



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

CB/GTM/28

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - XIII**

**GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES -  
GTM**

**TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ISOLADORES COMPOSTOS TIPO  
BASTÃO**

**Silva, G. C. (\*)  
INSTITUTOS LACTEC**

**Munaro, M.  
INSTITUTOS LACTEC**

**Gouveia, D. C.  
INSTITUTOS LACTEC**

**Richart, F. S.  
INSTITUTOS LACTEC**

**Lima, J. P.  
COPEL**

**RESUMO**

Isoladores compostos tipo bastão vem tendo sua utilização ampliada pelas concessionárias de energia. Três características importantes que devem ser verificadas para atestar a qualidade deste equipamento e garantir elevado desempenho operacional são: resistência ao trilhamento elétrico, hidrofobicidade e aderência. O presente trabalho apresenta metodologias alternativas para avaliação destas características. Foram testados isoladores compostos tipo bastão de fornecedores distintos. As metodologias mostraram-se eficazes para: a) qualificação dos materiais de revestimento, onde o uso da perda de massa como indicador quantitativo de desempenho parece promissora; b) análise da capacidade de recuperação da hidrofobicidade; e, c) qualificação da interface revestimento-núcleo.

**PALAVRAS-CHAVE**

Borracha de silicone, hidrofobicidade, interface, isolador polimérico, trilhamento elétrico.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos as concessionárias de energia têm ampliado a utilização de isoladores compostos (1), (2). Os isoladores são elementos sólidos dotados de propriedades mecânicas capazes de suportar os esforços produzidos pelos condutores. Eletricamente, exercem a função de isolar os condutores, os quais estão submetidos a uma diferença de potencial em relação à terra (estrutura suporte) ou em relação a um outro condutor fase (3).

Os isoladores compostos tipo bastão são constituídos por três componentes: núcleo, terminais metálicos e revestimento (Figura 1). O núcleo é constituído de resina (poliéster ou epóxi) reforçada com fibra de vidro e tem a função de prover resistência mecânica ao equipamento. Além disto, o núcleo não deve ficar submetido às condições ambientais do local onde o isolador vai ser instalado e, assim sendo, deve ser coberto com um revestimento polimérico. O revestimento, normalmente em borracha de silicone, deve ter resistência ao trilhamento elétrico e ao intemperismo, bem como fornecer a distância de escoamento requerida à aplicação. A borracha de silicone é um material que possui excelentes propriedades dielétricas e estabilidade térmica em altas temperaturas. Os terminais metálicos (aço forjado, ferro fundido ou alumínio) têm de ter boa resistência mecânica e resistência à corrosão, sendo que sua forma é importante para limitar a produção de descargas corona, as quais podem tornar o material polimérico do revestimento frágil e com fissuras, levando a falha do isolador pelo ingresso de umidade no núcleo. Nos projetos atuais as terminações metálicas incorporam um selante de silicone e são crimpadas ao núcleo (1), (2).

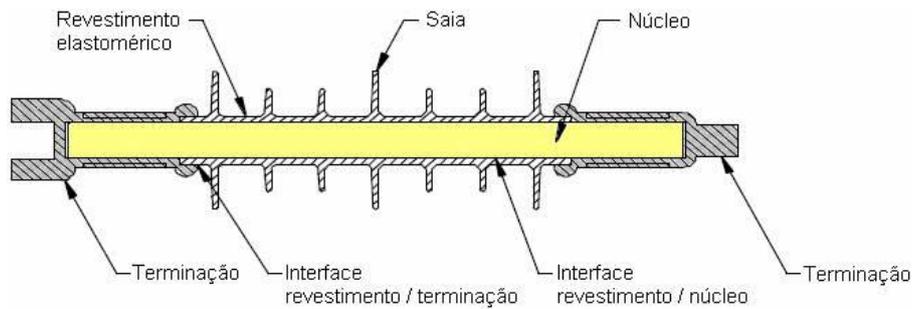


FIGURA 1 - Isolador polimérico tipo bastão.

Uma das principais vantagens da utilização de isoladores compostos reside na excelente hidrofobicidade apresentada pelo revestimento e saias em silicone. A hidrofobicidade constitui uma das propriedades dos materiais poliméricos e se refere a sua capacidade em repelir água evitando que se forme um filme contínuo em sua superfície. A hidrofobicidade contribui para a supressão da corrente de fuga superficial e aumento da suportabilidade frente a descargas disruptivas, melhorando o desempenho dos isoladores sob condições de poluição e umidade. Todavia, deve-se lembrar que outros fatores também influenciam no desempenho do isolador, como distância de escoamento, desenho das saias e posição de instalação (1), (4), (5). Sob ação de intemperismo (radiação ultravioleta, calor e umidade), poluição e descargas elétricas superficiais os materiais poliméricos podem perder a hidrofobicidade que possuíam inicialmente. Nesse aspecto, a borracha de silicone se notabiliza pela capacidade de manter sua hidrofobicidade por longos períodos de tempo quando submetida a condições agressivas, graças a um mecanismo de recuperação que consiste na migração de moléculas de silicone com baixo peso molecular do interior para a superfície do material. Neste mecanismo, a recuperação ocorre em virtude de que as moléculas com baixo peso molecular atuam como uma camada de proteção, recobrendo a superfície danificada do isolador ou recobrendo a camada de poluição eventualmente depositada na superfície (6), (7). Outras vantagens da utilização dos isoladores poliméricos são: dimensões compactas, resultando em materiais mais leves do que os convencionais, reduzindo o custo das estruturas, do transporte e armazenamento, da mão-de-obra de instalação, entre outros; maior resistência ao vandalismo; e, alta resistência mecânica a esforços de torção, flexão e tração (1).

Por outro lado, os materiais poliméricos são suscetíveis ao envelhecimento (1). É sugerido que o envelhecimento de isoladores compostos começa com a perda da hidrofobicidade devido ao intemperismo, seguido de arco de banda seca e, no caso particular da borracha de silicone, com a redução do fluido de baixo peso molecular da superfície. Isto leva ao aumento na corrente de fuga, aumento na rugosidade superficial, depolimerização da camada superficial, mudanças na estrutura devido à cristalização do polímero e aglomeração da carga e, então, falha devido ao trilhamento e erosão (8). O trilhamento elétrico pode ser definido como a formação de um caminho condutor permanente através da superfície do isolante, que é resultado da degradação devido à ação das descargas superficiais. Ele varia de acordo com a intensidade do campo superficial, magnitude da corrente superficial e do estado das descargas superficiais induzidas, as quais são influenciadas pela presença de contaminantes e pela umidade superficial do material. Alguns contaminantes que induzem o fenômeno de trilhamento são os sais, a poeira, a umidade e os agentes químicos atmosféricos (9). Quando este fenômeno ocorre numa região localizada, tem-se a erosão. A contaminação atmosférica na forma de poluição e a umidade promovem a formação de um filme contínuo, com baixa resistividade superficial, criando condições para fluir correntes entre pontos com diferentes potenciais. Esta baixa resistividade superficial implica em alta corrente superficial e alta dissipação de calor, causando perda da solução deste filme contínuo. Como esta evaporação da solução não é uniforme, ocorre formação de bandas secas, que interrompem a corrente superficial. Ocorre então um aumento de campo elétrico nestas regiões, o qual é suficiente para iniciar a ocorrência de descargas na região entre as bandas secas da superfície do material. Estas descargas alcançam elevadas temperaturas, causando a formação de erosão e trilhas de material orgânico carbonizado. A ruptura completa da superfície do material ocorre quando uma trilha de material orgânico se propaga por toda extensão do material (9), (10). É sugerido pela literatura que a resistência ao trilhamento elétrico é um indicativo importante do desempenho de isolamento para uso externo (11).

Outro aspecto importante do revestimento polimérico é que, independente do processo de fabricação, esse deve ficar fortemente aderido ao núcleo e à ferragem, garantindo uma perfeita estanqueidade contra a penetração de umidade. Caso contrário, poderá ocorrer o aparecimento de descargas parciais na interface dos materiais, causando a deterioração do revestimento e conseqüentemente a exposição do núcleo, que pode romper devido à fratura frágil. Pode ainda ocorrer uma descarga disruptiva que percorre toda a região não aderida e, conseqüentemente, danifica o núcleo (12).

Tendo em vista a importância que tem para as concessionárias a avaliação das características de resistência ao trilhamento elétrico, hidrofobicidade e de aderência serão apresentadas neste trabalho metodologias alternativas de teste para avaliação de isoladores compostos tipo bastão.

## 2.0 - DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

As metodologias desenvolvidas para avaliação de isoladores compostos tipo bastão foram:

- Ensaio de trilhamento elétrico modificado, denominado TEM;
- Ensaio de hidrofobicidade e capacidade de recuperação;
- Ensaio de aderência.

Para avaliação destas metodologias foram adquiridos isoladores compostos tipo bastão de oito fabricantes distintos, os quais foram identificados como A, B, C, D, E, F, G e H.

### 2.1 - Trilhamento elétrico modificado

O teste de trilhamento elétrico modificado (TEM) foi desenvolvido com base na norma IEC 112 (13). Todavia, a preparação dos corpos de prova, as condições de teste e a forma de qualificação do material foram modificadas. Uma das principais vantagens desta metodologia é que os corpos de prova são retirados diretamente do isolador, não necessitando confeccionar placas a partir do produto acabado. O tratamento térmico do material durante o processamento de placas pode alterar as propriedades finais do material e, conseqüentemente, gerar não-conformidade dos resultados quanto a real representatividade dos corpos de prova. Além disto, a borracha de silicone utilizada no revestimento de isoladores compostos tipo bastão não pode ser reprocessada, uma vez que é um material termofixo.

O arranjo experimental desenvolvido para realização do teste está apresentado na Figura 2. Este é constituído de um transformador; um par de eletrodos de platina (de dimensões 5 mm de largura, 2 mm de espessura e 20 mm de comprimento); um suporte de acrílico, desenvolvido de forma a possibilitar o controle da altura de acordo com o corpo de prova utilizado e permitindo o distanciamento de 5 mm entre os eletrodos e um sistema de gotejamento que fica a uma altura de  $35 \pm 5$  mm do corpo de prova. A solução contaminante utilizada no sistema de gotejamento foi obtida da dissolução de cloreto de amônio, de concentração 0,1% em peso em água destilada. Esta tem resistividade de  $3,95 \pm 0,05 \Omega \cdot m$  (a  $23 \pm 1$  °C). Foi também desenvolvido um circuito eletrônico de proteção, que foi ajustado para atuar para correntes iguais ou superiores a 500 mA.



FIGURA 2 - Trilhamento elétrico modificado: arranjo experimental.

Os corpos de prova foram retirados da 2ª saia de cada um dos isoladores testados, com uma punção circular de 1/2 polegada. O peso de cada corpo de prova foi medido e o valor obtido devidamente registrado em uma planilha. Após pesagem, o corpo de prova foi colocado no arranjo experimental com a superfície em sentido horizontal sobre o suporte, de maneira que os eletrodos exerçam a força de 1 N sobre o corpo de prova. A distância entre os eletrodos é de 5 mm. Foi aplicada tensão elétrica de 1500 VAC, na frequência de 60 Hz, entre os eletrodos. Simultaneamente à aplicação de tensão, a solução contaminante ficou gotejando de uma altura de 30 a 40 mm, a uma taxa de 12 gotas/min, sobre o corpo de prova. As gotas do contaminante caem sobre a superfície a ser ensaiada no ponto médio entre os eletrodos.

Decorrida 1 h o corpo de prova foi retirado do arranjo experimental para realização de nova pesagem e o valor obtido foi registrado. Calculou-se a perda de massa do corpo de prova, isto é, a diferença de peso do corpo-de-prova antes e após o ensaio. O corpo de prova foi colocado novamente no arranjo experimental e testado por mais 2 h. O mesmo procedimento foi repetido para outros tempos de ensaio, a saber, 3 h e 4 h. Desta forma, foram obtidos os valores de perda de massa para os seguintes períodos de tempo: 1 h, 3 h, 6 h e 10 h. O mesmo procedimento foi adotado para os corpos-de-prova de todos os isoladores. Todos os testes foram realizados em local livre de correntes de ar, com temperatura ambiente ( $23 \pm 5$  °C) e umidade relativa de  $30 \pm 5\%$ .

## 2.2 - Hidrofobicidade

A avaliação da hidrofobicidade foi efetuada pelo método descrito na ABNT IEC/TS 62073 [14], a qual prescreve uma maneira de classificar a superfície de isoladores dentro de uma escala de classes de hidrofobicidade. Esta escala se inicia com a classe HC1 (completamente hidrofóbico) e termina com a classe HC7 (completamente hidrofílico).

O procedimento consistiu em borrifar água sobre o isolador, com o auxílio de um pulverizador manual e, em seguida, fotografar sua superfície. Posteriormente, as imagens obtidas foram comparadas com fotos padrões presentes na ABNT IEC/TS 62073 (14), as quais definem uma escala de hidrofobicidade. Os padrões do STRI estão apresentados na Figura 3.

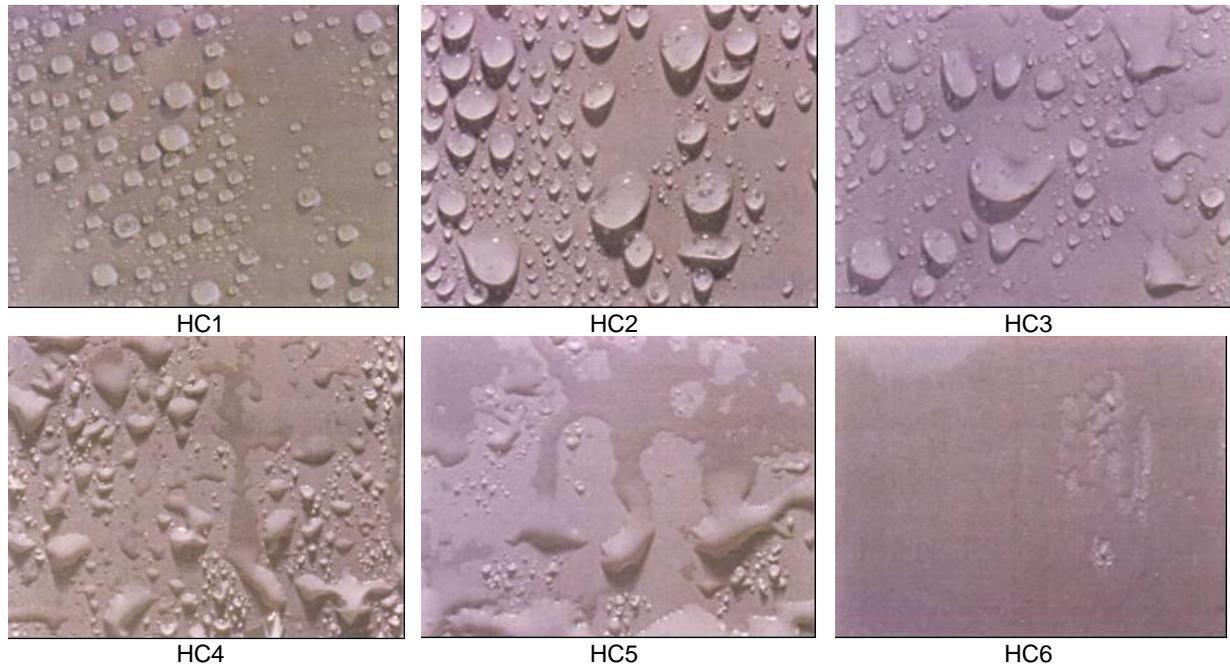


FIGURA 3 - Padrão STRI para classificação da hidrofobicidade.

Para avaliação da recuperação da hidrofobicidade dos compostos poliméricos dos isoladores bastão foi desenvolvida uma metodologia alternativa. Inicialmente todos os isoladores foram lavados com água e detergente e secos com papel toalha. Foi realizado ensaio de hidrofobicidade de acordo com o procedimento descrito no método descrito na ABNT IEC/TS 62073 [14]. Na sequência as duas primeiras saias dos isoladores foram cobertas com argila. O objetivo da argila é drenar as moléculas de baixo peso molecular que estão presentes no silicone e que são responsáveis pela propriedade de recuperação da hidrofobicidade e pelo elevado desempenho deste material em ambientes com elevado nível de poluição. Os isoladores ficaram com a argila pelo período de 48 horas. Decorrido este tempo a argila foi removida com uma escova de cerdas macias e um novo ensaio de hidrofobicidade foi realizado. Este tempo é considerado o instante inicial (tempo zero) para avaliação da recuperação da hidrofobicidade. O ensaio de hidrofobicidade foi repetido para tempos de recuperação de hidrofobicidade de 48 h e 156 h após a remoção da argila.

## 2.3 - Aderência

Para verificar a adesão da interface núcleo-revestimento dos isoladores compostos tipo bastão foi desenvolvido a metodologia denominada ensaio de aderência, a qual foi baseada nos estudos realizados por Mello (12). Esta metodologia foi dividida em dois testes, denominados: (a) esforço lateral e (b) arrancamento. Para realização dos testes de aderência os equipamentos utilizados foram: arco de serra, mini-serra de disco, alicate universal e morsa.

No ensaio de esforço lateral as ferragens de cada um dos isoladores foram cortadas, deixando um comprimento de 5 mm. Em cada um dos isoladores foi efetuado um corte longitudinal, com profundidade suficiente para atingir o núcleo, ao longo de todo o isolador. O revestimento foi tensionado manualmente com o objetivo de avaliar a aderência nas interfaces (Figura 4). A aderência ao longo de todo o isolador caracteriza o bom desempenho do equipamento.



FIGURA 4 - Teste de esforço lateral.

No ensaio de arrancamento as ferragens de cada um dos isoladores foram cortadas, deixando um comprimento de 5 mm. Em cada um dos isoladores foram efetuados dois cortes longitudinais, espaçados de 1 cm. Realizados os cortes longitudinais, foi forçado o arrancamento do revestimento, ao longo do corte, com um alicate universal (Figura 5). Para que o material seja adequado ao uso não deve haver exposição total do núcleo após o arrancamento do revestimento.

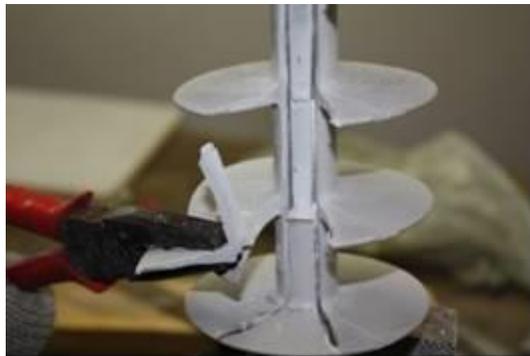


FIGURA 5 - Teste de arrancamento.

### 3.0 - RESULTADOS

#### 3.1 - Trilhamento elétrico modificado (TEM)

Na Figura 6 é apresentada a perda de massa em função do tempo de teste para cada um dos corpos de prova avaliados. Pode ser verificado visualmente que, ao longo do teste, os materiais poliméricos dos isoladores B, C e A foram os que apresentaram a maior perda de massa, respectivamente. Utilizando o software Excel® foi obtida a equação de regressão linear, o coeficiente angular, ( $\alpha$ ), o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e o coeficiente de correlação ( $r$ ) para cada corpo de prova. O resultado obtido para o material polimérico do isolador A está apresentado na Figura 7. Gráficos similares foram obtidos para os materiais poliméricos dos isoladores dos demais fornecedores.

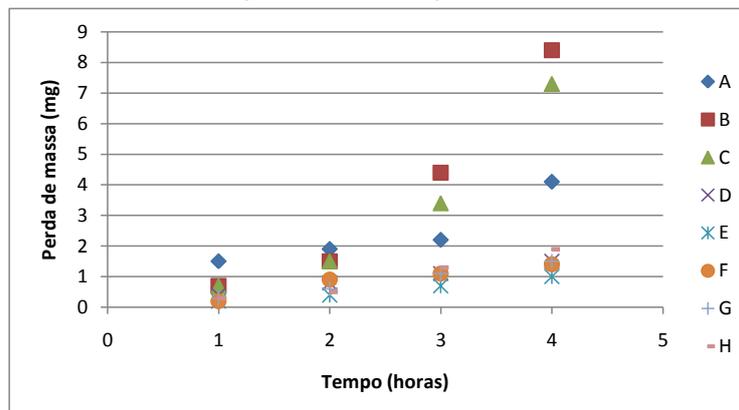


FIGURA 6 - Perda de massa em função do tempo.

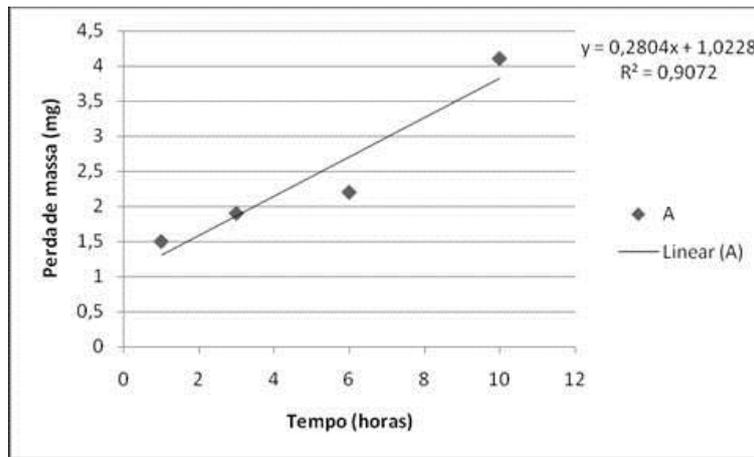


FIGURA 7 - Perda de massa em função do tempo de ensaio para o material polimérico do isolador A.

A Tabela 1 mostra um resumo dos parâmetros quantitativos obtidos a partir da equação de regressão linear dos corpos-de-prova dos distintos isoladores. Pode ser observado que todos os compostos poliméricos testados apresentaram forte correlação linear entre a perda de massa e o tempo de ensaio ( $r \geq 0,9$ ).

TABELA 1 – Coeficiente angular ( $\alpha$ ), Coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e coeficiente de correlação ( $r$ )

Amostra	$\alpha$ (mg/h)	$r^2$	$r$
A	0,28	0,90	0,95
B	0,88	0,98	0,99
C	0,74	0,97	0,98
D	0,11	0,97	0,98
E	0,08	0,99	0,99
F	0,12	0,84	0,91
G	0,13	0,98	0,99
H	0,18	0,98	0,99

O coeficiente angular indica a perda de massa por hora que ocorre em cada um dos materiais poliméricos. Os materiais poliméricos dos isoladores B e C apresentaram os maiores valores de coeficiente angular (0,88 e 0,74, respectivamente). Os demais compostos apresentaram coeficientes angulares menores do que 0,3. Isto significa que os compostos dos isoladores B e C perdem uma maior quantidade de massa/hora e, portanto, possuem uma maior suscetibilidade aos fenômenos de trilhamento elétrico e erosão.

A utilização do coeficiente angular para avaliação de desempenho de compostos de borracha de silicone utilizados em isoladores compostos tipo bastão mostra-se promissora. Com base nos resultados obtidos sugere-se que o seguinte critério de qualificação de materiais:  $a \leq 0,3$  = desempenho satisfatório,  $a > 0,3$  = desempenho insatisfatório. Para validação do critério sugerido um número maior de testes deve ser realizado.

### 3.2 - Hidrofobicidade

A Tabela 2 apresenta os resultados de classificação de hidrofobicidade dos isoladores poliméricos tipo bastão. Pode ser observado que, com exceção da amostra do isolador C, todos os isoladores novos foram classificados como HC1 e HC2, indicando que os compostos poliméricos dos isoladores testados apresentam elevada hidrofobicidade.

TABELA 2 - Hidrofobicidade.

Amostra	Classificação da hidrofobicidade
A	HC1
B	HC1
C	HC3
D	HC2
E	HC2
F	HC2
G	HC2
H	HC1

A avaliação da capacidade de recuperação da hidrofobicidade do isolador A está apresentada na Figura 8.

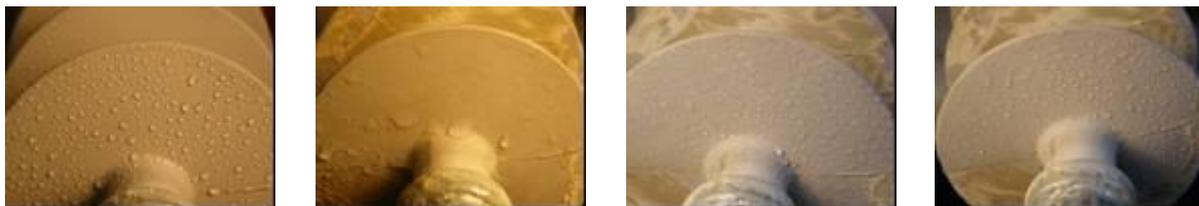


FIGURA 8 - Isolador A: novo, após retirada da argila, 48 h e 156 h após retirada da argila.

A Tabela 3 apresenta os resultados de classificação de hidrofobicidade dos isoladores poliméricos tipo bastão (i) novos, (ii) no instante de retirada da argila e (iii) após 48h e 156h da retirada da argila. Os resultados foram obtidos tomando-se como referência os padrões do STRI (14). Pode ser observado que os isoladores novos, com exceção do isolador C, foram classificados como HC1 e HC2, mostrando que os compostos poliméricos dos isoladores quando novos apresentam elevada hidrofobicidade. No instante posterior da retirada da argila os isoladores C, E e F perderam completamente sua hidrofobicidade inicial, sendo classificados como HC6. Os isoladores G e H foram os que tiveram menor perda de hidrofobicidade, sendo classificados como HC4.

A capacidade de recuperação da hidrofobicidade também foi avaliada ao longo do tempo. Decorridas 48 h após a retirada da argila o isolador H recuperou quase completamente sua hidrofobicidade, sendo classificado como HC2. Os isoladores B, E e G foram classificados como HC3 e os isoladores A, C, D e F foram classificados na faixa de HC4 a HC6. Após 156 h os isoladores B, E e H recuperaram quase completamente a sua hidrofobicidade original, sendo classificados como HC2. Os isoladores A e G foram classificados como HC3, o isolador D como HC4 e os isoladores C e F não apresentaram sinal de recuperação de hidrofobicidade.

Pelos resultados obtidos pode ser visto que a metodologia apresentada tem potencial para avaliar e qualificar isoladores compostos tipo bastão, sendo que aqueles que apresentaram melhor capacidade de recuperação são os que provavelmente terão melhor desempenho em campo.

TABELA 3 - Recuperação da hidrofobicidade

Amostra	Classificação da hidrofobicidade			
	Material novo	0 h (instante inicial após remoção da argila)	Após 48 h	Após 156 h
A	HC1	HC5	HC4	HC3
B	HC1	HC5	HC3	HC2
C	HC3	HC6	HC5	HC5
D	HC1	HC5	HC4	HC4
E	HC1	HC6	HC3	HC2
F	HC1	HC6	HC6	HC5
G	HC1	HC4	HC3	HC3
H	HC1	HC4	HC2	HC2

### 3.3 - Aderência

Os resultados dos testes de aderência estão apresentados na Tabela 4, onde S= boa aderência, N= aderência inadequada. Os isoladores B, E e G apresentaram aderência inadequada da interface núcleo-revestimento. Pode ser notado que neste teste há duas opções de resultado, sendo: a) material apresenta boa aderência e b) material apresenta aderência inadequada.

TABELA 4 – Teste de aderência

Isoladores	Esforço lateral	Arrancamento
A	S	S
B	N	N
D	S	S
E	N	N
F	S	S
G	N	N
H	S	S

Para verificar a reprodutibilidade dos resultados o teste de aderência foi repetido três vezes, sendo os resultados obtidos idênticos ao da Tabela 4.

#### 4.0 - CONCLUSÕES

Foram desenvolvidas metodologias de teste para avaliação de características importantes para assegurar o elevado desempenho de isoladores compostos tipo bastão em campo, a saber: resistência ao trilhamento elétrico, hidrofobicidade e aderência da interface núcleo-revestimento.

O ensaio de trilhamento elétrico modificado (TEM) mostrou-se eficiente para qualificação de isoladores compostos tipo bastão. O coeficiente angular, que representa a perda de massa por hora, apresenta-se como um parâmetro quantitativo promissor para qualificação dos compostos poliméricos.

No ensaio de hidrofobicidade o isolador C foi classificado como HC3; os demais foram classificados como HC1 e/ou HC2. Foi sugerida inclusão deste ensaio nas normas técnicas da COPEL. Com relação à capacidade de recuperação de hidrofobicidade o isolador H teve a maior capacidade de recuperação de hidrofobicidade (HC2 em 48 h). Após 156 h os isoladores B e E apresentaram boa recuperação da hidrofobicidade (HC2). Os isoladores A e G ficaram classificados como HC3, o isolador D como HC4 e os isoladores C e F não apresentaram sinal de recuperação de hidrofobicidade (HC5-HC6).

O ensaio de aderência, independente do procedimento adotado (esforço lateral ou arrancamento), mostrou-se eficiente para avaliação da interface núcleo-revestimento de isoladores compostos tipo bastão. Os isoladores que tiveram desempenho inadequado no teste de esforço lateral também tiveram desempenho inadequado no teste de arrancamento. Além disto, este ensaio tem a vantagem de ser rápido, de simples execução e baixo custo, podendo ser utilizado pelos técnicos da concessionária como um teste preliminar no recebimento de isoladores compostos tipo bastão.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) HACKAM, R. Outdoor HV Composite Insulators. IEEE TDEI, v. 6, n. 5, p. 557-585, 1999.
- (2) RAJA PRABU, R. et al. Electrical Insulation Characteristics of Silicone and EPDM Polymeric Blends – Part I. IEEE TDEI, v. 14, n. 5, p. 1207-1214, 2007.
- (3) GORUR, R. S.; CHERNEY, E. A.; BURNHAM, J. T. Outdoor Insulators. Ravi Gorur Inc., 1999.
- (4) SORQVIST, T.; VLASTOS, A. E. Performance and Aging of Polymeric Insulators. IEEE Trans. Power Delivery, v. 12, p. 1657-1665, 1997.
- (5) RAJINI, V.; UDAYAKUMAR, K. Degradation of Silicone Rubber under AC or DC Voltages in Radiation Environment. IEEE TDEI, v. 16, n. 3, p. 834-841, 2009.
- (6) ZHAO, L.; LI, W. D.; WEI, Y. H.; SU, G. Q.; SONG, B. P.; ZHANG, G. J. Study on Hydrophobicity Recovery and Measurement of Aged Silicone Rubber Material. 11th ICPADM, p. 696-699, 2015.
- (7) HILBORG, H.; GEDDE, U. W. Hydrophobicity recovery of polydimethylsiloxane after exposure to corona discharges. Polymer, v. 39, p. 1991-1998, 1998.
- (8) GORUR, R. S. et al. Aging in Silicone Rubber used for Outdoor Insulation. IEEE Trans. Power Delivery, v. 7, p. 525-538, 1992.
- (9) YOSHIMURA, N.; KUMAGAI, S.; DU, B. Research in Japan on the Tracking Phenomenon of Electrical Insulating Materials, IEEE El. Ins. Magazine, v. 13, n. 5, p.8-18, 1997.
- (10) RAJA PRABU, R. et al. Theoretical Correlation amongst Electrical and Mechanical Characteristics os Polymeric Housing Materials for Outdoor Insulators. IEEE TDEI, v. 15, n. 3, p. 771-782, 2008.
- (11) PIAH, A. M.; DARUS, A. Modelling Leakage Current and Electric Field Behaviour of Wet Contaminated Insulators. IEEE Trans, Power Delivery, v. 19, p. 432-433, 2004.
- (12) MELLO, D. R. de; BALESTRO, A. C. Cuidados na seleção de isoladores poliméricos – o problema da aderência. Congresso Latinoamericano de Distribucion Electrica - CLADE, 2008.
- (13) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials. IEC 112, 2003.
- (14) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Guia de medição da hidrofobicidade na superfície de isoladores, ABNT IEC/TS 62073, 2010.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Guilherme Cunha da Silva nasceu em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, em agosto de 1973. Possui graduação (1997) em Engenharia Elétrica e mestrado (2001) e doutorado (2005) em Ciência e Engenharia de Materiais. Atualmente é pesquisador sênior no Departamento de Eletricidade e Materiais (DPEM) dos Institutos Lactec. Tem desenvolvido projetos e estudos nos seguintes tópicos: materiais dielétricos (novos materiais e envelhecimento/ degradação), equipamentos e acessórios utilizados em redes protegidas e subterrâneas (cabos, isoladores e afins) e métodos de qualificação, monitoramento e diagnóstico de materiais dielétricos.