



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GLT/06

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO -GLT**

**GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO- GLT**

**AValiação de Isoladores Naturalmente Poluídos Retirados de Linhas de Transmissão**

**Darcy Ramalho de Mello(\*)  
Consultor**

**Ricardo Wesley S. Garcia  
CEPEL**

**RESUMO**

Este artigo pretende apresentar as sugestões e conclusões do estudo realizado por um grupo de trabalho do Cigré com o objetivo de fornecer as diretrizes para ensaiar isoladores naturalmente poluídos, considerando métodos e experiências passadas na avaliação do desempenho de isoladores em condições ambientais naturais e novas tecnologias ainda em desenvolvimento, implantação e comercialização. Entre essas diretrizes estão a aplicação de métodos de ensaio desenvolvidos na década de 1980 e que voltam a ter interesse, inclusive para serem normalizados pela IEC (International Electrotechnical Commission), e a industrialização de determinados instrumentos, que mostraram bom desempenho, mas se encontram ainda em fase de protótipo.

Essas diretrizes têm como finalidade primordial permitir que as concessionárias de energia elétrica possam trocar experiências, obtidas com uma mesma metodologia, e melhorar assim a confiabilidade das linhas de transmissão.

**PALAVRAS-CHAVE**

Isolador, Ensaios, Poluição, Envelhecimento

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A aplicação de isoladores ditos convencionais, de porcelana ou vidro, por mais de 100 anos, proporcionou um conhecimento aprofundado sobre vantagens e problemas de cada um, facilitando os processos de especificação, de ensaios em laboratório e de manutenção para as diversas situações de utilização, considerando as características ambientais presentes nas áreas de concessão de cada empresa. Nos últimos 40 anos, a aplicação de isoladores poliméricos em sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica tem sido crescente em todo o mundo, principalmente porque a tecnologia de sua fabricação, já pode ser considerada como madura.

Apesar de ser o componente de menor custo em uma linha de transmissão/subestação (2% a 5% do custo total do empreendimento), os isoladores apresentam o maior índice de falhas. Assim sendo, o conhecimento do estado operacional dos isoladores é de fundamental importância para garantir a confiabilidade do sistema, pois uma falha envolve custos consideráveis, podendo levar a interrupção da transmissão de energia elétrica por longos períodos de tempo, o que vem a comprometer diretamente a qualidade do fornecimento por parte da concessionária.

As concessionárias de energia elétrica estão constantemente buscando técnicas preditivas que indiquem o momento adequado para intervenção da manutenção, visando um aumento contínuo nos índices de serviço. Assim sendo, muitas concessionárias identificaram a necessidade de avaliar o desempenho dielétrico de isoladores cerâmicos (vidro e porcelana) e poliméricos, retirados de serviço, para investigar o motivo de diversos desligamentos "de causas desconhecidas". A redução do desempenho pode ser devido à poluição, no caso dos

isoladores cerâmicos, e à combinação de poluição e envelhecimento, no caso de Isoladores poliméricos. A introdução de novas tecnologias capazes de identificar processos degenerativos como e quando eles se desenvolvem dentro de sistemas de isolamento significa um passo maior na direção a prevenir este tipo de perturbação.

Infelizmente, há uma falta de normas técnicas no que diz respeito a métodos de ensaio confiáveis para o diagnóstico de isoladores naturalmente poluídos, tanto cerâmicos quanto poliméricos, visando avaliar sua suportabilidade dielétrica residual. Isto é verdade tanto para corrente alternada quanto para corrente contínua. Contudo, a literatura técnica está repleta de publicações que utilizam as mais diversas metodologias para realizar esta avaliação, pois após um período de cerca de dez anos com pesquisa menos intensa, o interesse nos ensaios de poluição em isoladores retirados de serviço ganhou uma popularidade renovada nos últimos tempos. A força motriz para isto é a necessidade de se determinar a efetividade real do isolamento dos isoladores e o momento da sua substituição.

Devido a isto, o CIGRÉ Internacional decidiu organizar um Grupo de Trabalho para avaliar quais metodologias de ensaio, com a capacidade de produzir resultados efetivos, podem ser usadas na avaliação dos isoladores naturalmente poluídos, sejam eles de vidro, porcelana ou poliméricos. Os estudos realizados seguiram a tendência geral de sugerir ensaios e metodologias com melhor custo efetivo e melhor relação tempo de ensaio / eficiência, além de indicar a necessidade de se dispor de alguns instrumentos que apresentaram bom desempenho, tanto em campo quanto em laboratório, mas se encontram ainda em fase de protótipo.

As principais causas de falhas nos isoladores são o vandalismo, perfuração, transitórios causados por descargas atmosféricas ou manobra e poluição [1], mas os estudos se concentraram na avaliação da poluição e na sua metodologia de ensaio, pois diversos artigos na literatura [1 - 7] indicaram ser o agente responsável pelo maior número de falhas, como pode ser visto em um estudo realizado nos Estados Unidos com isoladores de porcelana sobre os agentes ambientais responsáveis por falhas mostrado na Figura 1, pois névoa, orvalho e chuvisco somente causam problemas quando há poluição na superfície isolante que é umidificada por estes agentes, se tornando condutora, e iniciando um processo que pode vir a causar uma descarga disruptiva.

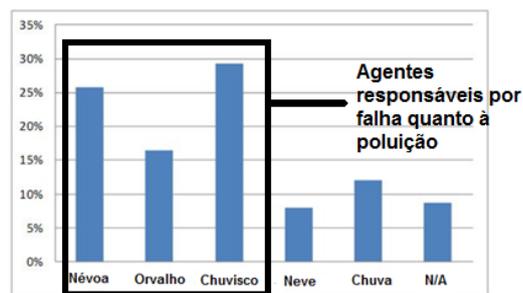


FIGURA 1 – Percentual de descargas disruptivas em função das condições ambientais [3]

Este artigo apresenta uma sugestão da sequência de ensaios que devem ser aplicados aos isoladores retirados das linhas de transmissão/subestações com o objetivo de se avaliar a efetividade do seu isolamento. Cabe ressaltar que este estudo indica a necessidade de uma mudança nos procedimentos de compra dos isoladores, pois no Brasil os ensaios de poluição artificial não são usualmente solicitados, principalmente pelo desconhecimento do nível de poluição a ser avaliado.

## 2.0 - DIMENSIONAMENTO DE ISOLADORES PARA OPERAÇÃO EM AMBIENTES POLUÍDOS

O procedimento geral para o dimensionamento de isoladores para operação em ambientes poluídos é descrito na ABNT NBR IEC/TS 60815-1 [8] e pode ser executado de uma maneira determinística ou de uma maneira estatística.

Na abordagem determinística, tipicamente, o nível de isolamento é baseado na análise do pior caso da severidade da poluição do local (SPL) e em fatores de segurança para cobrir imprevistos. Assume-se que existe um valor máximo definitivo da severidade local que pode estressar o isolador, mostrado como o stress ambiental  $f(\gamma)$  na Figura 2. Assume-se também que a rigidez do isolamento  $P(\gamma)$  pode ser descrita por um valor mínimo para a suportabilidade da severidade da poluição, abaixo do qual nunca ocorrerá uma descarga disruptiva, determinado ou pelo desempenho em operação ou pelos ensaios laboratoriais. O valor mínimo do isolamento para a suportabilidade da severidade da poluição é então selecionado de modo que ele exceda o stress máximo por uma margem de segurança que é escolhida para cobrir as incertezas da avaliação do projeto considerando os parâmetros de rigidez e de stress. Este processo exige o conhecimento prévio da severidade da poluição do local.

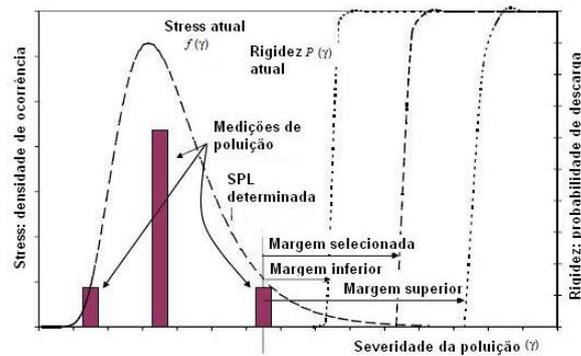


FIGURA 2 - Ilustração para projeto baseado na abordagem determinística

### 3.0 - COMPARAÇÃO ENTRE ISOLADORES POLUÍDOS NATURALMENTE E ISOLADORES POLUÍDOS ARTIFICIALMENTE

A diferença da tensão disruptiva de isoladores naturalmente poluídos em relação aos isoladores poluídos artificialmente é devido ao número de parâmetros envolvidos com a poluição natural. Algumas causas são listadas a seguir:

- diferenças em poluição depositada no isolador usado para a medição de severidade de poluição local (SPL), segundo a ABNT NBR IEC/TS 60815-1, e o isolador a ser ensaiado, por exemplo, diferenças no perfil do isolador e no diâmetro da saia.
- diferenças entre o tipo de poluição no local onde o isolador estava instalado e a poluição empregada no ensaio. Por exemplo, muitos sais naturais não são tão solúveis como o NaCl, que é usado nos ensaios de poluição artificial.
- a não uniformidade do depósito natural de poluição, que pode variar entre os isoladores de uma mesma cadeia, como pode ser visto na Figura 3, e em cadeias posicionadas em torres diferentes, como pode ser visto na Figura 4.
- diferenças nas condições de umidificação da camada poluente em campo e em laboratório.
- diferenças entre a montagem em campo e o arranjo de ensaio.
- Diferenças devido ao envelhecimento do isolador em campo, principalmente para poliméricos.

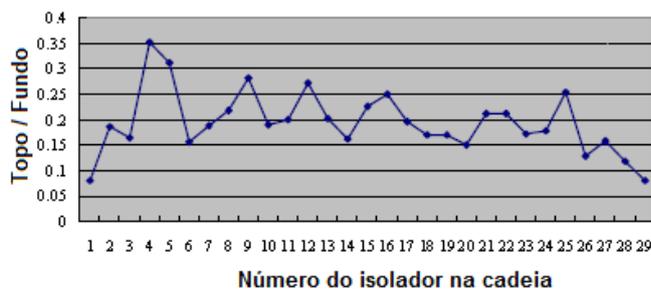


FIGURA 3 - Variação da relação entre a poluição do topo e do fundo de um isolador de acordo com seu posicionamento ao longo de uma cadeia [9]

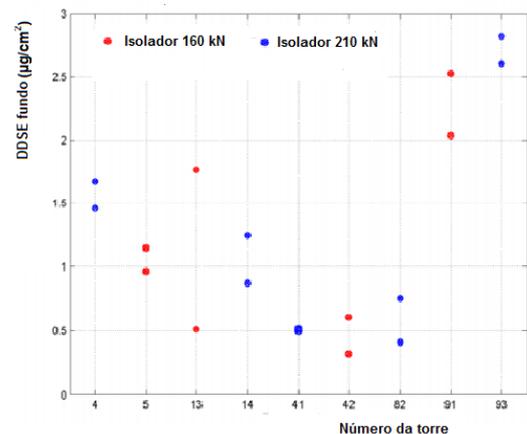


FIGURA 4 - Distribuição da poluição ao longo de uma linha de transmissão de corrente contínua com isoladores tipo disco [10]

### 4.0 - SELEÇÃO DE ISOLADORES NATURALMENTE POLUÍDOS PARA AVALIAÇÃO

O maior problema na avaliação de isoladores naturalmente poluídos repousa na quantidade de amostras que podem ser obtidas e enviadas para avaliação. Para se obter a maior quantidade de informação com um número limitado de isoladores naturalmente poluídos convém usar os isoladores mais representativos. As seguintes medidas precisam ser levadas em consideração durante a seleção de isoladores:

- Caso se tenha mais de um tipo de isolador em uma linha de transmissão/subestação, verificar com a manutenção o tipo que apresenta mais problemas;
- Para linhas muito longas, qual o ambiente mais representativo de uma possível condição de falha;

(\*) Rua Professor Gabizo 109/204 – Tijuca – CEP 20.271-063 Rio de Janeiro, RJ, – Brasil  
Tel: (+55 21) 2568-2384 –Email: darcy.mello@gmail.com

- Verificar o melhor período para remoção dos isoladores (não após um período chuvoso);
- Preparar um questionário, segundo orientação da ABNT NBR IEC/TS 60815-1, para coleta de informações sobre o comportamento de isoladores em áreas poluídas

Os isoladores devem ser removidos cuidadosamente tentando proteger, tanto quanto possível, a camada de poluição. Durante a remoção, os isoladores devem ser manuseados com cuidado, usando apenas suas ferragens integrantes metálicas (evitar tocar o dielétrico). Eles devem ser transportados dentro de tubos plásticos de diâmetro adequado para não danificar as saias ou envolto em plástico e em seguida embalados em caixas especiais, como pode ser visto na Figura 5. As extremidades dos tubos plásticos ou sacos de plástico devem ser fechadas corretamente.



(a) Isoladores poliméricos colocados dentro de tubos de PVC



(b) Isoladores poliméricos envoltos em sacos plásticos dentro de caixa de madeira



(c) Isoladores de vidro tipo disco colocados dentro de tubos de PVC



(d) Isoladores tipo suporte envoltos em sacos plásticos dentro de caixa de madeira

FIGURA 5 - Métodos de transporte de isoladores do campo para o laboratório

## 5.0 - METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE ISOLADORES NATURALMENTE POLUÍDOS

### 5.1 Avaliações a serem realizadas em campo

As seguintes avaliações devem ser realizadas no campo antes de os isoladores serem embalados:

#### 5.1.1 Inspeção visual

Não existe norma para inspeção visual de isoladores de vidro e porcelana, mas a existência de fissuras nos isoladores de porcelana ou opacidade nos isoladores de vidro temperado deve ser assinalada. No caso dos isoladores poliméricos, pode-se usar a Brochura Técnica 481 do Cigré [11]. Sinais de corrosão nas ferragens integrantes devem ser anotados.

#### 5.1.2 Medição da condutividade superficial

Esta medição não é usualmente executada no Brasil. Para a medição pode-se usar, após uma leve umidificação, dois eletrodos, como indicado na ABNT NBR 10621 [12] ou uma ponta de prova, como mostrado na Figura 6 (em medição realizada em laboratório).

### 5.1.3 Medição da hidrofobicidade

Deve-se medir a hidrofobicidade dos isoladores poliméricos e dos isoladores cerâmicos revestidos de borracha de silicone do tipo RTV (sigla em inglês para vulcanizado à temperatura ambiente) usando o método do spray da ABNT NBR IEC/TS 62073 [13] tomando o cuidado de usar uma máquina fotográfica para registrar a distribuição das gotas na superfície do isolador, como pode ser visto na Figura 7. Essa medição deve ser repetida, no laboratório, antes da execução dos ensaios citados em 5.2. Essa medição deve ser realizada no topo e no fundo de 3 isoladores da cadeia ou 3 saias do isolador polimérico.



FIGURA 6 - Medição da condutividade superficial



FIGURA 7 - Distribuição das gotas na superfície de um isolador polimérico

## 5.2 Avaliações a serem realizadas em laboratório

### 5.2.1 Medição da transferência da hidrofobicidade

Esse ensaio tem como objetivo medir a capacidade de recuperar a hidrofobicidade do material de um isolador polimérico ou revestido. Ele não é executado comumente pois os instrumentos utilizados (ver Figura 8) ainda não se encontram disponíveis para fabricação industrial.

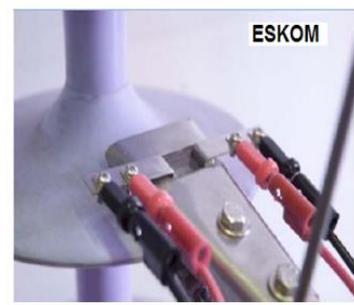


FIGURA 8 - Instrumentos em desenvolvimento para medição da transferência da hidrofobicidade

### 5.2.2 Medição da densidade superficial de depósito de sal equivalente (DDSE) e da densidade de depósito não solúvel (DDNS)

A coleta e medição devem ser feitas segundo a ABNT NBR IEC/TS 60815-1, em uma área de aproximadamente 4 cm<sup>2</sup>, no topo e no fundo dos isoladores, ao longo de sua superfície. Essa medição deve ser realizada apenas em 1 isolador, para cadeias pequenas, 2 isoladores, para cadeias médias, e 3 isoladores, para cadeias longas (um na extremidade energizada, um no meio e um na extremidade aterrada), no caso de cadeias com isoladores de vidro e porcelana. Para isoladores poliméricos usa-se o mesmo critério substituindo no texto isolador por saia, apesar desta medição poder receber interferência da hidrofobicidade do isolador. Esta medição permitirá avaliar, através da relação topo/fundo, a uniformidade da poluição na superfície do isolador e uniformidade da poluição ao longo da cadeia.

### 5.2.3 Avaliação química dos poluentes

Uma análise química quantitativa deve ser realizada nos poluentes para uma avaliação mais apurada das condições da poluição. A análise pode ser útil para identificar componentes químicos de sais solúveis. A análise química de sais solúveis deve ser feita usando a solução após a medição da DDSE e da DDNS por meio da



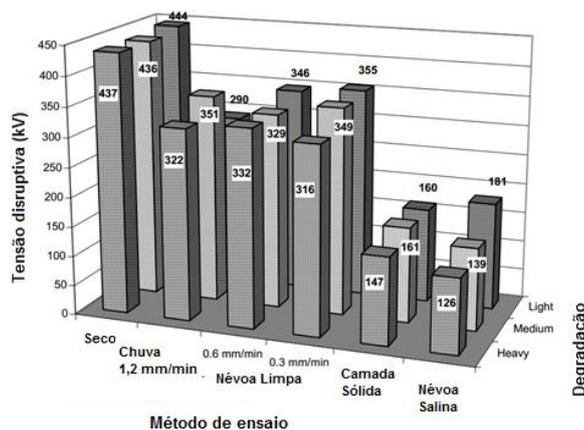


FIGURA 10 - Avaliação de isoladores naturalmente poluídos por diferentes métodos de ensaio

## 6.0 - SEQUÊNCIA DE ENSAIOS A SEREM APLICADOS AOS ISOLADORES NATURALMENTE POLUÍDOS

A Tabela 1 apresenta os ensaios a serem aplicados nos isoladores poliméricos e a Tabela 2 para os isoladores de vidro e porcelana. As tabelas apresentam os ensaios que devem ser realizados considerando a disponibilidade de 1, 2 ou, no máximo, 3 cadeias de isoladores de vidro/porcelana ou isoladores poliméricos.

TABELA 1 – Sequência de ensaios a serem aplicados nos isoladores poliméricos

Número do ensaio	Quantidade de isoladores disponíveis			Ensaio
	1	2	3	
1	X	X	X	Medição da hidrofobicidade
2	X	X		Medição da condutividade superficial
3	X	X	X	Inspeção visual
4	X	X	X	Medição da hidrofobicidade
5	X	X	X	Medição da transferência da hidrofobicidade
6	X	X		Medição da DDSE / DDNS
7	X	X		Avaliação química dos poluentes
8	X	X		RFO
9	X	X	X	Os isoladores deve ser lavado, mas não completamente limpos
10	X	X	X	QFO
11	X	X	X	Os isoladores devem ser lavados, mas não completamente limpos
12	X	X	X	Medição da hidrofobicidade
13	X	X	X	RFO com névoa salina executado logo após a contaminação
14	X	X	X	RFO com névoa salina executado 2 dias após a contaminação

TABELA 2 – Sequência de ensaios a serem aplicados nos isoladores de vidro e de porcelana

Número do ensaio	Quantidade de isoladores disponíveis			Ensaio
	1	2	3	
1	X	X	X	Inspeção visual
2	X	X		Medição da condutividade superficial
3	X	X		Medição da DDSE / DDNS
4	X	X		Avaliação química dos poluentes
5	X	X		RFO

## 7.0 - CONCLUSÃO

Os ensaios propostos neste artigo, para serem aplicados em isoladores naturalmente poluídos com o objetivo de avaliar sua rigidez dielétrica residual, foram avaliados considerando o menor custo e tempo de execução e procurando preservar o depósito poluente na superfície do isolador.

Deve-se observar que há necessidade de se executar os ensaios disruptivos nos isoladores novos, com poluição artificial, antes de sua instalação de modo a se ter elementos de comparação nas futuras retiradas para avaliação. Outro ponto a ressaltar é a necessidade de se conhecer a severidade da poluição local do ambiente onde os isoladores serão instalados para que qualquer aumento no nível da poluição, observado com as medições da DDSE e da DDNS, permita tomar as medidas preventivas necessárias para se evitar a ocorrência de uma descarga disruptiva.

#### 8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] V. Gholap - Evaluation of Room Temperature Vulcanized (RTV) Silicone Rubber Coated Porcelain Post Insulators under Contaminated Conditions, Tese de mestrado na Universidade Estadual do Arizona, 05/2013
- [2] X. Liu, Z. Zhang, K. Zheng, W. Li e G. Yang - Analysis of the Pollution Accumulation and Pollution Flashover Performance of Outdoor 500kV Insulator String, International Conference on High Voltage Engineering and Application, Shanghai, China, 09/2012, pp 250 – 253
- [3] A. Pignini, D. R. de Mello, Z. Jun), R. Houlgate, K. Kondo, B. Kruska, R. Matsuoka, F. Perrot, G. Pirovano, V. Sklenicka, J. Seifert, R. Wesley, D. Wu e M. Yamarkin - Impact of rain on Insulator performance, Brochura Cigré nº 634, 10/2015
- [4] A. A. Al-Jomali e H. A. H. Ahmed - Effects of atmospheric pollution prevailing in Qatar prevailing on the performance of transmission line insulation and service experience with different insulator design, INMR World Congress, 2007
- [5] M. Kawai e D. M. Milone - Flashover Test at Project UHV on Salt-Contaminated Insulators, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-89, Nº. 5/6, MAY/JUNE 1970, pp755 - 761
- [6] J. A R. Hernanz,, J. J C. Martín, J. M. Gogeochea e I. Z. Belver - Insulator pollution in transmission lines, International Conference on Renewable Energies and Power Quality –ICREPQ, 2006, artigo no 256
- [7] D. D. Rezende - Poluição de isoladores em subestações, Revista Mundo Elétrico, 08/1982, pp 60 – 63
- [8] ABNT NBR IEC/TS 60815-1, Seleção e dimensionamento de isoladores para alta tensão para uso sob condições de poluição - Parte 1: Definições, informações e princípios gerais, 12/2014
- [9] X. Liu, Z. Zhang, K. Zheng, W. Li e G. Yang - Analysis of the Pollution Accumulation and Pollution Flashover Performance of Outdoor 500kV Insulator String, International Conference on High Voltage Engineering and Application, Shanghai, China09/2012
- [10] I. Gutman, T. Kiiveri, L. Carlshem - Statistical approach for the insulation dimensioning of the 500 kV HVDC line in Scandinavia, 15th ISH-2007, Ljubljana, Slovenia, 08/2007, artigo no T4-13
- [11] I. Gutman, T. Hayashi, A. Phillips, A. Pignini, J. Seifert, F. Schmuck, M. R. Shariati, V. Sklenicka - Guide for the Assessment of Composite Insulators in the Laboratory After Their Removal From Service, Working Group B2.21, CIGRE Technical Brochure 481, December 2011
- [12] ABNT NBR 10621 - Isoladores utilizados em sistemas de alta tensão em corrente alternada – Ensaios de poluição artificial, 2005
- [13] ABNT NBR IEC/TS 62073 - Guia para medição da hidrofobicidade da superfície de isoladores, 2010
- [14] IEC TS 61245 – Artificial pollution tests on high-voltage ceramic and glass insulators to be used on d.c. systems, 03/2015
- [15] P.J. Lambeth, C. de Turreil - Electrical performance measurements of artificially and naturally aged polymeric insulators, IET Conference Publications, 1988, p.p. 118-122
- [16] V. Sklenicka - Test methodology for estimating electrical degradation of porcelain insulators in polluted conditions, World Congress & Exhibition on Insulators, Arresters & Bushings, Rio de Janeiro, Brazil, May 13-16, 2007