



GRUPO - VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO - GSE

DESEMPENHO DE ISOLADORES SOB CHUVAS INTENSAS

Darcy Ramalho de Mello(*)
Consultor

Orsino Borges de Oliveira Filho
Consultor

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados do estudo realizado pelo Grupo de Trabalho (GT) D1-45 do Cigré quanto à avaliação do desempenho de equipamentos quando submetidos a chuvas intensas, após relatos de diversas concessionárias sobre a ocorrência de falhas com precipitações superiores a 2 milímetros por minuto e que podem atingir comprovadamente até 10 milímetros por minuto. Como a revisão da IEC 60060.1 fixou a precipitação máxima a ser empregada nos ensaios dielétricos em 1 mm/min, os resultados sobre o desempenho dielétrico obtidos pelo GT serão enviados à IEC para subsidiar uma nova revisão da norma.

Este trabalho apresenta também os resultados dos estudos realizados quanto à metodologia de ensaio sob chuva a ser empregada nos ensaios em equipamentos para Ultra Alta Tensão (UAT), a influência da chuva no desempenho sob poluição e a influência das chuvas ácidas, decorrentes dos elevados níveis de poluição.

PALAVRAS-CHAVE

Chuva, Isoladores, Desempenho dielétrico, Ensaios

1.0 - INTRODUÇÃO

Na revisão da norma IEC 60060-1 [1] foi retirado do procedimento de ensaio sob chuva a opção de seleção da precipitação representando chuvas intensas. Nos últimos anos porém, diversas concessionárias de energia em todo o mundo apresentaram relatos consistentes, a partir de experiências operacionais, indicando que isoladores dimensionados e avaliados pelos padrões normalizados do ensaio sob chuva não apresentavam bom desempenho sob chuvas intensas, ou seja, precipitações superiores a 2 mm/min e que podem atingir comprovadamente até 10 mm/min [5]. Devido a isto, o CIGRÉ decidiu organizar um Grupo de Trabalho para avaliar se os parâmetros e os métodos de ensaio atualmente utilizados nos ensaios sob chuva são suficientes para abranger todos os tipos de ambiente, com destaque para a taxa de precipitação, uniformidade da precipitação – especialmente em UAT – e a resistividade da água usada no ensaio.

Além disso, resultados recentes de pesquisas significativas disponíveis indicam que solicitações combinadas de poluição e chuva devem ser consideradas no projeto de isoladores, especificamente no caso daqueles com superfícies hidrofóbicas, como os poliméricos e os recobertos com silicone vulcanizado a temperatura ambiente (RTV) e indicam também a influência das chuvas ácidas, decorrentes da poluição ambiental, no desempenho dielétrico dos equipamentos [4 – 6].

Os resultados deste estudo serão encaminhados à IEC (International Electrotechnical Commission) para orientar a revisão da IEC 60060-1 quanto às características da chuva normalizada e aos critérios a serem adotados para a medição da chuva durante ensaios em equipamentos para UAT. No Brasil, a norma brasileira de Técnica de Ensaio em Alta Tensão (ABNT NBR IEC 60060-1 [2]), quando da sua última revisão, já incluiu um anexo contemplando

(*) Rua Professor Gabizo, 109/204, Tijuca, CEP 20271-063 - Rio de Janeiro, RJ -
Telefone: (21) 2568-2384, Celular: (21) 99617-1096, darcy.mello@gmail.com

valores de precipitação pluviométrica que podem ser usados nos ensaios sob chuva, mediante prévio acordo entre as partes interessadas, superiores ao valor atualmente normalizado de 1 mm/min. Quanto aos ensaios em equipamentos para Ultra Alta Tensão, novos estudos devem ser realizados de modo a determinar o melhor posicionamento da estrutura de chuva nos ensaios, pois há a possibilidade de uma descarga disruptiva para a estrutura de chuva, caso os valores atuais empregados para garantir a uniformidade da chuva sejam mantidos. Uma possibilidade a ser estudada é a colocação da estrutura de chuva no teto do laboratório resultando em orientação de chuva diretamente na vertical.

As atividades deste grupo de trabalho é de grande importância para o Brasil pelo histórico de ocorrência de chuvas consideradas intensas de até 5 mm/min em regiões onde já existem partes importantes do sistema elétrico de potência brasileiro, bem como para estudos, projetos e especificações de isoladores visando a expansão do sistema em regiões do país também susceptíveis a tais condições de chuva.

2.0 - DESEMPENHO EM CAMPO SOB SEVERAS CONDIÇÕES AMBIENTAIS

A chuva apresenta maior impacto no desempenho dielétrico de isoladores tipo suporte [3 a 7], montados na posição vertical. Um estudo realizado nos Estados Unidos com isoladores de porcelana mostrou que a chuva foi responsável por aproximadamente 12% das 568 descargas disruptivas registradas, como pode ser visto na Figura 1. Um dos problemas observados neste estudo reside no fato que existem poucas informações sobre o desempenho de sistemas elétricos instalados nas regiões tropicais sob diversas condições ambientais. O mapa da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, sigla do inglês Food and Agriculture Organization), mostrado na Figura 2, indica os níveis de precipitação média total anual mundial medidos 1997, onde pode-se ver que a região brasileira apresenta níveis elevados de precipitação.

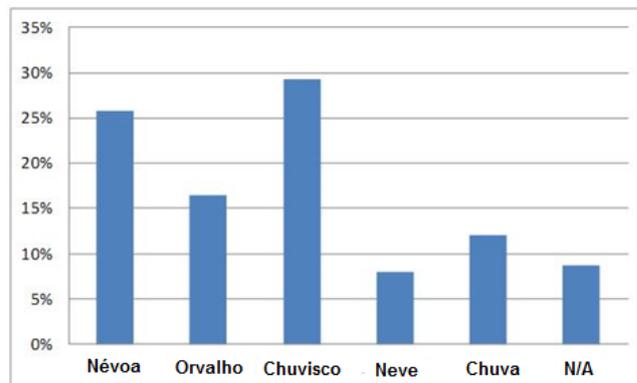


FIGURA 1 – Percentual de descargas disruptivas em função das condições ambientais [5]

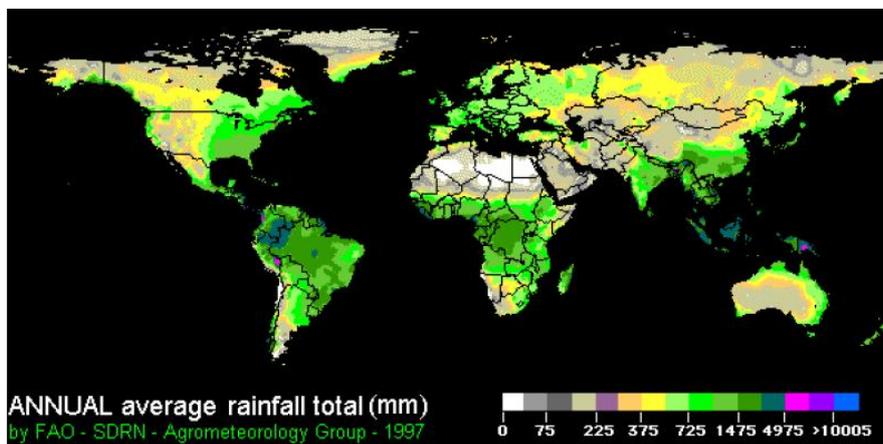


FIGURA 2 – Mapa da precipitação anual emitido pela FAO [5]

Os dados para áreas tropicais e semitropical verificados na literatura [5] indicam que enquanto uma intensidade de chuva de 1,5 mm/min ainda pode representar a chuva natural de alta intensidade, com elevadas taxas de repetibilidade anual, intensidades de chuva de 5-10 milímetros por minuto não são incomuns, como relatado pela China que mediu valores superiores a 9,9 mm/min em cinco províncias diferentes, em 2009.

Outro problema observado é a classificação dada por diversos meteorologistas quanto ao tipo de chuva:

- Chuva leve – taxa média de precipitação < 2,5 mm/h;
- Chuva média – taxa média de precipitação entre 2,5 mm/h e 10 mm/h;
- Chuva intensa – taxa média de precipitação entre 10 mm/h e 50 mm/h;

- Chuva violenta – taxa média de precipitação > 50 mm/h.

Para a classificação acima deve-se considerar que muitos dos dados disponíveis sobre precipitação são apresentados em termos de intensidade de precipitação versus duração, para diferentes períodos de retorno do evento. A maioria dos dados disponíveis refere-se aos dados obtidos usualmente sobre as intensidades de chuva medidas em períodos variando de alguns minutos a várias horas, dado que a gravação da intensidade por um tempo muito curto, intervalo de minutos, é muito difícil. Nesse contexto, a comparação de desempenho em campo e em laboratório se torna difícil enquanto não se obtiverem dados meteorológicos em campo no momento de falha do equipamento.

3.0 - DESEMPENHO DE UM ISOLADOR SOB CHUVA ARTIFICIAL

Além da intensidade e da resistividade da chuva e de sua uniformidade durante um ensaio, o perfil do isolador exerce grande influência no seu desempenho nos ensaios dielétricos.

3.1 Influência dos parâmetros do isolador

A suportabilidade dielétrica de um isolador pode ser influenciada pela formação de fluxos contínuos de água que podem curto-circuitar saias sucessivas, como pode ser visto na Figura 3, resultando em uma redução no valor da tensão disruptiva quando comparado com o valor obtido na condição a seco [3].

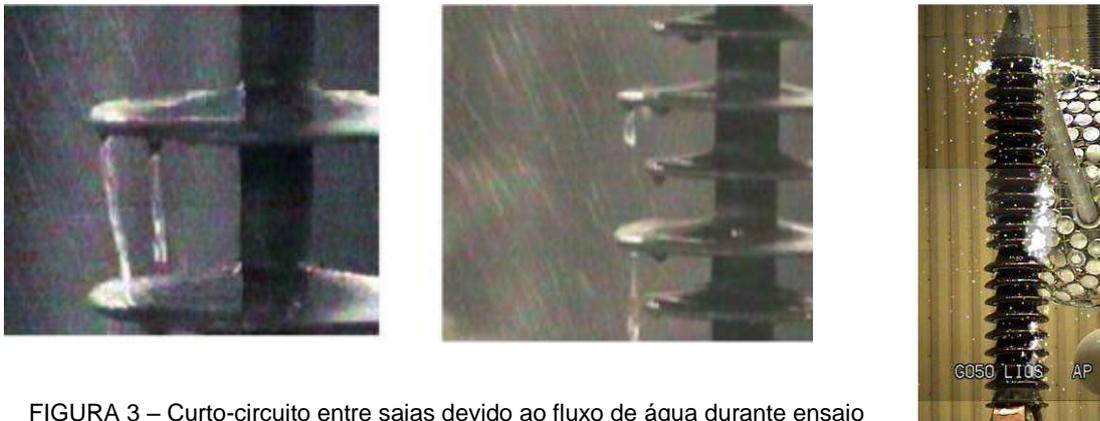


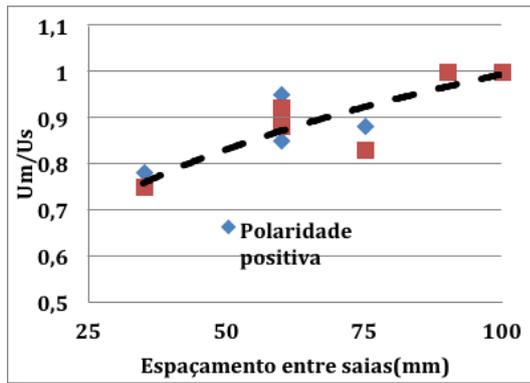
FIGURA 3 – Curto-circuito entre saias devido ao fluxo de água durante ensaio

A importância do espaçamento entre saias pode ser vista na Figura 4, tanto para impulso de manobra quanto para corrente alternada, e pode-se verificar que a relação entre a tensão disruptiva sob chuva (U_m) e a tensão disruptiva a seco (U_s) é diretamente proporcional ao aumento do espaçamento entre as saias, indicando que os valores de U_m e U_s tendem a se igualar.

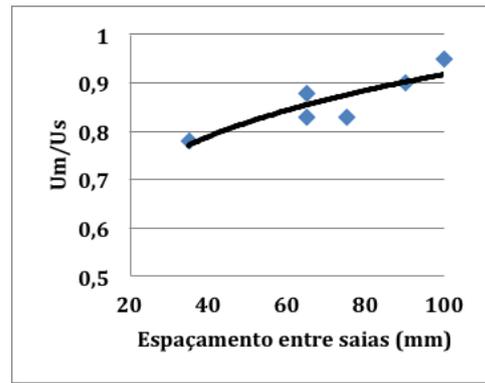
Outro parâmetro que interfere na relação entre U_m e U_s é o diâmetro da saia do isolador (D). Nesse caso, deve-se tomar cuidado porque a necessidade de aumentar a distância de escoamento para melhorar o desempenho sob poluição pode fazer com que se aumente o diâmetro das saias do isolador, mas o aumento do diâmetro da saia é inversamente proporcional à variação da relação U_m/U_s , indicando um pior desempenho sob chuva do isolador, como pode ser visto na Figura 5. A influência do diâmetro da saia independe do tipo do isolador, como pode ser visto na Figura 6, seja ele de porcelana ou polimérico. Pode-se observar também na Figura 6 que a redução no valor da relação U_m/U_s é menor no isolador polimérico que no isolador de porcelana e tende para uma certa estabilização.

3.2 Influência da chuva nos ensaios de impulso de manobra

A influência da intensidade da chuva nos ensaios de impulso de manobra pode ser vista na Figura 7 para isoladores tipo suporte, com diversas formas de eletrodos. Foi encontrada pouca variação no valor da tensão com 50% de probabilidade de descarga (U_{50}) com polaridade positiva com o aumento da precipitação. Maior variação foi observada na polaridade negativa, embora todos os valores obtidos foram superiores aos valores com polaridade positiva. É interessante notar também a influência limitada do eletrodo de blindagem nos isoladores tipo suporte sobre a tensão disruptiva sob a chuva, como, ilustrado na Figura 8, principalmente no caso de polaridade positiva, que é a polaridade mais crítica.

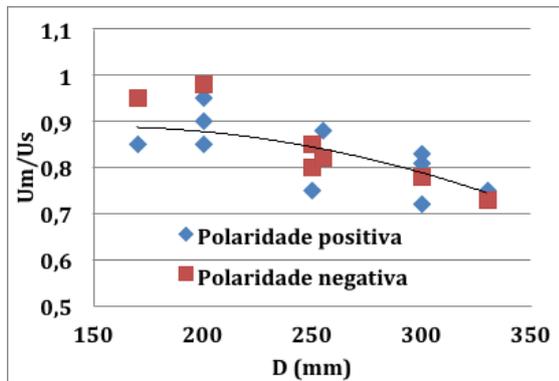


(a) Ensaios com impulso de manobra

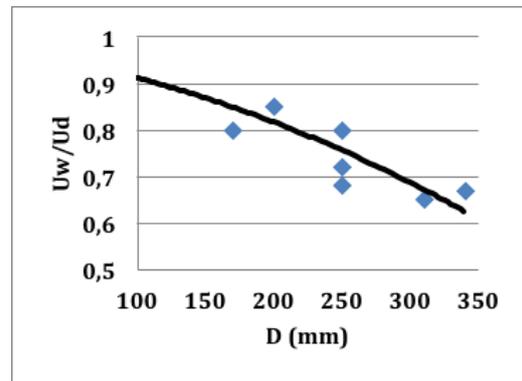


(b) Ensaios em frequência industrial

FIGURA 4 – Avaliação da influência da distância entre saias



(a) Ensaios com impulso de manobra



(b) Ensaios em frequência industrial

FIGURA 5 – Avaliação da influência do diâmetro da saia

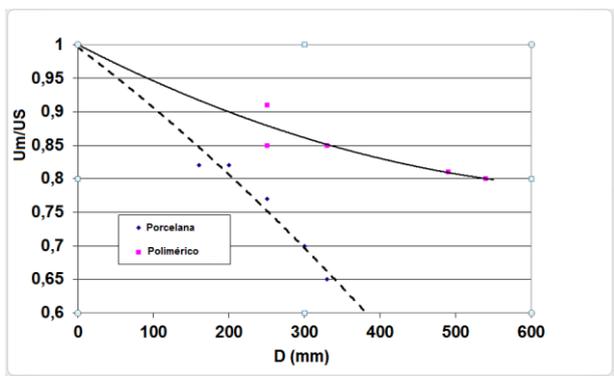


FIGURA 6 – Avaliação da influência do diâmetro da saia entre isolador de porcelana e polimérico [5]

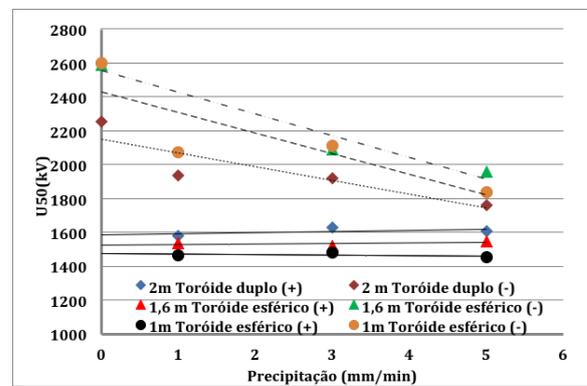


Figura 7 - Avaliação da influência da precipitação em um ensaio de impulso de manobra em isoladores tipo suporte com diversos eletrodos no topo [5]

A influência da condutividade da água sobre a tensão disruptiva é mostrada na Figura 8, para diversos valores de precipitação. A influência é bastante baixa na polaridade positiva até uma condutividade de água de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A influência é maior para a polaridade negativa, sendo interessante notar que a polaridade negativa torna-se mais crítica do que positiva para a água com condutividades superiores a cerca de 300 MS/cm .

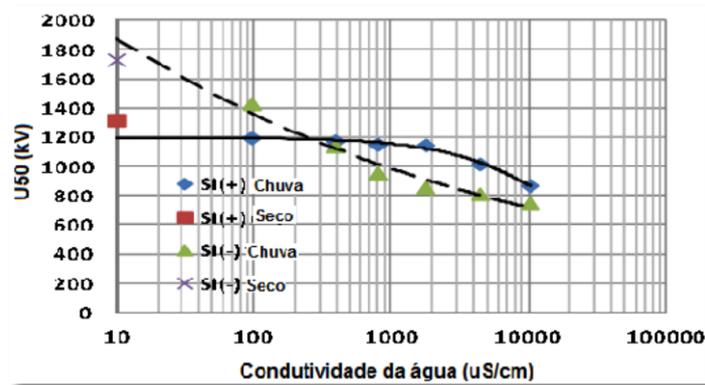
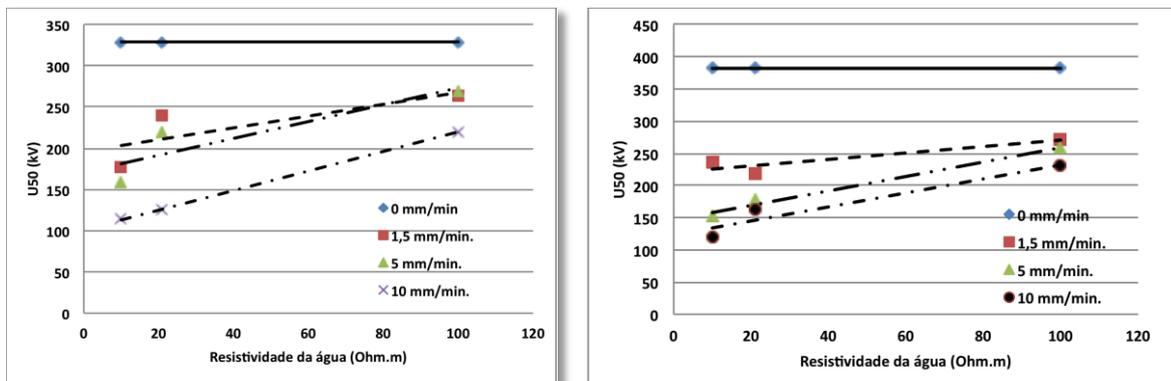


Figura 8 – Avaliação da influência da condutividade em um ensaio de impulso de manobra em uma cadeia com 23 isoladores tipo disco (120 kN) [5]

3.3 Influência da chuva nos ensaios de frequência industrial

A avaliação da precipitação e da resistividade foi realizada em isoladores para 145 kV, tipo suporte de porcelana e polimérico tipo bastão por meio da determinação de U50. Os resultados obtidos, mostrados na Figura 9, indicam que o valor de U50, em frequência industrial, sofre mais influência, tanto da precipitação quanto da resistividade, do que na aplicação de impulso de manobra na polaridade positiva, sendo que esta variação é inversamente proporcional à variação da precipitação e diretamente proporcional à variação da resistividade.



(a) - Isolador tipo suporte de porcelana para 145 kV (b) - Isolador composto tipo bastão para 145 kV
Figura 9 – Avaliação da influência da precipitação e da resistividade em frequência industrial

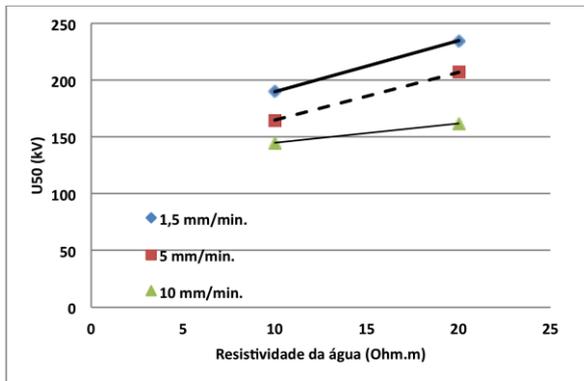
3.4 Influência da chuva nos ensaios com corrente contínua

A avaliação da precipitação e da resistividade foi realizada em isoladores para 145 kV, tipo suporte de porcelana e polimérico tipo bastão por meio da determinação de U50. Os resultados obtidos, mostrados na Figura 10, indicam que o valor de U50, em corrente contínua de polaridade negativa, apresenta as mesmas conclusões observadas em frequência industrial.

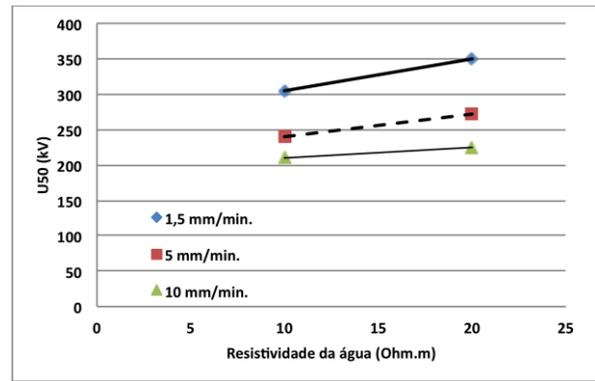
3.5 Repetibilidade do ensaio sob chuva

Uma análise profunda sobre a repetibilidade dos ensaios sob chuva em corrente alternada foi realizada por AC molhado testes de repetibilidade foi feita por Riu e outros [8], sendo os resultados de ensaio obtidos a partir de um mesmo laboratório e de diferentes laboratórios. Os resultados obtidos confirmaram a elevada dispersão dos valores. Variações acima de 25% foram encontradas entre ensaios sucessivos, independentemente do laboratório onde os mesmos foram realizados.

A técnicas de produção da chuva e os instrumentos de sua medição, bem como a natureza química da água, podem, portanto, serem eliminadas como fontes principais de desvio. A distribuição aleatória da intensidade da pulverização ao longo do isolador pode ser considerada como o agente mais significativo a influenciar a tensão disruptiva. Exemplos de pulverização não uniforme e uniforme podem ser vistas na Figura 11.



(a) - Isolador tipo suporte de porcelana para 145 kV

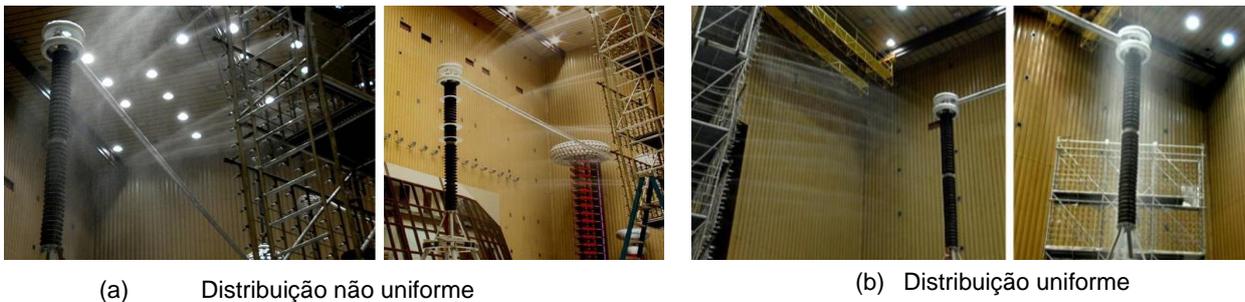


(b) - Isolador composto tipo bastão para 145 kV

Figura 10 – Avaliação da influência da precipitação e da resistividade em corrente contínua de polaridade negativa

3.6 Influência da poluição

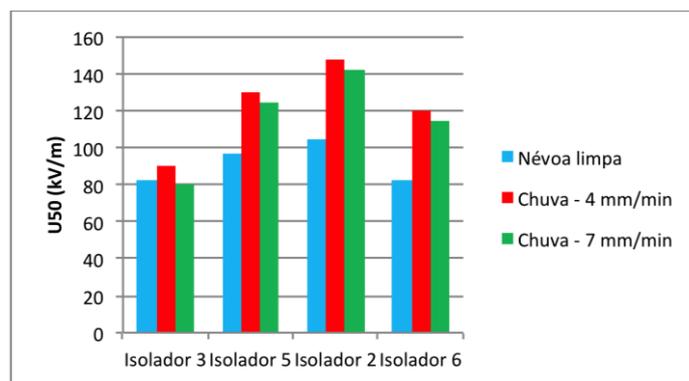
A avaliação da influência da chuva no desempenho de isoladores em corrente contínua foi realizada em diversos isoladores tipo suporte [5], na polaridade negativa. A Figura 12 apresenta os resultados dos ensaios realizados nos isoladores poluídos pelo método da camada sólida, umidificados por névoa limpa e por chuva com 2 níveis de precipitação. Os resultados obtidos mostraram que o ensaio com umidificação por névoa limpa foi mais crítico que os ensaios sob chuva, exceto para o isolador 3, onde houve uma similaridade entre o resultado com névoa limpa e chuva com 7 mm/min, provavelmente causado pela pequena distância entre saias do isolador.



(a) Distribuição não uniforme

(b) Distribuição uniforme

Figura 11 – Avaliação da distribuição da chuva (3)

Figura 12 – Avaliação do desempenho de isoladores poluídos pelo método da camada sólida (DDSE = 0,03 mg/cm² e DDNS = 0,18 mg/cm²)

4.0 - DESEMPENHO DE UM ISOLADOR PARA SISTEMAS EM UAT

A avaliação do desempenho sob chuva para sistemas em UAT está condicionada ao posicionamento da estrutura de chuva. Para evitar a ocorrência de uma descarga disruptiva para a estrutura de chuva, a mesma deverá estar posicionada a uma distância entre 7 m e 15 m do isolador sob ensaio. Nestas distâncias, a possibilidade de se obter uma chuva não uniforme aumenta exponencialmente com o aumento da distância entre a estrutura de chuva e o isolador. Uma possibilidade sugerida por diversos laboratórios é posicionar a estrutura de chuva no teto do laboratório e fazer uma chuva vertical. Neste caso, o problema aparece quando o eletrodo no topo do isolador não

é oco. Para avaliar esta condição, foi realizado no Cepel um ensaio de impulso de manobra com chuva vertical em um isolador tipo suporte para 750 kV tendo no seu topo um eletrodo vazado e um eletrodo não vazado (ver Figura 13). Os resultados obtidos, com diversos níveis de precipitação, podem ser vistos na Figura 14 e pode-se observar que os eletrodos apresentam desempenho similar, com ambas as polaridades, até uma precipitação de 3 mm/min. Para precipitações mais elevadas a proteção realizada pelo eletrodo não vazado se torna mais efetiva. É necessário, no futuro, realizar este ensaio com outros tipos de tensão como corrente alternada e contínua para se ter melhor uma idéia do efeito de proteção do toróide não vazado.

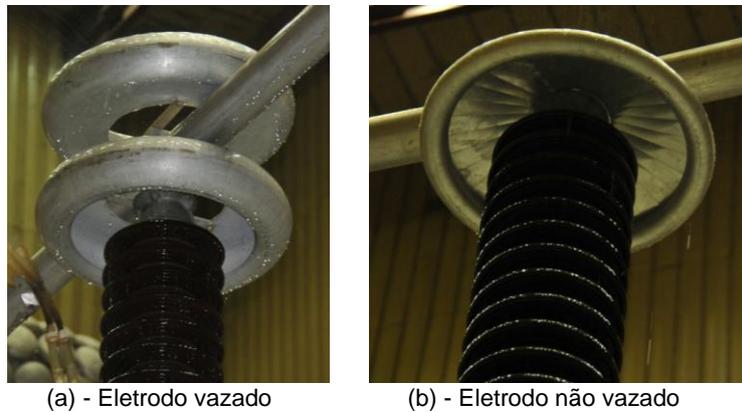


Figura 13 – Tipos de eletrodos usados no ensaio com chuva vertical

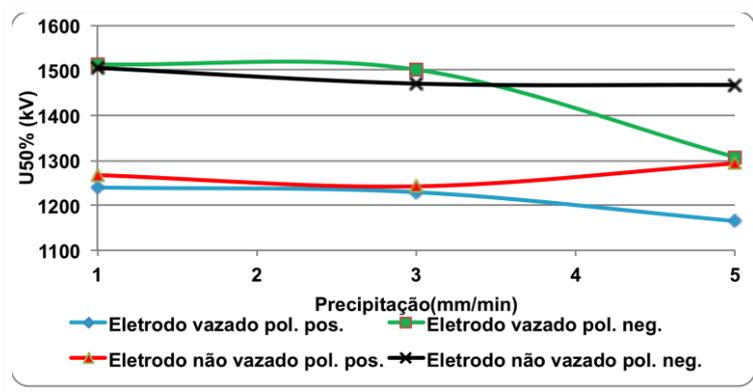


Figura 14 – Resultado do ensaio com chuva vertical em isolador tipo suporte com diferentes eletrodos

5.0 - CONCLUSÃO

- A experiência de campo tem assinalado que o desempenho de isoladores sob chuva pode ser crítico, especialmente para isoladores tipo suporte na posição vertical;
- A média das condições de chuva natural é bem representada pelos parâmetros da chuva normalizada, mas podem ocorrer chuvas com precipitações instantâneas mais elevadas em condições climáticas especiais;
- Os resultados obtidos mostraram que os parâmetros da chuva normalizada são adequados para o ensaio de impulso de manobra;
- Os isoladores poluídos têm seu desempenho dielétrico melhor avaliado pelos ensaios determinados pelas normas ABNT NBR 10621 [9] e IEC 61245 [10] do que pelos ensaios sob chuva;
- Devido ao desempenho observado em frequência industrial e em corrente contínua é aconselhável que a IEC 60060.1 possua um anexo indicando as condições para realização de ensaio sob chuva com valores mais elevados de precipitação e resistividade mais baixa, mediante prévio acordo entre as partes interessadas;
- Há necessidade de realizar mais estudos sobre a metodologia do ensaio sob chuva para equipamentos para UAT.
- É recomendável que sejam consideradas as condições previstas de precipitação em regiões do país onde há histórico de chuvas intensas, superiores a 2 mm/min, para as especificações de ensaios dielétricos nos equipamentos das subestações, linhas de transmissão e redes de distribuição.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEC 60060-1, High-Voltage Test Techniques – Part 1: General definitions and test requirements, Edition 3.0, 2010
- [2] ABNT NBR IEC 60060-1, Técnicas de ensaios elétricos de alta tensão – Parte 1: Definições gerais e requisitos de ensaio, 2013
- [3] D.R. de Mello, O. Oliveira Filho, J. A. Cardoso, R. M. de Azevedo e S. G. Carvalho, Melhoria do desempenho de isoladores utilizados em subestações classe 800 kV sob chuva intensa - XXI SNTPEE, 2011
- [4] A. R. Koriavin, O. V. Volkova, V. G. Golovny e A. V. Almazov, Electric strength of ultra high-voltage post insulating constructions under rain conditions, 7th International Symposium on High Voltage Engineering, 1991
- [5] A. Pigini, 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 número 634, 10/2015
- [6] A. Pigini, 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 - Laboratory and field experience toward guidelines for the selection of insulators under rain condition, including heavy rain, Electra, no 283, 12/2015, pp 63 – 69
- [7] O. Oliveira Filho, D. R. de Mello, J. A. Cardoso, R. M. de Azevedo, S. G. Carvalho e W. A. S. Cruz, Flashover Tests Under Wet Conditions on Full and Sectioned UHV Insulators, Bienal Cigré 2010, artigo D1-201
- [8] J. Riu, B. Hutzler, S. Rowe, J. Huc and P. Maurin, “Wet tests under a.c. voltage and switching impulses procedure and significant parameters,” IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 1, 1988
- [9] ABNT NBR 10621, Isoladores - Ensaio sob poluição artificial - Método de ensaio, 10/2005
- [10] IEC 61245, Artificial pollution tests on High-Voltage insulators to be used on D.C. systems, 03/2015
- [11] [Orsino Oliveira Filho, Jose Antonio Cardoso, Darcy Ramalho de Mello, Rogerio Magalhaes de Azevedo, Sylvia G. Carvalho: Use of booster sheds to improve the performance of 800 kV multicone type insulators under heavy rain. Gaodianya Jishu/High Voltage Engineering 11/2010; ISSN: 1003-6520, CN: 42-1239/TM(11):11502-11509., DOI:10.1109/ICHVE.2010.5640720

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Darcy Ramalho de Mello graduou-se em Engenharia Elétrica na Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1977. Obteve o grau de mestrado pela COPPE em 1984. Trabalhou no CEPEL de 1978 a 2013, inicialmente nas áreas de ensaio de alta tensão e depois como responsável por diversos projetos de pesquisa e desenvolvimento na área de linhas de transmissão e redes de distribuição envolvendo, principalmente, isoladores. Desde 1994 é o coordenador da Comissão de Estudos de Isoladores (CE 36.1) do COBEI/ABNT. Representante do Brasil na IEC 36: Insulators. Membro do IEEE, do Cigré, secretário do Grupo de Estudo B2-21, do Cigré-Brasil e do WG D1.45, do Cigré Internacional. Atualmente trabalha como consultor técnico para concessionárias e empresas do Setor Elétrico, participando de projetos de P&D, ministrando treinamento e realizando inspeções. Autor ou coautor de mais de 80 artigos científicos apresentados em seminários ou publicados em revistas e jornais científicos e três patentes depositadas no INPI (Detalhes em <http://lattes.cnpq.br/5830387195942321>).

Orsino Borges Filho Graduado em Engenharia Elétrica pela UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro (1984). M.Sc. em Engenharia Elétrica pela COPPE/ UFRJ (1991). Pós-graduado em Gestão do Conhecimento (MBKM) pela COPPE/UFRJ (2003). Foi pesquisador do Cepel - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica de Dez/1984 a Dez/2013, onde também atuou como assistente da Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, chefe da Área de Conhecimento de Laboratórios e gerente técnico do Laboratório de Calibração para grandezas elétricas, tempo e frequência. Tem mais de 25 anos de experiência com execução e gestão de projetos de pesquisa e desenvolvimento e serviços tecnológicos na área de Engenharia de Alta Tensão em temas relacionados com técnicas de ensaio e medição em alta tensão. Foi coordenador do Comitê de Estudos D1: Materiais e Tecnologias

Emergentes de Ensaio e Medição do Cigre-Brasil e representante brasileiro no Study Committee SC D1 Materials and Emerging Test Techniques do Cigre Internacional, de 2008 a 2014. Foi bolsista do Programa "Apoio ao Desenvolvimento da Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Pronametro 2014" junto ao Inmetro, de junho 2014 a setembro de 2015. Possui mais de 50 artigos apresentados em eventos técnicos nacionais e no exterior e duas patentes depositadas no INPI. (Detalhes em www.orsino.eng.br e <http://lattes.cnpq.br/8244408351683428>)