

Utilização de Material Alternativo na Composição de Revestimentos RTV-SIR Aplicados no Isolamento Externo em Alta Tensão

Raphael B. da Nóbrega¹, Edson G. da Costa², André D. Germano², Lidja N. T. Alves³, Daniella C. Bezerra⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – PPgEE – COPELE

²Departamento de Engenharia Elétrica, UFCG, Brasil

³Graduação em Engenharia Elétrica, UFCG, Brasil

⁴Departamento de Engenharia de Materiais, UFCG, Brasil

Resumo — Neste trabalho é investigado o desempenho de um material alternativo, obtido de uma planta típica da região Nordeste do Brasil, empregado na composição de revestimentos poliméricos aplicados no isolamento externo em alta tensão. Os revestimentos são compostos por borracha de silicone vulcanizável a temperatura ambiente (RTV-SIR), acrescida de partículas de alumina tri-hidratada (ATH) e do novo material. Medições da corrente de fuga durante ensaio de névoa salina e monitoramento da hidrofobicidade serão avaliadas. A partir dos resultados, foi verificado que o revestimento contendo o novo material reduz a intensificação da corrente de fuga e recupera sua hidrofobicidade em menor período de tempo.

Palavras chave -- Borracha de silicone vulcanizável a temperatura ambiente, alumina tri-hidratada, materiais alternativos, corrente de fuga, hidrofobicidade.

I. INTRODUÇÃO

Isoladores cerâmicos são empregados no sistema elétrico desde meados do século XIX. Características como elevada rigidez dielétrica, resistência à degradação natural e serem inertes a maioria dos produtos químicos permitiram seu emprego no isolamento elétrico em alta tensão. No entanto, o desempenho dos isoladores cerâmicos é comprometido quando inseridos em ambientes contendo alto nível de umidade e poluição. Nestes isoladores, a água tende a se espalhar na superfície, podendo formar películas condutivas e, conseqüentemente, intensificar a corrente de fuga.

O aquecimento provocado pela circulação da corrente de fuga na superfície do isolador provoca a evaporação da umidade, ocasionando a formação de regiões conhecidas como bandas secas. Estas regiões acabam por originar campos elétricos intensos que favorecem o aumento da intensidade dos arcos de superfície. Em uma situação crítica, pode ocasionar o surgimento de descarga disruptiva fase-terra (*flashover*), interrompendo a transmissão da energia elétrica [1], [2].

Durante as últimas décadas, materiais poliméricos têm sido utilizados no isolamento elétrico de forma a proporcionar maior resistência ao surgimento do *flashover*. Suas características hidrofóbicas evitam a formação de películas de água na superfície do isolador, atenuando a intensificação da corrente de fuga [3]. Assim, efeitos provocados por descargas superficiais são reduzidos quando inseridos em ambientes contendo alto nível de umidade e poluição.

A substituição dos isoladores cerâmicos pelos poliméricos representa uma possível solução para os problemas de falhas ocasionadas por poluição e umidade no sistema elétrico. No entanto, a substituição indiscriminada ou geral resulta em investimento elevado. Além disso, a substituição do isolamento cerâmico de alguns equipamentos, como isoladores de pedestal e buchas de transformadores, ainda é inviável em algumas situações. Uma solução intermediária consiste na introdução de revestimentos poliméricos aos isolamentos cerâmicos, de modo que características como hidrofobicidade sejam acrescidas, melhorando seu desempenho.

Revestimentos de borracha de silicone vulcanizável a temperatura ambiente (RTV-SIR) apresentam bom desempenho em condições de intensa umidade e poluição [4]-[7]. A borracha de silicone é altamente hidrofóbica e possui a capacidade de recuperar sua hidrofobicidade. Esta última propriedade proporciona maior resistência ao desenvolvimento de correntes de fuga, bandas secas e *flashover*, influenciando positivamente no desempenho do isolador em condições de poluição e umidade [1], [8].

Os revestimentos poliméricos estão susceptíveis a vários mecanismos de envelhecimento e degradação, principalmente devido aos efeitos combinados dos estresses elétricos e ambientais [2]. Para proporcionar maior resistência ao trilhamento elétrico e à erosão, são adicionadas cargas de proteção ao revestimento. Dentre as cargas mais utilizadas, destacam-se a alumina tri-hidratada (ATH) e a sílica [1], [9], [10].

Atualmente, novas cargas estão sendo estudadas para incorporação em revestimentos externos, visando bom desempenho ao isolamento elétrico e redução de custos associados à fabricação.

Neste trabalho é avaliado o desempenho de um novo material, obtido de uma vegetação típica da região Nordeste do Brasil, na composição de revestimentos poliméricos aplicados no isolamento externo. Por razões de continuidade da pesquisa, o novo material não será caracterizado neste trabalho. Os revestimentos são à base de RTV-SIR, contendo cargas de ATH e do novo material em estudo. A comparação das composições será realizada mediante o monitoramento da corrente de fuga nos isoladores durante ensaio de névoa salina, e recuperação da hidrofobicidade.

II. METODOLOGIA

Para realização desta investigação foi utilizada a borracha de silicone RTV 615 A com agente de cura B, fabricado pela *Momentive Performance Materials*. As cargas empregadas na composição dos revestimentos foram: alumina tri-hidratada Hydrogard-GP, produzida pela ALCOA WORLD ALUMINA LLC; e o novo material, obtida de uma vegetação local. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Alta Tensão da UFCG.

A. Preparação das Amostras

Para realizar a preparação dos revestimentos, as cargas de ATH e do novo material foram agregadas simultaneamente à RTV-SIR, e misturadas em um misturador rotativo modelo FISATOM-713 D. As proporções mássicas utilizadas para composição dos revestimentos investigados no presente trabalho podem ser visualizadas na Tabela I.

TABELA I - PERCENTUAL DE CONCENTRAÇÃO MÁSSICA PARA CADA REVESTIMENTO INVESTIGADO

Revestimento	Composição
S80/A20/N0	80% de RTV-SIR
	20% de ATH
S75/A20/N5	75% de RTV-SIR
	20% de ATH
	5% do Novo Material

A composição foi aplicada na superfície de isoladores de suspensão de vidro temperado ANSI class 52-3. Os isoladores utilizados possuem distância de fuga de 32 cm [11]. Após a aplicação da composição, o isolador foi mantido em repouso à temperatura ambiente durante um período mínimo de sete dias até que a cura do revestimento seja alcançada, conforme recomendado pelo fabricante [12].

B. Monitoramento da corrente de fuga durante ensaio de névoa salina

Os isoladores revestidos foram inseridos em uma câmara de névoa com dimensões 1,2 x 1,0 x 1,0 m e que comporta até três isoladores para ensaios simultâneos. Na Fig. 1 é mostrado o esquema da câmara de névoa utilizada.

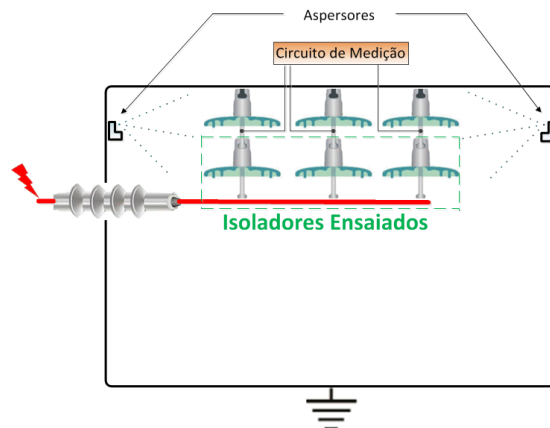


Fig. 1. Esquema da câmara de névoa.

A névoa foi gerada por meio de aspersores no interior da câmara e dispostos de modo a evitar a incidência direta da névoa sobre os isoladores. Na Fig. 2 é mostrada a vista superior da câmara de névoa utilizada no ensaio.

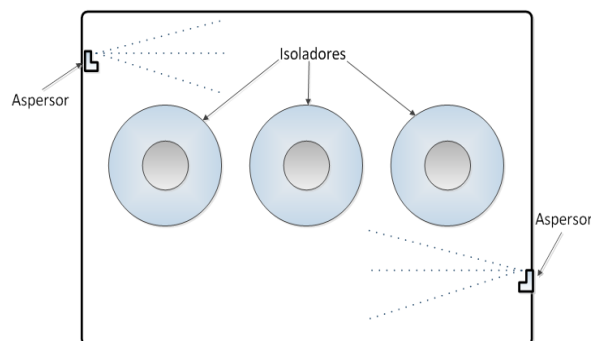


Fig. 2. Vista superior da câmara de névoa [1].

A tensão aplicada aos isoladores foi 16 kV_{pico}, de forma a obter um esforços elétricos de 0,5 kV/cm em relação à distância de fuga do isolador. Para formação da névoa, o fluxo de água no interior da câmara foi de $1,6 \pm 0,1$ L/min e a pressão do ar $0,25 \pm 0,01$ MPa. A condutividade da água utilizada para gerar a névoa foi $1.400 \pm 3\%$ μ S/cm.

A medição da corrente de fuga durante o ensaio cíclico de névoa salina foi realizada utilizando-se como referência o diagrama esquemático do arranjo experimental mostrado na Fig. 3.

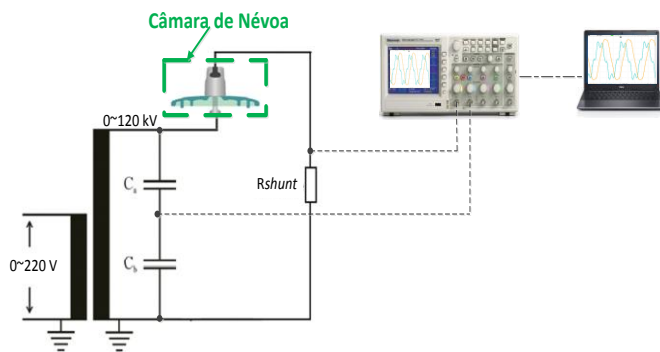


Fig. 3. Arranjo experimental utilizado para o ensaio cíclico de névoa salina.

O circuito da Fig. 3 é composto por um transformador elevador de tensão (220 V/120 kV), um divisor de tensão capacitivo, o objeto de teste (isolador ensaiado) em série com o resistor shunt (R_{shunt}) e um osciloscópio digital conectado a um computador. A corrente de fuga é medida indiretamente a partir da queda de tensão sobre o resistor *shunt*. Os sinais de tensão e corrente são digitalizados a partir de um osciloscópio digital e armazenados no computador. Nas Fig. 4 e 5 são mostradas fotografias do arranjo montado em laboratório e do circuito de medição, respectivamente.

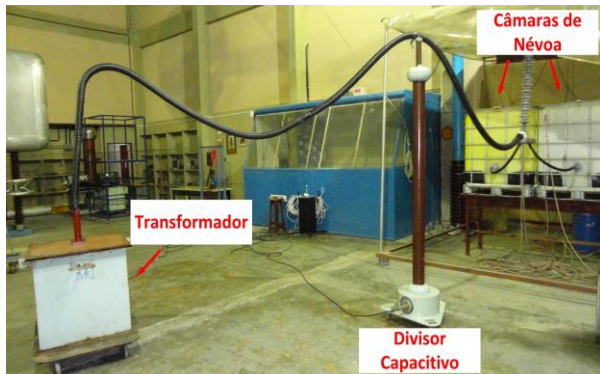


Fig. 4. Fotografia do arranjo montado em laboratório.

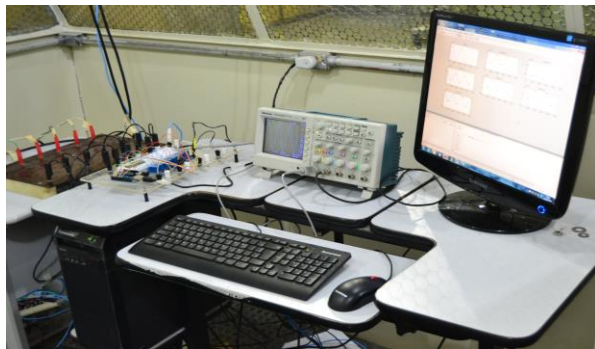


Fig. 5. Sistema de medição e aquisição dos dados.

Os isoladores foram submetidos a tensão durante um período de 120 h. O período de duração do ensaio foi subdividido em cinco ciclos de 24 horas cada um. Em cada ciclo, a névoa salina foi aplicada durante um período de 6 horas seguido de 18 horas sem névoa. Na Fig. 6 é possível visualizar a configuração dos ciclos.

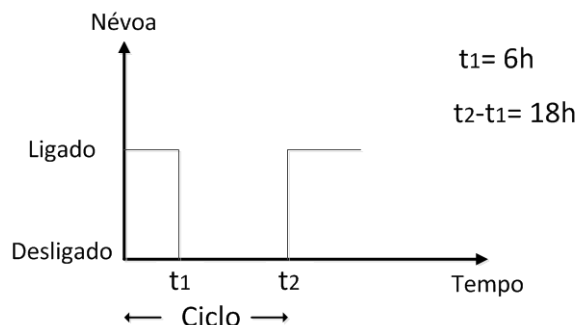


Fig. 6. Configuração dos ciclos de aplicação da névoa.

As medições da corrente de fuga foram realizadas ao final do período de aplicação da névoa para cada ciclo.

C. Classificação da hidrofobicidade

A classificação da hidrofobicidade dos revestimentos poliméricos investigados foi avaliada de acordo com o método proposto pelo guia STRI [13]. A avaliação foi realizada em diferentes instantes: Antes do início do ensaio de névoa salina; imediatamente após o término do ensaio de névoa salina; três dias, cinco dias, dez dias, quinze dias, trinta dias e sessenta dias depois de concluído o ensaio de névoa salina.

III. RESULTADOS

O desempenho dos revestimentos de RTV-SIR contendo cargas de ATH e do novo material, em concentrações especificadas na Tabela I, foi avaliado. Medições de corrente de fuga, em condições de névoa salina, e monitoramento da hidrofobicidade antes de iniciar o ensaio cíclico de névoa salina e em diferentes momentos após seu término foram utilizados como parâmetros para avaliação.

A. Ensaio cíclico de névoa salina

Na Fig. 7 são mostrados os valores de pico da corrente de fuga obtidos para cada ciclo do ensaio de névoa salina. As medições foram realizadas ao final da aplicação da névoa em cada ciclo.

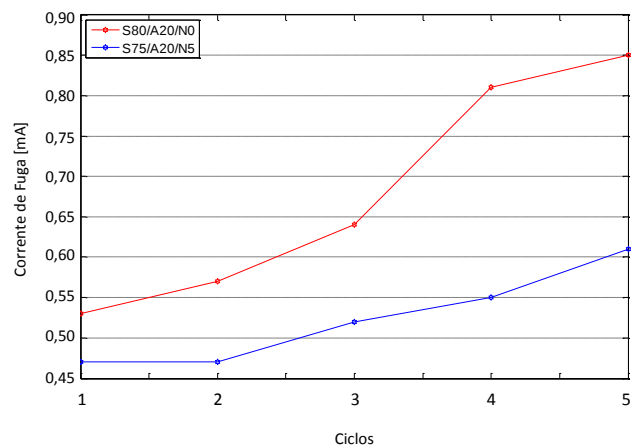


Fig. 7. Valores de corrente de fuga obtidos durante o ensaio cíclico de névoa salina para amostras de RTV-SIR, contendo cargas de ATH, sem o novo material (vermelho) e com o novo material (azul).

Analisando a Fig. 7, constata-se que o revestimento polimérico contendo o novo material reduz substancialmente a corrente de fuga no isolamento. O revestimento que não contém o novo material possuiu um maior incremento da corrente de fuga, sendo o aumento mais acentuado durante o quarto ciclo de ensaio.

A partir dos valores de corrente de fuga observados na Fig. 7, foi realizada uma análise de variância (ANOVA), conforme Tabela II. O objetivo é verificar se as diferenças amostrais são reais ou devido a flutuações amostrais. O delineamento do experimento foi inteiramente ao acaso e sem repetição. O nível de significância foi de 5%.

TABELA II - ANOVA PARA OS VALORES DE CORRENTE DE FUGA OBTIDOS PARA O ENSAIO DE NÉVOA SALINA.

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Amostra	0,06084	1	0,06084	15,44162	0,017109	7,708647
Ciclos	0,08016	4	0,02004	5,086294	0,072116	6,388233
Erro	0,01576	4	0,00394			
Total	0,15676	9				

Na Tabela II, o valor de F (ou valor de Fisher) é considerado como parâmetro de análise. Considerando a amostra como fonte de variação, constatou-se que o valor de F é maior que um valor crítico. Assim, existe diferença entre os efeitos dos tratamentos ao nível de 5% de probabilidade. Ou seja, o tipo de revestimento influencia significativamente nos valores de correntes de fuga.

B. Recuperação da hidrofobicidade

Na Fig. 8 é possível visualizar os níveis de hidrofobicidade obtidos para os revestimentos de RTV-SIR investigados. A classificação foi realizada antes de iniciar o ensaio de névoa salina e em diferentes instantes após seu término.

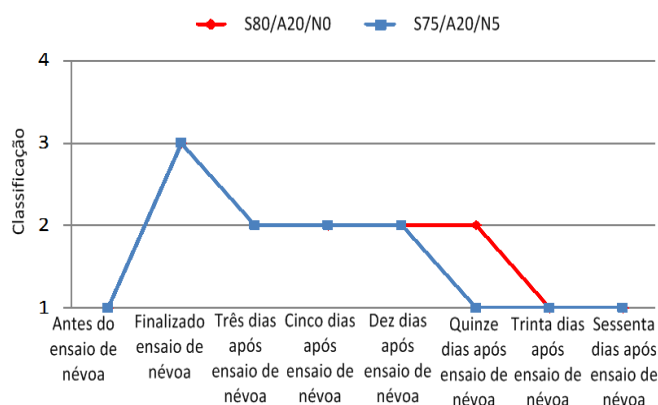


Fig. 8. Classificação da hidrofobicidade para os revestimentos investigados.

Analisando a Fig. 8, evidencia-se que os revestimentos de RTV-SIR investigados apresentaram níveis de hidrofobicidade mais elevados (HC = 1) antes da realização do ensaio de névoa salina. Imediatamente após a conclusão do ensaio, os revestimentos apresentaram redução nos níveis de hidrofobicidade (HC = 3). Três dias após o término do ensaio, os revestimentos recuperaram parcialmente sua hidrofobicidade (HC = 2). Após quinze dias, o revestimento composto pelo novo material voltou a apresentar níveis de hidrofobicidade elevados (HC = 1), enquanto o revestimento sem o novo material permaneceu com uma redução nos níveis de hidrofobicidade (HC = 2). O revestimento sem o novo material somente voltou a apresentar níveis de hidrofobicidade elevados (HC = 1) após 30 dias.

Na Fig. 9 é possível visualizar amostras dos revestimentos de RTV-SIR, em diferentes instantes de tempo, utilizados para a classificação da hidrofobicidade (Fig. 8) conforme o método proposto pelo STRI [13].



Fig. 9. Amostra dos revestimentos investigados para classificação da hidrofobicidade, em diferentes instantes de tempo, segundo o método STRI.

A partir da classificação da hidrofobicidade, os revestimentos investigados apresentam comportamentos similares quanto à perda e recuperação da hidrofobicidade, porém com tempos de recuperação diferentes.

IV. CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou o comportamento de um novo material, de baixo custo, no desempenho de revestimentos RTV-SIR aplicados no isolamento externo em alta tensão.

A partir dos resultados apresentados neste trabalho, evidencia-se que a adição do novo material na composição de revestimentos RTV-SIR proporciona bom desempenho ao isolamento elétrico quando submetido a condições de intempéries. Foi verificado que o revestimento contendo o novo material em sua composição proporcionou redução nos valores de corrente de fuga durante a realização do ensaio cíclico de névoa.

A avaliação da hidrofobicidade, conforme o método STRI, indica que os revestimentos investigados apresentaram comportamentos similares quanto a perda e recuperação da hidrofobicidade. Entretanto, o revestimento contendo o novo material apresentou uma recuperação mais rápida da sua hidrofobicidade. Isso proporciona melhor desempenho ao isolamento externo, uma vez que dificulta a circulação de correntes de fuga na superfície do isolador e, consequentemente, reduz a possibilidade de ocorrência do *flashover*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenadoria de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (Copele) – UFCG, ao CNPq e ao Laboratório Multidisciplinar de Materiais e Estruturas Ativas (LaMMEA) – UFCG.

REFERÊNCIAS

- [1] I. P. Almirall. Empleo Conjunto de Cargas Micrométricas y Nanométricas para Mejorar el Desempeño de la Silicona Vulcanizada a Temperatura Ambiente Empleada para Recubrir el Aislamiento Externo. Tese de Doutorado. Instituto Superior Politécnico José Antón Echeverría, 2013.
- [2] Braini, Shuaib. Coatings for outdoor high voltage insulators. 2013. Tese de Doutorado. Cardiff University.
- [3] J. Liebermann. New effective ways toward solving the problem of contamination of porcelain insulators. *Refractories and Industrial Ceramics*, v.43, n.1-2, p.55-64. 2002.
- [4] Cherney, E. A., R. Hackam, e S. H. Kim. "Porcelain insulator maintenance with RTV silicone rubber coatings." *Power Delivery, IEEE Transactions on* 6.3 (1991): 1177-1181.
- [5] Cherney, E. e R. Gorur. "RTV silicone rubber coatings for outdoor insulators." *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on* 6.5 (1999): 605-611.
- [6] Siderakis, Kyriakos, Demosthenes Agoris, e Stanislaw M. Gubanski. "Salt fog evaluation of RTV SIR coatings with different fillers." *Power Delivery, IEEE Transactions on* 23.4 (2008): 2270-2277.
- [7] Jia, Z., Chen, C., Wang, X., Lu, H., Yang, C., & Li, T. "Leakage Current Analysis on RTV Coated Porcelain Insulators During Long Term Fog Experiments." *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* 21.4 (2014): 1547-1553.
- [8] L. H. Meyer. A study of the role of fillers in silicone rubber compounds for outdoor insulation. Tese de Doutorado, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2003.
- [9] R. Hackam. Outdoor HV composite polymeric insulators. *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on* 6.5 (1999): 557-585.
- [10] E. A. Cherney. Silicone rubber dielectrics modified by inorganic fillers for outdoor high voltage insulation applications. *Dielectrics and Electrical Insulation, IEEE Transactions on*, v. 12, n. 6, p. 1108-1115, 2005.
- [11] Sediver Catalogue. Sediver toughened glass suspension insulators catalog. ANSI - USA 2008.
- [12] Momentive Performance Materials. Technical Data Sheet RTV615 and RTV655. USA, 2007.
- [13] Guide, S. T. R. I. "92/1." *Hydrophobicity classification guide* (1992).