



XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro
Rio de Janeiro - RJ - Brasil

| | | |
|--|--|--|
| Rodolfo Cardoso de Jesus | Francisco Rodrigues Sabino Junior | Ligia Veronica Genesio Pessoa |
| Industria Eletromecanica Balestro Ltda. | Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF | Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF |
| rodolfocardoso@balestro.com | sabinoj@chesf.gov.br | ligiap@chesf.gov.br |

| | |
|--|--|
| Ana Claudia Balestro | Adriano Aparecido Dellallibera |
| Industria Eletromecanica Balestro Ltda. | Industria Eletromecanica Balestro Ltda. |
| anaclaudia@balestro.com | adrianoad@balestro.com |

**Avaliação da Lavagem de Isoladores Poliméricos de Compostos de Silicone Poluídos Artificialmente
Simulando Regiões de Extra Alta Poluição com Uso de Jato Pressurizado de Água**

Palavras-chave

Borracha de Silicone
ESDD
Isoladores Poliméricos
Lavagem
NSDD
Poluição

Resumo

Este trabalho foi realizado em cooperação entre as empresas Balestro e CHESF frente à necessidade de resolver uma questão técnica e comercial sobre os aspectos da lavagem de isoladores poliméricos sob jato de água pressurizada. A CHESF tinha a necessidade de que os isoladores recém-adquiridos fabricados pela Balestro fossem testados e aprovados no ensaio de lavagem segundo os critérios de sua Especificação Técnica ET-DLT-037 – 12/2005. A Balestro tinha a necessidade de aprovar seus isoladores neste ensaio para concluir a venda.

A falta de isoladores da Balestro suficientemente poluídos instalados nas linhas da CHESF para realizar este

ensaio somado a disponibilidade de trabalhos já publicados em fóruns internacionais como o Cigre e o IEC inspiraram os participantes e autores deste trabalho a construir uma metodologia de ensaio simulando artificialmente a deposição de poluentes na superfície dos isoladores submetidos a ambientes de extra-alta poluição e sequencialmente sendo lavados segundo os critérios normativos adotados pela CHESF.

1. Introdução

Uma das principais aplicações dos isoladores poliméricos de compostos de borracha de silicone em linhas de distribuição e transmissão tem sido motivada pelo seu superior desempenho em ambientes contaminados (G. C. Silva).

Esta tendência gera uma expectativa bastante grande sobre estes equipamentos e materiais, pois mesmo possuindo superior desempenho em ambientes poluídos quando comparados ao vidro, à cerâmica ou mesmo a outros polímeros como o EPDM ou PEAD; algumas regiões podem atravessar longos períodos de estiagem e esta estiagem em ambientes fartamente poluídos propiciando o depósito e o acúmulo de poluição na superfície destes equipamentos.

Tradicionalmente, quando este tipo de problema já característico em isoladores de outros materiais ocorre, uma das alternativas para evitar falhas e desligamentos da rede é lavar a linha energizada com jatos pressurizados de água a fim de remover o excesso de camada de poluição. Para os isoladores poliméricos não se espera enfrentar este tipo de problema, porém aplica-se o teste de lavagem com dois objetivos principais – primeiro para verificar a eficiência da lavagem e remoção dos resíduos e segundo para verificar a integridade física do isolador após a lavagem.

O ensaio de lavagem de isoladores poluídos sob jato pressurizado de água necessita fundamentalmente de dois pré-requisitos: o jato de água pressurizado, que pode ser facilmente obtido empregando-se uma máquina de uso doméstico e isoladores poluídos que pode ser bastante mais complicado de se conseguir, afinal, isoladores poliméricos de borracha de silicone, como já fora amplamente divulgado, são de difícil contaminação e de fácil lavagem natural, mesmo um isolador poliméricos instalado há muitos anos em região altamente contaminada pode estar fracamente poluído devido o processo de lavagem natural promovido por chuvas recentes caso elas tenham ocorrido.

As normas IEC 60815-1 e IEC/TS 61245 indicam metodologias para preparação de poluição artificial a serem aplicadas em superfície de isoladores para realização de ensaios elétricos simulando condições críticas de contaminação. Estas normas serviram de inspiração para o desenvolvimento da técnica de poluição usada neste trabalho.

O apêndice A da brochura do Cigre 333 apresenta as metodologias para determinação da ESDD (Equivalent Salt Deposite Density ou densidade de depósito de sal equivalente) e da NSSD (Non-Soluble Deposit Density ou densidade de depósito não solúvel ou densidade de depósito de cinzas). Estes métodos foram aplicados para conseguir determinar o nível de contaminação alcançado para os isoladores usados neste trabalho.

Para o processo de lavagem dos isoladores foi utilizado a metodologia exigida pela Especificação Técnica ET-DLT-037 – 12/2005 (CHESF). Esta metodologia prevê quatro situações distintas de lavagem, cinco isoladores igualmente fabricados foram igualmente poluídos obtendo-se níveis críticos de contaminação, quatro deles foram lavados segundo os critérios da Especificação Técnica ET-DLT-037 – 12/2005, o isolador restante foi preservado e sua poluição (ESDD e NSDD) foi avaliada segundo os critérios do apêndice A da brochura do Cigre 333. Após a lavagem, os quatro isoladores também tiveram sua poluição residual avaliada segundo os critérios do apêndice A da brochura do Cigre 333. Desta forma, confrontando os resultados dos isoladores lavados com o isolador ainda poluídos pode-se constatar a eficiência das quatro

formas de lavagem que levaram os isoladores de níveis extremos de poluição para níveis leves ou moderados de poluição segundo os critérios da IEC/TS 61245.

Depois de lavados e limpos, todos os isoladores foram submetidos a ensaios de tensão disruptiva e de tensão aplicada. A temperatura dos isoladores foi acompanhada durante o ensaio de tensão disruptiva, estes ensaios são feitos segundo a especificação técnica da CHESF visando verificar se os ensaios de lavagem dos isoladores poluídos sob jato pressurizado causou algum dano físico nos isoladores.

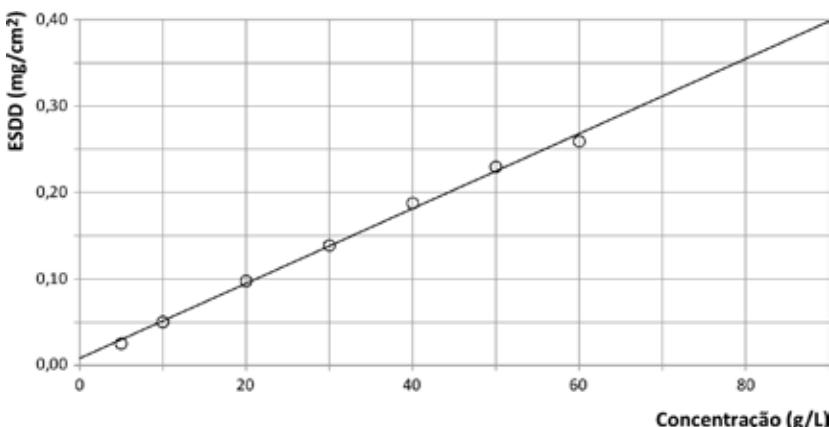
2. Desenvolvimento

A primeira etapa para desenvolver este trabalho foi a preparação da poluição artificial. O método da preparação da suspensão com poluição artificial foi extraído e adaptado das normas IEC 60815-1 e IEC/TS 61245. A diatomita é a substância classicamente utilizada para simular a poluição inerte ou cinzas e o cloreto de sódio faz as vezes da poluição ativa ou solúvel.

O modelo de isolador utilizado para o ensaio de lavagem sob pressão foi uma secção do isolador modelo IPB 69/CB/120/EAP/27 com terminais tipo concha e bola para carga mecânica nominal de 120 kN, classe 16 A., em aço forjado galvanizado. O perfil para extra-alta poluição com 27 saias alternadas, sendo suas medidas de 138 mm / 110 mm com distância entre elas de 27,5 mm. Distância de arco da secção do isolador de 867 mm e distância de escoamento da secção do isolador de 3.251 mm.

1. *Preparo da Suspensão Poluente e Aplicação da Poluição*

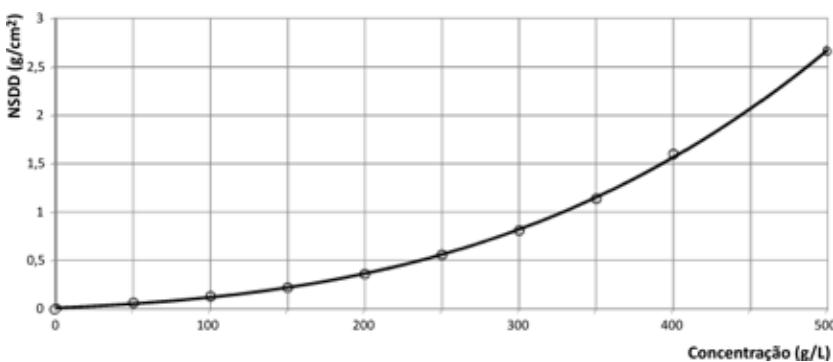
Na figuras 1 e 2 são apresentados, respectivamente o comportamento da concentração do cloreto de sódio na ESDD e da concentração da diatomita na NSDD.



Coordenada X: teor de sal (g/L)

Coordenada Y: densidade de sal (mg/cm²)

Figura 1: Relação entre teor de sal e da densidade de sal (cinzas de densidade: 1,0 mg/cm²)



Coordenada X: teor de cinzas (g/L)

Coordenada Y: densidade de cinzas (mg/cm²)

Figura 2: Relação entre teor de cinzas e densidade de cinzas

A tabela 1 demonstra as concentrações de cloreto de sódio e de diatomita (sal e cinzas) para se atingir desde níveis leves e moderados de poluição até níveis altos e muito altos.

Tabela 1: Densidade de sal e a densidade de cinzas recomendados

| Densidade de sal (mg/cm ²) | 0,025 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,4 |
|---|------------|------|-----|-----------|-----|
| Desvio Permitido | $\pm 15\%$ | | | | |
| Densidade de cinzas (mg/cm ²) | 0,5 ~ 1,0 | | | 1,0 ~ 2,0 | |

A figura 3 demonstra as regiões de poluição segundo a IEC/TS 61245 usando-se como referência a ESDD e a NSDD medidas nas superfícies dos isoladores.

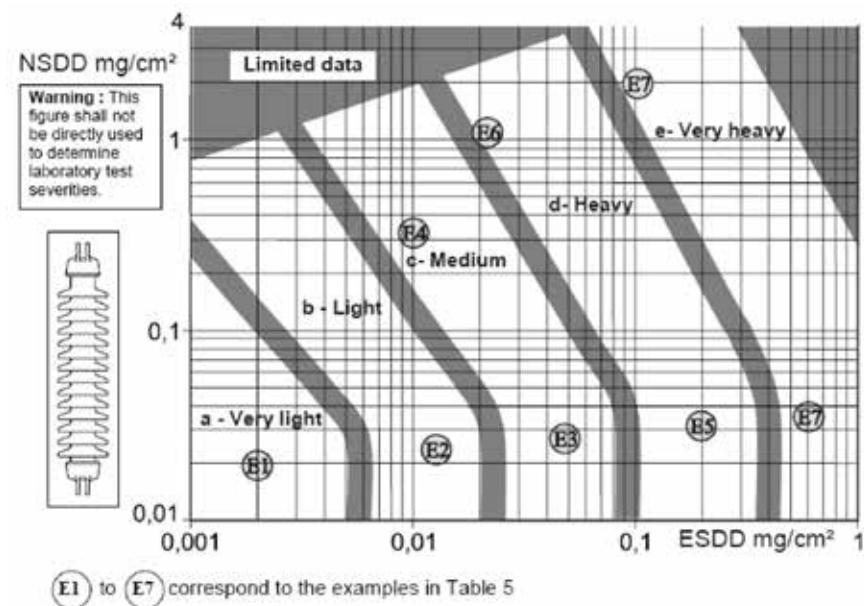


Figura 3: Grau de Severidade de Poluição Ambiente Tipo A – Relação entre ESDD/NSDD e SPS para o isolador referência tipo bastão.

Com base na Tabela 1, e nas Figuras 1, 2 e 3, extraídas da norma e IEC/TS 61245, decidiu-se pela preparação de uma suspensão que contivesse de 350 g/L de diatomita (cinzas) e 90 g/L de cloreto de sódio (NaCl - sal) a fim de se obter uma suspensão capaz de poluir um isolador a níveis de alta poluição.

1. Aplicação da poluição na superfície dos isoladores

A norma e IEC/TS 61245 sugere fazer a aplicação por imersão, mas para isoladores muito grandes e hidrofóbicos ela concede outras formas de aplicação como pintura por pincel ou mesmo aspersão por jateamento da solução.

Para este trabalho os isoladores foram aquecidos previamente em uma estufa a 130 °C pelo período de 20 a 30 minutos. Com auxílio de uma pistola de pintura de ar comprimido, aplicou-se a suspensão de poluição de maneira uniforme como pode ser observado na figura 4. O pré-aquecimento permite a fixação da poluição de maneira mais rápida e uniforme devido a evaporação da água da suspensão imediatamente quando do contato da suspensão com a superfície. A poluição permaneceu na superfície do isolador por pelo menos uma hora antes da lavagem.



Figura 4: Aplicação da poluição por jateamento em suspensão em superfície aquecida.

Todos os cinco isoladores poluídos ao término do processo apresentaram uma impregnação superficial de uma camada sólida de pó branco fortemente adsorvido. A técnica de jateamento de suspensão em superfície quente se demonstrou eficiente na impregnação de poluição artificial em isoladores de composto de borracha de silicone.

1. *Lavagem dos Isoladores Sob Jato Pressurizado de Água*

Os isoladores foram lavados com o auxílio de uma máquina de lavagem pressurizada Karcher HDS 8/15S, desta forma garantindo a uniformidade na pressão do jato de água e da posição de lavagem. As lavagens dos isoladores se deram conforme os parâmetros apresentados na tabela 2. Tais parâmetros foram determinados pela especificação técnica da CHESF. Na figura 5 observa-se o aspecto dos isoladores 1, 2, 3 e 4 após serem artificialmente poluídos.

Tabela 2: Pressão e distâncias utilizadas no ensaio

| Parâmetros | Isolador 1 | Isolador 2 | Isolador 3 | Isolador 4 |
|----------------|------------|------------|------------|------------|
| Pressão (bar) | 70 | 70 | 90 | 90 |
| Distância (mm) | 500 | 700 | 500 | 700 |
| Ângulo (°) | 15 | 15 | 15 | 15 |

Dados Técnicos da Máquina de Lavagem:

Lavadora de alta Pressão Karcher HDS 8/15S

Potência 5 kW

Pressão (lb/Pol² ou bar) 2175(150)

Vazão (L/h) 800

Pressões utilizadas no ensaio: 70bar (1015 psi) e 90bar (1305 psi)



Figura 5: Isoladores poluídos artificialmente (da esquerda para direita: isoladores 1, 2, 3 e 4)

Cada isolador foi lavado em duas etapas mudando em cada etapa a posição do jato, em ambas as posições fora mantida a inclinação do jato em um ângulo de 15°. Os processos de lavagem aplicados aos isoladores são apresentados nas figuras de 6 e 7, na figura 8 observa-se os isoladores após a lavagem por jato pressurizado de água.

Figura 6: Lavagem com 500 mm de distância

Figura 7: Lavagem com 700 mm de distância.

A principal diferença entre os processos de lavagem está na pressão do jato que pode ser 70 ou 90 bar e na distância do bico do jato que pode ser de 50 ou 70 mm, a permutação destas variáveis possibilitam as quatro distintas combinações para a lavagem dos isoladores apresentadas na tabela 2.

Figura 8: Isoladores após a lavagem (da esquerda para direita: isoladores 1, 2, 3 e 4).

Os quatro isoladores lavados com jato de água pressurizado nas diferentes pressões e distâncias estabelecidas pela especificação técnica da CHESF apresentaram uma intensa remoção da camada sólida de poluição previamente adsorvida. Aparentemente os extremos superiores e inferiores dos isoladores apresentaram uma quantidade maior de material não removido, esta concentração preferencial de material

nos extremos dos isoladores parece ser inerente a técnica de lavagem.

1. Determinação da ESDD e da NSDD dos quatro isoladores lavados e do isolador poluído

Para avaliar a NSDD e a ESDD dos isoladores lavados e do isolador referência (poluído sem lavar) os resíduos presentes na superfície destes isoladores teve ser coletados, armazenados e quantificados. A água usada no processo de coleta também teve de ser analisada. O processo de extração destes resíduos é descrito:

- O isolador foi colocado em grande recipiente limpo e seco (bacia);
- Reservou-se 1,1 L de água deionizada com condutividade inferior a 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em um bêquer;
- Usando luvas de látex, um pincel, uma esponja macia sem uso e 1 L da água deionizada o isolador foi cuidadosamente lavado tomando o cuidado de remover toda a poluição depositada no corpo do isolador e nas partes superiores e inferiores das saias;
- Promoveu-se então um último enxague com os 100 mL restantes da água deionizada;
- A água de lavagem, juntamente com os resíduos sólidos foram totalmente transferidos para um recipiente limpo, seco e rotulado para que os procedimentos de determinação da ESDD e NSDD fossem concluídos seguindo a metodologia do apêndice A da brochura do Cigre 333.

Para medir a ESDD primeiro mede-se a condutividade da água de lavagem a temperatura de 20°C (s_{20}) em $\mu\text{S}/\text{cm}$. Com o valor da condutividade calcula-se a salinidade (S_a) em kg/m^3 usando a equação 1.

$$S_a = (5,7 \times 10^{-4} \times s_{20})^{1,03} \quad \text{equação 1, onde:}$$

(S_a) é a salinidade em kg/m^3

(s_{20}) é a condutividade da água de lavagem a 20°C em $\mu\text{S}/\text{cm}$

Calcula-se a ESSD em mg/cm^2 através da equação 2 usando-se como parâmetros do cálculo a área do isolador estudado (A_{ins}) em cm^2 , o volume de água deionizada gasta no processo de limpeza (V_d) em cm^3 e a salinidade (S_a) calculada com a equação 1.

$$\text{ESSD} = \frac{S_a \cdot V_d}{A_{ins}} \quad \text{equação 2, onde:}$$

(S_a) é a salinidade em kg/m^3

(A_{ins}) é a área do isolador em cm^2

(V_d) é o volume de água deionizada gasta no processo de limpeza do isolador

A NSDD em mg/cm^2 é obtida através da equação 3. Primeiro se determina a massa do papel de filtro (M_1) em mg, depois filtra-se a suspensão restante do limpeza do isolador e seca-se em estufa o material retido do papel de filtro. Pesa-se o papel com resíduo seco e é obtida a massa de resíduo mais papel (M_2) em mg.

$$\text{NSDD} = \frac{S_a \cdot V_d}{A_{ins}} \quad \text{equação 2, onde:}$$

M_1 : gramatura do papel de filtro limpo e seco, em mg.

M_2 : peso de papel de filtro seco contaminado, em mg.

A área da superfície dos isoladores foi determinada através do desenho do isolador usando um software de análise de sólidos para realizar o cálculo.

Na tabela 3 estão apresentados os valores de ESDD encontrados para os isoladores 1, 2, 3, 4 e referência. Como esperado, o isolador referência, este valor faz sentido tendo em vista que este isolador não foi lavado com jato pressurizado de água ao contrário dos outros quatro isoladores. Toda a poluição depositada neste isolador permaneceu no mesmo até a limpeza da superfície para medição da ESDD e da NSDD.

Tabela 3: Valores de ESDD para os isoladores ensaiados:

| Isolador | Condutividade | Volume de Água | Área Superficial | S_a | ESDD |
|--------------------------|-------------------------|----------------|------------------|------------------------|-------------------------|
| | $\mu\text{S}/\text{cm}$ | cm^3 | cm^2 | kg/m^3 | mg/cm^2 |
| Referência Não Lavado | 12260 | 1100 | 7516,70 | 7,41 | 1,084 |
| Isolador 1 50cm 70bar | 123 | 1100 | 7516,70 | 0,06 | 0,009 |
| Isolador 2 70cm 70bar | 134 | 1100 | 7516,70 | 0,07 | 0,010 |
| Isolador 3 50cm 90bar | 122 | 1100 | 7516,70 | 0,06 | 0,009 |
| Isolador 4 70cm 90bar | 121 | 1100 | 7516,70 | 0,06 | 0,009 |

Obs 1: Condutividade da água deionizada de $0,9 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 20°C
Obs 2: Todas a medidas de condutividade das águas de limpeza das amostras em 20°C

É evidente que a ESDD de todos os quatro isoladores lavados com jato pressurizado de água são muito próximas entre si, estes valores demonstram que os processos de lavagem adotados no ensaio são equivalentemente eficiente para promover a limpeza dos isoladores.

Outra constatação importante é de que o isolador poluído possui uma ESDD da ordem de 10^2 maior que os isoladores lavados, isto confirma a eficiência do método de poluição artificial simular de maneira inequívoca a poluição ativa natural que pode ser encontrada em ambientes altamente agressivos como orlas marinhas, por exemplo.

Na tabela 4 estão apresentados os valores de NSDD encontrados para os isoladores 1, 2, 3, 4 e referência. Novamente observa-se um valor NSDD muito superior para o isolador referência quando comparado aos valores de NSDD dos demais isoladores. Entretanto, observamos que a variação dos valores de NSDD entre os isoladores lavados parece maior do que variação entre os valores de ESDD.

Esta constatação não parece tão ilógica se observarmos que a NSDD é um valor que quantifica os depósitos não solúveis, enquanto a ESDD quantifica os depósitos solúveis, portanto, espera-se remover mais facilmente as partículas solúveis, já as partículas maiores e insolúveis dependerão muito mais da força, distância e orientação do jato, até mesmo o operador do jato pode interferir neste resultado, observando que com o decorrer do ensaio, o operador foi aprendendo a cada isolador a fazer uma limpeza mais eficiente.

Tabela 4: Valores de NSDD para os isoladores ensaiados:

| Isolador | Área Superficial | Massa Papel Sujo e Seco | Massa Papel Limpo e Seco | NSDD |
|---|------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| | cm ² | mg | mg | mg/cm ² |
| Referência Não Lavado | 7516,70 | 61182 | 1483 | 7,94 |
| <hr/> | | | | |
| Isolador 1 50cm 70bar | 7516,70 | 3302 | 1403 | 0,25 |
| <hr/> | | | | |
| Isolador 2 70cm 70bar | 7516,70 | 2167 | 1458 | 0,09 |
| <hr/> | | | | |
| Isolador 3 50cm 90bar | 7516,70 | 2558 | 1453 | 0,15 |
| <hr/> | | | | |
| Isolador 4 70cm 90bar | 7516,70 | 1966 | 1413 | 0,07 |
| <hr/> | | | | |
| Obs: Massas obtidas em balança analítica com precisão de $\pm 0,001$ g | | | | |

A ordem de grandeza da diferença entre da NSDD do isolador referência e dos isoladores lavados com jato pressurizado de água varia da ordem de 10^2 a 10^3 , ou seja, fica evidenciado que a técnica de poluição artificial adotada também é eficiente para simular a contaminação sólida muito comum em períodos de estiagem e em regiões de alta incidência de contaminação por particulados como grandes centros metropolitanos, regiões com ocorrência de queimadas, solos arenosos e desérticos ou mesmo costas marinhas.

Através dos dados de ESDD e NSDD obtidos para os quatro isoladores lavados e para o isolador referência apresentados nas tabelas 3 e 4 construiu-se o diagrama apresentado na figura 9 usando informações da norma IEC/TS 61245.

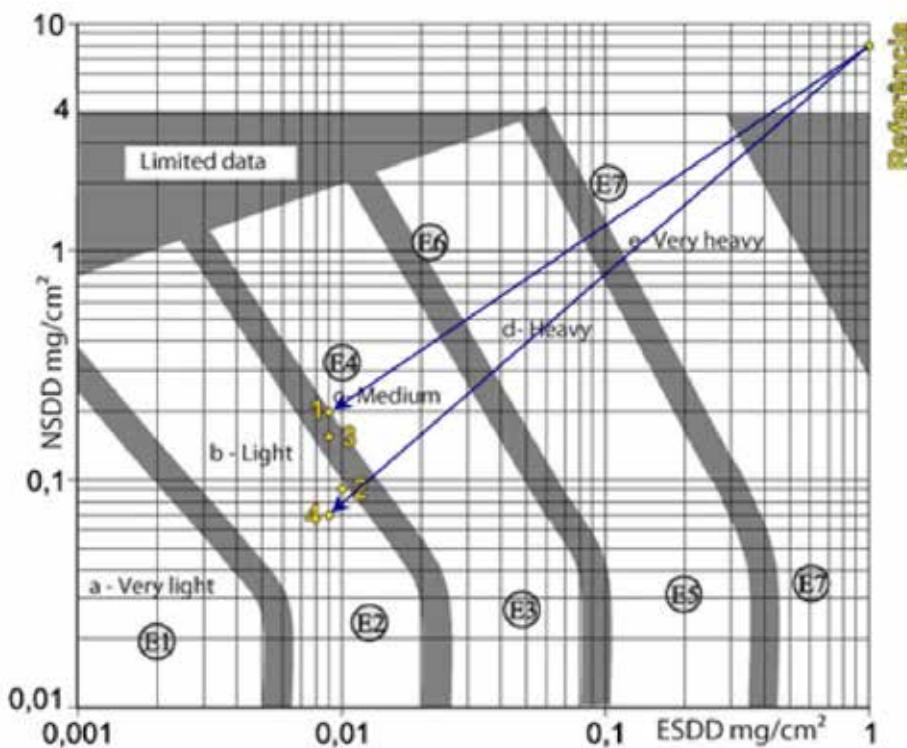


Figura 9: Grau de severidade da poluição observada nos isoladores.

Observando o diagrama da figura 9 torna-se nítido que os isoladores passaram de um grau de extra-alta poluição para níveis leves a moderados de poluição. Este resultado é o resultado esperado e satisfatório para a especificação técnica da CHESF.

1. Ensaio de tensão disruptiva e tensão aplicada

Nesta etapa, os isoladores que foram ensaiados juntamente com o isolador referência foram submetidos ao ensaio de tensão disruptiva (ver tabela 5) aplicando-se cinco descargas em cada amostra e determinando a média aritmética das aplicações. Logo após, foi aplicado durante um período de 30 minutos uma tensão de 80% do valor da tensão disruptiva da amostra de referência.

Tabela 5: Ensaio de tensão disruptiva em frequência industrial:

| Amostra | Aplic. 1 Ud (kV) | Aplic. 2 Ud (kV) | Aplic. 3 Ud (kV) | Aplic. 4 Ud (kV) | Aplic. 5 Ud (kV) | Media Ud (kV) |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| 1 | 327 | 336 | 338 | 337 | 334 | 334,4 |
| 2 | 336 | 336 | 334 | 337 | 336 | 335,8 |
| 3 | 336 | 336 | 336 | 335 | 336 | 335,8 |
| 4 | 337 | 337 | 336 | 337 | 337 | 336,8 |
| 5 – Ref. | 337 | 335 | 335 | 339 | 338 | 336,8 |

Verificou-se o valor da temperatura (ver tabela 4), antes e após os 30 minutos de energização, nos três pontos pré-estabelecidos (P1, P2 e P3), onde P1 é a primeira saia próximo ao terminal Bola do isolador, P2 é o centro do isolador (13^a saia) e P3 é a primeira saia próximo ao terminal concha do isolador. Não se permite que ocorram variações de temperatura que excedam 10 °C em relação ao isolador referência.

Foi aplicado o valor da tensão de 269,4 kV que corresponde a 80% do valor da média da tensão disruptiva da amostra de referência.

Tabela 6: Verificação da temperatura nos pontos estabelecidos para o ensaio:

| Amostra | Temperatura | P1 | P2 | P 3 | Tempo | Resultado |
|----------|-------------|------|------|------|-------|---------------|
| | | (°C) | (°C) | (°C) | (Min) | |
| 1 | Antes | 32,0 | 32,0 | 33,0 | 30 | Satisfatório |
| | Depois | 36,0 | 35,0 | 35,0 | 30 | Satisfatório |
| 2 | Antes | 32,0 | 32,0 | 33,0 | 30 | Satisfatório |
| | Depois | 35,0 | 35,0 | 35,0 | 30 | Satisfatório |
| 3 | Antes | 31,0 | 32,0 | 33,0 | 30 | Satisfatório |
| | Depois | 35,0 | 34,0 | 35,0 | 30 | Satisfatório |
| 4 | Antes | 32,0 | 32,0 | 33,0 | 30 | Satisfatório |
| | Depois | 36,0 | 35,0 | 35,0 | 30 | Satisfatório |
| 5 – Ref. | Antes | 31,0 | 32,0 | 32,0 | 30 | Não se Aplica |
| | Depois | 35,0 | 34,0 | 35,0 | 30 | Não se Aplica |

O ensaio de tensão disruptiva em frequência industrial não apresentou nenhuma anomalia ou desvio e o ensaio tensão aplicada tão pouco apresentou variações significativa de temperatura durante as medições. Estes resultados evidenciam que a lavagem com jato pressurizado de água não causou nenhum dano nos isoladores poliméricos da Balestro e que, portanto, tais isoladores cumpriram com todas as exigências e requisitos deste ensaio.

3. Conclusões

- A suspensão de poluição teve suas concentrações de cloreto de sódio e diatomita adequadamente dimensionadas para causar e simular um grau de extra-alta poluição na superfície dos isoladores poliméricos, podendo talvez até ser um pouco menos concentrada;
- A aplicação da poluição em superfície aquecida através de jateamento da suspensão foi eficaz para obtenção de camada homogênea de poluição nos isoladores;
- Os processos requeridos de lavagem com jato pressurizado de água pela especificação técnica da CHESF foram eficientes na remoção dos depósitos de poluição observados nos isoladores;
- Os valores de ESDD e NSDD demonstraram que os isoladores foram eficientemente poluídos neste ensaio e eficientemente limpos gerando resultados plenamente satisfatórios que atendem aos critérios da especificação técnica da CHESF para estes requisitos;
- Os ensaios de tensão disruptiva em frequência industrial e de tensão aplicada demonstraram que os isoladores resistiram aos processos de poluição artificial e lavagem com jato pressurizado de água sem apresentarem nenhum sinal de dano interno ou externo confirmado pela manutenção da temperatura dos isoladores no decorrer destes ensaios sem qualquer variação significativa.

4. Referências bibliográficas

G. C. Silva, F. Piazza, P. C. Inone, K. F. Portella (LACTEC), M. S. Cabussu, D. P. Cerqueira (COELBA) – Avaliação de desempenho de isoladores cerâmicos e poliméricos no nordeste brasileiro por meio de medidas on line de corrente de fuga e classificação da severidade da contaminação local. IX Induscon – 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications, novembro de 2010, São Paulo.

Especificação Técnica ET-DLT-037 – 12/2005 (CHESF)

IEC 60815 – Selection and Dimensioning of High-Voltage Insulators Intended for Use in Polluted Conditions

IEC 61109 - Insulators for Overhead Lines - Composite Suspension and Tension Insulators for A.C. Systems with a Nominal Voltage Greater than 1 000 V - Definitions, Test Methods and Acceptance Criteria

IEC/TS 61245 – Artificial Pollution Tests on High-Voltage Insulators to Be Used on D.C. Systems

Cigre 333 – Guide for the Establishment of Naturally Polluted Insulator Testing Stations

Cigre 158 – Polluted Insulators: A Review of Current Knowledge

NBR 15122: Isoladores-Bastão compostos poliméricos para tensões acima de 1000V

NBR 6936: Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão

R. C. de Jesus; S. L. M. Brito; A. A. Dellallibera; R. B. de Oliveira; R. H. Corral; P. R. Anderson – Avaliação de isoladores naturalmente envelhecidos: Caracterização de isoladores poliméricos de alta tensão com mais de 5 anos de serviço em ambientes agressivos. XXI SNPTEE – 21º Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, outubro de 2011, Florianópolis – SC.
