1.1 p.u.): 21,46 kV.
- Temperatura ambiente: 23,8°C
- Umidade ambiente: 81 %

Tabela 3. Aferição da corrente de fuga do espaçador em forma de losango, Prysman.

| Amostra | Tensão aplicada (kV _{pico}) | Corrente de fuga (μA _{pico}) |
|-----------------------|---------------------------------------|--|
| el15_Prysman 1 | 21,26 | 62,83 |
| el15_Prysman 2 | 21,51 | 68,18 |
| el15_Prysman 3 | 21,01 | 65,51 |
| el15_Prysman 4 | 21,51 | 66,84 |
| el15_Prysman 5 | 21,26 | 51,18 |
| el15_Prysman 6 | 21,51 | 52,53 |

Na Figura 14 são mostrados os sinais de tensão aplicada e corrente de fuga para todas as amostras ensaiadas. É importante observar que as grandezas apresentadas na Figura 14 representam sinais obtidos nos divisores de tensão e no resistor shunt.

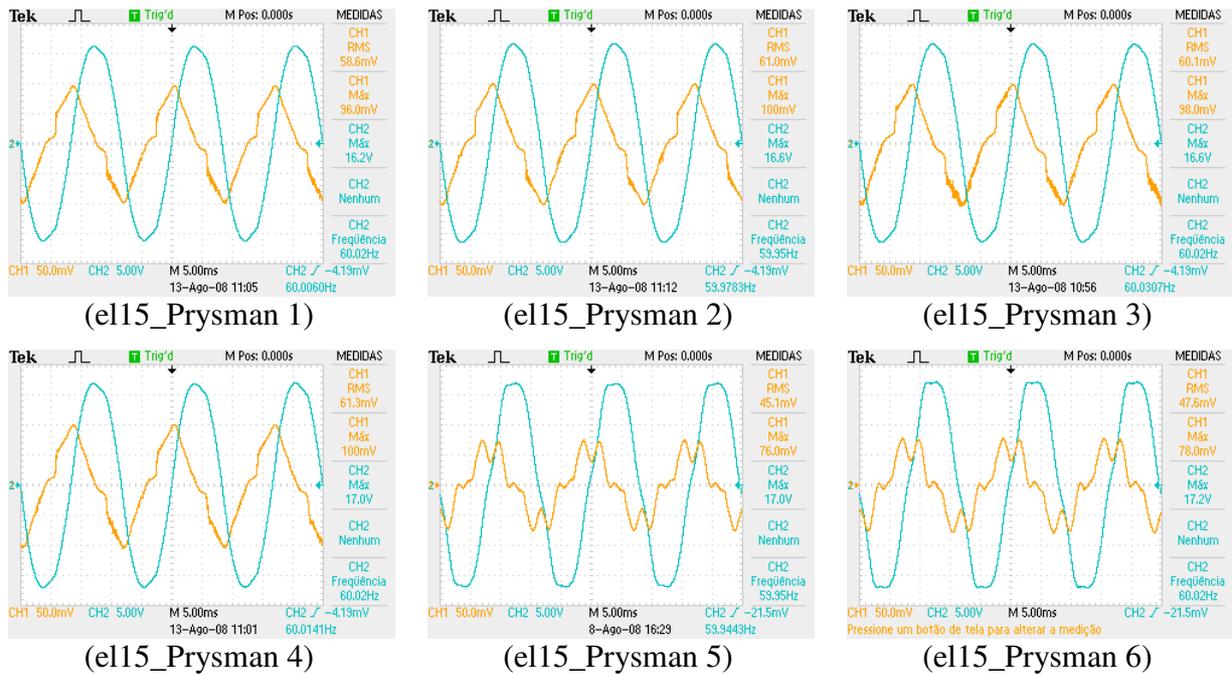


Figura 14. Sinais de tens'o aplicada e corrente de fuga dos espa'adores Prysmar, 15 kV.

As distor'es vis'veis nos sinais de corrente s'o resultado da presen'a de ru'idos externos ' medi'ao, bem como ' influ'ncia de capacit'ncias e indut'ncias parasitas. Todos os espa'adores apresentaram correntes de fuga t'picas e coerentes com seu estado de conserva'ao e polui'ao.

3.3.2. Tens'o Suport'vel em 60 Hz

No ensaio de tens'o suport'vel em 60 Hz o isolador ' submetido ' tens'o na freq'u'ncia industrial. A tens'o de ensaio deve ser mantida por um intervalo de tempo de 60 segundos. De acordo com a norma NBR 6936, o ensaio ser' considerado satisfat'rio se n'o ocorrer nenhuma descarga disruptiva no isolador. Neste tipo de ensaio, deve-se levar em considera'ao a tens'o de pico da sen'ide. O diagrama esquem'tico do ensaio pode ser visto na Figura 10.

3.3.2.1. Isoladores polim'ricos classe 15 kV (suspens'ao), Inael.

Realizou-se o ensaio de tens'o suport'vel em 60 Hz nos isoladores polim'ricos, 15 kV, da marca Inael. Uma fotografia do arranjo pode ser vista na Figura 11. Os resultados podem ser contemplados na Tabela 4.

Observações:

- Equipamentos novos, sem presença de poluição;
- Tensão máxima de operação nominal do equipamento em regime (1.1 p.u.): 12,39 kV.
- Temperatura ambiente: 23,1°C
- Umidade ambiente: 82%

Tabela 4. Resultados do ensaio de tensão suportável em 60 Hz dos isoladores Inael.

| Amostra | Tensão aplicada (kV_{pico}) | Resultado |
|---------------------|--|------------------|
| Is15_inael 1 | 13,63 | Aprovado |
| Is15_inael 2 | 13,01 | Aprovado |
| Is15_inael 3 | 13,01 | Aprovado |
| Is15_inael 4 | 13,01 | Aprovado |
| Is15_inael 5 | 13,01 | Aprovado |
| Is15_inael 6 | 13,51 | Aprovado |

Todas as amostras de isoladores foram aprovadas, como esperado para equipamentos novos e não poluídos.

3.3.2.2. *Espaçador em forma de losango, classe 15 kV, Prysman.*

O ensaio de tensão suportável em 60 Hz foi realizado nos espaçadores em forma de losango, classe 15 kV, da marca Prysman. Uma fotografia do arranjo pode ser vista na Figura 13. Os resultados podem ser contemplados na Tabela 5.

Observações:

- Equipamentos novos, sem presença de poluição;
- Tensão máxima de operação nominal do equipamento em regime (1.1 p.u.): 21,46 kV.
- Temperatura ambiente: 23,8°C
- Umidade ambiente: 81 %

Tabela 5. Resultados do ensaio de tensão suportável em 60 Hz dos espaçadores Prysman.

| Amostra | Tensão aplicada (kV_{pico}) | Resultado |
|-----------------------|--|------------------|
| el15_Prysman 1 | 21,26 | Aprovado |
| el15_Prysman 2 | 21,51 | Aprovado |
| el15_Prysman 3 | 21,01 | Aprovado |
| el15_Prysman 4 | 21,51 | Aprovado |
| el15_Prysman 5 | 21,26 | Aprovado |
| el15_Prysman 6 | 21,51 | Aprovado |

Todas as amostras de espaçadores foram aprovadas, como esperado para equipamentos novos e não poluídos.

3.3.3. Tensão de Descarga Disruptiva

O ensaio tensão de descarga disruptiva avalia se os equipamentos ensaiados suportam a tensão senoidal de operação para a qual foram desenvolvidos. A tensão aplicada é elevada continuamente, até que ocorra descarga disruptiva do isolador. O valor deve ser corrigido para as condições atmosféricas normalizadas. O valor final é a média entre cinco descargas consecutivas. De acordo com a NBR 5032, o isolador é aprovado se o valor da tensão de descarga a seco não for inferior a 95% do valor nominal¹ de tensão disruptiva. O diagrama esquemático do ensaio pode ser visto na Figura 10.

3.3.3.1. Isoladores poliméricos classe 15 kV (suspensão), Inael.

O ensaio de tensão disruptiva foi realizado em uma amostra (is15_inael 7) do isolador polimérico, 15 kV, da marca Inael. Uma fotografia do arranjo pode ser vista na Figura 11. Os resultados podem ser contemplados na Tabela 6.

Observações:

- Equipamento novo, sem presença de poluição;
- Tensão máxima de operação nominal do equipamento em regime (1.1 p.u.): 12,39 kV.
- 95% da tensão máxima nominal do equipamento em regime: 11,77 kV.
- Temperatura ambiente: 22,1°C
- Umidade ambiente: 83 %

Tabela 6. Resultados do ensaio de tensão disruptiva do isolador Inael.

| is15_inael 7 | Tensão (kV _{pico}) | Tensão Normalizada (kV _{pico}) |
|--------------------|------------------------------|--|
| Ruptura 01 | 85,70 | 88,83 |
| Ruptura 02 | 84,90 | 88,00 |
| Ruptura 03 | 86,80 | 89,97 |
| Ruptura 04 | 87,00 | 90,18 |
| Ruptura 05 | 86,60 | 89,77 |
| Valor Médio | 86,20 | 89,35 |

O isolador foi aprovado, como esperado para equipamentos novos e não poluídos. Após o ensaio, verificou-se que o material polimérico na última aleta do isolador foi carbonizado (aleta mais próxima da ferragem do lado terra). Também se pôde observada a formação de raízes de arco nos anéis de corona de ambas as ferragens. Os equipamentos ensaiados tiveram um desempenho satisfatório. O acabamento das ferragens mostrou-se deficiente.

¹ Valor fixado pelo fabricante para uma determinada característica de um isolador.

3.3.3.2. Espaçador em forma de losango, classe 15 kV, Prysman.

Realizou-se o ensaio de tensão disruptiva em uma amostra (el15_Prysman 7) do espaçador em forma de losango, classe 15 kV, da marca Prysman. Uma fotografia do arranjo pode ser vista na Figura 13. Os resultados podem ser contemplados na Tabela 7.

Observações:

- Equipamento novo, sem presença de poluição;
- Tensão máxima de operação nominal do equipamento em regime (1.1 p.u.): 21,46 kV.
- 95% da tensão máxima nominal do equipamento em regime: 20,39 kV.
- Temperatura ambiente: 23,5°C
- Umidade ambiente: 88 %

Tabela 7. Resultados do ensaio de tensão disruptiva do espaçador Prysman.

| el15_Prysman 7 | Tensão (kV_{pico}) | Tensão Normalizada (kV_{pico}) |
|-----------------------|-----------------------------------|---|
| Ruptura 01 | 74,00 | 77,07 |
| Ruptura 02 | 73,00 | 76,03 |
| Ruptura 03 | 74,00 | 77,07 |
| Ruptura 04 | 71,00 | 73,94 |
| Ruptura 05 | 76,00 | 79,15 |
| Ruptura 06 | 77,00 | 76,65 |
| Valor Médio | 74,17 | 76,65 |

A amostra do espaçador foi aprovada, como esperado para equipamentos novos e não poluídos. O equipamento não foi visivelmente danificado durante o ensaio.

4. CONCLUSÕES

O estágio realizado, além de necessário para a formação acadêmica, contribuiu para o aumento da experiência do aluno. As atividades desenvolvidas envolveram áreas diversas da engenharia, desde a manutenção de equipamentos, passando pela realização de ensaios elétricos variados, até o desenvolvimento de uma rotina de apoio à decisão, utilizando inteligência artificial.

O aluno continua envolvido no estudo de redes neurais artificiais, assistido por alunos da pós-graduação na generalização da rede desenvolvida, diagnosticando os isoladores não apenas através da medição de ruídos ultra-sônicos, como também corrente de fuga. Estuda-se ainda a capacidade de generalização do algoritmo, tanto em relação à variação de umidade do ambiente quando ao número de isoladores presentes na cadeia.

Os ensaios elétricos continuam em desenvolvimento, atualmente na etapa de realização dos Ensaio Elétricos para Envelhecimento Acelerado. Ao final do processo, todos os Ensaio Elétricos para Diagnóstico serão outra vez realizados, e os efeitos do envelhecimento serão evidenciados.

Durante o estágio, conhecimentos adquiridos em sala de aula foram aplicados em situações práticas, consolidando o aprendizado e atendendo às perspectivas do aluno, que pretendia envolver-se na área de pesquisa, para iniciar sua pós-graduação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTNIKAS, R.; MCMAHON, E. J. **Engineering Dielectrics – Corona Measurement and Interpretation**. Philadelphia, v.1, ASTM Special Technical Publication STP 669, 1979.

BEZERRA, J. M. B.; LIMA, A. M. N.; DEEP, G. S. E; COSTA, E. G. **Estudo da Distribuição de Tensão em Cadeias de Isoladores Aéreos de Alta Tensão em Ambientes Poluídos**. XVII SNPTTE – Seminário Nacional de Produção Transmissão de Energia Elétrica, realizado em Uberlândia, MG, Brasil. 2003.

EPRI – Electric Power Research Institute. **Transmission Line Reference Book: 345 kV and Above**. Fred Weidner & Son Printers, Inc., New York, NY, USA. 1975

FERREIRA, T. V. **Vetores de Energia dos Centróides de Sub-bandas Espectrais Aplicados ao Diagnóstico de Isoladores Elétricos Através de Redes Neurais Artificiais**. 2008. Projeto de Pesquisa (Doutorado em Engenharia Elétrica), Centro de Engenharia Elétrica e Informática. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

GORUR, R. S.; CHERNEY, E. A.; BURNHAM, J. T. **Outdoor Insulators**. Arizona: Ravi S, Gorur, Inc, 1999

GSE. **Grupo de Sistemas Elétricos**. Disponível em: <<http://www.dee.ufcg.edu.br/~gse>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2009.

HAYKIN, S. **Redes Neurais: Princípios e Prática**. 2^a Ed. Porto Alegre: Bookman, 2001

NBR 5032. **Isoladores de Porcelana ou Vidro, para Linhas Aéreas e Subestações de Alta Tensão**. ABNT, Novembro/1984

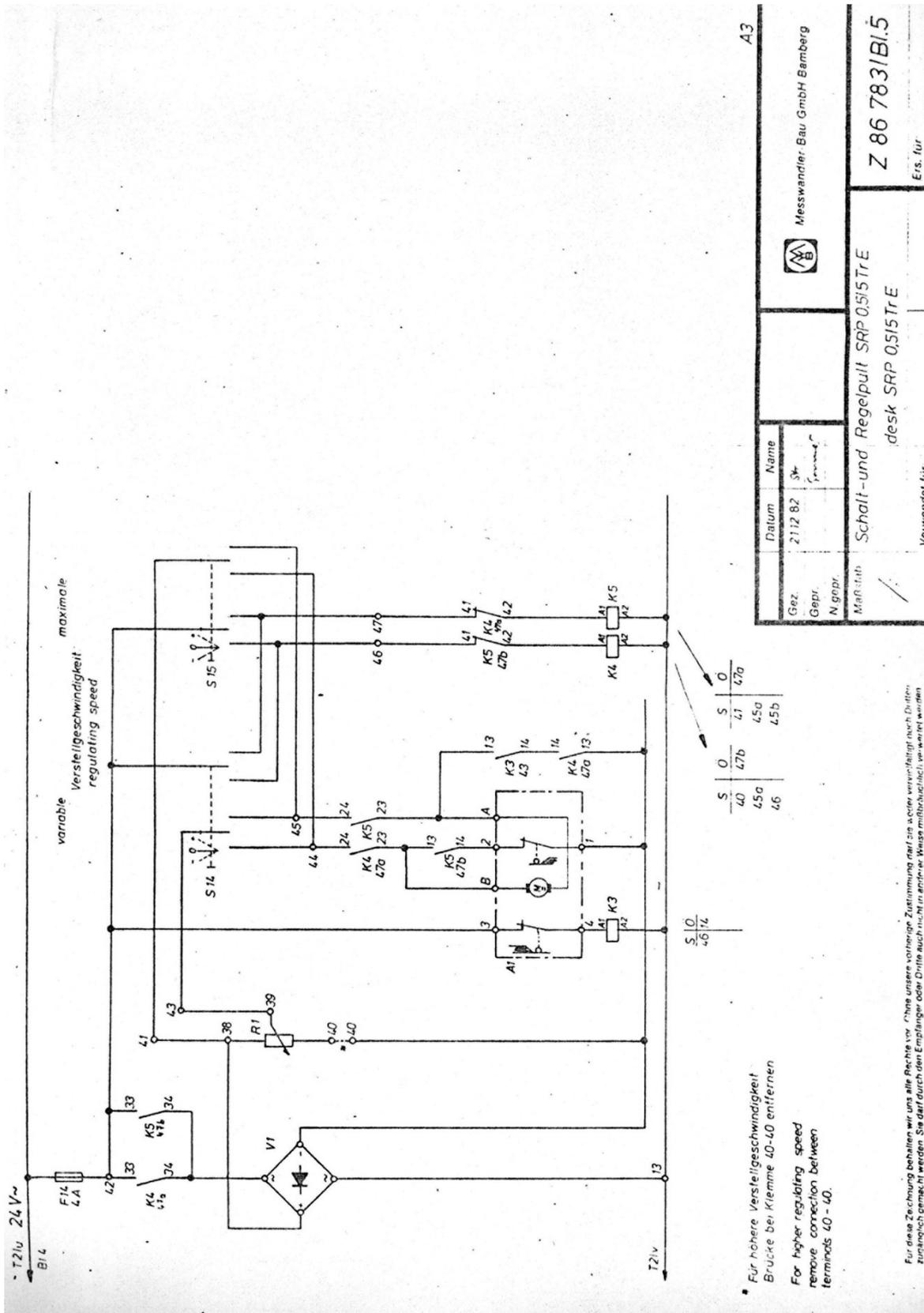
NBR 5410. **Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. ABNT, Novembro/1997.

NBR 6936. **Técnicas de Ensaio Elétricos de Alta Tensão**. ABNT, Abril/1992.

SILVA, K. M. **Diagnóstico de Falhas em Linhas de Transmissão Baseado em Redes Neurais Artificiais e Transformada Wavelet**. 2005. Dissertação de Mestrado, Centro de Engenharia Elétrica e Informática. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

UFPB, CCT, DEE. **Manual do Kit de Alta Tensão**.

ANEXO A



| | | | |
|-------------------------------------|--|--------------------|--|
| Datum | | Name | |
| 21.12.82 | | S. ... | |
| Gez. | | Gepr. | |
| N. gepr. | | | |
| Maßstab | | Verwendet für | |
| Schalt- und Regelpult SRP 0,515 TrE | | desk SRP 0,515 TrE | |
| Messwandler: Bau GmbH Bamberg | | Z 86 783/BI.5 | |
| | | Ers. für | |

Figura A1. Diagrama elétrico completo do setor do circuito onde atuam as chaves de ajuste de tensão (S14 e S15).

