



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

CB/GLT/07

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO - III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHA DE TRANSMISSÃO - GLT

POLUIÇÃO NOS ISOLADORES DE LINHA DE 500kV– NOVA METODOLOGIA DE COLETA E LAVAGEM COM AS INSTALAÇÕES ENERGIZADAS

Armando Nigri (*) Ainigri Consultoria	Augustinho Simões CELEO REDES	Carlos Viola CELEO REDES	Thiago Magalhães CELEO REDES	André Garcia CELEO REDES
---	---	------------------------------------	--	------------------------------------

RESUMO

O trabalho apresenta um passo a passo da metodologia desenvolvida para coleta dos poluentes sem a retirada das cadeias e a comparação dos resultados de laboratório com aqueles medidos no campo.

Apresenta ainda o desenvolvimento de metodologia de lavagem de isoladores para torres "cross rope". Neste tipo de estrutura as distâncias na fase central são superiores a 15 metros, enquanto que o jato de água atinge no máximo 12 a 14 metros, dependendo das condições do vento.

Com o desenvolvimento da metodologia de coleta proposta, foi possível verificar, ainda, a eficiência da lavagem e o nível de poluição remanescente.

PALAVRAS-CHAVE

Poluição, Isoladores, Coleta, Lavagem, Avaliação

1.0 - INTRODUÇÃO

Quando os projetos de isolamento das linhas de transmissão são desenvolvidos, um ponto fundamental, é a determinação do grau de poluição da região atravessada pela linha. A norma IEC 60815, "Selection and dimensioning of High-Voltage Insulators intend for use in Polluted Conditions" apresenta a metodologia para medição e definição da classe de poluição da área.

No caso de uma linha de transmissão em funcionamento apresentar um desempenho insatisfatório, cuja causa provável do desligamento seja à poluição depositada nos isoladores, o grau de poluição é determinado, ainda segundo a norma IEC citada, através da medição da densidade de depósito de sal equivalente (DDSE) e da densidade do depósito de material não solúvel (NSDD), retirados da superfície dos isoladores em operação.

Atualmente, para determinação do nível de poluição das cadeias de isoladores de uma linha de transmissão, as mesmas tem de ser retiradas de operação e enviadas a um laboratório para coleta dos poluentes. A retirada das cadeias pode ser feita tanto com as instalações energizadas quanto desenergizadas, entretanto, um ponto importante diz respeito à tocar o mínimo possível nas partes isolantes para que não seja acidentalmente removido parte dos poluentes e assim alterado o valor real que está depositado na superfície dos isoladores.

Outro ponto importante, é se evitar, tanto a perda quanto o depósito de poluentes durante o transporte das cadeias até ao laboratório.

Com este procedimento, como são envolvidos tempos tanto para retirada da cadeia quanto o transporte até o laboratório, o início das atividades de manutenção para a solução do problema fica prejudicado.

Com a finalidade de se agilizar e evitar a retirada das cadeias de operação, a Engenharia de Manutenção necessitava o desenvolvimento de uma metodologia que permitisse a coleta dos poluentes depositados com os isoladores em operação.

Um outro ponto que, as equipes de manutenção sempre se questionaram, diz respeito a eficiência da lavagem, com as instalações energizadas, utilizando água pressurizada.

2.0 - MEDIÇÃO DO NÍVEL DE POLUIÇÃO - COLETA DE AMOSTRA

2.1 Distribuição da poluição ao longo da cadeia

A recomendação, por norma, para avaliação do nível de poluição depositada naturalmente nas cadeias de isoladores de linhas de transmissão, é a coleta dos poluentes de isoladores tanto das duas extremidades quanto do meio da cadeia, para permitir uma avaliação média o mais próximo possível do nível de toda a cadeia.

Trabalhos internacionais mostram que, para tensão alternada, existe grande uniformidade dos valores ao longo da cadeia. Tal fato pode ser comprovado através do gráfico 1, a seguir, que representa os valores medidos de poluição, ao longo de uma cadeia de suspensão "I" de linha de 750 kV

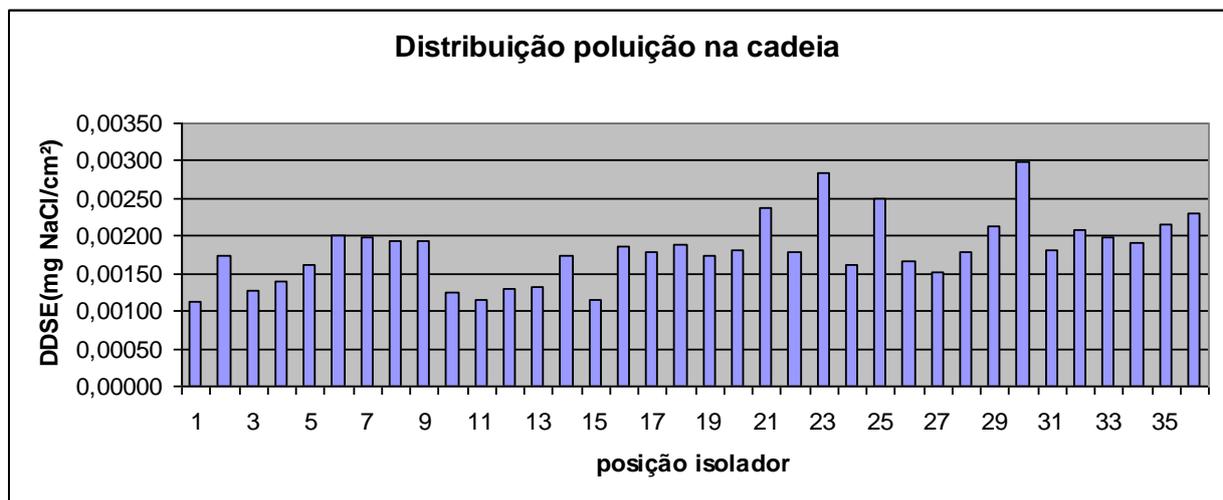


Figura 1 – distribuição do nível de poluição em cadeia de 750 kV

Nesta mesma linha de observação, a análise dos resultados do nível de poluição, obtidos para todos os isoladores de mais de 30 (trinta) cadeias poluídas naturalmente, mostrou uma variação muito pequena (a grande maioria inferior a 20%) quando comparados os resultados observados entre o 2º isolador, contado a partir da estrutura, e a média de todos os isoladores da cadeia. Registre-se que a parte superior do 1º isolador da cadeia e a parte inferior do último não são considerados em vista de serem, respectivamente, a parte mais lavada pela chuva (resultado muito menor que as demais partes superiores) e a parte com maior depósito de poluição (por ficar mais exposta).

A figura 2, a seguir, apresenta os resultados de poluição média das cadeias completas e os referentes ao 2º isolador destas cadeias retiradas de operação.

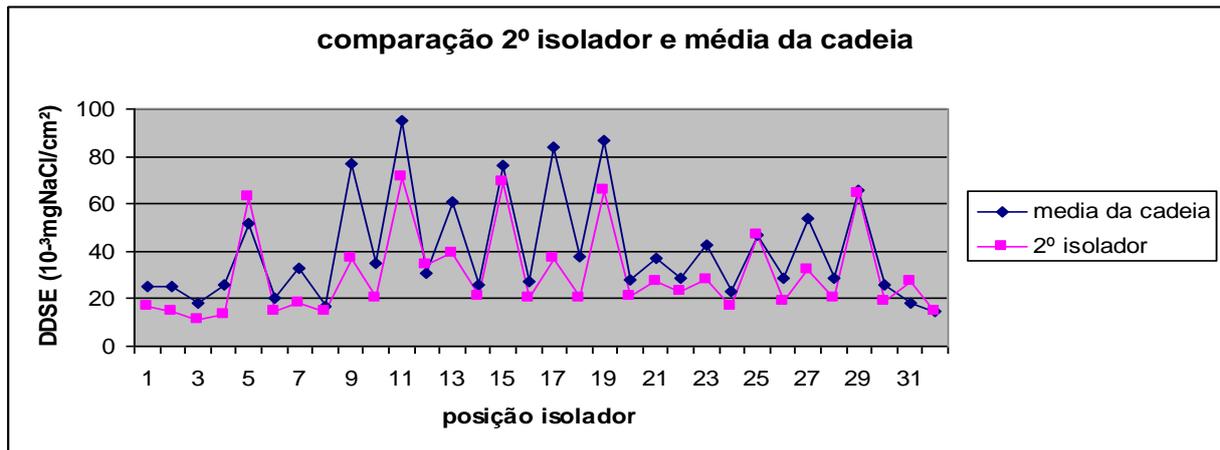


Figura 2 - comparação entre média da cadeia e 2º isolador

A partir destes dados pode-se concluir então que, sendo coletada a poluição depositada nas partes inferior e superior da superfície do segundo isolador da cadeia de suspensão, contado à partir da estrutura, o nível de poluição representa, de forma bem aproximada, a média depositada ao longo de toda a cadeia.

2.2 Coleta de amostra de poluente com as instalações energizadas

2.2.1. Preliminares

Tendo em vista que a coleta dos poluente é realizada com as instalações energizadas, é fundamental que sejam observadas todas as regras de segurança pertinentes aos trabalhos em linha viva, tais como:

- Condições meteorológicas satisfatórias;
- Sem chuva;
- Sem descargas atmosféricas;
- Umidade relativa abaixo de 70%;
- Manter a MAD - mínima distância de aproximação (distância de segurança);
- integridade da cadeia de isoladores (sem isoladores quebrados)

Além disto todos os eletricitistas envolvidos no serviço tem de estar devidamente habilitados. para esta atividade

2.2.2. Material necessário

O material necessário para a coleta dos poluentes está apresetado a seguir

- 01 (um) microamperímetro de linha viva;
- 01 (um) balde d'água de plástico (capacidade de 5 litros);
- 02 (duas) esponjas de lavar louça simples (sem parte metálica);
- 01 (um) litro d'água desmineralizada;
- 01 (um) recipiente calibrado para medir o volume d'água;
- 02 (dois) equalizadores de potencial de linha viva;
- 01 (um) condutivímetro portátil

2.2.3. Metodologia de coleta

A seguir está apresentado o passo a passo para coleta da poluição de cadeias em operação.

1) aterrar o 2º isolador utilizando o equalizador de potencial de linha viva (foto1)

2) medir a corrente de fuga da cadeia após o aterramento do 2º isolador, utilizando o microamperímetro de linha viva (foto 2).



Foto 1 - aterramento do 2º isolador



Foto 2 - medição corrente fuga

- a corrente de fuga deve ser sempre da mesma ordem de grandeza dos valores permitidos quando dos serviço em linha viva. A tabela 1, a seguir apresenta os valores máximos para a corrente de fuga em função das classes de tensão.

Tabela 1 - corrente de fuga máxima

TENSÃO (KV)	CORRENTE DE FUGA (microampéres)
138	40
230	66
345	120
500	144
750	270

3) aterrar o 3º isolador utilizando o equalizador de potencial de linha viva (foto 3),

4) colocar 500 ml de água desmineralizada em um recipiente limpo para retirada dos poluentes.

5) utilizando uma esponja limpa, umedecida na água desmineralizada, retirar o poluente da parte superior do 2º isolador (foto4).



Foto 3 - aterramento do 3º isolador



Foto 4 - retirada do poluente

7) retirar toda a poluição da esponja utilizada na limpeza

8) medir a condutividade da solução.

9) - repetir toda a operação para a parte inferior do 2º isolado.

3.0 - LINHA DE TRANSMISSÃO 500 KV AÇAIÂNDIA - MIRANDA II

3.1 Avaliação do nível de poluição - campo

Em função dos desligamentos ocorridos, na linha de transmissão, 500 kV, Açailândia - Miranda II, antes de completar 1 ano de operação, foram realizadas medições em determinadas estruturas para avaliação do nível de poluição depositado na superfície dos isoladores.

A metodologia utilizada para retirada dos poluentes, com as instalações energizadas, atendeu rigorosamente ao descrito anteriormente.

A tabela 2, a seguir, apresenta os valores de densidade de depósito de sal equivalente (DDSE) medidos.

Tabela 2 - resultado das medições de equivalente de sal

Amostra	Torre	parte	Condutividade (μS)	DDSE mg/cm^2	Relação superior/inferior	nível
01	694	inferior	1319	0,094	6	moderado
		superior	118	0,016		Muito leve
02	248	inferior	1220	0,068	4,25	moderado
		superior	115	0,016		Muito leve
03	310	inferior	1046	0,076	1,95	moderado
		superior	335	0,039		leve
04	540	inferior	852	0,062	2,14	moderado
		superior	248	0,029		Muito leve

3.2 - Avaliação do Nível de Poluição - Laboratório

As cadeias de isoladores das torres nº 38, 245 e 694, com 22 isoladores cada, foram retiradas de operação, identificadas e embaladas em tubos de PVC, com o intuito de preservar a poluição depositada naturalmente na superfície dos isoladores durante o transporte para o laboratório, foto 5:

Para a medição do DDSE (Depósito de densidade de Sal Equivalente) e DDNS (Depósito de Densidade Não Solúvel) foram selecionadas 5 unidades de isoladores da cadeia retirada da estrutura 694, conforme figura 3 a seguir (as demais cadeias foram utilizadas para os ensaios de suportabilidade):



Foto 5 - Isoladores em tubos de PVC

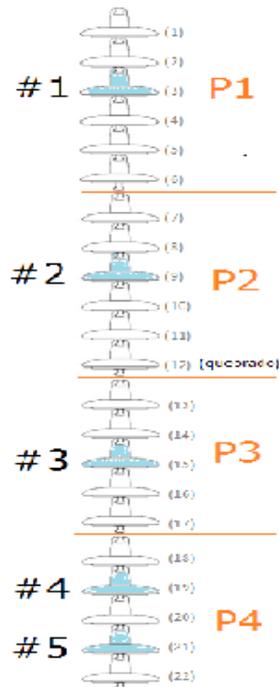


Figura 3 - disposição coleta poluentes

Os resultados de DDSE obtidos estão apresentados na tabela 3, a seguir

Tabela 3 - Resultados de DDSE

Item	Isolador 1		Isolador 2		Isolador3		Isolador 4		Isolador 5	
	superior	inferior	superior	inferior	superior	inferior	superior	inferior	superior	inferior

Para o caso específico da fase central da estrutura tipo AME2 ("cross rope"), foram estudadas e testadas diversas alternativas em campo, sendo definida a metodologia de lavagem com a utilização de 2 cabos de aço, sendo um para sustentação do eletrícista e o outro como linha da vida, conforme apresentado na figura 8.



Figura 8- esquema de lavagem em torre "cross rope"

Para garantir a segurança do eletrícista, envolvido na lavagem da fase central, o mesmo utiliza vestimenta condutiva, em função do gradiente de potencial que fica exposto, e tanto o cabo de aço para sua sustentação, quanto o da linha da vida são aterrados e conectados eletricamente à vestimenta condutiva e ao bico da pistola, conforme pode ser observado nas fotos 9 e 10, a seguir.



foto 9 - aterramento do cabo



foto 10 aterramento vestimenta e bico

A foto 11 apresenta o posicionamento do eletrícista para a lavagem da fase central.



foto 11 - lavagem fase central "cross rope"

3.4 - Eficiência da Lavagem

Apesar de visualmente as cadeias de isoladores apresentarem um grau de limpeza considerável após a execução da lavagem, ainda não havia sido possível realizar uma medição em campo da sua eficiência em termos quantitativos.

Com a utilização da metodologia de coleta de poluentes proposta, foi possível avaliar a eficiência de lavagem e também o nível de poluição remanescente após a execução do serviço.

Para avaliação do trabalho, foi realizado, imediatamente antes do início do processo de lavagem, a coleta dos poluentes do 2º isolador de uma das cadeias de suspensão da torre nº 293 da linha de transmissão 500 kV Açailândia - Miranda II.

Imediatamente após a lavagem de todas as cadeias da referida estrutura, realizou-se, de modo análogo, a coleta dos poluentes remanescentes no 2º isolador de outra cadeia de suspensão. A tabela 4 apresenta os resultados obtidos antes e após a lavagem, bem como sua eficiência e o grau de poluição remanescente.

Tabela 4 - Eficiência de Lavagem

	superior		inferior		isolador	
	mg/cm ²	classe	mg/cm ²	classe	mg/cm ²	classe
Antes lav.	0,016	leve	0,082	moderada	0,057	moderada
Depois lav.	0,010	Leve	0,011	leve	0,011	leve
Eficiência(%)	38	-	87	-	80,7	-

Portanto, pode-se observar que a eficiência da lavagem foi superior a 80% e que o grau de poluição remanescente foi leve, o que garante o perfeito funcionamento da linha, após o processo de lavagem, sem qualquer risco de desligamento por poluição.

4.0 - CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, com a utilização da metodologia alternativa para coleta dos poluentes com as instalações energizadas, e sem a retirada da cadeia de operação, pode-se concluir que:

4.1 Otimização do trecho a ser realizada a manutenção

Em função da praticidade e agilidade na execução da metodologia proposta para coleta dos poluentes, é possível determinar o tipo da manutenção mais indicada, além da delimitação do trecho ou mesmo da estrutura a ser aplicada a medida corretiva, sem que seja necessário remover a cadeia e transportá-la para o laboratório, evitando assim todo o tempo envolvendo este processo.

4.2 Avaliação da eficiência da manutenção

Definindo-se que a solução técnico/econômica recomendada é a lavagem dos isoladores com as instalações energizadas, é possível realizar a medição dos poluentes remanescentes e verificar se estes ainda implicam em algum risco de desligamento para a linha.

4.3 Estrutura tipo AME2 ("cross rope")

Com relação à metodologia desenvolvida para lavagem da fase central da torre tipo AME2 (“cross rope”), para garantir a segurança do eletricitista envolvido na lavagem, é importante que todo o conjunto [cabo de sustentação, linha de vida, bicos das pistolas e o eletricitista (através da vestimenta condutiva)] estejam conectados e aterrados.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEEE 957 Guide for cleaning insulators - 2005
- (2) Mechanism of AC flashover during live line washing of polluted insulators - Hamed M.N.G, Gendy O.El, Diab A., Nossier A. - 2004
- (3) Instrução Técnica de Furnas - Lavagem De Isoladores De Linhas De Transmissão Com As Instalações Energizadas - 2004
- (4) Instrução Para a Lavagem Dos Isoladores Da Linhas De Transmissão 500 Kv Açailandia - Miranda II Com As Instalações Energizadas - Nigri A.I. and Magalhães T. - 2016
- (5) Hot Line Insulator Washing as an Effective Mans of Combatting Heavy Poluution - Denes S., Farkas L. and Varju G. - 1968
- (6) Simulation and measurement of the volge distribution on high voltage susenson porcelain insulator string under pollution condtion - Mohammad Bagher 2012
- (7) Flashover mechanism and laboratory evauation o polluted insulators under DC voltage - Fenando Chagas - 1996

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Armando Isaac Nigri

- Nascimento: Rio de Janeiro – 14/09/1950
- Graduação: Pontifícia Universidade Católica PUC/RJ– Engenharia Elétrica - 1973



Augustinho Simões:

- Nascimento: Campo Grande/MS – 03/05/1975
- Graduação: Escola Federal de Engenharia de Itajubá – Engenharia Elétrica – 2001

Carlos Viola

- Nascimento: Lambri MG - 15/04/1982
- Graduação: Pontifícia Universidade Católica PUC/MG– Engenharia Elétrica - 2008

Thiago Torres Magalhães:

- Nascimento: Rio de Janeiro/RJ – 15/09/1990
- Graduação: Universidade Federal do Rio de Janeiro -UFRJ – Eng. Mecânica – 2014

André Garcia

- Nascimento: Campo Grande-MS – 09/02/1986
- Graduação: Uniderp Anhanguera – Engenharia Elétrica - 2009