



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

**Curso de Graduação em Engenharia Elétrica**

CAMILA MACIEL ANDRADE

ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Campina Grande, Paraíba  
Fevereiro de 2011

CAMILA MACIEL ANDRADE

## ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à  
Coordenação 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: Eletrotécnica

Orientador:

Professor George Rossany Soares de Lira

Campina Grande, Paraíba  
Fevereiro de 2011

CAMILA MACIEL ANDRADE

## ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação 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: Eletrotécnica

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor George Rossany Soares de Lira**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

*Dedico este trabalho à minha família, fonte da minha força durante esses anos, cuja distância física não impediu que estivessem sempre presente comigo em pensamento.*

## AGRADECIMENTOS

O estágio é um ponto determinante nesse momento decisivo do próximo passo a seguir, saber para onde vamos, e o que realmente iremos fazer nos novos caminhos. Meu estágio teve curta duração devido às circunstâncias, mas boas circunstâncias e mesmo em tão pouco tempo foi de um significado importante pra mim, pois confirmou que realmente estou no caminho certo, me descobri como pesquisadora e uma pessoa ávida por sempre querer mais conhecimento.

Agradeço em especial ao meu orientador George Rossany pela oportunidade de estagiar aqui no Laboratório de Alta Tensão e pelas orientações prestadas. A todos que contribuíram e me ajudaram nesse tempo aqui no GSE: Valdemir, Ademir, Luiz, Alice, Felipe, Gustavo. À Ianna e Nena pela amizade sempre presente e por ter me acolhido durante esse tempo. A Adail, Tchai, Talvanes e todos do Departamento de Engenharia Elétrica, obrigada pela sempre disponibilidade, toda a ajuda e apoio. Agradeço a todos os meus professores durante minha graduação por terem me dado bastante conhecimento, e pela oportunidade de ter cursado com pessoas tão importantes.

Agradeço principalmente à minha família pelo amor, carinho e por sempre acreditar em mim.

Por fim, meus sinceros agradecimentos a cada um que contribuiu com algo para a concretização dessa realização.

*“O primeiro passo em direção ao sucesso é o conhecimento.”*

Nikola Tesla

## RESUMO

Este relatório apresenta as atividades desenvolvidas no âmbito do estágio supervisionado realizado no Laboratório de Alta Tensão na Universidade Federal de Campina Grande no período de 08 a 28 de fevereiro de 2011.

Inicialmente são apresentados alguns conceitos básicos sobre pára-raios de óxido de zinco e isoladores de vidros, em seguida são descritas as atividades realizadas que foram ensaios em pára-raios de óxido de zinco. O objetivo dos ensaios é monitorar e diagnosticar através da medição da corrente de fuga e da termovisão quando um pára-raios esta danificado. O ensaio consistiu em inserir diversos tipos de defeitos aos quais o pára-raios estará sujeito durante a sua operação. Também foram feitos ensaios em isoladores de vidro com o intuito de medir a corrente de fuga, os dados obtidos farão parte de um projeto cujo objetivo é a determinação de intervalos ótimos de limpeza de isolamentos elétricos submetidos à poluição salina.

Palavras chaves: Equipamentos elétricos, Ensaios, Pára-raios, Isoladores, monitoramento.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Princípio de funcionamento do pára-raios. ....	13
Figura 3.2. Curva característica $V \times I$ do pára-raios de ZnO e de SiC. ....	15
Figura 3.3. Operação do dispositivo de alívio de pressão. ....	16
Figura 3.4. Dispositivo para alívio de pressão. ....	16
Figura 3.5. Pára-raios de óxido de zinco. ....	17
Figura 3.6 Componentes dos isoladores de vidro. ....	18
Figura 4.1 Coluna de varistores (1) do pára-raios de óxido de zinco ....	23
Figura 4.2 Pastilhas de varistores (1) degradadas e em boas condições. ....	23
Figura 4.3 Mola (1) da parte superior da coluna de varistores ....	24
Figura 4.4 Flange ....	24
Figura 4.5 Pára-raios de número 1 e 7 com hastes metálicas nas laterais ....	25
Figura 4.6 Processo de vedação da parte inferior com enxofre ....	25
Figura 4.7 Derretimento do enxofre com auxílio do maçarico. ....	26
Figura 4.8 Circuito para medição da corrente de fuga do pára-raios. ....	26
Figura 4.9 Termografia do pára-raios de número 7 com pastilhas degradadas ...	28
Figura 4.10. Termografia do pára-raios de número 7 com pastilhas degradadas	29
Figura 4.11. Curva característica tensão x corrente ( $V \times I$ ) ....	30
Figura 4.12 Termografia do pára-raios de número 7 com umidade interna ....	30
Figura 4.13 Termografia do pára-raios de número 7 com umidade interna ....	31
Figura 4.14. Curva característica tensão x corrente ( $V \times I$ ) ....	31
Figura 4.15 Termografia do pára-raios de número 1 com sal leve ....	32
Figura 4.16 Termografia do pára-raios de número 1 com sal leve ....	32
Figura 4.17. Curva característica tensão x corrente ( $V \times I$ ) ....	33
Figura 4.18 Termografia do pára-raios de número 1 com sal pesado ....	33
Figura 4.19 Termografia do pára-raios de número 1 com sal pesado ....	34
Figura 4.20. Curva característica tensão x corrente ( $V \times I$ ) ....	35
Figura 4.21. Diagrama esquemático dos Isoladores utilizados nos ensaios ....	35
Figura 4.22. Diagrama esquemático do circuito utilizado ....	36
Figura 4.23. Transformador, capacitores e isoladores de vidro. ....	37
Figura 4.24. Mesa de controle, resistor shunte osciloscópio ....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**GSE-** Grupo de Sistemas Elétricos

**MCOV-** Máxima Tensão de Operação Contínua

**SEP-** Sistema Elétrico de Potência

**SiC-** Carboneto de Silício

**UFCG-** Universidade Federal de Campina Grande

**ZnO-** Óxido de Zinco

# SUMÁRIO

1	Introdução .....	11
2	Apresentação da Instituição .....	11
3	Revisão Bibliográfica .....	13
3.1	Pára-raios de Óxido de Zinco com corpo de porcelana .....	13
3.2	Isoladores de Vidro .....	14
3.3	Estrutura e Dos equipamentos estudados.....	14
3.3.1	Pára-raios de óxido de Zinco com corpo de porcelana .....	14
3.3.2	Isoladores de Vidro .....	17
3.3.3	Monitoramento e diagnóstico dos pára-raios de óxido de zinco.....	19
3.3.4	Monitoramento e diagnóstico dos Isoladores de Vidro.....	21
4	Atividades Realizadas .....	21
4.1	Ensaio em Pára-raios de Óxido de Zinco .....	22
4.1.1	Materiais.....	22
4.1.2	Métodos.....	22
4.1.3	Resultados .....	28
4.2	Ensaio em Isoladores de Vidro.....	36
5	Considerações Finais .....	38
	Referências Bibliográficas.....	39
	ANEXO .....	41

# 1 INTRODUÇÃO

A proteção de equipamentos contra sobretensões de origem externa (por exemplo, descargas atmosféricas) ou internas (por exemplo, surtos de manobra) são de grande importância em projetos de sistemas de energia, tal proteção é realizada através da instalação de equipamentos apropriados, os pára-raios, que reduzem o nível de sobretensão a valores compatíveis com a suportabilidade desses sistemas.

Outros elementos que estão presentes e possuem grande relevância para um bom funcionamento dos sistemas elétricos são os isoladores. Sua função é isolar os condutores, submetidos a uma diferença de potencial em relação à terra ou em relação a um outro condutor de fase.

Assim, é nessa premissa de aperfeiçoar e prover um desenvolvimento para uma utilização cada vez mais eficiente e precisa desses equipamentos que se baseiam as pesquisas relacionadas com pára-raios e isoladores.

O presente relatório é referente ao estágio supervisionado realizado no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) com o Grupo de Sistemas Elétricos (GSE) na cidade de Campina Grande durante o mês de fevereiro de 2011 com duração de 120h.

O objetivo do mesmo foi a realização de ensaios em pára-raios e isoladores com a finalidade de monitorar e diagnosticar a situação em que se encontram os equipamentos. Tal monitoramento foi feito através da medição da corrente de fuga com levantamento da curva característica ( $V \times I$ ), medição da temperatura utilizando a termovisão e análise dos resultados referentes às diversas degradações que estes equipamentos estarão sujeitos durante sua utilização.

## 2 APRESENTAÇÃO DA INSTITUIÇÃO

O Grupo de Sistemas Elétricos (GSE) da Universidade Federal de Campina Grande é o resultado da fusão dos antigos grupos de Sistemas de Potência e de Alta Tensão, ocorrida em 1999. A fusão dos dois grupos resultou na incorporação de novas

linhas de pesquisa, além da consolidação e fortalecimento das linhas de pesquisa existentes [1].

O GSE tem como finalidade básica o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão relacionadas à ênfase eletrotécnica. As atividades de extensão incluem projetos, ensaios, cursos e consultorias para empresas de energia [1].

Atualmente as principais linhas de pesquisa do GSE são:

- 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.

O GSE presta serviços a empresas de vários portes, tanto do setor elétrico quanto de outros ramos de atuação. Além dos serviços de projetos e consultoria, são realizadas inspeções de manutenção preventiva e manutenção preditiva, onde se utilizam as mais sofisticadas ferramentas de diagnóstico [1].

Alguns serviços prestados:

- Ensaio elétrico:
  - Transformadores de Potência;
  - Transformadores de Corrente;
  - Transformadores de Potencial;
  - Pára-raios;
  - Chaves;
  - Luvas, Calçados e Capacetes Isolantes;
  - Disjuntores.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 PÁRA-RAIOS DE ÓXIDO DE ZINCO COM CORPO DE PORCELANA

Os pára-raios de óxido de zinco têm sido largamente utilizados em sistemas de potência na proteção contra sobretensões atmosféricas e de manobra. Eles estão continuamente submetidos à tensão de operação normal do sistema e às sobretensões que neles ocorrem. Usualmente o dispositivo de proteção é conectado entre a linha e a terra, com a finalidade de limitar a sobretensão a níveis compatíveis com o isolamento dos demais equipamentos do sistema elétrico. Caracterizam-se por uma curva  $VxI$  não-linear, com condução muito baixa para níveis normais de tensão exercendo assim pouca influência no sistema. Já na presença de surtos, apresentam uma redução brusca de sua resistência, convertendo a energia elétrica absorvida em energia térmica e dissipando-a para o meio ambiente através do efeito Joule [2].

A Figura 3.1 ilustra o princípio fundamental de funcionamento do pára-raios.

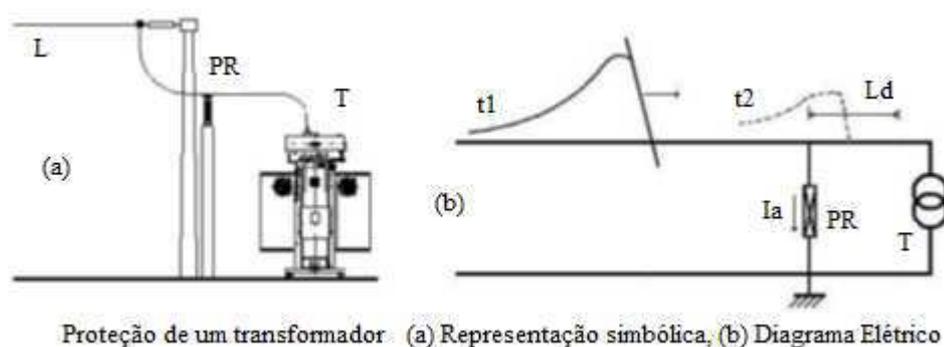


Figura 3.1. Princípio de funcionamento do pára-raios [2].

Quando uma onda ( $t1$ ) incide em direção a um transformador (T) através da linha (L), o pára-raios (PR) absorve uma onda de corrente ( $Ia$ ) fazendo com que a tensão terminal no transformador seja apenas a onda ( $t2$ ). No caso de uma sobretensão atmosférica a amplitude de  $t2$  não danificará o isolamento do transformados se a distância  $Ld$  é suficientemente pequena. A distância máxima permitida entre o pára-

raios e o transformador é convenientemente verificada através de simulações e programas digitais de transitórios eletromagnéticos [2].

## 3.2 ISOLADORES DE VIDRO

Os isoladores de vidro são elementos sólidos dotados de propriedades mecânicas capazes de suportar os esforços produzidos pelos condutores. Eletricamente, exercem a função de isolar os condutores, submetidos a uma diferença de potencial em relação à terra (estrutura suporte) ou em relação a um outro condutor de fase [3].

## 3.3 ESTRUTURA E DOS EQUIPAMENTOS ESTUDADOS

### 3.3.1 PÁRA-RAIOS DE ÓXIDO DE ZINCO COM CORPO DE PORCELANA

Pára-raios de óxido de zinco (ZnO) utilizam como resistor não-linear o óxido de zinco. Estes pára-raios são constituídos basicamente das seguintes partes:

- Corpo de Porcelana

Constituído de porcelana vitrificada de alta resistência mecânica e dielétrica, que garante a estanqueidade (não permitindo a entrada principalmente de umidade e poluentes) dentro do qual estão alojados os principais elementos ativos do pára-raios. A configuração do invólucro proporciona uma maior isolação externa, corrente de fuga pequena e sua utilização ao tempo [4].

- Resistores não-lineares

São blocos cerâmicos chamados de varistores, onde estes são compostos a partir de uma mistura de óxido de zinco, em maior proporção, e outros óxidos metálicos, como o antimônio, o manganês, o bismuto e o cobalto.

O óxido de zinco apresenta uma elevada capacidade de condução da corrente de surto que resulta em baixas tensões de descarga, ao mesmo tempo em que oferece uma alta resistência à corrente subsequente, fornecida pelo sistema.

Através da Figura 3.2 pode-se observar as características de tensão x corrente, do pára-raios de óxido de zinco, quando submetido à tensão de operação, primeira tensão referenciada na curva, conduz à terra uma corrente elétrica de valor muito

pequeno, cerca de 0,03 mA, incapaz de provocar um aquecimento significativo no bloco cerâmico. Como resultado deste desempenho, este tipo de pára-raios dispensa o uso de centelhadores série [3].

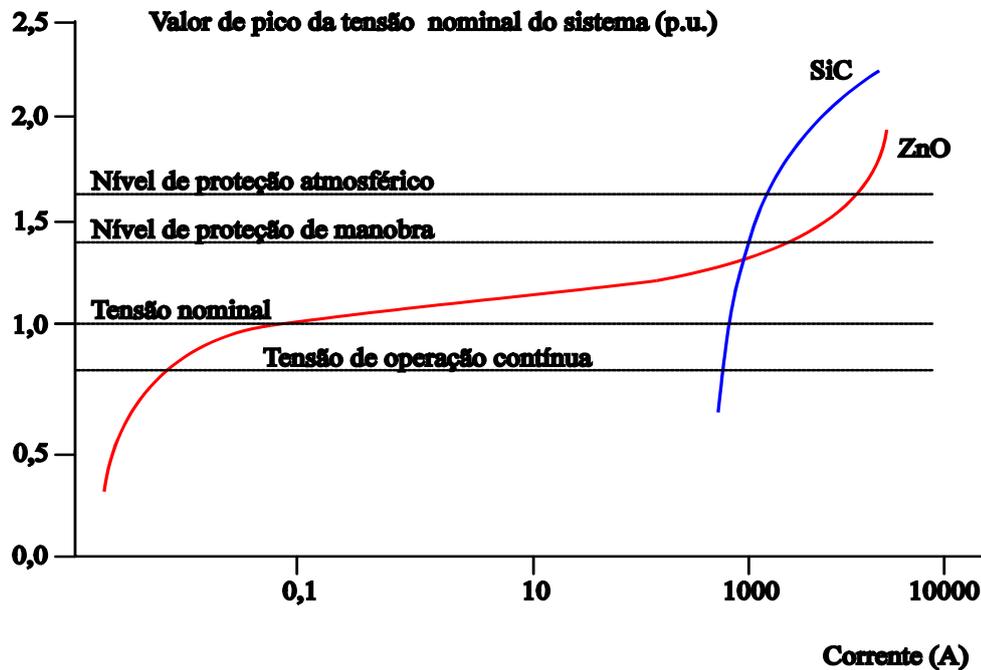


Figura 3.2 Curva característica  $V \times I$  do pára-raios de ZnO e de SiC [5].

Ao longo de sua curva característica na Figura 3.2 o óxido de zinco apresenta três propriedades peculiares. Na faixa das pequenas correntes, ele é sensivelmente dependente do efeito da temperatura e, como se pode observar, é nesta região que está submetido à tensão de operação do sistema ao qual está ligado, o funcionamento em regime permanente é semelhante a uma chave aberta. Na faixa de pequena declividade, a sua sensibilidade à temperatura é muito reduzida, ela determina as tensões residuais na aplicação de surtos de baixa intensidade ou de sobretensões temporárias. A última faixa é característica da descarga do pára-raios, onde o dispositivo conduz uma grande corrente para um pequeno aumento da tensão aplicada [3].

Além da porcelana e dos componentes internos, merece ainda destaque o dispositivo de alívio de pressão. Este dispositivo tem por finalidade impedir que o pára-raios seja danificado de forma explosiva quando houver uma solicitação superior àquela para a qual foi especificado, evitando danos a outros equipamentos e minimizando a possibilidade de risco para o pessoal, porventura situado nas suas proximidades na hora da ocorrência [3].

A finalidade principal do dispositivo de alívio de pressão está na transferência para o exterior dos gases quentes originados por uma excessiva solitação do pára-raios, impedindo sua explosão. Devido ao alinhamento dos pontos de exaustão e alívio de pressão é facilitada a formação de um arco externo, tal como indicado na Figura 3.3.

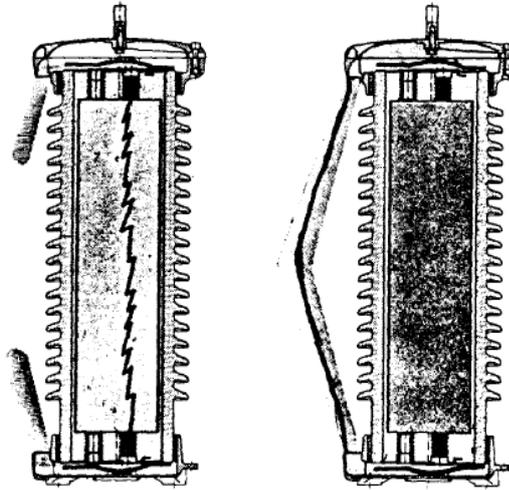


Figura 3.3. Operação do dispositivo de alívio de pressão [2].

A Figura 3.4 mostra em detalhe o sistema de alívio de pressão sendo indicados: (1) duto de exaustão, (2) placa de vedação, (3) junta de vedação, (4) porcelana e (5) flange.

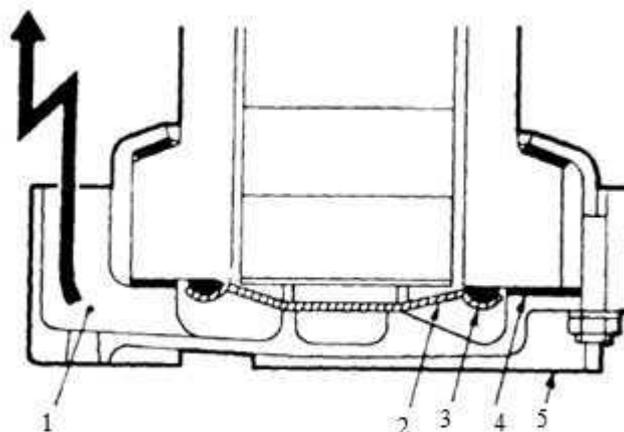


Figura 3.4. Dispositivo para alívio de pressão [2].

A Figura 3.5 apresenta uma seção longitudinal de um pára-raios de óxido de zinco, detalhando seus principais elementos. Geralmente na coluna de varistores são utilizados em alguns pontos, espaçadores metálicos com a finalidade de fazê-la atingir a mesma altura da coluna de porcelana e funcionando também como absorvedores de

calor, fazendo dissipar de maneira mais rápida a energia térmica gerada nos varistores. Para fixar a coluna são utilizados varetas e suportes de fibra de vidro, evitando o seu deslizamento. Em uma de suas extremidades da coluna de varistores, é colocada uma mola que tem como finalidade manter as pastilhas fixas e aumentar o contato mecânico entre as suas superfícies transversais, reduzindo a resistência elétrica da coluna de varistores.

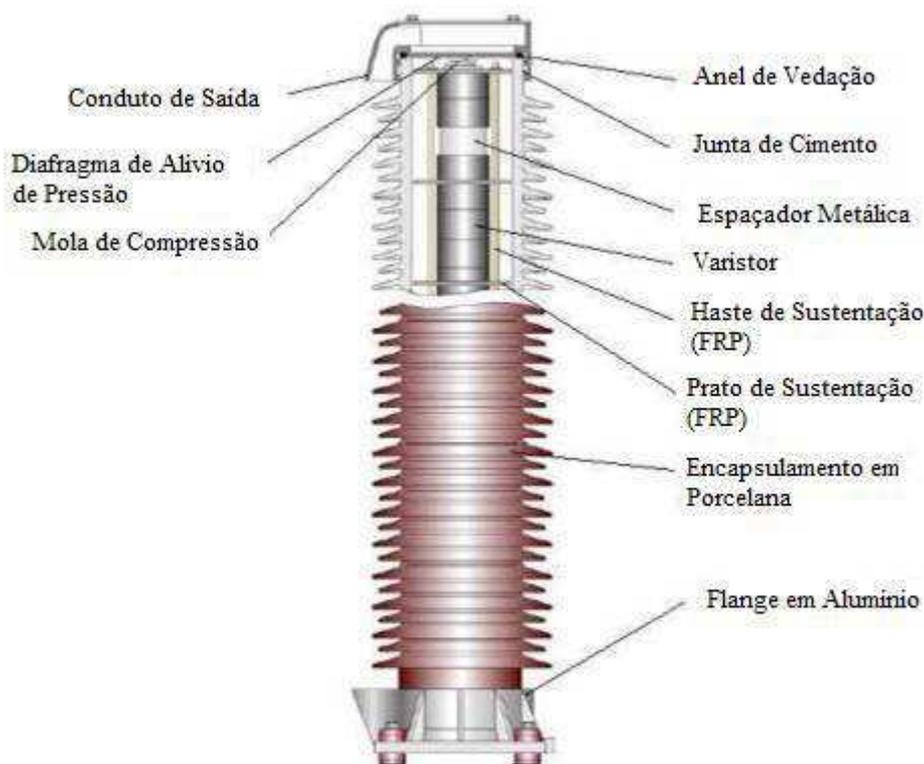


Figura 3.5. Pára-raios de óxido de zinco [6].

### 3.3.2 ISOLADORES DE VIDRO

Os isoladores são caracterizados pelas propriedades elétricas e mecânicas específicas para as quais foram fabricados.

O vidro normalmente utilizado na fabricação de isoladores é do tipo sódio-cálcio, recozido ou temperado homogêneo e incolor. Em geral, os isoladores são de vidro temperado, porém os de disco são de vidro recozido [3].

Nos isoladores de vidro do tipo disco utilizados nos ensaios são constituídos pelos seguintes elementos:

- Cimento

O cimento para unir as partes de vidro deve ter um reduzido coeficiente de expansão térmica linear que possibilite trabalhar adequadamente durante os vários ciclos térmicos com o vidro [3].

- Ferragens  
Devem ser submetidas ao processo de galvanização [3].
- Contrapinos  
Normalmente são fabricados em latão ou bronze [3].

Os isoladores utilizados nos ensaios são do tipo disco também denominados isolador de suspensão. Tais dispositivos são utilizados em redes de distribuição urbana e rural primária e linhas de transmissão, tanto nas estruturas de ancoragem e amarração como nas estruturas de alinhamento tipo suspensão. Neste último caso, são mais utilizados em linhas de transmissão [3].

Unidos na composição de cadeias, os isoladores de disco podem ser utilizados em qualquer tensão, dependendo apenas do número de isoladores instalados em série. Além das variedades de tipos e classes mecânicas disponíveis, podem-se empregar cadeias de isoladores de disco em paralelo quando se tratar de linhas de transmissão dotadas de condutores de grandes seções que necessitam esforços mecânicos elevados.

Na Figura 3.6 são apresentados os componentes dos isoladores de vidro do tipo disco e na Tabela 1 as suas principais características:

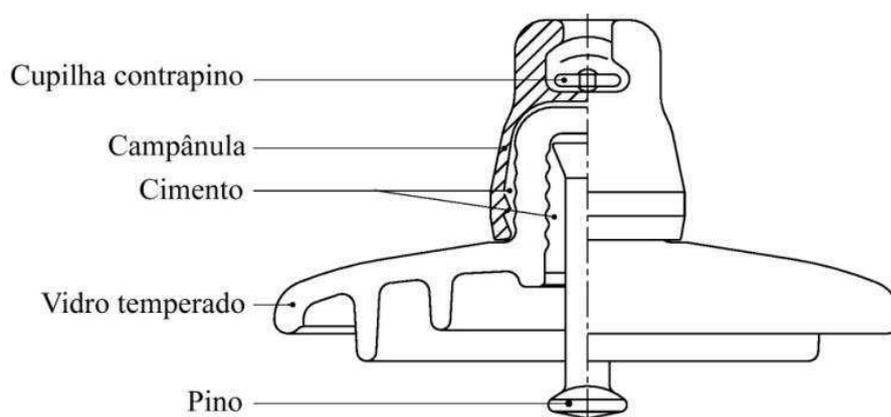


Figura 3.6. Componentes dos isoladores de vidro [3].

Tabela1- Principais características dos isoladores de vidro [3].

Características	UD	Vidro recozido
Diâmetro(D)	mm	220
Altura(H)	mm	146
Diâmetro de rosca	mm	25
Distância de escoamento	mm	340
Tensão de descarga a seco	kV	90
Tensão de descarga sob chuva	kV	60
Tensão suportável, 1 min a seco, à frequência industrial	kV	55
Tensão crítica de descarga sob impulso 1,2x50µs:		
▪ Polaridade positiva	kV	125
▪ Polaridade negativa	kV	130
Tensão de perfuração em óleo	kV	100
Carga mecânica de resistência à flexão	kV	12
Tensão de radiointerferência(TRI)	µV	50

### 3.3.3 MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DOS PÁRA-RAIOS DE ÓXIDO DE ZINCO

Nos sistemas de transmissão, os pára-raios de ZnO são diretamente instalados entre a fase e terra. Desse modo, uma pequena corrente de fuga para a terra circula continuamente pelos varistores de ZnO.

Pára-raios em operação estão sujeitos a diversos fatores que podem influenciar no seu desempenho, diminuir a sua vida útil ou degradar os seus elementos. Dentre os fatores os são: influência da tensão de operação, descargas de longa duração ou de alta intensidade com curta duração, reação química com a atmosfera envolvida, degradação do circuito de equalização, descargas internas (corona), circulação permanente da corrente de fuga pelos varistores, esforços térmicos, etc [7].

Embora os pára-raios venham sendo utilizados há algum tempo, ainda não existem técnicas de diagnóstico consensuais capazes de indicar quando um pára-raios deva ser retirado de serviço. Um dos principais problemas ao diagnosticar um pára-raios é a dificuldade de inspeção interna dos componentes, principalmente dos varistores e juntas de vedação. Apesar disso, algumas técnicas de monitoração são bastante

difundidas, oferecendo bons resultados. Dentre estas técnicas, destaque especial pode ser dado à medição da corrente de fuga e à inspeção térmica [8].

Para o primeiro caso, o aumento permanente da corrente de fuga resistiva está diretamente relacionado à deterioração dos varistores, causando o aumento principalmente da componente de 3º harmônico. Assim, através da análise do sinal da componente resistiva da corrente de fuga pode-se monitorar o estado do pára-raios [8].

No segundo caso, sabe-se que a corrente de fuga resistiva e seus harmônicos são responsáveis diretos pelo aumento da temperatura do pára-raios através do efeito joule. Dessa forma, qualquer variação no comportamento permanente do pára-raios resulta em variação de sua corrente e, conseqüentemente, nos seus padrões de temperatura, o que pode ser detectado através de análise térmica [8].

A análise térmica através das imagens termográficas é uma técnica não-invasiva de monitoramento que vem sendo difundida há bastante tempo para linhas de transmissão e equipamentos de subestação em geral inclusive pára-raios. Entretanto, no caso do pára-raios, não existe uma metodologia específica. Cada empresa determina os seus próprios parâmetros de análise com base em observações e experiência dos engenheiros de manutenção [9].

A termovisão consiste em “fotografar” o calor emitido pelos equipamentos, e se baseia no fato de que qualquer objeto irradia energia sob a forma de ondas infravermelhas. Os custos para sua utilização são relativamente baixos, já que as empresas de transmissão e distribuição de energia já a utilizam há bastante tempo como técnica de manutenção preditiva para os equipamentos das subestações e linhas de transmissão, sendo utilizada inclusive como técnica rotineira para a detecção de anormalidades na operação dos pára-raios [10].

Além disso, quando um pára-raios é retirado do serviço por indicação da análise termográfica, nenhum estudo é feito para se detectar as causas do problema com o equipamento. Dessa forma, não há como analisar quais são as maiores causas de falhas de pára-raios, ou mesmo se há alguma alternativa para a substituição do equipamento, caso a falha não seja intrínseca ao mesmo. Assim, a simples obtenção da imagem térmica não leva a um diagnóstico preciso. Seria necessário fazer o processamento desta imagem e das possíveis condições em que se encontra o pára-raios [8].

### 3.3.4 MONITORAMENTO E DIAGNÓSTICO DOS ISOLADORES DE VIDRO

O método de monitoramento mais empregado é a inspeção visual, devido ao seu baixo custo operacional. No caso de isoladores de vidro temperado, os quais se estilhaçam em caso de agressões mecânicas ou térmicas intensas, a inspeção visual pode ser suficiente para detecção de unidades danificadas [11].

Os isoladores mesmo em bom estado de conservação há uma redução da sua capacidade de isolamento devido à poluição do ambiente que se deposita sobre os mesmos. Para a detecção de poluição, a inspeção visual normalmente é imprecisa, com grandes probabilidades de falso-positivo ou falso-negativo, dependendo de vários fatores como: tipo de poluição, umidade, configuração de campo elétrico, etc [11].

Neste contexto, outras técnicas de inspeção, periódicas ou em tempo real, foram propostas. Dentre essas técnicas, as mais difundidas são a medição do acúmulo equivalente de sal, condutividade superficial, corrente de fuga, medição de poluição do ar, medições ópticas e medição de acúmulo de partículas não-solúveis [12].

## 4 ATIVIDADES REALIZADAS

O estágio iniciou-se no dia 08 de fevereiro de 2011 com duração de 120 h, carga horária de 40h semanais, tendo sua conclusão no dia 28 de fevereiro de 2011.

As primeiras atividades realizadas foram ensaios em pára-raios de óxido de zinco. O método consistiu em criar defeitos como: umidade interna, pastilhas degradadas, presença de sais no corpo de porcelana, com o intuito de reproduzir condições similares observadas em equipamentos com problemas que foram retirados do sistema elétrico ou ensaiadas por fabricantes.

O objetivo principal dos ensaios é obter dados para a realização de um estudo para auxiliar no monitoramento e diagnóstico do estado de conservação do pára-raios. Através da medição da corrente de fuga e da termovisão pode-se identificar quando o pára-raios esta com defeito e deve ser retirado de utilização.

Em seguida foram realizados ensaios em isoladores de vidro em bom estado de conservação. Os ensaios consistiram em medir a corrente de fuga e através da mesma obter o estado atual do isolamento do isolador a ser estudado. Os dados obtidos farão

parte de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento que esta em andamento em conjunto com a TermoPernambuco.

O objetivo do projeto é a determinação de intervalos ótimos de limpeza dos Isoladores submetidos à poluição salina. Os isoladores ensaiados serão colocados em utilização e à poluição salina. Posteriormente com o tempo, serão recolhidos grupos de isoladores de forma gradativa e submetidos aos mesmos ensaios iniciais. Com os dados obtidos nos primeiros ensaios será feita uma análise comparativa com os dados dos novos ensaios a fim de determinar-se quais são os efeitos da poluição salina no isolamento dos mesmos.

Os dados e análises dos resultados contribuirão para o desenvolvimento do objetivo central do projeto que é desenvolver um sistema (software e hardware) capaz de emitir recomendações de lavagem ou não lavagem de isolamentos, a partir do ruído ultra-sônico ou de rádio interferência emitidos pelos isolamentos [13].

## 4.1 ENSAIOS EM PÁRA-RAIOS DE ÓXIDO DE ZINCO

### 4.1.1 MATERIAIS

Os ensaios foram realizados em dois pára-raios cuja numeração escolhida foram 1 e 7. Sua tensão nominal é de 96 kV e a Máxima Tensão de Operação Contínua (MCOV) de 77,2kV.

### 4.1.2 MÉTODOS

O primeiro procedimento para colocar o defeito no pára-raios é sua abertura e de acordo com o tipo de ensaio a ser realizado inserir nas pastilhas de varistores ou no corpo de porcelana a degradação desejada.

#### a) Pastilhas degradadas

Na Figura 4.1 é possível observar a coluna de varistores (1) na vertical, o primeiro defeito a ser inserido no pára-raios será pastilhas degradadas. Serão colocadas na coluna de varistores de forma intercalada pastilhas em boas condições e pastilhas degradadas. Na Figura 4.1 observa-se ao lado da coluna de varistores (1) o corpo de porcelana (2).



Figura 4.1 Coluna de varistores do Pára-Raios de óxido de zinco (1) e corpo de porcelana (2).

Na Figura 4.2 pode-se observar de forma mais aproximada as pastilhas de varistores, e na Figura 4.3 observa-se a mola que fará a compressão das pastilhas e garantirá que as mesmas se mantenham fixas e aumente o contato mecânico entre as suas superfícies transversais.



Figura 4.2 Pastilhas de varistores (1) degradadas e em boas condições.



Figura 4.3 Mola (1) da parte superior da coluna de varistores.

Após a inserção da degradação, a coluna de varistores é colocada no interior do corpo de porcelana. Posteriormente, é fechada a parte inferior com a flange da Figura 4.4.



Figura 4.4 Flange.

Em seguida para centralizar melhor o pará-raios e facilitar o processo de vedação são colocadas barras rosqueadas (1) na parte lateral como pode-se observar na Figura 4.5.



Figura 4.5 Pára-raios de número 1 e 7 com hastes metálicas (1) nas laterais.

Após esse processo é colocado enxofre em pó para realizar a vedação da parte inferior, são colocadas diversas camadas e com o auxílio do maçarico derrete-se o enxofre como é possível observar nas Figuras 4.6 e 4.7.



Figura 4.6 Processo de vedação da parte inferior com enxofre.



Figura 4.7 Derretimento do enxofre com auxílio do maçarico.

Todo o processo de vedação é realizado de forma cautelosa, pois o enxofre é tóxico. São utilizadas máscaras e luvas para garantir que não ocorra contato com o enxofre e com os vapores durante o derretimento do mesmo.

Por fim, espera-se aproximadamente 1 hora até que o enxofre se solidifique e esfrie para retirar as hastes metálicas laterais e começar os ensaios com o pára-raios.

Com auxílio do kit que contém uma mesa de controle para ligar a alimentação do circuito, resistor na saída do transformador, capacitores para realizar o divisor de tensão e resistor shunt em série com o pára-raios cujo circuito elétrico é demonstrado na Figura 4.8 mediu-se a corrente de fuga do pára-raios.

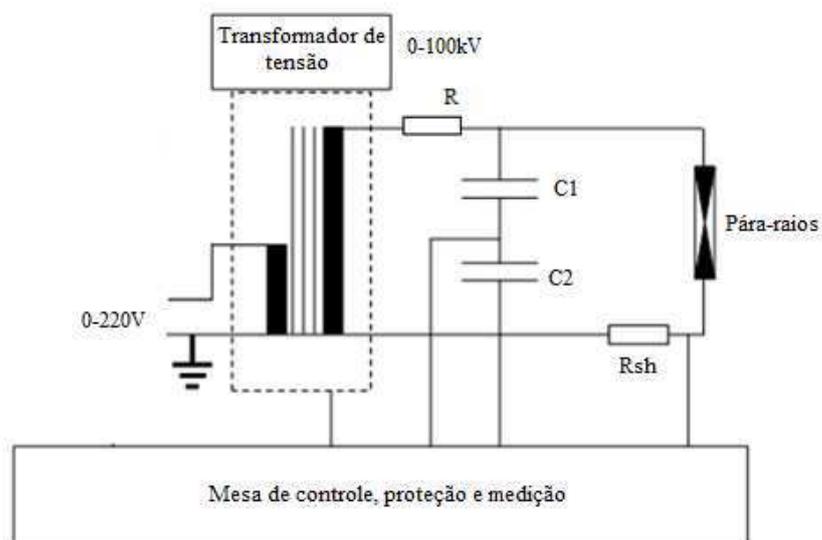


Figura 4.8 Circuito para medição da corrente de fuga do pára-raios.

Os valores dos equipamentos utilizados encontram-se abaixo:

$R = 43\text{k}\Omega$  ;

$C_1 = 105,8\text{ pF}$ ;

$C_2 = 201,4\text{ nF}$ ;

$R_{sh} = 1\text{ k}\Omega$ ;

A tensão utilizada nos ensaios é a Máxima Tensão de Operação Contínua (MCOV) que é o maior valor de tensão para o qual o pára-raios é projetado, de modo a operar continuamente com esta tensão aplicada em seus terminais sem entrar na região de condução [3]. De acordo com a ANSI/IEEE C62.11 é de 77,2 kV para o pára-raios utilizado cuja tensão nominal é 96 kV. O resistor shunt de  $1\text{k}\Omega$  é conectado em série com o pára-raios, para que através da tensão medida sobre o mesmo calcule-se a corrente de fuga.

Como já foi observado através da termografia de pára-raios defeituosos em funcionamento nos sistemas elétricos, a temperatura dos mesmos eram maiores que os de boa condição. Inicialmente é aplicada tensão durante 1 hora e com o termovisor monitora-se constantemente a temperatura do pára-raios, até atingir valores similares às observadas em pára-raios defeituosos encontrados nos sistemas de .

Através de pontas de prova e osciloscópio, utilizam-se dois canais para se obter a tensão no pára-raios e a tensão no resistor shunt de  $1\text{k}\Omega$ . Com os dados obtidos pelos instrumentos de medição com o auxílio de uma rotina computacional calcula-se a corrente de fuga no pára-raios através da tensão do resistor shunt.

São realizadas 40 medições da corrente de fuga, e para cada medição respectivamente são feitas termografias. A cada cinco medições são monitoradas a temperatura ambiente e a umidade, as medições obtidas encontram-se na Tabela A1 em anexo.

#### b) Umidade Interna

É montada a coluna de varistores com as pastilhas em bom estado do pára-raios de número 7. Após a montagem foi borrifada água limpa para simular umidade interna, e em seguida a coluna é colocada novamente no corpo de porcelana e vedada através do mesmo processo descrito no ensaio com pastilhas degradadas.

#### c) Solução de baixa salinidade

Com as pastilhas em bom estado do Pára-raios de número 1 é montada a coluna de varistores. Após a montagem é borrifada uma solução salina com condutância de  $8\text{S/m}$  no corpo de porcelana para simular poluição.

d) Solução de alta salinidade

Com as pastilhas em bom estado do Pára-raios de número 1 é montada a coluna de varistores, após a montagem é borrifada uma solução com condutância de 15S/m por cima do corpo de porcelana que já continha o sal de baixa salinidade para simular poluição mais concentrada.

#### 4.1.3 RESULTADOS

a) Pastilhas degradadas

As termografias obtidas são demonstradas nas figuras 4.9 e 4.10.

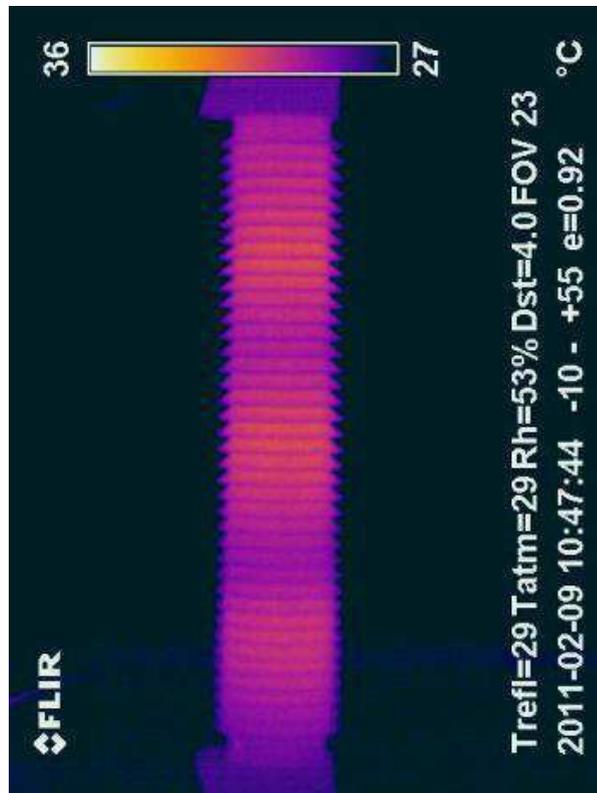


Figura 4.9 Termografia do pára-raios de número 7 com pastilhas degradadas.

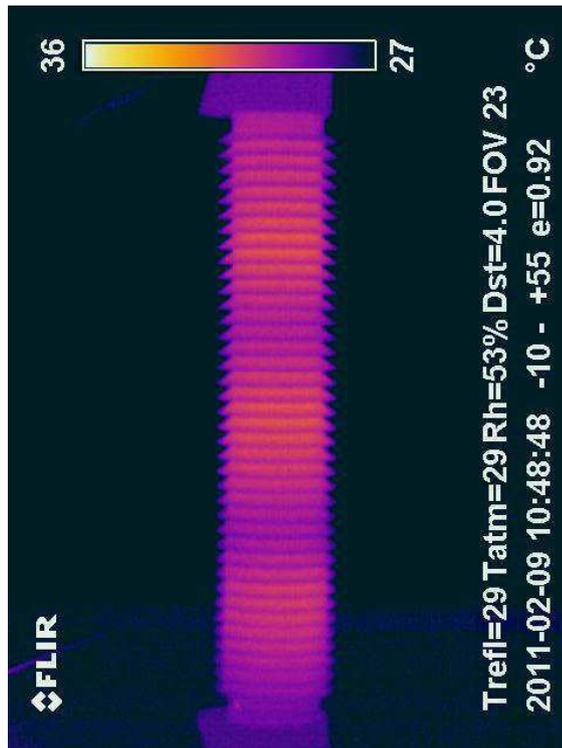


Figura 4.10. Termografia do pára-raios de número 7 com pastilhas degradadas.

Através das termografias obtidas é possível observar uma diferença no gradiente de temperatura do pára-raios, onde em determinadas áreas é notório um aquecimento maior. Com os dados da Tabela A1 encontrou-se picos de corrente de até 1,46 mA. Devido à presença dessa corrente de fuga, houve perdas por efeito Joule, dissipação de energia e aumento da temperatura do pára-raios.

Os Pára-raios em boas condições, funcionando em regime permanente apresentam uma corrente de fuga na coluna de varistores praticamente constante e de valor desprezível. Portanto, a análise da presença da corrente de fuga e do aumento da temperatura são parâmetros seguros para diagnosticar o estado dos pára-raios.

Após a obtenção das 40 medições da corrente de fuga e das respectivas termografias, o pára-raios é desenergizado. Aos poucos aumentou-se a tensão e através dos instrumentos de medição e com o auxílio de rotina do Matlab foi obtido a curva característica tensão  $\times$  corrente do pára-raios. A curva obtida para esse defeito pode ser observada na Figura 4.11.

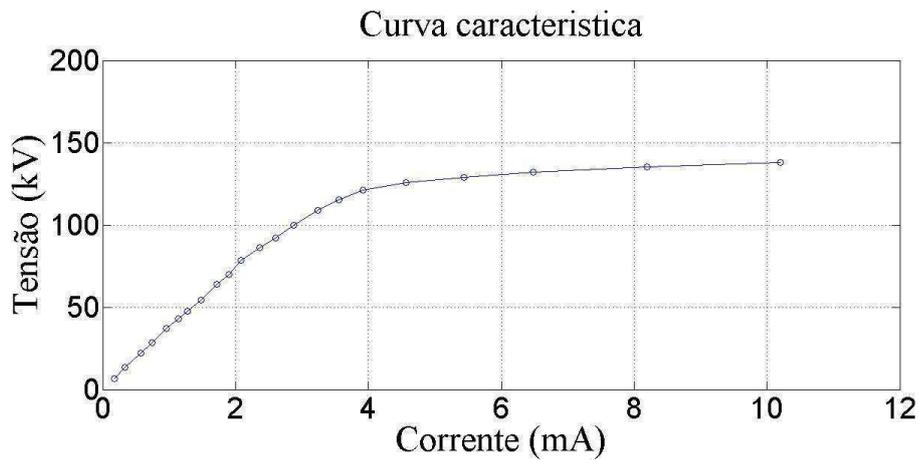


Figura 4.11. Curva característica tensão  $\times$  corrente (V $\times$ I).

Através da curva característica é possível observar de forma mais precisa a corrente de fuga, aumenta conforme a tensão vai aumentando.

O mesmo ensaio foi realizado com o pára-raios de número 1, os resultados obtidos foram similares.

#### b) Umidade Interna

As medições obtidas encontram-se na Tabela A2 em anexo e as termografias encontram-se nas Figuras 4.12 e 4.13.

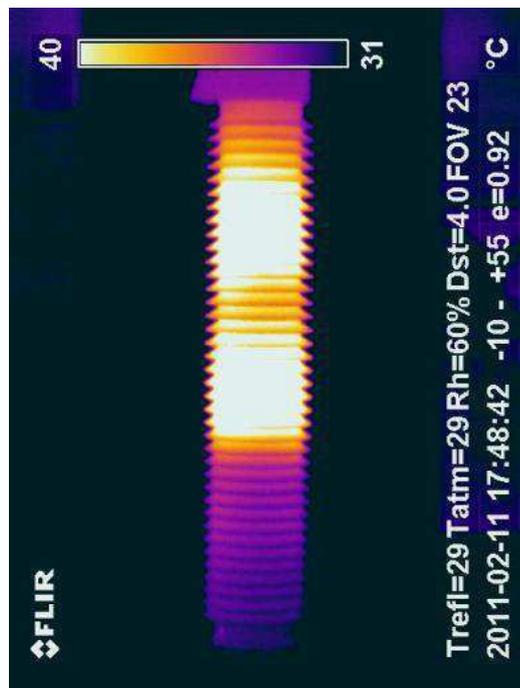


Figura 4.12 Termografia do pára-raios de número 7 com umidade interna.

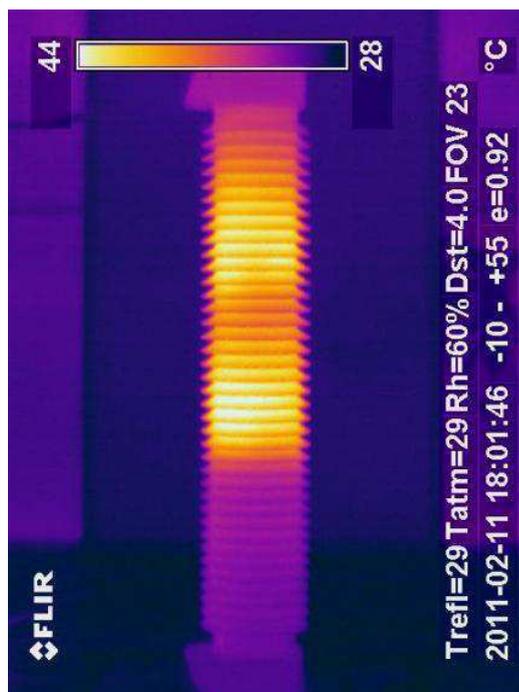


Figura 4.13 Termografia do pára-raios de número 7 com umidade interna.

Através das termografias obtidas é possível observar uma diferença no gradiente de temperatura do pára-raios, onde em determinadas áreas é notório um aquecimento maior. Em função da umidade interna os valores de temperatura observados são bem maiores que o ensaio anterior com pastilhas degradadas. Com os dados da Tabela A2 encontrou-se picos de corrente de até 2,09 mA devido ao defeito inserido, umidade interna, é que ocorre a presença dessa corrente de fuga ocasionando perdas por efeito Joule, dissipação de energia e aumento da temperatura do pára-raios.

Em seguida obtemos a curva característica que pode ser observada na Figura 4.14.

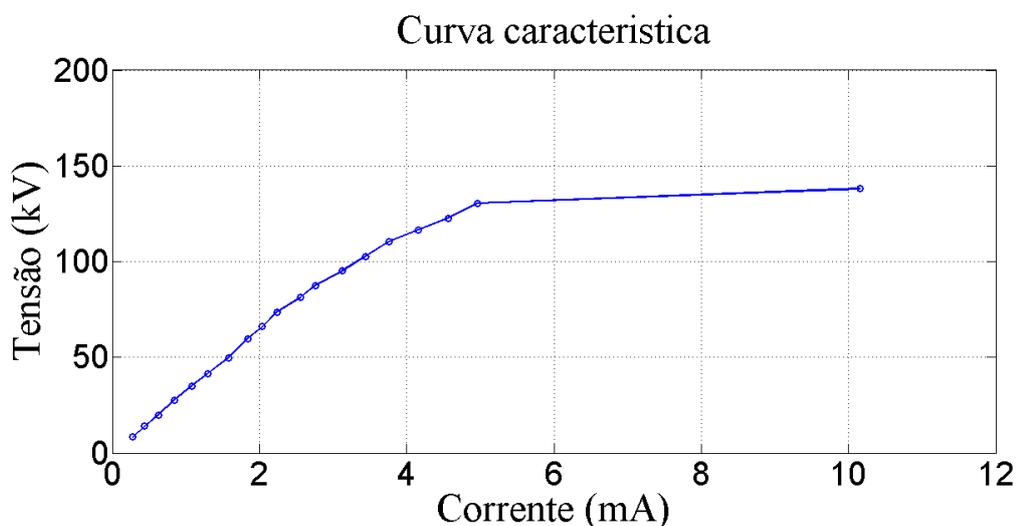


Figura 4.14. Curva característica tensão x corrente (VxI).

Através da curva característica é possível observar de forma mais precisa a corrente de fuga, que atingiu valores para tensão de 138 kV, uma corrente de 10,2mA. Comparando-se com a curva obtida com o defeito anterior observa-se valores similares para corrente de fuga.

c) Solução de baixa salinidade

As medições obtidas encontram-se no na Tabela A3 em anexo e as termografias nas Figuras 4.15 e 4.16.

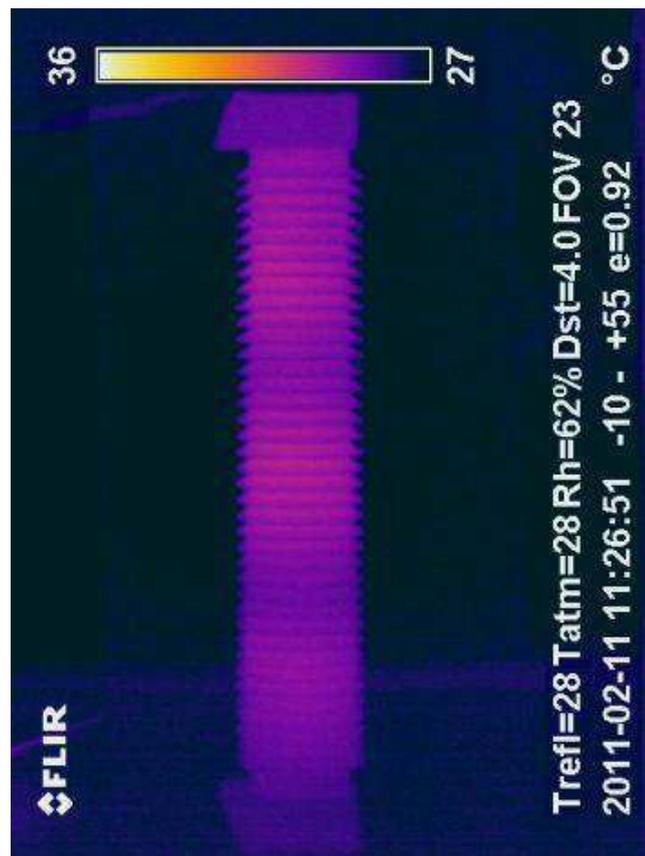


Figura 4.15 Termografia do pára-raios de número 1 com sal leve.

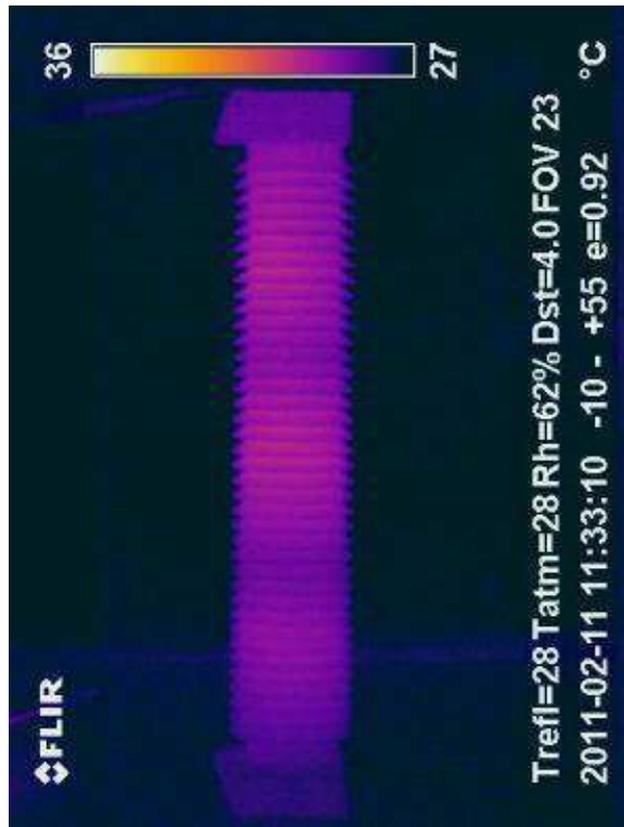


Figura 4.16 Termografia do pára-raios de número 1 com sal leve.

Para esse tipo de defeito é possível observar que mesmo com o aumento da temperatura os valores encontrados são menores que nos ensaios anteriores pois esse tipo de defeito foi colocado no corpo de porcelana, diferente dos outros que eram na coluna de varistores. Com os dados da Tabela A3 encontrou-se picos de corrente de até 1,42 mA, a presença dessa corrente de fuga ocasionou perdas por efeito Joule, dissipação de energia e aumento da temperatura do pára-raios.

A curva obtida para esse defeito pode ser observada na Figura 4.17.

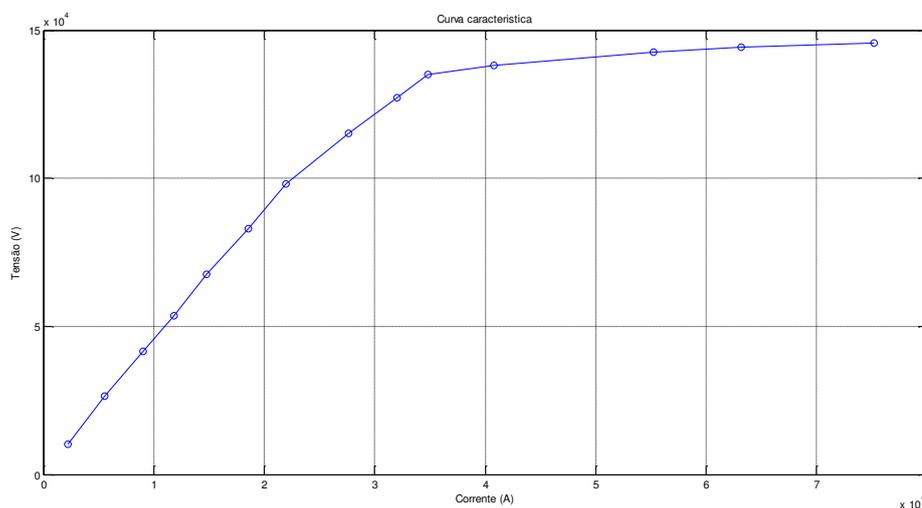


Figura 4.17- Curva característica tensão x corrente (VxI).

As corrente de fuga encontradas são menores que os picos dos ensaios anteriores para esse defeito encontrou-se para tensão de 145,5 kV, uma corrente de 7,52mA.

d) Solução de alta salinidade

As medições obtidas encontram-se na Tabela A4 em anexo e as termografias nas Figuras 4.18 e 4.19.

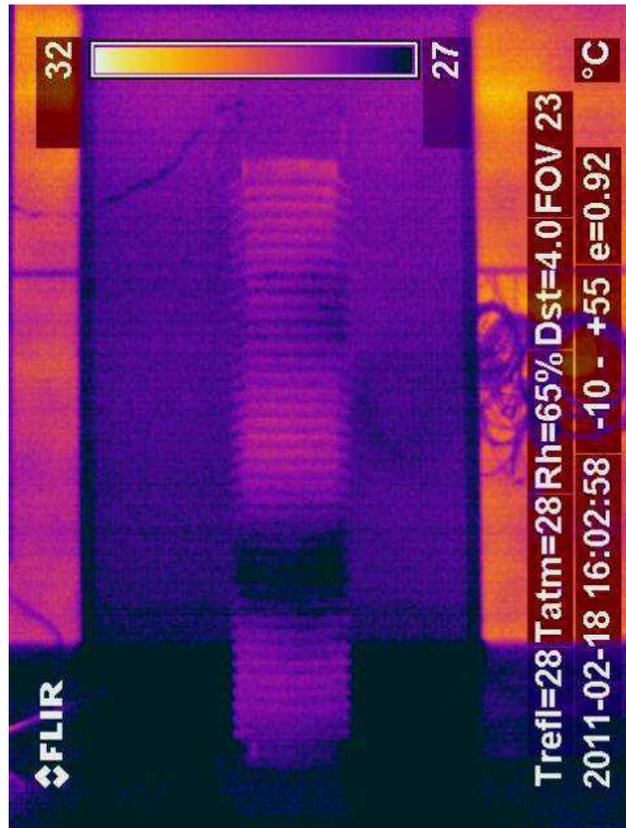


Figura 4.18 Termografia do pára-raios de número 1 com sal pesado.

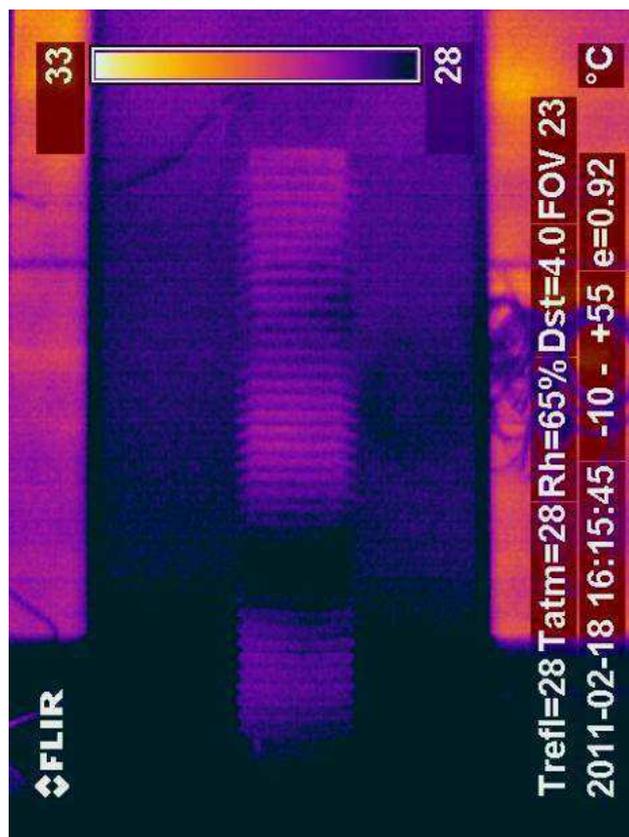


Figura 4.19 Termografia do pára-raios de número 1 com sal pesado.

Em função do sal de salinidade maior os valores de temperatura de alguns locais são iguais aos da temperatura ambiente. Com os dados da Tabela A4 encontrou-se picos de corrente de até 1,42 mA, por causa do defeito inserido que ocorre a presença dessa corrente de fuga e ocasiona perdas por efeito Joule, dissipação de energia e aumento da temperatura do pára-raios.

. A curva obtida para esse defeito pode ser observada na Figura 4.20.

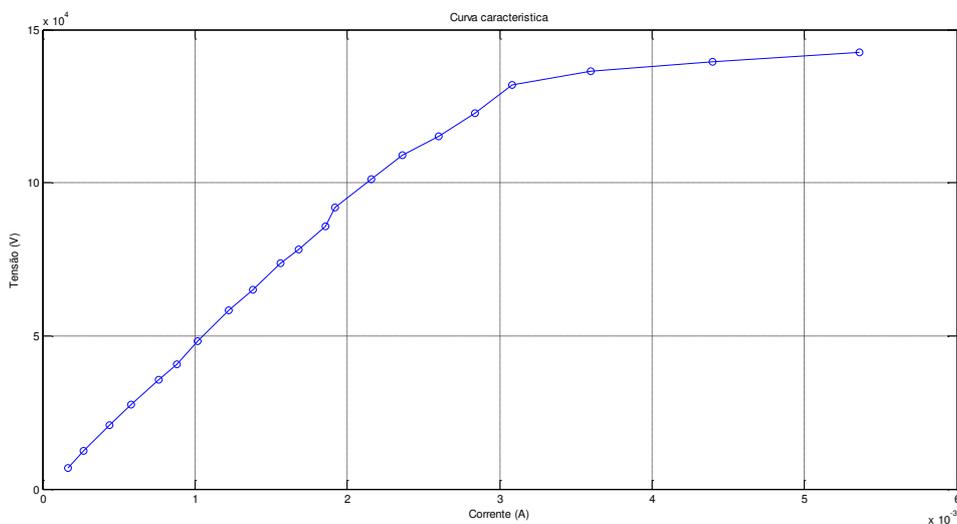


Figura 4.20- Curva característica tensão x corrente (VxI).

A corrente de fuga obtida possui pico similar ao ensaio anterior, onde para tensão de 143 kV, a corrente foi de 5,53mA.

## 4.2 ENSAIOS EM ISOLADORES DE VIDRO

Os isoladores de vidro utilizados pesam aproximadamente 3,5 kg, a campânula e o pino são constituídos de aço e recobertos com uma camada de liga antioxidante, o vidro é fixado às regiões metálicas através de cimento. A Figura 4.21 demonstra um diagrama esquemático dos isoladores.

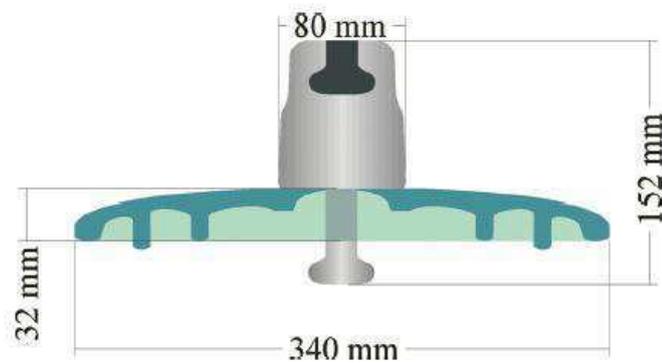


Figura 4.21. Diagrama esquemático dos Isoladores utilizados nos ensaios [11].

Os isoladores foram limpos e conectados a um braço de torre montado dentro do Laboratório de Alta Tensão da UFCG. O diagrama do circuito utilizado pode ser visto na Figura 4.22.

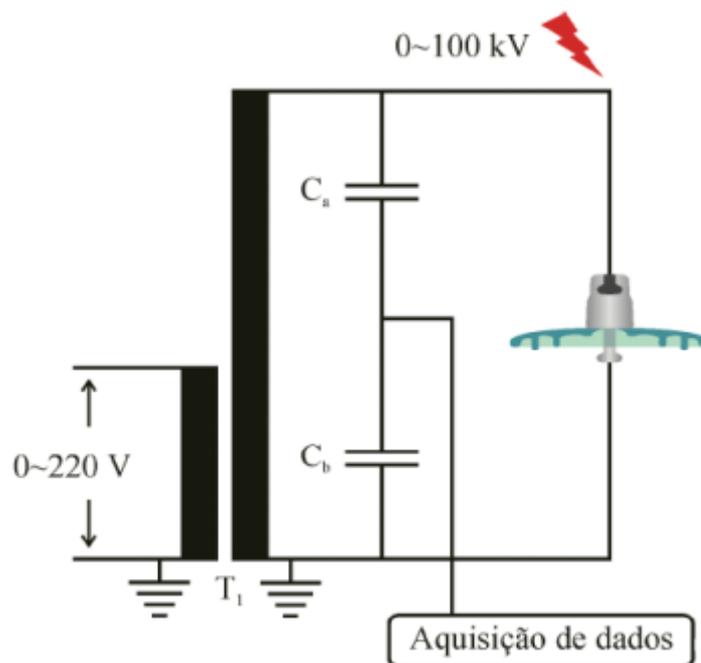


Figura 4.22. Diagrama esquemático do circuito utilizado [11].

A disposição dos equipamentos e a montagem utilizada podem ser vistas nas Figuras 4.23 e 4.24.



Figura 4.23. Transformador ,capacitores, resistor e isoladores.



Figura 4.24. Mesa de controle, resistor shunt e osciloscópio.

De acordo com o ajuste na mesa de comando, o transformador fornece ao arranjo tensão cujo valor utilizado foi de 20 kV e mediu-se a corrente de fuga de cada isolador, foram medidos 60 isoladores os valores encontrados encontram-se na tabela A5 em anexo.

Na próxima etapa do projeto os isoladores serão colocados em utilização na TermoPernambuco e submetidos à poluição salina, espera-se que devido a tal poluição ocorra um aumento da corrente de fuga que será medida em ensaios futuros e comparada com os ensaios iniciais.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos e análises realizadas para detecção de defeitos nos pára-raios através da corrente de fuga e da termovisão são métodos que permitem de forma adequada realizar monitoramento e diagnosticar o estado do pára-raios, fornecendo indicativos para possíveis problemas.

Ainda não se consegue identificar qual o tipo de defeito com os dados até hoje obtidos, estudos estão sendo realizados para identificar e diferir os tipos de degradação.

Com a realização do estágio pude consolidar os conhecimentos adquiridos durante a graduação, dentre os mais variados temas desde física, circuitos elétricos às disciplinas de ênfase como equipamentos elétricos, esta qual ênfase sua importância para uma melhor realização do estágio. Tive uma relação mais próxima com a vida acadêmica relacionada à pesquisa bem como um aprendizado com pessoas que já trabalham na área.

Por não ter participado da área de pesquisa no tempo da minha graduação tive certa dificuldade quanto à metodologia científica.

O estágio é um ponto preponderante na carreira de todo profissional, é o mesmo que irá ditar os próximos caminhos e botar em prática os conceitos adquiridos na graduação. Com o meu estágio pude firmar minhas escolhas, e próximos passos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1].GSE, “*Grupo de Sistemas Elétricos*”. Disponível em: <http://www.dee.ufcg.edu.br/~gse/>. Acessado em 15 de fevereiro de 2011.
- [2]. D´AJUIZ, A., RESENDE, F., M., CARVALHO, F., M., S., NUNES, I. G., FILHO, J., A., DIAS, L., E., N., PEREIRA, M., P., FILHO, O., K., MORAIS, S., A., “*Equipamentos Elétricos- especificação e aplicação em subestação de alta tensão*”.Furnas, Rio de Janeiro, 1985.
- [3].FILHO, João M., “*Manual de Equipamentos Elétricos*”. Editora CTC, vol. 2, Rio de Janeiro, 1994.
- [4].LATHI, K., KANNUS, K., NOUSIAINEN, K., “*Diagnostic methos in revealing internal moisture in polymer housed metal oxide surge arrester*”, IEEE, Transactions on Power Delivery, vol. 17, no. 4, pp.951-956, 2002.
- [5].ABB, “*Pára-Raios de Alta Tensão*”, Catálogo, 1995.
- [6].HEINRICH, C., HINRICHSEN, V., “*Diagnostics and monitoring of metal oxide surge arresters in high-voltage networks-comparison of existing and newly developed procedures*”, IEEE, Transactions Power Delivery, vol. 16, no 1, pp. 138-143, 2001.
- [7].SOBRINHO, P., F., P., e outros, “*Avaliação do estado e do comportamento de pára-raios de média e alta tensão, dos tipos de carboneto de silício (SiC) e do óxido metálico de zinco (ZnO)*”, Seminário interno de manutenção de subestações CTEEP e EPTE, 2001.
- [8]. WANDERLEY NETO, E.T., COSTA, E.,G.,SOUZA, R., T.,MACEDO, E., C., T., MAIA, M., J., A., “*Monitoração e Diagnóstico de Pára-raios a ZnO*”,SBSE,2008.
- [9].SHIRAKAWA, S., “*Maintenance of surge arrester by a portable arrester leakage current director*”, IEEE, Transactions on Power Delivery, vol. 3, no. 3, pp 998-1003.
- [10]. WANDERLEY NETO, E., T., COSTA, E., G., MAIA, M., J., A., GALINDO, T., C., L., COSTA, A., H., S., “*Electro-thermal Simulation*

*of ZnO Arresters for Diagnosis Using Thermal Analysis*”, IEEE PES, Latin American T&D, São Paulo, Brasil, 2004.

- [11]. FERREIRA, T., V. “*Estimação inteligente da Poluição de isolamentos elétricos baseada nos VECSE do ruído ultrasônico*”. Campina Grande, julho 2010.
- [12]. CIGRÈ TASK FORCE 33.04.03., *Cigrè Task Force 33.04.03*. Cigrè. [S.l.]. 1994. (152).
- [13]. FERREIRA, T., V. “*Currículo Lattes*”. Disponível em: <<http://www.lattes.cnpq.br/9395719025602526>>. Acessado em 09 de março de 2011.

# ANEXO

Para cada valor de corrente foi obtida uma termografia correspondente.

Tabela A1 – Medições obtidas com pára-raios de número 7 com pastilhas degradadas.

Tensão Aplicada RMS (KV)	Corrente na coluna	Temp. Ambiente	Umidade Local
	de Varistores RMS (mA)		
77,2	1,44	29,1	55
76,8	1,43	29,1	55
76	1,40	29,1	55
75,9	1,40	29,1	55
76	1,40	29,1	55
76	1,40	28,9	56
76,2	1,40	28,9	56
76,1	1,40	28,9	56
76,2	1,40	28,9	56
76,2	1,40	28,9	56
76,3	1,40	28,9	56
76,4	1,41	28,9	57
76,6	1,42	28,9	57
76,7	1,42	28,9	57
76,7	1,42	28,9	57
76,6	1,41	28,9	57
76,7	1,42	28,9	57
76,9	1,42	28,9	57
77,1	1,42	28,9	57
77,2	1,43	28,9	57
77,3	1,43	28,9	57
77,2	1,43	28,9	57
77,2	1,43	28,9	57
76,8	1,42	28,9	57
76,6	1,41	28,9	57
77,1	1,43	28,9	57
77,2	1,43	28,9	57
77,5	1,44	28,9	57
77,6	1,44	28,9	57
77,8	1,45	28,9	57
78,3	1,46	28,9	58
78,1	1,45	28,9	58
78,3	1,46	28,9	58
78,3	1,46	28,9	58
78,2	1,46	28,9	58
78,2	1,46	28,9	58
78,1	1,46	28,9	58
77,9	1,45	28,9	58
77,7	1,45	28,9	58
77,7	1,44	28,9	58

Tabela 2 – Medições obtidas com o Pára-raios de número 7 com umidade interna.

Tensão Aplicada RMS (KV)	Corrente na coluna	Temp. Ambiente	Umidade Local
	de Varistores RMS (mA)		
78.1	2.09	28.9	60
78.3	2.07	28.9	60
78.2	2.07	28.9	60
77.9	2.08	28.9	60
77.8	2.08	28.9	60
78.1	2.06	28.9	60
78.1	2.04	28.9	60
78.1	2.03	28.9	60
78.1	2.03	28.9	60
78.1	2.02	28.9	60
78.0	2.03	28.9	60
78.0	2.02	28.9	60
77.8	2.01	28.9	60
77.7	2.00	28.9	60
77.6	1.99	28.9	60
78.0	2.00	28.9	60
77.9	1.99	28.9	60
77.9	1.98	28.9	60
77.7	1.97	28.9	60
77.7	1.96	28.9	60
77.7	1.96	28.9	60
77.6	1.96	28.9	60
77.6	1.96	28.9	60
78.3	1.97	28.9	60
78.2	1.97	28.9	60
78.3	1.97	28.9	60
78.4	1.97	28.9	60
78.7	1.98	28.9	60
78.8	1.98	28.9	60
78.7	1.98	28.9	60
78.6	1.98	28.9	60
78.6	1.96	28.9	60
78.6	1.96	28.9	60
78.3	1.96	28.9	61
78.3	1.96	28.9	61
78.3	1.96	28.9	61
78.4	1.96	28.9	61
78.3	1.96	28.9	61
78.3	1.95	28.9	61
78.1	1.94	28.9	61

Tabela A3 – Medições obtidas com o pára-raios de número 1 com de baixa salinidade.

Tensão Aplicada (KV)	Corrente na coluna	Temp. Ambiente	Umidade Local
	de Varistores RMS (mA)		
77,2	1,4	27,6	63
77,1	1,39	27,6	63
76,8	1,38	27,6	63
76,9	1,39	27,6	63
76,9	1,39	27,6	63
76,9	1,39	27,6	63
76,9	1,39	27,6	63

76,9	1,39	27,6	63
77	1,39	27,6	63
77	1,4	27,6	63
76,9	1,39	27,6	63
76,9	1,39	27,6	63
76,8	1,39	27,6	63
77	1,39	27,6	63
76,9	1,39	27,6	63
76,8	1,39	27,8	63
76,7	1,38	27,8	63
77	1,39	27,8	63
76,9	1,39	27,8	63
76,9	1,39	27,8	63
76,9	1,39	27,8	63
76,9	1,39	27,8	63
77	1,39	27,8	63
76,9	1,39	27,8	63
76,8	1,39	27,8	63
77,1	1,4	27,8	62
77	1,4	27,8	62
77	1,4	27,8	62
77,1	1,4	27,8	62
77,1	1,4	27,8	62
76,7	1,39	27,8	62
76,9	1,4	27,8	62
77	1,4	27,8	62
77,1	1,41	27,8	62
77,2	1,41	27,8	62
77,4	1,41	27,9	62
77,4	1,41	27,9	62
77,4	1,41	27,9	62
77,4	1,41	27,9	62
77,6	1,42	27,9	62
77,5	1,41	27,9	62

Tabela A4 – Medições obtidas com o pára-raios de número 1 com sal de salinidade elevada.

Tensão Aplicada (KV)	Corrente na coluna	Temp. Ambiente	Umidade Local
	de Varistores RMS (mA)		
77.5	1.49	27.9	65
77.6	1.42	27.9	65
77.6	1.42	27.9	65
77.6	1.42	27.9	65
77.6	1.42	27.9	65
77.4	1.41	27.9	65
77.5	1.41	27.9	65
77.9	1.42	27.9	65
78.0	1.42	27.9	65
78.9	1.42	27.9	65
77.9	1.42	27.9	65
77.7	1.41	27.9	65
77.8	1.42	27.9	65
77.8	1.42	27.9	65
77.8	1.42	27.9	65
77.8	1.42	27.9	65
77.7	1.41	27.9	65
77.7	1.41	27.9	65

77.8	1.41	27.9	65
77.7	1.42	27.9	65
77.7	1.41	27.9	65
77.7	1.41	27.9	65
77.7	1.41	27.9	65
77.7	1.41	27.9	65
77.8	1.41	27.9	65
77.8	1.41	27.9	65
77.9	1.41	27.9	65
77.8	1.41	27.9	65
77.8	1.41	27.9	65
77.8	1.41	27.9	65
77.9	1.41	27.9	65
78.0	1.42	27.9	65
78.0	1.42	27.9	65
78.0	1.42	27.9	65
78.0	1.42	27.9	65
78.0	1.42	27.9	65
78.0	1.42	27.9	65
78.0	1.41	27.9	65
78.1	1.42	28.0	65
78.1	1.42	28.0	65

Tabela A5- Medições obtidas do ensaio de isoladores

Tensão (V)	Corrente (A)	Tensão Bancada corrigida (V)	Corrente obtida corrigida (A)	Impedância Isolador (ohm)	Nº isolador
11,11443026	0,410128565	20465,47598	0,000406874	50299348,89	1
11,10866185	0,396045347	20454,85436	0,000392902	52060940,38	2
11,09445699	0,391718462	20428,69836	0,00038861	52568693,93	3
10,94049359	0,428766387	20145,19895	0,000425363	47359963,78	4
10,92503913	0,371986546	20116,74199	0,000369034	54511853,05	5
10,98230723	0,022325872	20222,19219	2,21487E-05	913020108	6
10,99449462	0,020844512	20244,63336	2,06791E-05	978991020,1	7
10,75656748	0,028585105	19806,52794	2,83582E-05	698439981,6	8
10,73131045	0,026397964	19760,02109	2,61885E-05	754531735,5	9
10,98180604	0,025552812	20221,26934	2,535E-05	797682849,5	10
10,96616469	0,025378391	20192,46825	2,5177E-05	802021221,4	11
10,71495404	0,027556785	19729,90332	2,73381E-05	721700399,8	12
10,73411012	0,026544612	19765,17623	2,63339E-05	750558996,1	13
10,66882711	0,025467211	19644,96785	2,52651E-05	777553847,5	14
10,68827545	0,027202889	19680,77889	2,6987E-05	729269046,9	15
10,75061598	0,03285725	19795,56919	3,25965E-05	607291663,7	16
10,74753181	0,031683854	19789,89017	3,14324E-05	629601723,8	17
10,70582944	0,023299593	19713,10181	2,31147E-05	852839211,2	18
10,69343874	0,022589133	19690,28628	2,24099E-05	878644107,4	19
11,18381116	0,023096658	20593,23	2,29134E-05	898743694,3	20
10,72316968	0,004091623	19745,03114	4,05915E-06	4864327197	21
10,69528195	0,032442662	19693,68027	3,21852E-05	611886581,2	23
10,98308226	0,007171517	20223,6193	7,1146E-06	2842551760	22

10,99754736	0,004003231	20250,25451	3,97146E-06	5098945850	25
10,97551602	0,004971265	20209,68726	4,93181E-06	4097823448	26
10,71488535	0,002755022	19729,77684	2,73316E-06	7218678459	28
11,23381752	0,005633863	20685,30885	5,58915E-06	3700975708	27
10,69844699	0,003233623	19699,50819	3,20796E-06	6140821635	24
10,70471149	0,00310808	19711,04328	3,08341E-06	6392606672	29
10,72247136	0,00261496	19743,74529	2,59421E-06	7610707223	30
10,73317101	0,003109109	19763,44702	3,08443E-06	6407479871	31
10,75886983	0,004398021	19810,76735	4,36312E-06	4540508514	32
11,23986619	0,003856797	20696,44653	3,82619E-06	5409156945	34
10,6989764	0,003581356	19700,48302	3,55293E-06	5544851154	33
10,9792211	0,008707837	20216,50958	8,63873E-06	2340218442	35
10,79243883	0,005237942	19872,5794	5,19637E-06	3824319100	36
11,48076652	0,004447194	21140,02662	4,4119E-06	4791593534	37
10,96929241	0,003934471	20198,22745	3,90325E-06	5174726664	38
10,97895878	0,004878715	20216,02656	4,83999E-06	4176869628	39
10,73128958	0,003661973	19759,98265	3,63291E-06	5439161134	40
10,9958072	0,004507828	20247,05027	4,47205E-06	4527463629	41
10,51724983	0,003249418	19365,86211	3,22363E-06	6007471660	42
11,09525304	0,003711	20430,16415	3,68155E-06	5549341473	43
10,91331664	0,003746597	20095,15686	3,71686E-06	5406483807	44
10,69804618	0,003528172	19698,77016	3,50017E-06	5627945138	45
10,91134602	0,005489632	20091,52829	5,44606E-06	3689183355	46
10,87816455	0,006947115	20030,42983	6,89198E-06	2906339494	47
10,93728156	0,005488117	20139,28451	5,44456E-06	3698973656	48
10,62093631	0,003820115	19556,78445	3,7898E-06	5160378101	49
10,90486277	0,009079729	20079,5904	9,00767E-06	2229166525	50
10,58964022	0,007689477	19499,15763	7,62845E-06	2556110078	51
10,85956905	0,009867513	19996,18914	9,7892E-06	2042678753	52
10,61557497	0,008460007	19546,9124	8,39286E-06	2328991996	53
11,24952763	0,003883256	20714,23656	3,85244E-06	5376917846	54
11,12718617	0,006840744	20488,96398	6,78645E-06	3019097958	55
10,80834937	0,403294037	19901,87614	0,000400093	49743088,97	56
10,57318571	0,004059115	19468,85923	4,0269E-06	4834701471	57
11,09649602	0,004773017	20432,45291	4,73514E-06	4315071662	58
10,5132602	0,009227354	19358,51583	9,15412E-06	2114732317	59
10,49835949	0,014448912	19331,07852	1,43342E-05	1348594724	60