

Comité de Estudio CE D1: Materiales y técnicas de ensayos emergentes

**GUIA PARA DETERMINAÇÃO DA SEVERIDADE LOCAL DA POLUIÇÃO UTILIZANDO
A MEDIÇÃO DE DDSE E DDNS EM ISOLADORES POLIMÉRICOS**

H.A.B.D. SILVA*
Balestro
Brasil

A.C. BALESTRO
Balestro
Brasil

D.R.D. MELLO
Consultor independente
Brasil

S.L.M. BRITO
Balestro
Brasil

Resumo – Este trabalho apresenta um guia para determinação da severidade local da poluição através da medição da densidade do depósito de sal equivalente e da densidade do depósito de materiais não solúveis realizada em um isolador polimérico instalado a mais de 10 anos em uma estação de ensaio de campo localizada na cidade de Mogi Mirim, interior do estado de São Paulo.

É mostrado passo a passo o processo destas medições, desde a coleta dos poluentes contidos no isolador até a classificação da severidade da poluição local. Através dos ensaios realizados foi possível determinar o nível de poluição para o local sendo classificada como nível pesado “d”, indicando uma distância de escoamento específica unificada mínima de 43,3 kV/mm.

Palavras chave: Severidade da poluição local (SPL), densidade do depósito de sal equivalente (DDSE), densidade do depósito de materiais não solúveis (DDNS), ABNT IEC/TS 60815

1 INTRODUÇÃO

Em 2014, a Comissão de Estudo de Isoladores para Linhas Aéreas e Subestações (CE-03:036.01) do Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03) gerou o projeto de norma P.03.036.01-070 que deu origem a norma ABNT IEC/TS 60815-1 sob o título de “Seleção e dimensionamento de isoladores para alta tensão para uso sob condições de poluição”.

Este projeto de norma é baseado na norma IEC 60815-1, que contém informações para avaliação da severidade da poluição local (SPL) para um isolador instalado em um determinado ambiente poluído, utilizando a medição da densidade do depósito de sal equivalente (DDSE) e da densidade do depósito de materiais não solúveis (DDNS).

O conhecimento da SPL torna-se necessário para o correto dimensionamento do isolador, fazendo que o mesmo não apresente falhas e atenda suas características básicas de projeto.

Os isoladores poliméricos de silicone possuem a característica de apresentarem excelente desempenho em ambientes poluídos, devido a possuir excelentes propriedades hidrofóbicas. Entretanto, um mau dimensionamento prejudica seu desempenho, causando assim a diminuição de sua vida útil.

Este artigo visa apresentar um guia contendo as informações detalhadas para a medição da DDSE e DDNS em um isolador polimérico, assim como a avaliação da hidrofobicidade do isolador naturalmente poluído e pós-lavagem. Como exemplo, serão apresentados os resultados da medição da DDSE e DDNS em um isolador polimérico, modelo IPB 69/CB/120/EAP/23, fabricado pela Balestro e que encontra-se ao tempo, submetido a intempéries, por um período aproximado de 10 anos, na cidade de Mogi Mirim, interior de São Paulo.

* e-mail: dinho@balestro.com.br

2 SEVERIDADE DA POLUIÇÃO LOCAL

A SPL poluição pode ser determinada pela medição da DDSE e DDNS em isoladores de referência instalados em estações de ensaio de campo ou no próprio local de operação.

Como isolador de referência pode-se utilizar um isolador tipo bastão com pelo menos 14 saias ou uma cadeia de isoladores tipo disco contendo 7 isoladores. Preferencialmente recomenda-se a utilização de 9 discos para assim evitar o efeito das extremidades.

O isolador de referência deve estar posicionado em uma altura a mais próxima possível dos isoladores da linha (local onde serão instalados) e devem estar desenergizados.

Cada saia do isolador tipo bastão ou tipo disco deve ser monitorado em intervalos definidos. O Anexo C da norma ABNT IEC/TS 60815-1 [1] sugere os seguintes intervalos e áreas do isolador conforme listado na Tabela 1 e ilustrada na Fig. 1. A coleta dos poluentes deve ser realizada antes de chuva, névoa e outros agentes ambientais.

TABELA 1. INTERVALO DE TEMPO E ÁREAS PARA MONITORAMENTO DA POLUIÇÃO

Número da saia do isolador tipo bastão	Número do isolador tipo disco	Intervalo de monitoramento
1	2	a cada mês
2, 3 e 4	3, 4 e 5	a cada 3 meses
5	6	a cada 6 meses
6	7	a cada ano
7	8	a cada 2 anos

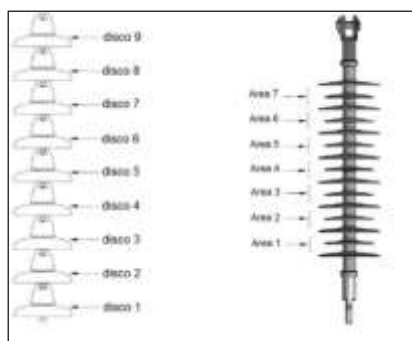


Fig. 1. Desenho ilustrativo dos isoladores de referência

O isolador tipo bastão utilizado neste estudo foi o isolador polimérico modelo IPB 69/GO/80/EAP/23, data de fabricação 06/04, lote I 0298, fabricante Balestro. Este isolador permaneceu instalado em uma estação de ensaio de campo, localizada na cidade de Mogi Mirim, interior de São Paulo, por mais de 10 anos. Uma ilustração da estação de ensaio de campo segue na Fig. 2.

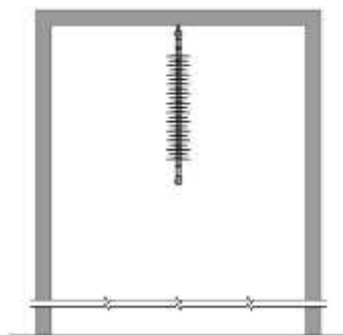


Fig. 2. Ilustrativo da estação de ensaio de campo Não tem foto para colocar junto do desenho ?

3 COLETA DOS POLUENTES

Para a coleta dos poluentes no isolador polimérico referência foi utilizado os seguintes itens:

- Agitador magnético;
- Algodão;
- Água desmineralizada;
- Balança;

- Balão volumétrico;
- Béquer;
- Condutivímetro;
- Dessecador;
- Forno para secagem;
- Funil;
- Luvas cirúrgicas;
- Suporte para apoio do isolador;
- Termômetro.

É importante não tocar nas superfícies do isolador que contém poluição para não ocorrer perdas do poluente. Sendo assim, aconselha-se a utilização de luvas cirúrgicas limpas e o isolador manuseado pelas ferragens. O cilindro de medição e o béquer foram bem lavados com água desmineralizada para assim remover quaisquer eletrólitos.

Foi utilizado 250 cm³ de água desmineralizada, na qual foi inicialmente medida por um cilindro de medição com precisão de $\pm 0,12$ cm³, conforme pode ser visualizado na Fig. 3.



Fig. 3. Cilindro de medição

A norma ABNT IEC/TS 60815-1 [1] recomenda uma utilização de um volume de água variando de 100 cm³ a 300 cm³, entretanto um volume maior pode ser requerido. Também é solicitado que a condutividade da água com o algodão imerso deve ser inferior a 0,001 S/m.

A medição da condutividade da água desmineralizada com o algodão imerso foi realizada utilizando um condutivímetro marca Analyser, modelo 600M, que apresenta o resultado na escala de $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sendo assim, o fator de conversão é 10000.

$$C_1 = \frac{1,126 [\mu\text{S}/\text{cm}]}{10000} = 0,0001126 \text{ S/m} \quad (\text{E.1})$$

sendo:

C_1 = Condutividade da água com o algodão imerso [S/m]



Fig. 4. Condutividade da água com o algodão imerso

O isolador foi fixado em um suporte para evitar contato e perda de poluente de outras áreas na qual não será realizada a coleta (ver Fig. 5). Os poluentes foram retirados da área analisada utilizando a algodão embebido na água (ver Fig. 6), sendo tomado cuidado em não perder qualquer parcela da água para assim a quantidade de água mudar antes e após a coleta do poluente.



Fig. 5. Isolador no suporte para retirada dos poluentes



Fig. 6. Retirada dos poluentes do isolador

Os poluentes foram dissolvidos na água espremendo e agitando o algodão na água. Esse processo foi realizado diversas vezes até que a superfície da área analisada estivesse completamente sem poluentes (ver Fig. 7).



Fig. 7. Isolador após retirada dos poluentes

4 CÁLCULO DA DDSE

A medição da condutividade e da temperatura da água contendo o poluente foi realizada após agitações sucessivas da água utilizando um agitador magnético marca IKA, modelo HS 7 por aproximadamente 5 minutos (ver Fig. 8). Entretanto caso os poluentes apresentem baixa solubilidade será necessário um tempo maior de agitação, em torno de 30 a 40 minutos.



Fig. 8. Agitação da água com poluentes através do agitador magnético

A temperatura da água foi medida utilizando um termômetro decimal, enchimento a mercúrio (Hg) marca Rivaterm sendo medido 25°C (ver Fig. 9).



Fig. 9. Medição da temperatura da solução de água com os poluentes

A condutividade da água contendo os poluentes foi medida utilizando o condutivímetro obtendo-se o valor de 96,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (ver Fig. 10).



Fig. 10. Medição da condutividade com a solução de água contendo os poluentes

A correção da condutividade foi realizada utilizando a equação (E.2) que é apresentada na IEC 60507:2013 [2].

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} \times [1 - b \times (\theta - 20)] \quad (\text{E.2})$$

sendo:

θ = temperatura da solução [$^{\circ}\text{C}$]

σ_{θ} = condutividade volumétrica na temperatura de $\theta^{\circ}\text{C}$ [S/m]

σ_{20} = condutividade volumétrica na temperatura de 20°C [S/m]

b = fator dependente da temperatura θ e obtido através da equação (E.3)

$$b = -3,200 \times 10^{-8} \times \theta^3 + 1,032 \times 10^{-5} \times \theta^2 - 8,272 \times 10^{-4} + 3,544 \times 10^{-2} \quad (\text{E.3})$$

sendo:

θ = temperatura da solução [$^{\circ}\text{C}$]

Substituindo o valor da temperatura na equação (E.3) temos:

$$b = -3,200 \times 10^{-8} \times 25^3 + 1,032 \times 10^{-5} \times 25^2 - 8,272 \times 10^{-4} + 3,544 \times 10^{-2} = 0,02071 \quad (\text{E.4})$$

Utilizando o valor obtido da condutividade, a temperatura e substituindo o valor obtido em (E.4) em (E.2) temos:

$$\sigma_{20} = 96,5 \times [1 - 0,02071 \times (25 - 20)] = 86,507425 \mu\text{S}/\text{cm} \quad (\text{E.5})$$

O valor da DDSE na superfície do isolador é obtido utilizando as equações (E.6) e (E.7) que são baseadas na IEC 60507:2013 [2].

$$S_a = (5,7 \times \sigma_{20})^{1,03} \quad (E.6)$$

$$DDSE = S_a \times \frac{V}{A} \quad (E.7)$$

sendo:

S_a = salinidade [kg/m³]

σ_{20} = condutividade volumétrica na temperatura de 20°C [S/m]

DDSE = densidade de depósito de sal equivalente [mg/cm²]

V = volume de água desmineralizada [cm³]

A = área da superfície do isolador utilizada na coleta dos poluentes [cm²]

Transformando o valor obtido em (E.5) para a unidade de [S/m] e substituindo esse valor em (E.6) temos:

$$S_a = \left(5,7 \times \frac{86,507425}{10000}\right)^{1,03} = 0,045052208 \text{ kg/m}^3 \quad (E.8)$$

A área do isolador na qual foi realizada a coleta dos poluentes, calculada através de software CAD, é de 478,7 cm². Utilizando esse valor, o volume da água desmineralizada (250 cm³) e o valor da salinidade obtida em (E.8) em (E.7) temos:

$$DDSE = 0,045052208 \times \frac{250}{478,7} = 0,023528414 \text{ mg/cm}^2 \quad (E.9)$$

5 CÁLCULO DA DDNS

Para o cálculo da DDNS é necessário filtrar a água contendo os poluentes com o auxílio de um papel filtro e um funil.

O papel filtro inicialmente ficou na estufa para retirar a umidade e deixado no dessecador (ver Fig. 11) até o papel filtro chegar à temperatura ambiente. Após isso o papel filtro foi pesado em uma balança marca Marte, modelo AL 500C, obtendo o valor de 1,408 gramas (ver Fig. 12).



Fig. 11. Dessecador



Fig. 12. Inserir foto da balança com o papel filtro limpo

A água contendo o poluente foi filtrada através do filtro graduação GF/A 1,6 µm, marca Schleicher & Schuell, modelo Blue ribbon 589³, com auxílio de um funil (ver Fig. 13).



Fig. 13. Água contendo poluente sendo filtrado

Após a filtragem dos poluentes, o papel filtro com os poluentes foi inserido em um forno para secagem (ver Fig. 14) por aproximadamente 2 horas.

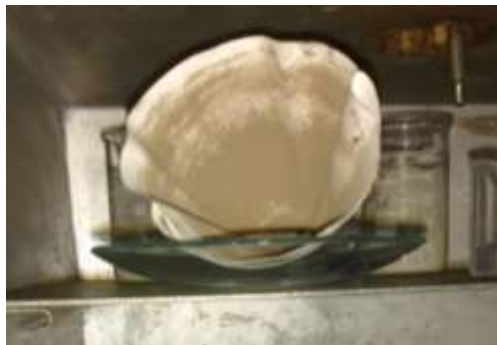


Fig. 14. Filtro contendo os poluentes no forno para secagem

Após secar o papel filtro, o mesmo foi colocado no dessecador para que o papel filtro chegasse à temperatura ambiente e após pesado novamente na balança obtendo o peso de 1,812 gramas (ver Fig. 15).



Fig. 15. Pesagem dos poluentes

O cálculo da DDNS foi calculado utilizando a equação (E.10).

$$DDNS = \frac{1000 \times (W_f - W_i)}{A} \quad (E.10)$$

sendo:

$DDNS$ = densidade de depósito de material não solúvel [mg/cm^3]

W_f = peso do filtro de papel contendo poluentes após secar [g]

W_i = peso do filtro de papel, inicial (sem poluentes) [g]

A = área da superfície do isolador utilizada na coleta dos poluentes [cm^2]

Utilizando o peso do papel filtro com e sem poluentes (ver Fig. 12 e Fig. 15) e utilizando o valor da área calculado no CAD na equação (E.10) temos:

$$DDNS = \frac{1000 \times (1,812 - 1,408)}{478,7} = 0,843952 \quad (E.11)$$

6 CÁLCULO DA SEVERIDADE DA POLUIÇÃO LOCAL

Utilizando o gráfico da relação entre DDSE/DDNS para isolador tipo bastão é possível determinar o grau da severidade da poluição local, conforme ABNT IEC/TS 60815-1 [1] e utilizando os valores de DDSE e DDNS obtidos em (E.9) e (E.11) temos:

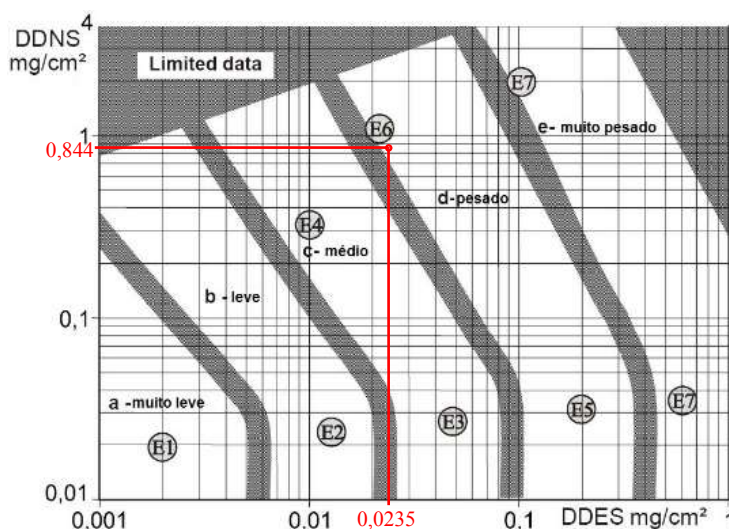


Figura 16. Gráfico da severidade da poluição local

7 CONCLUSÃO

Apesar de ser utilizado usualmente um isolador tipo bastão de porcelana para a realização da medição da DDES e DDNS, a substituição do mesmo por um isolador polimérico tipo bastão não apresentou problemas para a medição, apesar da sua hidrofobicidade que é característica do isolador polimérico de silicone, permitindo a determinação da distancia específica uniforme mínima necessária para o isolador a ser instalado na região de estudo.

O nível de poluição para o local é na classificação “d”, sendo considerado pesado. A norma ABNT IEC/TS 60815-3 [3] determina o valor mínimo de 43,3 mm/kV para a distância de escoamento específica unificada. Este trabalho apresentou a metodologia para a classificação da severidade de poluição utilizando um isolador polimérico referência para cálculo da DDES e DDNS que pode ser utilizado de guia para a determinação da distância de escoamento específica unificada utilizando como base a norma ABNT IEC/TS 60815-1 [1].

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT 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. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- [2] IEC 60507:2013: Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems. Genebra: IEC, 1991.
- [3] ABNT IEC/TS 60815-3: Seleção e dimensionamento de isoladores para alta-tensão para uso sob condições de poluição – Parte 3: Isoladores poliméricos para sistemas de corrente alternada. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.