

# Metodologia para a inspeção instrumentalizada de isoladores de pino de redes de distribuição por RFI e ultrassom.

Rafael Pires Machado, Edemir Luiz Kowalski, André Eugênio Lazzaretti, Jackson Raphael Frago, Vitoldo Swinka Filho, José Arinos Teixeira Junior, Marcelo Antônio Ravaglio, Nilson de Oliveira, Rodolfo Cesar Bathke, Daniel de Holanda Cavalcanti e Mariana Carneiro dos Santos Fernandes

**Resumo** – As técnicas de detecção de ondas viajantes por rádio interferência e ultrassom são amplamente utilizadas para se inspecionar isoladores em redes de distribuição e linhas de transmissão, porém, estas não possuem parâmetros bem estabelecidos, tais como padrões de repostas e frequência ideal para uso. Nestes casos a interpretação dos resultados está diretamente associada à habilidade do eletricitista que realiza o serviço. Este trabalho apresenta o estudo de parâmetros sobre padrões para rádio interferência e de intensidade de ruídos devido à ultrassom correlacionando estes com a ocorrência de descargas parciais medidas em uma bobina de Rogowski. Para este desenvolvimento um conjunto de isoladores de pino retirados de redes de distribuição de 13,8 kV foi selecionado para realização dos ensaios em laboratório e posteriormente em campo. Além disso, são propostos dois novos dispositivos para a inspeção com um índice superior de acerto.

**Palavras-chave** – descargas parciais, inspeção instrumental, isoladores de pino, RFI, ultrassom.

## I. INTRODUÇÃO

A maior parte das redes aéreas de distribuição de energia elétrica no Brasil, de média tensão é construída com condutores nus, fixados em isoladores de pino e instalados em cruzetas de madeira. Ocorre, no entanto, que quase a totalidade desses isoladores é fabricada em porcelana, material que possui boas características mecânicas e elétricas, porém, com projeto passível de sofrer perfuração elétrica devido à ação de descargas atmosféricas.

A perfuração de um isolador de pino provoca, em muitas situações, a interrupção do fornecimento de energia, motivada pela ocorrência de redução da resistência de isolamento,

---

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do VI Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VI CITENEL), realizado em Fortaleza/CE, no período de 17 a 19 de agosto de 2011.

Os autores agradecem à ANEEL, COPEL, LACTEC, CNPq, UFPR e FINEP.

R. P. Machado (rafael.machado@lactec.org.br), E. L. Kowalski (edemir@lactec.org.br), A. E. Lazzaretti, J. R. Frago, V. Swinka Filho, J. A. Teixeira Junior e M. A. Ravaglio, Nilson de Oliveira trabalham no 'LACTEC – Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento'.

M. C. S. Fernandes (mariana.fernandes@copel.com), N. Oliveira, R. C. Bathke, e D. H. Cavalcanti trabalham na 'COPEL – Companhia Paranaense de Energia Elétrica'.

com a conseqüente atuação de algum dispositivo de proteção. Em algumas situações o sistema apresenta desligamento intermitente principalmente em função de condições ambientais como a presença de umidade. Em ambas as situações esses desligamentos acarretam elevados custos devido à perda de receita pela interrupção do fornecimento de energia, pelo deslocamento de equipe de manutenção entre outros.

Normalmente a perfuração do isolador ocorre no seu ponto de contato com o cabo, sem apresentar vestígios que possam ser visualizados do solo, de forma que a sua localização depende única e exclusivamente da sensibilidade e experiência do eletricitista.

A solução do problema de detecção de isoladores defeituosos torna-se cada vez mais necessária para as empresas de energia elétrica, as quais buscam associar o aumento da confiabilidade do sistema à redução de custos.

Este artigo apresenta os principais resultados do Projeto de P&D 2866-032/2006 intitulado "Sistema de inspeção instrumental para detecção de falhas em isoladores nas linhas de distribuição", realizado para a COPEL, nos ciclos 2006 e 2007 da ANEEL.

## II. ESTADO DA ARTE

### A. Técnicas de detecção de defeitos.

Dentro do escopo da pesquisa, existem disponíveis comercialmente equipamentos que são usados pelas concessionárias de energia para buscar diagnosticar equipamentos da rede de distribuição que apresentam defeitos. De forma simplificada, podem-se classificar estes equipamentos em três grupos distintos, tendo por critério o princípio físico utilizado para detecção de defeitos:

- **Técnicas óticas:** detectam pontos de aquecimento devidos a corrente elétrica de fuga. São de dois tipos: câmeras de infravermelho (pirômetros e termovisores) e câmeras de ultravioleta (para detecção de corona);
- **Técnicas sonoras:** ruídos devidos a descargas parciais de natureza audível (métodos de emissão acústica), ultrassônica ou eletromagnética (equipamentos de rádio interferência – RFI). Estas podem ser à distância, por proximidade e até por contato, como o equipamento adquirido no projeto denominado

ADD;

- **Técnicas elétricas:** tais como a detecção de descargas parciais captadas por bobinas de Rogowski, isolômetros e outros dispositivos utilizando circuitos elétricos.

No caso do isolador estar perfurado ou conduzindo para a estrutura poderá ocorrer descargas elétricas chamadas de descargas elétricas parciais, podendo elas ser internas, superficiais ou corona (1). As descargas elétricas parciais são características de defeitos em diversos tipos de materiais isolantes.

Atualmente, a inspeção instrumentalizada realizada pelas equipes da COPEL em redes de média tensão é feita por meio de equipamentos como radio interferência, ultrassom, termografia óptica e o equipamento denominado de isolômetro que tem sua funcionalidade em isoladores de disco. Estas técnicas estão dispostas em um procedimento interno para a realização da atividade de inspeção instrumental, denominada MIT de Inspeção Instrumental, sendo este de 1998. Este manual está muito bem elaborado e apresenta às equipes de inspeção um roteiro básico de procedimentos para a execução de inspeção instrumental nas redes de distribuição.

O equipamento de rádio frequência é utilizado para localizar a região onde ocorre o defeito, não apontando exatamente qual dispositivo esta com o problema. Este fato é justificado pelo fato de fontes de centelhamento ou corona na rede, as quais emitem ondas eletromagnéticas que propagam um ruído em todas as direções do espaço.

O segundo passo é a utilização do equipamento de ultrassom na tentativa de se localizar o defeito nas estruturas avaliando-as ponto a ponto, por meio de uma ponteira a laser e antena parabólica.

A inspeção termográfica é muito útil para a detecção de pontos quentes na rede, como por exemplo, contatos e conexões ruins e pontos de oxidação os quais provocam o aquecimento dos condutores e conectores. Também se observa um avanço na utilização deste equipamento para a detecção de isoladores com defeitos, porém, observa-se ainda a necessidade de desenvolvimento de estudos para seu melhor aproveitamento com esta finalidade.

O isolômetro é aplicável para a inspeção em isoladores de discos, e funciona pelo princípio da medida da resistência de isolamento de cada um dos discos da cadeia, em função da queda de tensão entre cada um dos discos em relação à tensão do cabo.

Atualmente, não existem equipamentos na concessionária, e nem comercialmente, usuais e efetivos para a detecção de falhas em isoladores de pino.

### B. Descargas parciais.

Descarga parcial é uma descarga elétrica que ocorre numa região do espaço sujeita a um campo elétrico, cujo caminho condutor formado pela descarga não une os dois eletrodos de forma completa [1]. A ocorrência de uma descarga parcial depende a princípio de dois fatores:

- A existência de cargas livres (elétrons e ou íons positivos) numa determinada região do espaço;

- Um campo elétrico intenso o suficiente para acelerar as cargas livres com energia necessária para iniciar um processo de avalanche.

A ocorrência de descargas parciais em materiais dielétricos utilizados em sistemas de isolamento de equipamentos elétricos pode ser considerada como uma das principais causas da ruptura dielétrica desses materiais ao longo da sua vida útil [11]. Descargas parciais internas são descargas elétricas que ocorrem em vazios ou inclusões na estrutura do material, quando o campo elétrico no interior do vazio ou inclusão ultrapassa um determinado valor crítico. A contínua ocorrência de descargas parciais no interior dos vazios gera um bombardeamento eletrônico e iônico nas superfícies internas dos vazios, e como consequência a condutividade superficial é alterada, dando início a caminhos condutores que se propagam na direção do campo elétrico. Estes caminhos condutores são conhecidos como arborescência elétrica (*electrical trees*) [12]. Quando um caminho de arborescência liga totalmente os dois eletrodos metálicos ocorre à ruptura do dielétrico, danificando o sistema de isolamento.

A terminologia usada para classificar os tipos de descargas parciais é normalizada pela IEC270 [13] e pela norma brasileira NBR 6940 [14]. Na literatura inglesa e americana o termo “ionização” é normalmente usado para o fenômeno de descarga parcial. Segundo F.H. Kreuger [1], este termo é considerado incorreto e os termos derivados como “ponto de ionização” e “nível de ionização” são igualmente incorretos. Outro termo incorretamente usado na literatura americana é a utilização da palavra “corona” para descargas parciais no interior de vazios ou inclusões e, também, instrumentos para medir descargas parciais são chamados de detector de corona. A terminologia atual diferencia descarga parcial interna, descarga parcial superficial e descarga corona.

Descarga parcial interna é a descarga que ocorre no interior de vazios ou inclusões em um material dielétrico. Este tipo de descarga pode ocorrer numa região do material dielétrico onde um vazio está totalmente circundado pelo dielétrico ou na interface entre o dielétrico e um dos eletrodos.

Descarga parcial superficial é a descarga que ocorre na superfície de um material dielétrico, normalmente partindo de um eletrodo para a superfície. Quando o campo elétrico paralelo à superfície excede certo valor crítico, inicia-se o processo de descarga superficial. As descargas superficiais ocasionam alterações na superfície iniciando caminhos condutores que se propagam ao longo da direção do campo elétrico. Estes caminhos condutores conhecidos como “trilhamento” também podem levar o isolamento à ruptura total.

O efeito corona é caracterizado por descargas parciais que ocorrem no ar e partem de pontas agudas em eletrodos metálicos. Pontas agudas em eletrodos de alta-tensão, ou seja, partes com pequenos raios de curvatura, geram regiões nas vizinhanças do condutor com campo elétrico elevado, o qual pode ultrapassar o valor crítico, originando as descargas parciais.

Quando a tensão aplicada é alternada com forma senoidal, a descarga parcial corona pode ser facilmente identificada devido a sua ocorrência inicial localizar-se no máximo do semiciclo negativo da tensão aplicada. Isto se deve ao fato

de que um eletrodo metálico disponibiliza elétrons no ar na região próxima do eletrodo (nuvem eletrônica).

### C. Detecção de descargas parciais

Como método de detecção de descargas elétricas, é amplamente reconhecido que a bobina de Rogowski se trata de um excelente sensor. Uma bobina de Rogowski [2] consiste de um solenóide toroidal que envolve um condutor pelo qual circula a corrente que se pretende medir. A bobina está acoplada magneticamente a um condutor e, por ela, se induz uma tensão proporcional a variação da corrente no tempo. Dentre as vantagens da bobina de Rogowski, pode-se citar a larga faixa de leitura em relação ao resistor *shunt*, a qual vai desde mA até alguns kA. A bobina não apresenta histerese, pois seu núcleo é de material não magnético. Possui boa linearidade, formato que facilita as medidas em lugares com acesso limitado, não possui contato físico com o circuito, um baixo consumo e uma baixa variação do sinal da saída com a temperatura. Além disso, a indutância mútua não depende da corrente e frequência do sinal a medir [3]. A limitação em frequência vem determinada pela ressonância da bobina, a qual depende do projeto [4].

As descargas parciais, a partir de ponto de sua geração, produzem ondas eletromagnéticas de frequências características, podendo interferir sobre os sistemas de comunicação. Dentre as técnicas utilizadas para se inspecionar isoladores em redes de distribuição e transmissão estão às técnicas de radio interferência (RFI) [5-7] e de ultrassom [8-10]. Estas técnicas não possuem parâmetros bem estabelecidos, tais como padrões de respostas e frequência ideal para uso. Este trabalho visa um estudo de parâmetros sobre padrões para rádio interferência e ultrassom correlacionando-os com a ocorrência de descargas parciais medidas em uma bobina de Rogowski.

## III. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do estudo, um conjunto de 9 isoladores de pino de aplicados em redes de 13,8 kV foram retirados de campo. Estes isoladores tiveram suas características de isolamento medidas em condição de laboratório.

Para o estudo, foi construído em laboratório um arranjo com apenas uma fase, utilizando isoladores cerâmicos, cruzeta de madeira e estrutura aterrada. Para se assegurar que os sinais obtidos com os sensores eram gerados pelos isoladores de pino investigados, utilizou-se um tubo de alumínio para simular o condutor, pois este não apresenta irregularidades que podem ser pontos de geração de descargas corona. Nas extremidades do tubo, foram adaptados eletrodos toroidais de alívio de campo elétrico, com o objetivo de não gerar descargas parciais do tipo corona nestas extremidades. Também, foi utilizada uma amarração de borracha para fixar o tubo de alumínio com o isolador, para se garantir que não haveria a formação de descargas elétricas além daquelas geradas pelos isoladores.

Para o monitoramento de descargas parciais foi utilizada uma bobina de Rogowski comercial, da marca Bergoz, modelo CT-F5.0B. Para o monitoramento dos sinais obtidos foi utilizado um osciloscópio digital de 4 canais, marca Tektro-

nix modelo TPS 2024 com uma ponta de prova x1000 para leitura do sinal de tensão aplicada.

Na análise por frequência de interferência de rádio (RFI), foi usado o equipamento Radar Engineers RFI Locator 240 A. Este equipamento combina um receptor de rádio frequência com um mostrador num só instrumento. O equipamento também possui um sistema que permite armazenar o sinal observado. Opera numa faixa de frequência de 1,8 MHz a 1000 MHz. Este equipamento está ilustrado na Figura 1.



Figura 1. Equipamento Radar Engineers RFI Locator 240 A.

Para a detecção dos sinais de ultrassom foi utilizado o equipamento SDT 170, o qual detecta problemas em isoladores por meio da parte ultrassônica de: descargas parciais, arco elétrico e corrente elétrica de fuga. Este equipamento possui um adicional importante que é a mira a laser e antena parabólica, facilitando a localização da fonte geradora deste sinal. Uma foto deste equipamento está na Figura 2.



Figura 2. Equipamento SDT 170.

## IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### A. Equipamento de Frequência de Rádio Interferência (RFI)

Um conjunto de três isoladores sem a presença de descargas parciais foi inicialmente testado (Isoladores 1 a 3). As descargas parciais obtidas durante o ensaio com a bobina de Rogowski e com a ponta de prova estão apresentadas na Figura 3.

Na Figura 3, pode-se verificar que a bobina de Rogowski não detecta a presença de descargas parciais para estes isoladores. Na Figura 4, podem-se observar os sinais detectados pelo equipamento de RFI.

Em seguida, foi colocado sob teste um conjunto de três isoladores com baixo índice de descargas parciais (Isoladores 4 a 6). Em avaliação visual estes isoladores não apresentavam quebras, rachaduras ou trincas.

Na Figura 5, as descargas parciais obtidas durante o ensaio com a bobina de Rogowski podem ser visualizadas, onde verificar-se que a bobina de Rogowski detectou a pre-

sença de descargas parciais em baixo número. O equipamento de RFI apresentou um padrão de medida que pode ser visualizado na Figura 6.

Por meio da Figura 6, pode-se verificar que o equipamento de RFI para um número pequeno de descargas apresenta um padrão de descargas com picos estreitos e condensados.

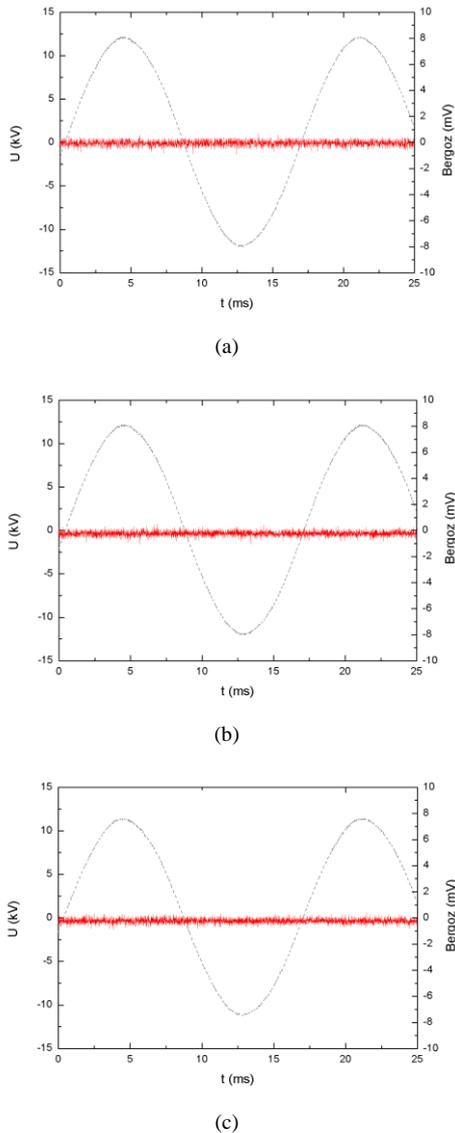


Figura 3. Sinais da tensão aplicada obtido pela ponta de prova (em preto) e de descargas parciais medidas pela bobina de Rogowski (em vermelho) para o (a) Isolador 1; (b) Isolador 2; e (c) Isolador 3.

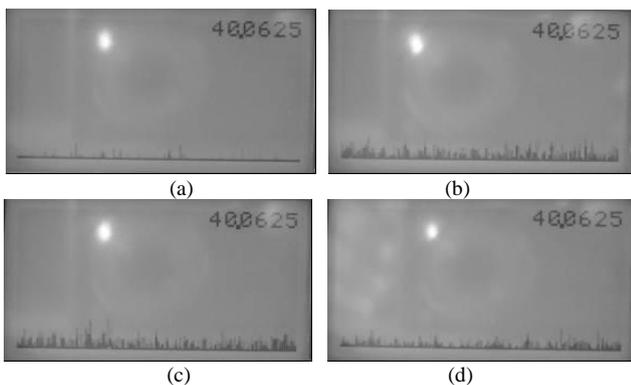


Figura 4. Sinais do equipamento de RFI: (a) antes de aplicar a tensão de ensaio; (b) Isolador 1; (c) Isolador 2; e (d) Isolador 3 sob teste.

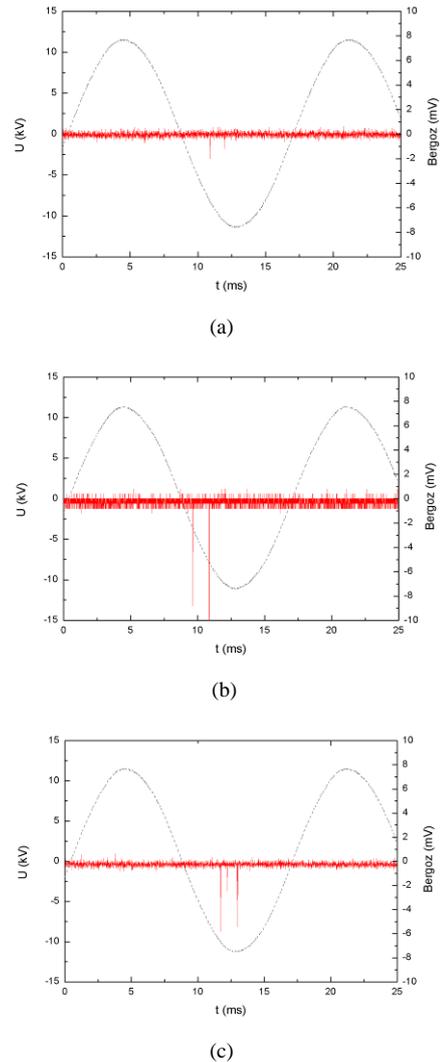


Figura 5. Sinais da tensão aplicada obtido pela ponta de prova (em preto) e de descargas parciais medidas pela bobina de Rogowski (em vermelho) para o (a) Isolador 4; (b) Isolador 5; e (c) Isolador 6.

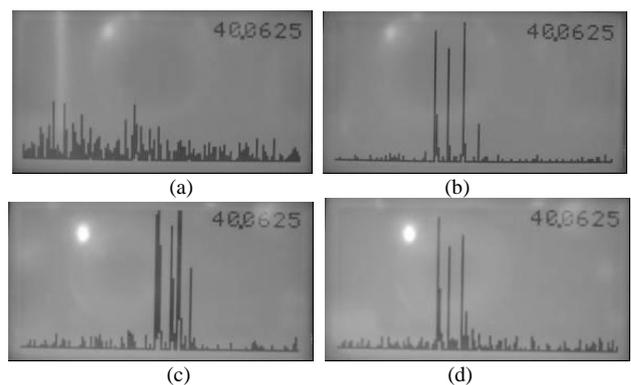
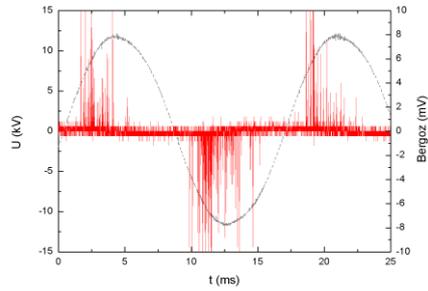


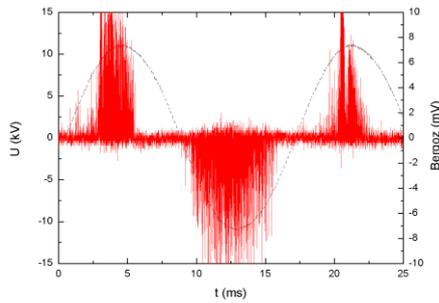
Figura 6. Sinais do equipamento de RFI: (a) antes de aplicar a tensão de ensaio; (b) Isolador 3; (c) Isolador 4; e (d) Isolador 5 sob teste.

Realizou-se teste de um conjunto de três isoladores com alto índice de descargas parciais (Isoladores 7 a 9). Em avaliação visual estes isoladores não apresentavam quebras, rachaduras ou trincas em seu corpo.

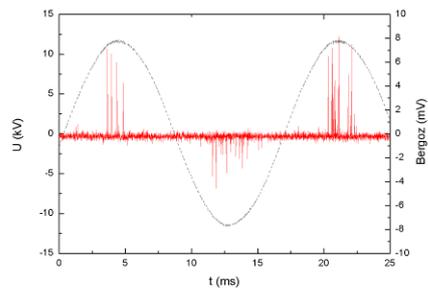
As descargas parciais obtidas durante o ensaio com a bobina de Rogowski podem ser observadas na Figura 7.



(a)



(b)



(c)

Figura 7. Sinais da tensão aplicada obtido pela ponta de prova (em preto) e de descargas parciais medidas pela bobina de Rogowski (em vermelho) para o (a) Isolador 7; (b) Isolador 8; e (c) Isolador 9.

Na Figura 7, pode-se verificar que a bobina de Rogowski detectou uma alta incidência de descargas parciais para estes isoladores. Isto pode indicar a degradação do isolamento, resultados este que pode ser utilizado como uma ferramenta para diagnóstico dos isoladores.

Os sinais do equipamento de RFI para o mesmo conjunto de isoladores pode ser visto na Figura 8.

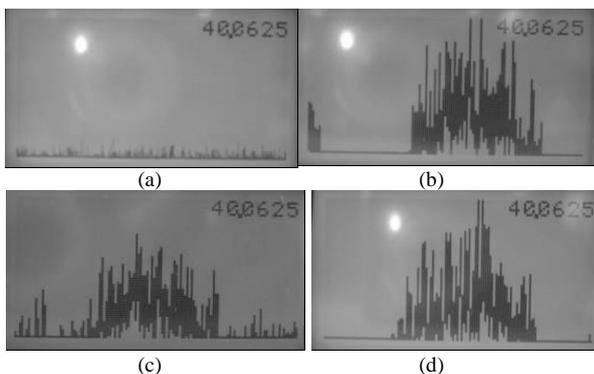


Figura 8. Sinais do equipamento de RFI: (a) antes de aplicar a tensão de ensaio; (b) Isolador 7; (c) Isolador 8; e (d) Isolador 9 sob teste.

O equipamento de RFI possui uma saída de monitoramento em vídeo, com conector do tipo P2. Neste conector, foi inserida uma ponta de prova para captura do sinal via osciloscópio. A imagem gerada é similar à visualizada no monitor do equipamento. Desta maneira, pode-se comparar as descargas parciais obtidas pela Bobina de Rogowski para o isolador 7 com o sinal de ruído obtido pelo RFI, as quais podem ser visualizadas na Figura 9.

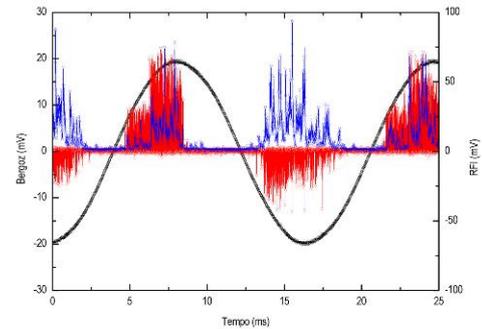


Figura 9. Medida em 8 kV aplicada fase-terra do isolador 7 utilizando RFI. No sinal em preto tem-se o sinal de tensão elétrica, em vermelho o sinal da bobina de Rogowski e em azul o ruído obtido pelo RFI.

Na Figura 9, pode-se observar que quando ocorre uma descarga parcial registrada pela bobina, um ruído é detectado pelo equipamento de RFI. Ou seja, os padrões de ruído visualizados pelo RFI estão correlacionados diretamente com os padrões de descargas parciais, as quais, por sua vez, estão relacionadas com tipos de defeitos de isoladores. Além disso, o sinal do RFI aparece normalizado com todos os ruídos detectados com sinal positivo, porém correspondentes as descargas parciais detectadas pela bobina com sinal negativo.

### B. Equipamento de ultrassom.

Para estes testes, primeiramente, aperfeiçoou-se a frequência central do ultrassom com o isolador com alta incidência de descargas parciais. Foi encontrado utilizando a mira a laser do dispositivo o ponto de maior intensidade de ruído, sendo a cabeça do isolador (acima da primeira saia). Depois, foi ajustada a frequência central, encontrando o valor de 38,4 kHz sendo este o ótimo para a máxima intensidade de ruído.

Os resultados, nesta frequência para isoladores sob teste estão na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados do equipamento de ultrassom da SDT para os diversos isoladores

Condição	Faixa de Ruído
Isolador sem ocorrência de descargas parciais.	0 - 4 dB
Isolador com baixa incidência de descargas parciais.	13 - 19 dB
Isolador com alta incidência de descargas parciais.	20 - 32 dB

Com os resultados da Tabela 1 é pode-se constatar que quando o ruído esta na faixa de 13 dB a 20 dB o ultrassom SDT detecta defeito a uma distância aproximada de 3 m (em laboratório). Os valores de ruído apresentados são médias simples dos resultados para cada isolador.

É importante ressaltar que mesmo no isolador sem a ocorrência de descargas parciais o fone de ouvido presente no equipamento apresenta ruído, não sendo confiável na detecção de defeitos. O mais preciso é o acompanhamento pelo visor da intensidade de ruído.

O equipamento de ultrassom SDT mostrou-se muito útil na detecção de campo. Este detecta a presença de ruído na faixa de 38,4 kHz, valor este de frequência representativo de todas as descargas parciais e corona. Além disso, é possível localizar qual isolador e em que ponto este apresenta um maior nível de ruído, identificando qual o provável isolador com defeito. Todos os casos identificados com o equipamento de radio frequência foram confirmados com o equipamento de ultrassom, o qual ainda localizou a fonte do defeito. Para a confirmação dos problemas detectados, com o auxílio de um caminhão isolado, pode-se aproximar da cruzeta para uma detecção de ultrassom mais próxima. Em função da distância e do local foi possível melhor localizar o defeito e a intensidade do ruído gerado pelo mesmo. Deve-se ressaltar que na inspeção de solo, as intensidades do ultrassom são atenuadas proporcionalmente com a distância e frequência.

## V. NOVAS TÉCNICAS DESENVOLVIDAS

Foram desenvolvidos dois equipamentos que permitem a localização de isoladores cerâmicos perfurados em linhas de distribuição elétrica. O objetivo foi obter um dispositivo com melhor índice de acerto, de fácil interpretação e de uso prático em campo. As técnicas escolhidas apresentam uma melhor reprodutibilidade de resultados entre os métodos testados.

### A. Dispositivo de ultrassom.

Os sensores de ultrassom foram utilizados para se realizar um estudo dos sinais reais lidos por meio de osciloscópio. Os equipamentos convencionais de detecção de defeitos por meio de ultrassom convertem o sinal para a faixa de frequências do audível. Nessa conversão pode ocorrer perda de informações do sinal real.

O resultado deste ensaio pode ser visualizado na Figura 10.

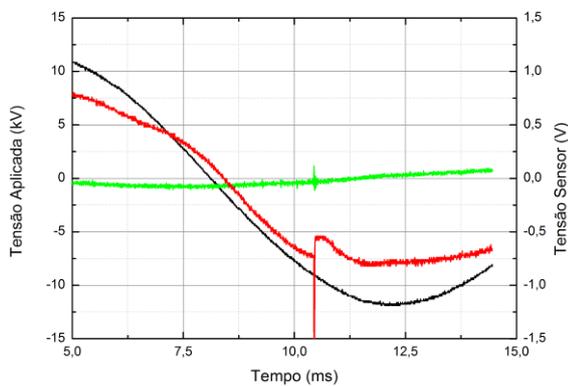


Figura 10. Sinal de tensão aplicada coletados pela ponta de prova Tektronix (em preto) e sinais gerados pela bobina de Rogowski (em verde) e pelo sensor de ultrassom 328SR160 (em vermelho) em isolador de pino.

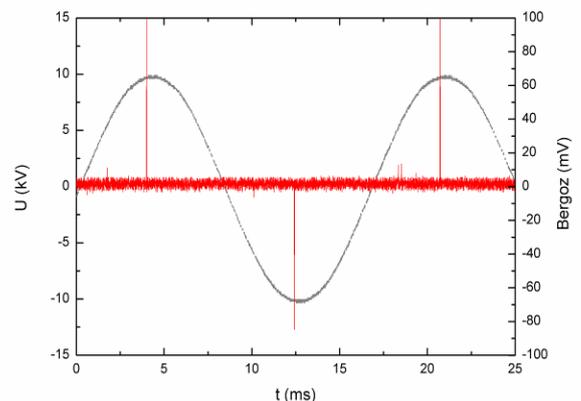
Foi desenvolvido um dispositivo de baixo custo, quando comparado aos dispositivos comerciais, que utilizam ultrassom para a detecção de falhas. Este dispositivo necessita ser

aproximado do isolador com uma vara de manobra. Na Figura 11 este dispositivo pode ser visualizado.

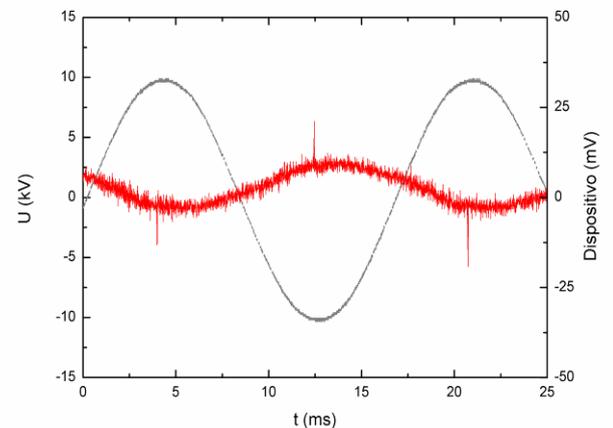


Figura 11. Dispositivo para medida de ultrassom desenvolvido.

A eficiência deste equipamento foi testada por meio da comparação dos sinais monitorados pelo osciloscópio, às descargas parciais captadas pela bobina de Rogowski. A Figura 12 e Figura 13 apresentam os sinais tensão aplicada e descargas parciais detectadas durante o ensaio realizado para o isolador com baixa e com alta incidência de descargas parciais respectivamente (isoladores 4 e 7).

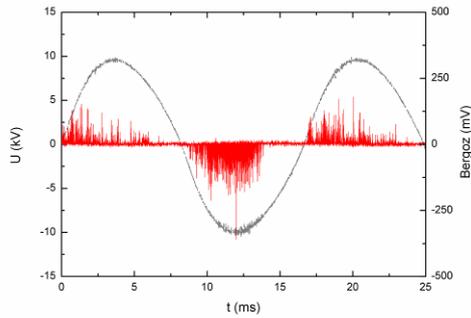


(a)

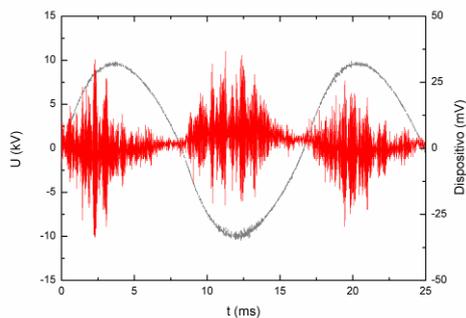


(b)

Figura 12. Sinais da tensão aplicada (em preto) em um isolador com baixa incidência de descargas parciais, descargas parciais na bobina de Rogowski em (a) e descargas parciais no dispositivo de ultrassom em (b).



(a)



(b)

Figura 13. Sinais da tensão aplicada (em preto) em um isolador com alta incidência de descargas parciais, descargas parciais na bobina de Rogowski em (a) e descargas parciais no dispositivo de ultrassom em (b).

Na Figura 11 são registradas baixa incidência de descargas parciais, sobretudo efeito corona tanto pela bobina de Rogowski e quanto pelo dispositivo de ultrassom. Este fato indica que o dispositivo de ultrassom consegue reproduzir a medida realizada pela bobina de Rogowski.

Na Figura 12 são registradas alta incidência de descargas parciais, tanto pela bobina de Rogowski e quanto pelo dispositivo de ultrassom. Este fato indica que o dispositivo de ultrassom é eficiente na detecção de descargas, podendo detectar falhas em isoladores.

Os ensaios mostram que na presença de descargas parciais o dispositivo detecta a ocorrência das mesmas. A vantagem com relação aos dispositivos comerciais é que devido à proximidade o sensor consegue obter sinais com menos influência de agentes externos. Assim sendo, possui um índice de acerto superior aos comerciais.

### B. Isolômetro para isolador de pino.

Com o objetivo de desenvolver um dispositivo com melhor índice de acerto, de fácil interpretação e de uso prático em campo, foram realizados estudos e desenvolvimentos para aprimoramento de técnica de detecção de isolador com problemas de isolamento.

Este dispositivo ao detectar falha em um isolador, acende um LED vermelho e quando não há falha acende um LED azul. Devido a sua facilidade de operação é considerado ideal para inspeção em rede de distribuição.

Este dispositivo necessita do contato com o pino do isolador, na fase do respectivo isolador e num ponto aterrado da estrutura para que seja eficiente sua aplicação.



Figura 14. Isolômetro para isoladores de pino.

Os resultados encontrados para o circuito podem ser visualizados na Tabela .

Tabela 2. Respostas do isolômetro para os isoladores

Isolador sob teste	Resposta da Circuito
Sem incidência de descargas parciais	Acendeu o LED azul
Com baixa incidência de descargas parciais (IB 14)	Acendeu o LED vermelho
Com alta incidência de descargas parciais	Acendeu o LED vermelho

## VI. CONCLUSÃO

As técnicas de radio interferência e ultrassom foram avaliadas neste estudo. Foi encontrada uma faixa isenta de ruído de fundo, em laboratório. Com esta faixa foi possível caracterizar descargas parciais e correlacionar essas medidas com uma bobina de Rogowski. Estas medidas mostram padrões de imagem de RFI e níveis de ruído para o ultrassom, os quais estão associados ao defeito encontrado. Desta forma, pode-se melhorar a inspeção instrumentalizada de isoladores de pino, extrapolando estes padrões de laboratório para a detecção em campo.

Além disso, foram desenvolvidos dois equipamentos, permitindo a localização de isoladores cerâmicos perfurados em linhas de distribuição elétrica, com melhor índice de acerto. Estes equipamentos se encontram em fase de solicitação de patente.

## VII. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo benefício da lei 8010/90

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Kreuger, F. H. *Partial Discharge Detection in High Voltage Equipment*. Butterworth-Heinemann, 1990
- [2] Rogowski, W.; Seinhuis, W. "Die Messung der magnetischen Spannung". *Archiv fur Elektrotechnik*, v.1, n.4, pp. 141-150, 1912.
- [3] Sueta, H. E.; Burani, G. F.; Yokoyama, "S. Desenvolvimento de uma bobina de Rogowski para medição de altas correntes." In A-

nais do 2.º Congresso Sul-Americano de Metrologia (Metro-sul'99), pp.30 – 33.

- [4] Higashi, E. M. “Modelagem da bobina de Rogowski para medidas de pulsos de corrente elétrica.” Dissertação de Mestrado, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 1997.
- [5] Shihab, S.; Wong, K. L. “Detection of faulty components on power lines using radio frequency signatures and signal processing techniques.” In *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, v.2444, pp. 2449-2452, 2000.
- [6] Dutta, P.K.; Duttagupta, P.B. Novel signal processing techniques for fault detection and location in HV sub transmission and transmission lines. *IEEE Signal Processing Letters*, v. 11, n. 7, p. 617-620, jul. 2004.
- [7] Loftness, M. *AC Power Interference Handbook*. 2nd ed. - revised. Tumwater: Percival Technology, 2003
- [8] Pang, J.M. Chapter 2 – Detecting partial discharge with ultrasonic measurement. Acesso em 28/07/2008, disponível em: <http://www.jmpangseah.com/chapter-2.pdf>.
- [9] Tian, Y.; Lewin, P.L.; Davies, A.E.; Richardson, Z. “Acoustic emission detection of partial discharges in polymeric insulation”, In: *High Voltage Engineering, 1999. 11th International Symposium on High Voltage Engineering*, v.1, pp. 82-85, 23 – 27 ago. 1999.
- [10] Lundgaard, L.E. “Partial discharge. XIII. Acoustic partial discharge detection-fundamental considerations.” *IEEE Electrical Insulation Magazine*, v.8, n. 4, pp.25-31, jul/ago 1992.
- [11] Swinka-Filho, V. “Imagens de Defeitos por descarga parcial estimulada por raio X pulsado em materiais dielétricos poliméricos.” Tese de Doutorado, PIPE - Programa interdisciplinar de pós-graduação em engenharia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2000.
- [12] Patsch, R.; Hoof, M. “Electrical Treeing – Physical Details Obtained by Pulse Sequence Analysis.” *IEEE 5th International Conference on Conduction and Breakdown in Solids Dielectrics*, pp.344-349, 1995.
- [13] *Partial Discharge Measurements*. IEC 270, 1981
- [14] *Técnicas de Ensaios Elétricos de Alta Tensão Medição de Descargas Parciais*, NBR 6940, nov. 1981