



# Precisão no diagnóstico de Para-Raios de subestação em Distribuidoras pela corrente de fuga: Uma abordagem pelo método B2 da IEC 60099-5

**Tema:** Gestão Ativos e Manutenção

**Autores:** Francerdey Pinheiro, Gilson Machado, Bruno Moita, Marcos Antônio e Randerson Moraes

**Co-Autores:** Luiz Carlos

**Empresa:** Equatorial Pará Distribuidora de Energia S.A

## Resumo

*Este trabalho tem como objetivo apresentar o pioneirismo das distribuidoras do Grupo Equatorial na manutenção preditiva em para-raios de ZnO de subestações (69 e 138kV) mediante a utilização da técnica de medição da parcela resistiva da corrente de fuga como ferramenta para monitoramento e diagnóstico da condição destes equipamentos sem a necessidade de desligamentos, apresentando algumas análises a nível de distribuição, os valores de corrente de fuga resistiva como critério para manutenção e substituição, os desafios técnicos e práticos verificados durante as campanhas de medição, as limitações de uso relacionados a aplicação desta técnica essa técnica.*

## 1. Introdução

Os equipamentos de uma subestação podem ser solicitados por sobretensões provenientes de ocorrências no sistema ou de descargas atmosféricas. Com o objetivo de impedir que estes equipamentos sejam danificados, é necessária a instalação de dispositivos de proteção contra sobretensões, sendo os para-raios os equipamentos mais adequados para esta finalidade. Garante-se, desta maneira, que não sejam estabelecidos valores de sobretensão incompatíveis com o nível de isolamento dos equipamentos.

Os pára-raios são dispositivos relativamente simples quanto aos aspectos construtivos. Sua parte ativa é constituída de um elemento resistivo não linear (ZnO ou SiC) com ou sem a presença de um centelhador em série, sendo que neste trabalho abordaremos o padrão atual de especificação do Grupo Equatorial, pára-raios de ZnO sem uso de centelhador. Em operação normal, o pára-raios tem um comportamento sensível à tensão e conduz apenas durante a duração do transitório. Durante seu ciclo de operação (ocorrência de solicitação), a corrente que circula pelo resistor não linear pode chegar a dezenas de quiloampères.

As baixas taxas de falhas dos pára-raios em sua fase inicial de operação associada ao uso da termografia como única técnica preditiva utilizada pelas equipes de manutenção no diagnóstico destes dispositivos, não motivou investimentos tanto em pesquisas acerca da determinação do fim da vida útil quanto de novas técnicas de diagnósticos dos mesmos. Contudo, as taxas de falhas vêm aumentando nos últimos 4 anos tanto em unidades com invólucros de porcelana com idade acima de 25 anos, como em pára-raios de invólucro polimérico com idade superior a 10 anos, o que torna imediata a aplicação de técnicas instru-

mentalizadas para identificação e troca de unidades com defeitos incipientes prematuros e degradadas por idade. Tais aspectos se justificam principalmente quando são consideradas as imposições cada vez mais severas, por parte das agências governamentais, de índices relativos à qualidade da energia elétrica, além de falhas em pára-raios que ocasionam avarias em outros equipamentos. O modo de falha predominante dos pára-raios é a penetração de umidade devido à perda de estanqueidade do dispositivo principalmente em unidades próximas ao fim de vida útil. O Grupo Equatorial tem histórico em suas distribuidoras onde a falha neste dispositivo, além de representar um curto-circuito franco, pode ser acompanhada da explosão e projeção de estilhaços, que ocasionaram a queima de transformadores de força ou avarias em seus componentes (buchas), podendo atingir ainda os equipamentos em volta (TC's e TP's) e até mesmo profissionais que se encontrem no raio de projeção dos estilhaços.

Estamos avaliando os resultados alcançados com a utilização da técnica da medição da componente resistiva da corrente de fuga, de maneira que esta venha a se tornar a principal preditiva a ser aplicada em pára-raios, complementada em algumas situações pela termografia e futuramente com a medição de descargas parciais, esta última em estágio bem incipiente em algumas distribuidoras. Da mesma forma a interpretação dos resultados, adicionalmente, à identificação do dispositivo degradado e o momento ideal para sua troca, ainda representam o maior desafio e aqui cabe ressaltar que devido a quantidade destes dispositivos instalados nas (520 + GO) subestações, ficamos diante do seguinte cenário de ações:

- Intensificação dos planos de manutenção de pára-raios em subestações, com o objetivo de criar um banco de dados das medições da componente resistiva das correntes de fuga;
- Defender no CAPEX a aquisição de novos instrumentos para medição, para aplicação em distribuidoras que ainda não realizam esta preditiva;
- Para unidades com resultados de medições indicando condições desfavoráveis (correntes de fuga acima dos parâmetros adequados), elaborar um plano prudente de CAPEX para substituição dos dispositivos de ZnO sem centelhadores mais antigos por novas tecnologias para raios de ZnO sem centelhadores;
- Obter uma melhor relação benefício custo para aquisição e/ou substituição desses para raios, considerando o desempenho adequado a longo prazo dessas novas unidades.

Desta forma este trabalho tem como objetivo apresentar a aplicação da técnica de medição da parcela resistiva da corrente de fuga em pára-raios de ZnO, utilizando instrumento com representação técnica e comercial no Brasil pela UTILI. Esta técnica possibilita a realização do monitoramento sem a necessidade de retirar o pára-raios de operação ou de se desenergizar o sistema. Os dados das medições foram coletados baseados nos atuais planos de manutenção definidos para as subestações do Grupo Equatorial, de acordo com ano de fabricação dos pára-raios. Como já mencionado, pretende-se com isso, reduzir as falhas nestes dispositivos, os custos com as ocorrências e montar um banco de dados para o subsídio de melhorias nos processos de compras, projetos e recomendações de pára-raios nas distribuidoras.

## **2. Desenvolvimento**

### **2.1 Histórico de Falhas em Para-raios no Grupo Equatorial**

Na Tabela 01 apresenta-se o histórico de falhas em para-raios de 2020 a 2024 nas subestações das distribuidoras Equatorial Maranhão, Pará, Piauí, Alagoas, Rio Grande do Sul, Amapá e Goiás. No Gráfico 01, apresenta-se o custo total estimado relacionado a serviços e materiais necessários para normalização das referidas falhas.

Tabela 01 - Histórico de falhas nas distribuidoras do Grupo Equatorial

DISTRIBUIDORA	2020	2021	2022	2023	2024	TOTAL
GOIÁS	-	-	-	3	22	25
PIAUI	8	3	3	1	2	17
RIO GRANDE DO SUL	-	-	3	2	1	6
MARANHÃO	-	-	2	-	2	4
ALAGOAS	-	1	1	2	-	4
PARÁ	-	1	-	2	-	3
AMAPÁ	-	-	-	1	1	2
TOTAL	8	5	9	11	28	61

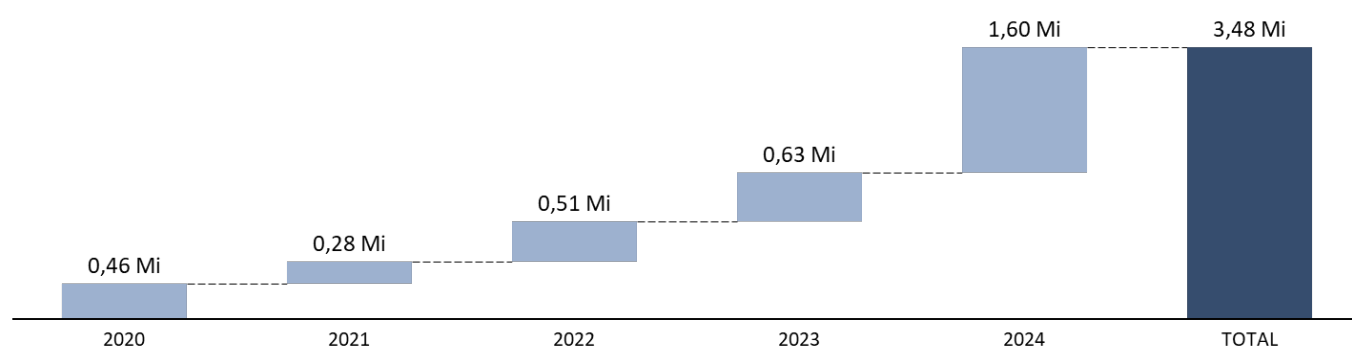


Gráfico 01 - Histórico do custo de ocorrência das falhas

Observa-se através do gráfico, aumento significativo da quantidade de falhas em para-raios do Grupo Equatorial e consequente aumento dos custos de ocorrências, fato que motiva a busca por soluções que venham reduzir o número de intercorrências relacionadas a este dispositivo.

## 2.2 Princípio de operação dos para-raios

O engenheiro projetista e o engenheiro de manutenção devem considerar todas as fontes de estresse que podem ser impostas às instalações, ou seja, ele deve considerar:

- Sobretensões produzidas por descargas atmosféricas (LOV - Lightning overvoltages);
- Sobretensões de manobra produzidas por abertura e fechamento de disjuntores e seccionadoras (SOV - Switching overvoltages);
- Sobretensões temporárias produzidas por falhas, conexão de geração distribuída, fenômenos de ferrorressonância, etc (TOV - Temporary overvoltages);
- Sobretensões sustentadas e desequilibradas, na frequência nominal, provocadas por travamentos de transformadores reguladores e reguladores de tensão, e, na presença de contaminação;
- Sobretensões sustentadas na frequência na presença de contaminação;
- Forma de aterramento escolhida para o neutro - perda do neutro pode alterar significativamente as exigências de isolamento dos equipamentos e dispositivos;
- Filosofia de aterramento e ligação.

Com o objetivo de impedir que estes equipamentos sejam danificados diante dos fenômenos acima, é necessária a instalação de dispositivos de proteção contra sobretensões, sendo os para-raios os equipamentos adequados para esta finalidade, atuando como limitadores de tensão, impedindo que valores acima de um determinado nível pré estabelecido em projeto, adequados para fornecer uma margem de segurança, normalmente padronizada, possam alcançar os equipamentos para os quais fornecem proteção. Os para-raios ou, de forma mais genérica, supressores de surtos de tensão, são os equipamentos responsáveis, portanto, pelo controle de parte das sobretensões existentes nos sistemas elétricos de potência, contribuindo decisivamente para a sua confiabilidade, economia e continuidade de operação. Os para-raios de ZnO, exceto por raras exceções (projetos mais antigos), não são providos de centelhadores. As características de tensão-corrente do para-raios de óxido metálico podem ser divididas em três regiões, conforme Figura 01.

- Região 1: Na região MCOV (Maximum continuous operating voltage),  $I$  é menor que 1 mA e é principalmente capacitivo, portanto, um  $I_c$ . O valor MCOV do para-raios é selecionado nesta região;
- Na região 2: TOV e surtos de chaveamentos,  $I$  varia de 1 mA a cerca de 1000 ou 2000 A sendo principalmente uma corrente resistiva, portanto, um  $I_R$ ;
- Na região 3: de surto de origem atmosférica, raios,  $I = 1$  a 100 kA. Para correntes muito grandes, a característica se aproxima de uma relação linear com a tensão, ou seja, torna-se um resistor puro.

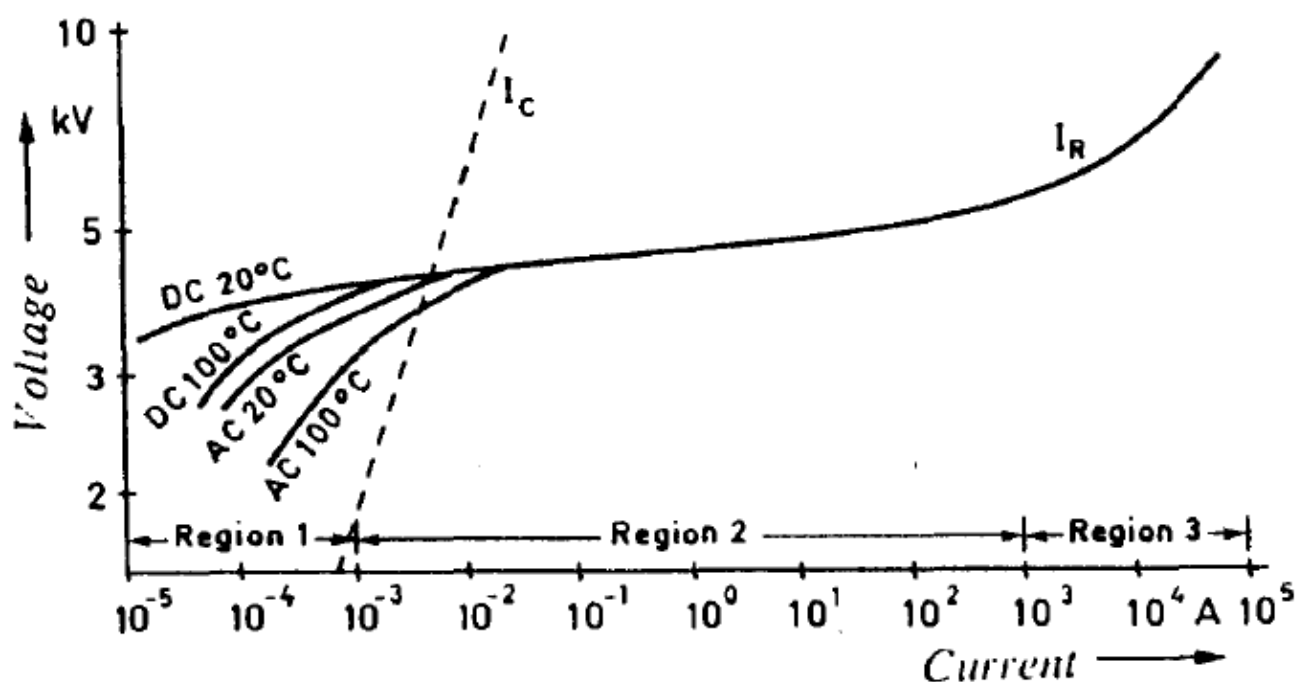


Figura 01 - Características tensão-corrente típicas de um disco de óxido de metal: diâmetro = 80 mm, altura = 20 mm (HILEMAN, 1999).

Em síntese a não-linearidade do óxido de zinco é bastante alta, permitindo que o dispositivo apresente um alto valor de impedância quando em tensão nominal e um baixo valor para esse parâmetro quando submetido a surtos de sobretensão.

### 2.3 Características construtivas

Dois tipos de invólucros podem ser encontrados: porcelana e polimérico. Os para-raios possuem conforme definição IEC 60.099-4 dois tipos de projetos construtivos:

**Projeto A:** no qual um canal de gás percorre toda a extensão da unidade do para raios e preenche 50% do volume interno não ocupado pelas partes ativas internas. Tal construção agrega desvantagens de necessitar de um sistema de vedação separado e devido às elevadas pressões internas durante curto-circuitos, um fator de risco para invólucros de porcelana, podem explodir quando de sua da sua falha.

**Projeto B:** Projetos sólidos, sem volume de gás fechado ou com um volume de gás interno que preenche 50% do volume interno não ocupado pelas partes ativas internas. Possui um desempenho mais seguro, contudo a construção é mais custosa e agrega a desvantagem de necessitar de um sistema de vedação separado permitindo, em caso de defeito a entrada de contaminantes que possibilitam dar origem a descargas parciais.

A Figura 02 mostra os projetos tipo A para os invólucros de porcelana e poliméricos.

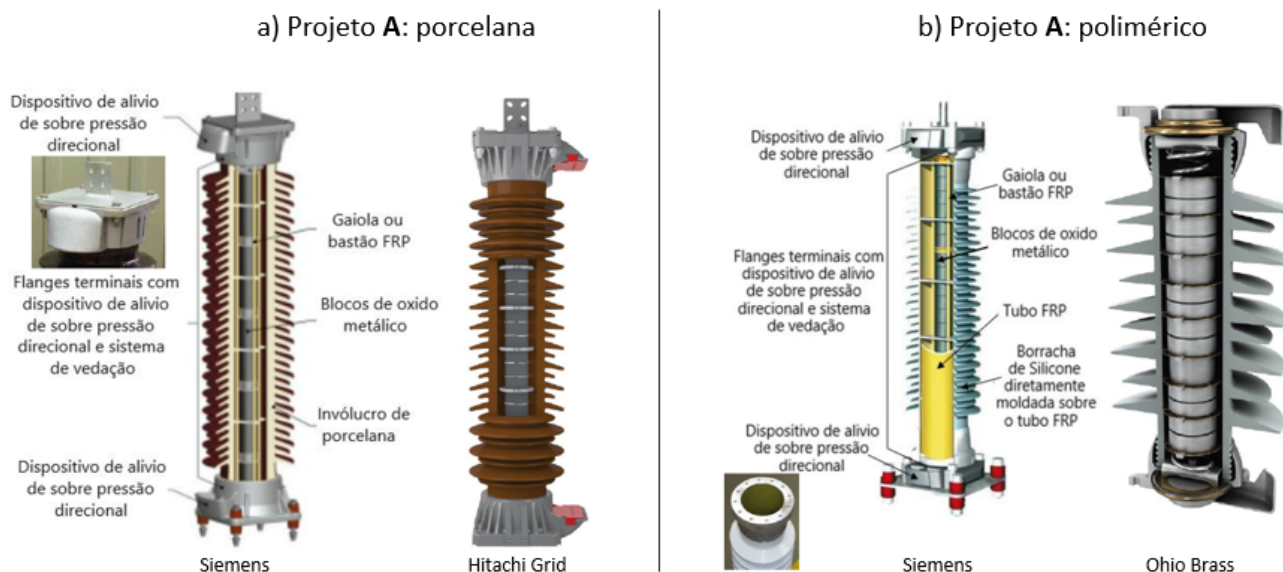


Figura 02 - a) Projeto Tipo A: Porcelana; b) Projeto Tipo B: Polimérico tipo Tubo (Hollow core)

A Figura 03 mostra o projeto tipo B com invólucro polimérico.



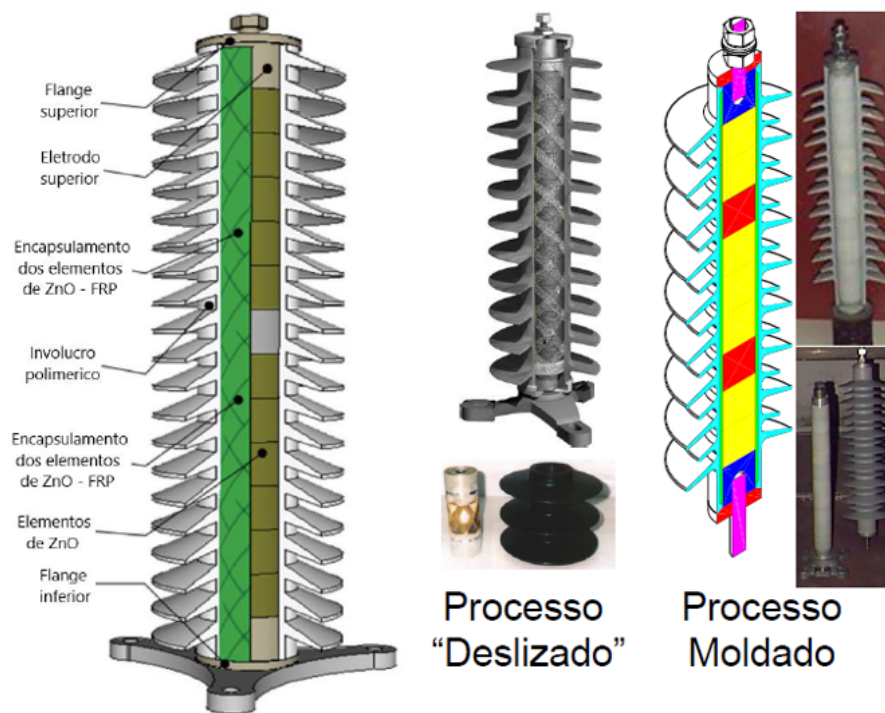


Figura 03 - Projeto Tipo B: Polimérico tipo envolto (Ohio Brass).

A Figura 04 mostra o projeto tipo B com invólucro polimérico tipo gaiola (cage design).

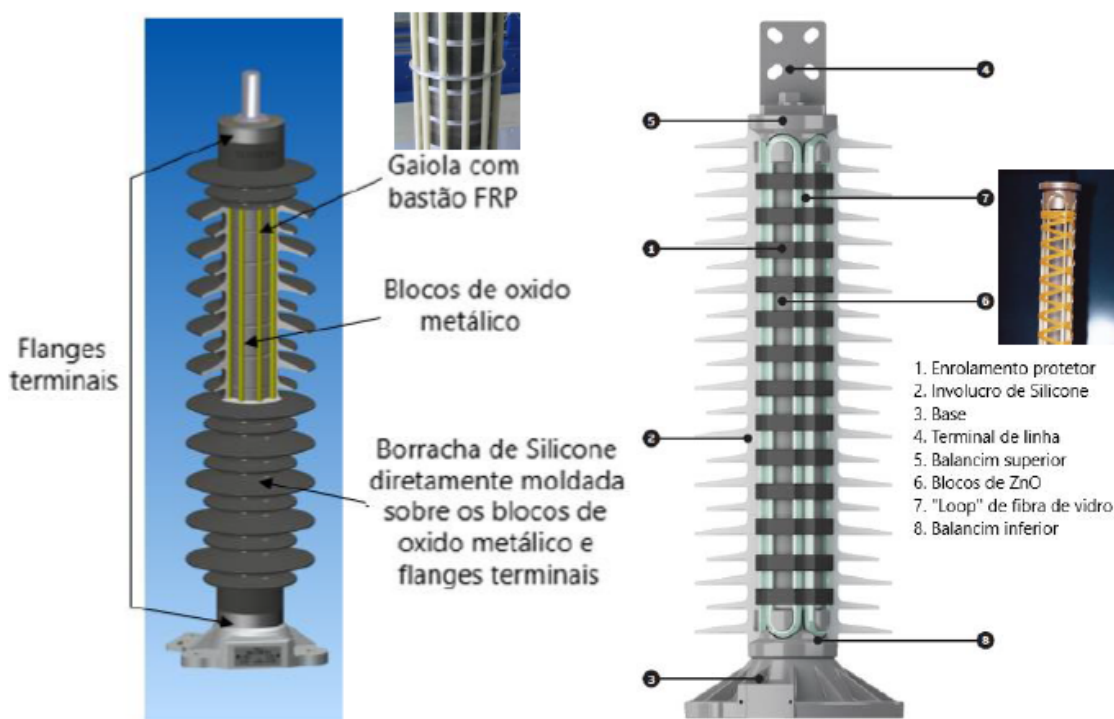


Figura: Tridelta Meidensha  
"Rods"

Figura: Hitachi Grid - Suécia  
"Loops + Bondage"

Figura 04 - Projeto Tipo B: Polimérico tipo gaiola

## 2.4 Correntes de fuga

## Corrente de fuga total

A corrente de fuga de um para-raios de ZnO é composta por duas componentes, uma resistiva não-linear e outra capacitiva linear, sendo a corrente total a soma das duas, conforme mostrado na Figura 05.

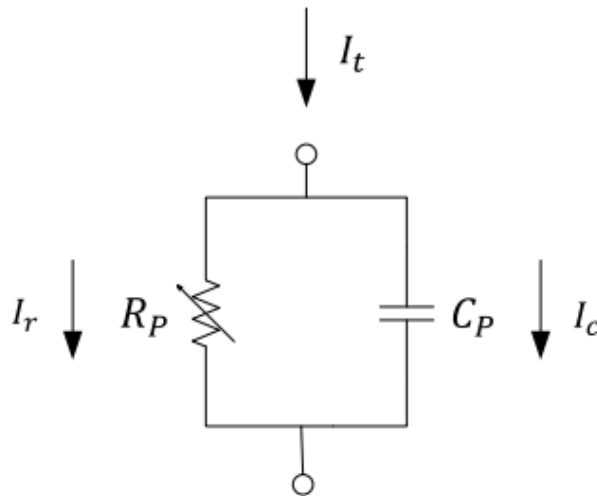


Figura 05 – Modelo Elétrico de Para-Raio de Óxido de Zinco (ZnO)

A parcela resistiva da corrente de fuga é a responsável pelas perdas e pode indicar o grau de degradação dos blocos de ZnO. Esta parcela representa apenas de 5% a 20% do valor da corrente de fuga total de um para-raios em condições normais de operação, aumentando com o estado de degradação do equipamento. A Figura 06 mostra o resultado de uma medição em laboratório da corrente de fuga típica em um único resistor de óxido metálico não linear, quando energizado a uma tensão equivalente à tensão de operação contínua ( $U_c$ ) (SCHEI, 2000, p. 01-05).

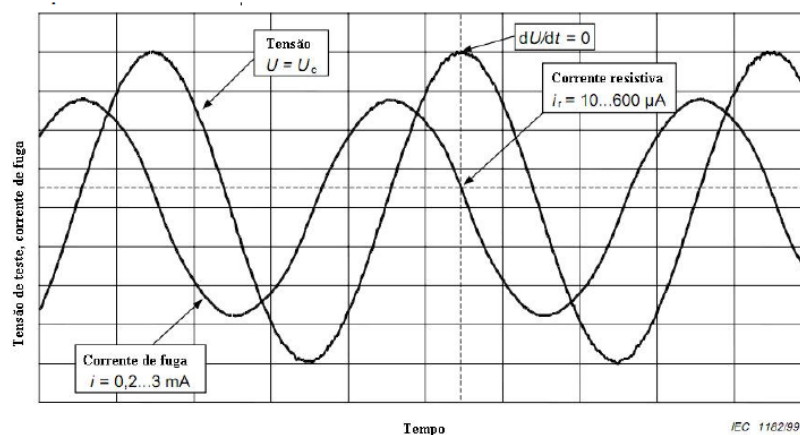


Figura 06 - Corrente de fuga típica de um resistor de óxido metálico não linear em condições de laboratório (SCHEI, 2000, p. 01-05)

Na Figura 06 também é apresentada a forma de onda da tensão  $U_c$ , equivalente à sua tensão de operação contínua, à qual o varistor foi submetido. Através da medição simultânea de corrente e tensão, pode-se efetuar a comparação temporal entre os sinais, tornando possível determinar o valor da componente resistiva. Quando a tensão atinge o valor máximo ( $dU/dt=0$ ), a amplitude da componente capacitiva é nula, e o valor instantâneo da corrente de fuga total corresponde ao valor de pico da componente resistiva.

## Corrente de fuga capacitiva

A componente capacitiva da corrente de fuga de um para-raios de ZnO ocorre devido à permissividade dos varistores de óxido de zinco e às capacitâncias parasitas. A capacitância específica de um bloco varistor varia tipicamente de 60 a 150 pF.kV/cm<sup>2</sup>, resultando em um pico de aproximadamente de 0,2 a 3mA em condições normais de serviço (IEC 60099-5, 2010).

A menos da existência de harmônicos na tensão da rede, esta componente de corrente é linear. Não há evidências de que a corrente capacitiva varie significativamente com a deterioração dos blocos varistores (IEC 60099-5, 2010). Desta maneira e devido ao fato de, para os para-raios em condições normais de operação, esta ser a sua componente predominante, pode-se dizer que a corrente de fuga total não indica de forma confiável a condição do equipamento (IEC 60099-5, 2010).

### Corrente de fuga resistiva

Para dados valores de tensão e temperatura, a componente resistiva da corrente de fuga é um indicador sensível das variações na característica tensão-corrente de varistores de óxido de zinco. Portanto, o valor da parcela resistiva da corrente pode ser utilizada como uma ferramenta de indicação para o diagnóstico de um para-raios de óxido de zinco (IEC 60099-5, 2010).

Conforme já exposto, o valor da componente resistiva depende da temperatura ambiente e do valor da tensão aplicada sobre o para-raios. As Figuras 07 e 08 apresentam a dependência da corrente resistiva de fuga com relação a, respectivamente, tensão e temperatura, conforme a norma IEC 60099-5, normalizadas para a tensão contínua de operação  $U_c$ , que pode variar dependendo do para-raios, e para a temperatura de 20°C. Nas Figuras 07 e 08 também são apresentadas as curvas da dependência da corrente de terceiro harmônico e das perdas.

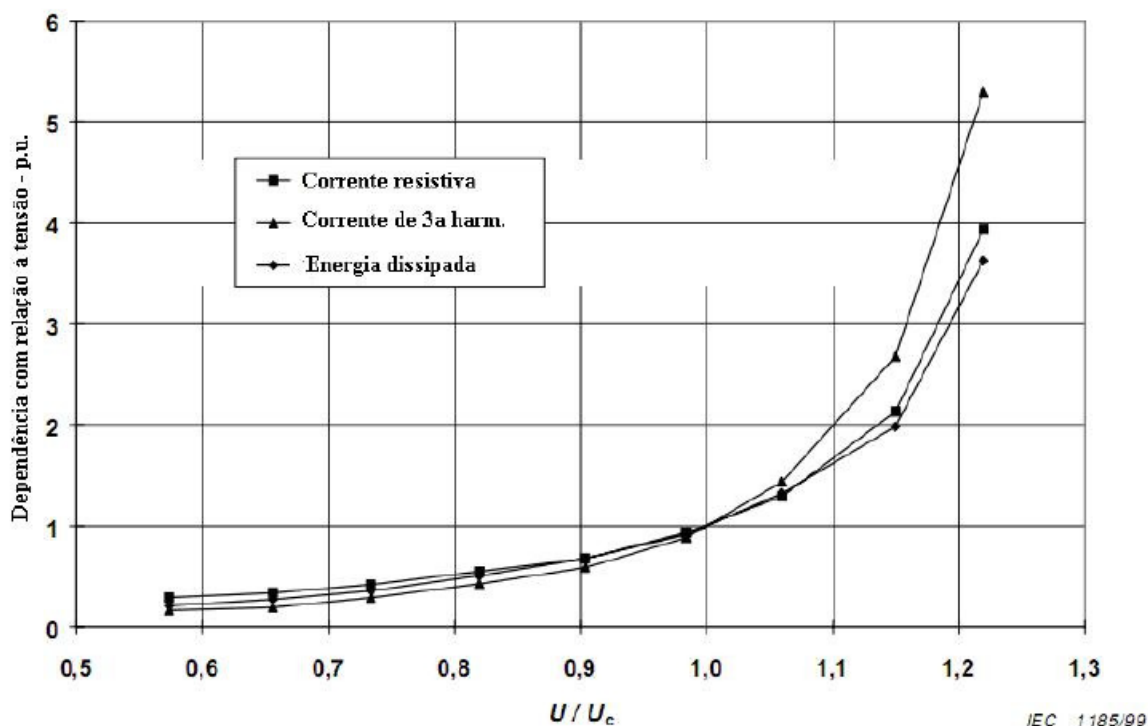


Figura 07 - Dependência com relação à tensão para a temperatura de 20° C (IEC 60099-5, 2010).



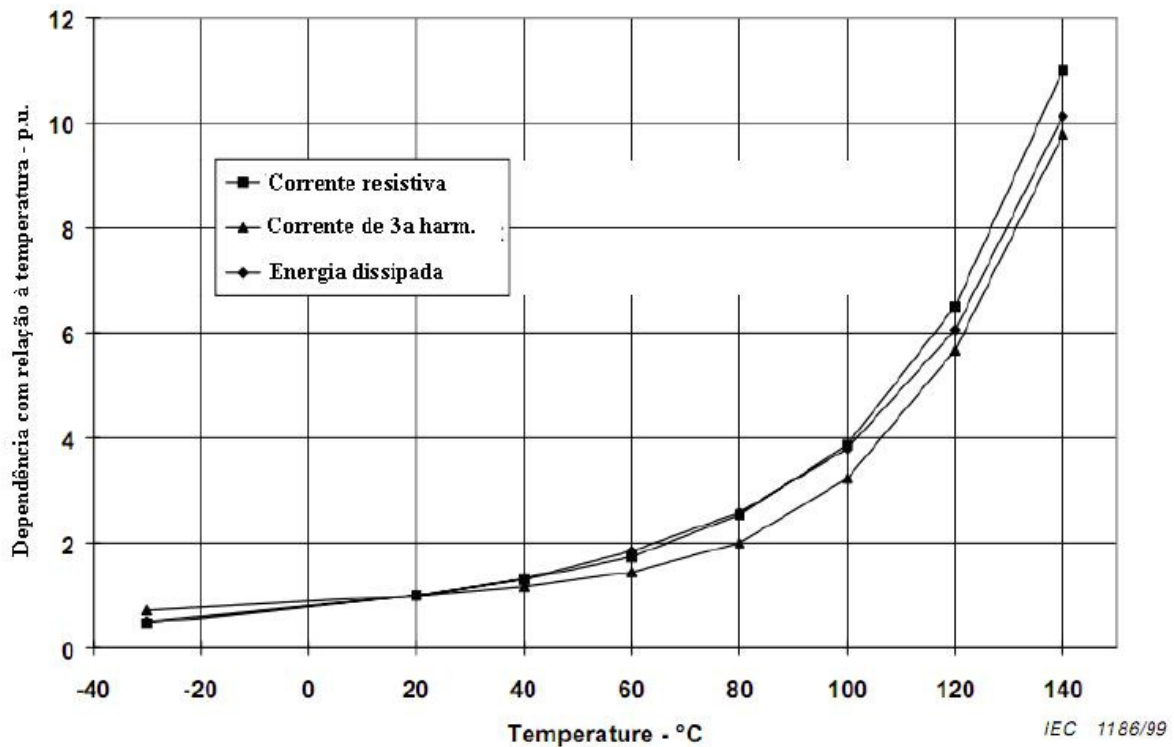


Figura 08 - Dependência com relação à temperatura para a tensão  $U_c$  (IEC 60099-5, 2010)

## 2.5 Metodologia de Medição das correntes de fuga - 3ª harmônica da componente resistiva

Devido à não-linearidade dos blocos de ZnO, a componente resistiva da corrente de fuga dá origem a componentes harmônicas, mesmo quando o para-raios está alimentado em tensão senoidal. Desta maneira, por ser uma soma das componentes resistiva e capacitiva, a corrente total de fuga apresenta distorção harmônica. O conteúdo harmônico presente na forma de onda da corrente, quando o para-raios está operando sob tensão sem distorção harmônica, é função apenas da corrente resistiva, também apresentando em seu valor dependência com relação à tensão e temperatura. Tipicamente, em um para-raios em condições normais de operação, a componente de terceira harmônica está entre 10% e 40% do valor da corrente resistiva. Com a degradação do para-raios e o consequente aumento da corrente resistiva de fuga, há também o aumento das componentes harmônicas, de modo que estas também possam ser usadas como indicativo do estado do para-raios (IEC 60099-5, 2010).

A parte resistiva da corrente de fuga ou a perda de potência pode ser determinada usando vários métodos:

- Método usando um sinal de tensão como referência;
- Método de compensação da componente capacitiva usando um sinal de tensão;
- Método de compensação da componente capacitiva sem usar um sinal de tensão;
- Método da compensação capacitiva pela combinação da corrente de fuga das três fases;
- Método da análise harmônica de terceira ordem;
- Método da análise harmônica de terceira ordem com compensação para harmônicas na tensão;

Sendo este último o método adotado na metodologia de medição e diagnóstico apresentada neste trabalho. O método é baseado no mesmo princípio do método da análise harmônica de terceira ordem(5.5), mas a sensibilidade aos harmônicos na tensão é bastante reduzida pela introdução de um sinal de corrente compensadora para a terceira corrente harmônica capacitiva no para-raios. O sinal de corrente compensadora é derivado de uma "sonda de campo" posicionada na base do para-raios. Após o dimensionamento adequa-

do, a corrente harmônica induzida na sonda pelo campo elétrico é subtraída da corrente harmônica total. O resultado é a corrente harmônica gerada pela corrente resistiva não linear do para-raios. A conversão da componente resistiva da corrente de terceira harmônica para a componente de corrente resistiva, se desejada, requer informações adicionais do fabricante do para-raios.

Este método se complementa às metodologias tradicionais para diagnóstico de pára-raios, como por exemplo a termografia, a qual corretamente aplicada, permite monitorar pontos quentes ao longo do dispositivo, auxiliando na identificação de desgaste ou degradação interna. Uma vantagem da termografia é a possibilidade de diagnóstico sem desenergizar o sistema, o que evita perda de receita e facilita inspeções sem interrupção da operação. A Figura 09 mostra casos de sucesso na retirada preventiva de pára-raios utilizando a termografia.

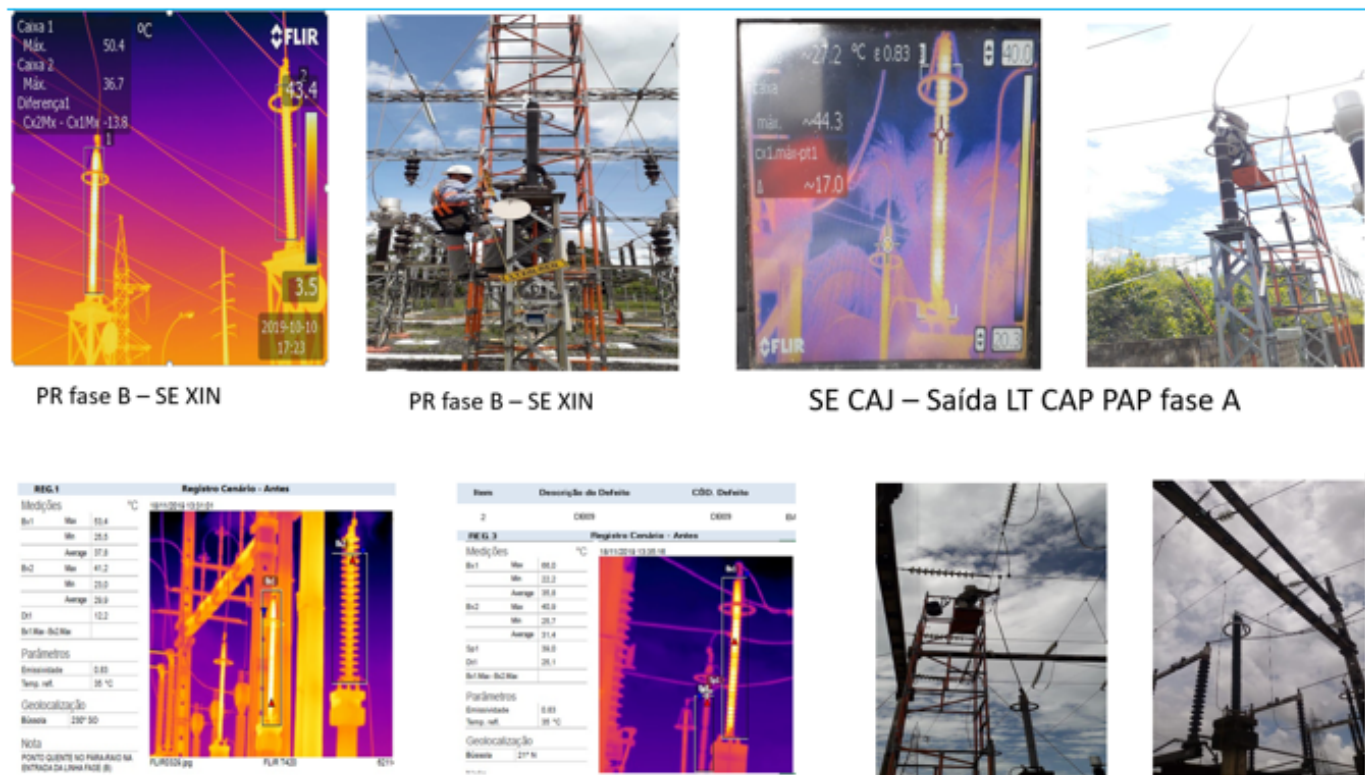


Figura 09 – Diagnóstico da condição de para-raios aquecidos com uso da termografia

Contudo, apesar de eficaz para detectar defeitos externos e aquecimentos localizados, a termografia apresenta limitações na identificação de falhas internas, especialmente quando a corrente de fuga é baixa e ainda não gerou pontos de aquecimento perceptíveis.

Para suprir essas limitações e melhorar a precisão do diagnóstico, este artigo propõe o uso complementar de sistemas de medições em campo para análise de corrente de fuga resistiva com compensação de terceira harmônica. Este método permite identificar falhas que não são facilmente detectadas pela termografia, oferecendo uma visão detalhada sobre a condição interna de degradação dos para-raios. A integração do monitoramento da corrente de fuga nos planos de manutenção, através de inspeções periódicas, indica possíveis falhas causadas por perda de estanqueidade e penetração de umidade, contaminantes ou degradação dos componentes, como o comprometimento dos elementos de óxido de zinco, fundamentais para a proteção oferecida pelo equipamento.

**2.6 Sistema comercial para monitoramento análise harmônica de terceira ordem com compensação para harmônicas na tensão**

Conforme mencionado, é de suma importância verificar a condição dos pára-raios em intervalos de tempo regulares, conforme o plano de manutenção para este dispositivo, sendo atualmente considerado a cada 2 anos o intervalo de monitoramento dos para-raios das distribuidoras da Equatorial através de medições da componente resistiva da corrente de fuga contínua em serviço sem desenergizar o pára-raios. Medições confiáveis são obtidas pela introdução de uma sonda de campo, como ilustrado na Figura 10, que permite uma compensação para as correntes harmônicas geradas pelos harmônicos na tensão.

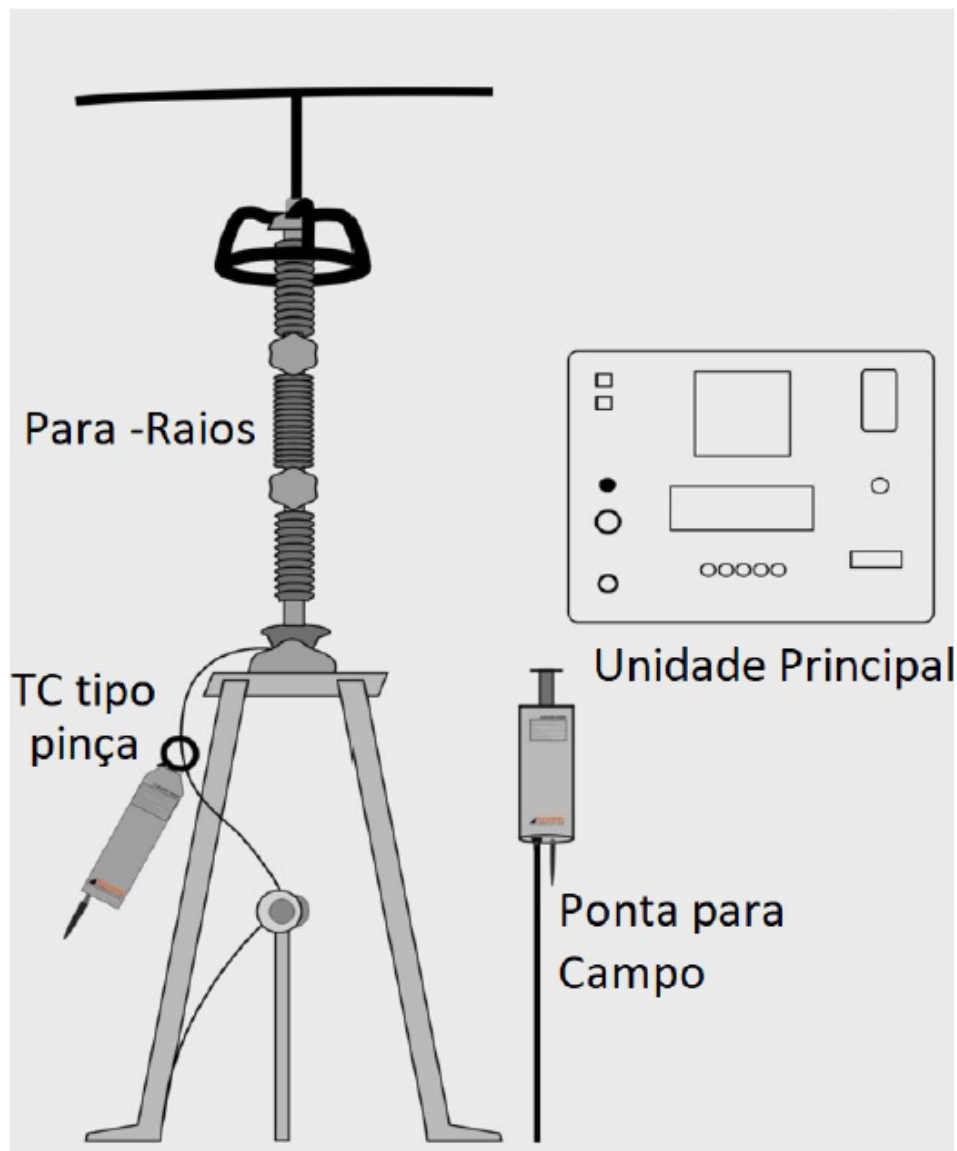


Figura 10 – Equipamento comercial para monitoramento de corrente de fuga com compensação (UTILI).

A experiência de medições em para-raios para tensões do sistema de 69 kV a 230 kV tem prevenido falhas destes dispositivos e aumentando a confiabilidade da operação.

O sistema de medição das corrente de fuga é usado em para-raios de óxido de zinco sem gap, sendo conectado aos para-raios conforme ilustrado na Figura 10. Ele consiste em três partes principais:

- Unidade principal - instrumento que realiza a medição corrente de fuga, usando análise harmônica de sinais de corrente e sonda de campo para determinação do componente resistivo da corrente de fuga, além de realizar a coordenação das operações, aquisição de dados e sequenciamento completo dos testes. Realiza cálculos, gerenciamento, apresentação e impressão de resultados, assim como a comunicação com um PC externo.

- TC tipo pinça - Uma sonda de corrente conectada ao conector de um transformador de corrente clip-on ou de um transformador toroidal em caso de instalação permanente. TC processa a informação e transmite os dados para o instrumento principal podendo ou não utilizar uma conexão sem fio;
- Ponta de Campo - Uma sonda de campo posicionada perto da base do para-raios para captar o componente de corrente capacitiva é conectada à sonda de corrente via cabo coaxial e um adaptador ou conexão sem fio. Uma haste telescópica de material isolante é usada para localizar a sonda de campo na posição correta;

### 2.7 Critérios de Avaliação

Cada fabricante indica o valor de referência de corrente de fuga resistiva dos pára- raios, entretanto, pela dificuldade de obtenção desses valores individuais, os limites padrões de corrente de fuga resistiva utilizados pelo Grupo Equatorial estão detalhados na Tabela 02. Esses valores guiam as ações de manutenção preditiva.

Tabela 02 – Diagnóstico da condição de pára-raios aquecidos com uso da termografia.

Valor (IR)	Condição	Ação
$IR \leq 100 \mu A$	Bom	Continuar monitorando
$100 \mu A < IR \leq 200 \mu A$	P3	Substituição em até 90 dias
$200 \mu A < IR \leq 400 \mu A$	P2	Substituição em até 60 dias
$IR > 400 \mu A$	P1	Substituição em até 15 dias

### 2.8 Resultado das medições realizadas em subestações

Este trabalho inclui medições em para-raios de óxido de zinco com especificação de 52 a 145 kV e 10 kA de capacidade de interrupção, removidos preventivamente antes de falhar, evitando a indisponibilidade do sistema. Durante as medições de corrente de fuga, anomalias foram observadas, sugerindo a presença de umidade e perda de estanqueidade do invólucro do equipamento.

Entre 2023 e 2024, foram avaliados 1.312 para-raios em diferentes estados, identificando-se 47 dispositivos com corrente de fuga resistiva acima de 100 µA. Destes, 20 foram substituídos, enquanto 27 permanecem pendentes de ações complementares. A Tabela 03 apresenta os dados detalhados por distribuidora.

Tabela 03 – Diagnóstico da condição de para-raios aquecidos com uso da termografia

Estado	Quantidade Avaliada	Para-Raios Defeituosos	Para-Raios Substituídos
MA	114	3	3
PA	584	8	7
PI	39	0	0
AL	95	7	3
RS	480	29	7

## 2.9 As limitações da técnica aplicada

A medição de corrente de fuga resistiva apresenta algumas limitações técnicas, relacionadas muito mais aos padrões construtivos das instalações, incluindo:

- Aplicabilidade restrita a para-raios de ZnO: Essa técnica não se aplica a para-raios de carboneto de silício (SiC), que possuem centelhadores ativos;
- Instalação individualizada: A medição requer base isolada e aterramento individualizado, Figura 11(a), evitando interferências eletromagnéticas e divisores de corrente durante o percurso da corrente de fuga, como pode acontecer no cenário da Figura 11(b) e 11(c);

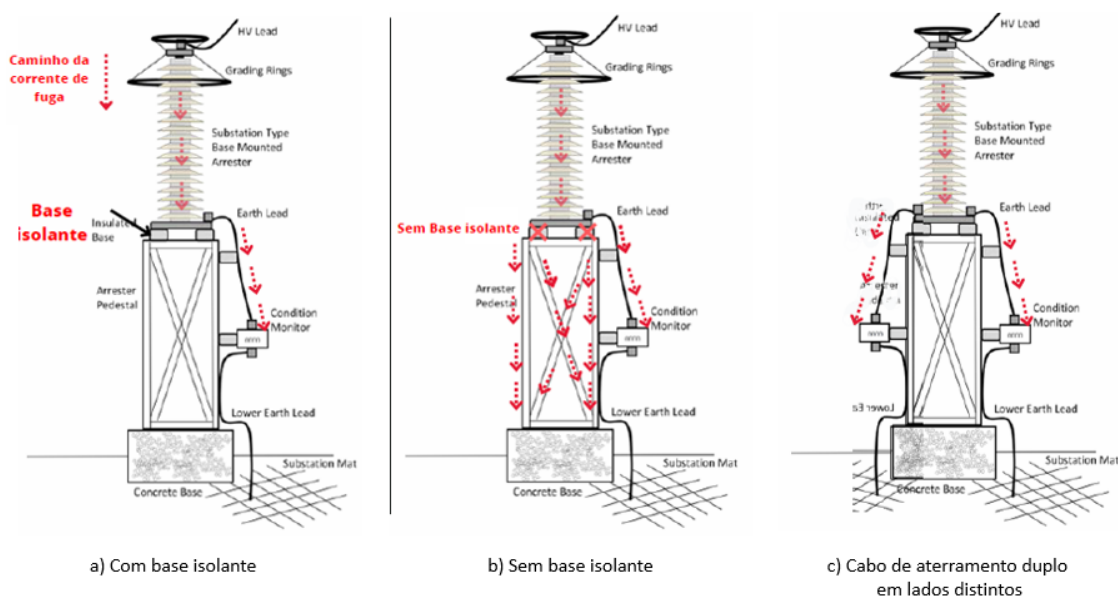


Figura 11 – Para raio com base isolante (a), sem base isolante (b) e com cabo de aterramento duplo em lados distintos (c).

## 2.10 Ganhos obtidos e custos evitados

Considerando as quantidades de para-raios identificados como potenciais alvos de falha e substituídos de forma preventiva, estima-se um custo evitado da ordem R\$ 7,22 Milhões levando em conta a mão-de-obra

necessária para substituição, custos com materiais e consequências mais severas relacionadas a danos em outros equipamentos das subestações.

### **3. Conclusão**

A medição da corrente de fuga resistiva em para-raios de ZnO tem se mostrado uma ferramenta eficaz na manutenção preditiva, permitindo identificar dispositivos com alto potencial de falha. Apesar das limitações técnicas, a implementação sistemática dessa técnica no Grupo Equatorial demonstrou sua relevância para a manutenção da confiabilidade do sistema elétrico.

Este artigo ainda discute as vantagens de se utilizar a análise de corrente de fuga como método complementar à termografia e outros métodos tradicionais de diagnóstico, como a medição do fator de potência e resistência de isolamento, que exigem a desenergização do equipamento. O método combinado permite uma avaliação contínua do estado do equipamento, evitando interrupções e tratando problemas antes de se agravarem. Com a corrente de fuga como parâmetro de monitoramento adicional, as concessionárias e operadoras de distribuição e transmissão podem reduzir o risco de falhas em para-raios e garantir a proteção de outros equipamentos críticos da rede contra surtos de alta tensão.

Concluindo, a proposta de incorporar a medição de corrente de fuga contínua ao diagnóstico de para-raios oferece uma solução prática e confiável para reforçar a segurança e eficiência das redes. Este estudo reforça a importância de metodologias de diagnóstico abrangentes, que possibilitem a manutenção preventiva e o aumento da vida útil dos para-raios, minimizando riscos.

A utilização da técnica de medição de descargas parciais, ainda que em fase inicial de testes mostra-se como outra alternativa para monitoramento da condição de para-raios.

### **4. Referências bibliográficas**

HILEMAN, A. R. Insulation Coordination for Power Systems, CRC Press Taylor & Francis Group, 1999.

IEC. International Electrotechnical Commission. IEC 60099-5: Surge arresters – Part 5: Selection and application recommendations. Geneva: IEC, 2010.

SCHEI, A. Diagnostic Techniques for Surge Arresters with Main Reference to On-Line Measurement of Resistive Leakage Current of Metal-Oxide Arresters. p. 01-05, Section 2000, CIGRÉ

UTILI ENERGIA. Guia de uso de analisador comercial de Para-Raios;