



21 a 25 de Agosto de 2006  
Belo Horizonte - MG

## **Estudo da Adição de Nano-Sílica à Borracha de Silicone para Cobertura de Isoladores Cerâmicos em Ambientes de Elevada Contaminação Salina**

**Dr. Luiz H. Meyer**

**Universidade Regional de  
Blumenau**

[meyer@furb.br](mailto:meyer@furb.br)

**Edson Araújo,  
Graziano Cardoso**

**Universidade Regional  
de Blumenau**

[earaujo@al.furb.br](mailto:earaujo@al.furb.br),  
[gcgraziano@al.furb.br](mailto:gcgraziano@al.furb.br)

**Régis Evaloir da Silva  
Milvio Rodrigues**

**Centrais Elétricas de Santa  
Catarina - CELESC**

[regis@celesc.com.br](mailto:regis@celesc.com.br),  
[milviorl@celesc.com.br](mailto:milviorl@celesc.com.br)

### **RESUMO**

Este trabalho tem por objetivo estudar a influência de nano-partículas de sílica comparadas com micro-partículas de sílica, misturadas na borracha de silicone (BS), com aplicação em isoladores cerâmicos ou de vidro em regiões de elevada contaminação. A característica testada do material isolante foi sua resistência ao trilhamento e erosão, utilizando o teste de plano inclinado. Nas formulações de borracha de silicone foram utilizadas partículas de sílica: 15nm (nano-sílica) e 43 $\mu$ m (micro-sílica). As porcentagens de nano e micro sílicas adicionadas na formulação de borracha de silicone foram de 0% (sem aditivos), 5% e 10%. Durante o teste de plano inclinado, foram registradas a corrente de fuga e computadas suas componentes harmônicas, utilizando um sistema de medição e aquisição de dados. Ao final do teste, registrou-se o volume erodido no material. Com estes resultados preliminares obtidos em laboratório, verificou-se que a nano-silica misturada à Borracha de Silicone (BS) resultou em uma maior resistência ao trilhamento e à erosão quando comparada com a da micro-sílica, sendo que quanto maior a porcentagem de aditivo adicionado à mistura, menor o volume erodido na amostra. Pelo sistema de medição e aquisição, observou-se ainda uma relação entre a magnitude da componente de terceiro harmônico da corrente de fuga e o volume erodido total.

### **PALAVRAS CHAVE**

Borracha de Silicone (BS), Isolador Cerâmico, Sílica, Nano-Sílica, Trilhamento e/ou Erosão.

### **1. INTRODUÇÃO**

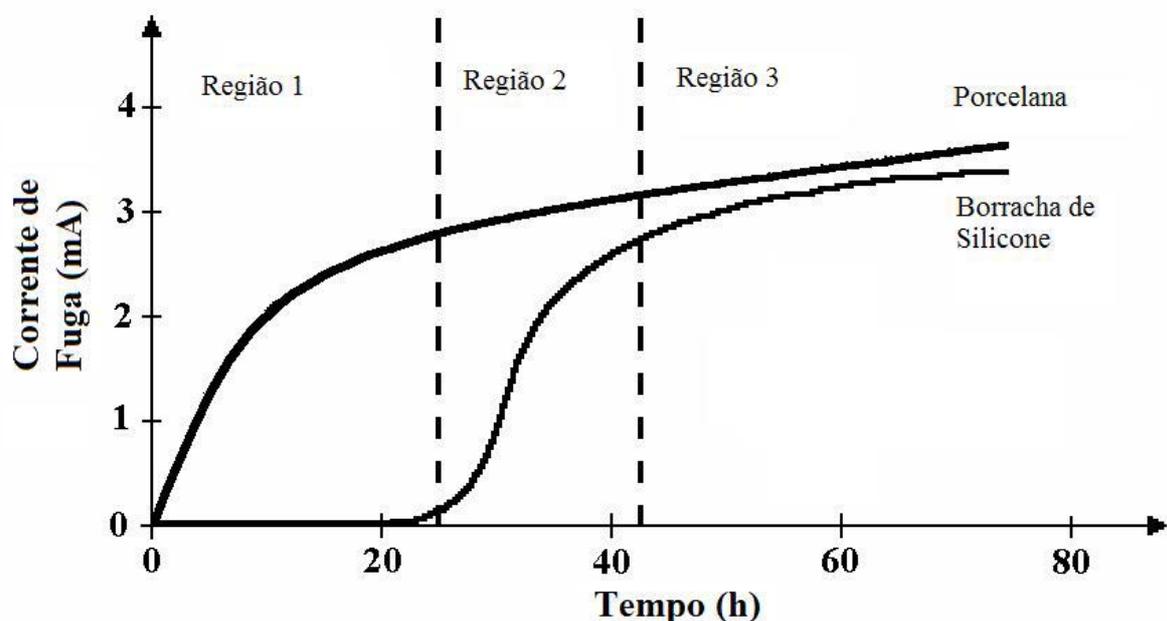
Em áreas de intensa contaminação, o acúmulo de contaminantes nos isoladores e outros componentes isolantes do sistema elétrico, pode vir a ocasionar uma falha do sistema de transmissão ou distribuição. As falhas geram conseqüências diretas aos consumidores, mas também as concessionárias de energia elétrica, pois afetam os indicadores de qualidade e confiabilidade do fornecimento de energia elétrica. A resolução da ANEEL nº. 024, de 27 de Janeiro de 2000, trata do desempenho das concessionárias quanto à continuidade do serviço de fornecimento de energia elétrica, com base em indicadores específicos, denominados de duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC) e frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora (FEC). O DEC indica o número de horas em média que um consumidor fica sem energia elétrica durante um período, geralmente mensal.

Já o FEC indica quantas vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora (residência, comércio, indústria etc.).

Na Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), o acúmulo salino gera um custo de manutenção elevado, devido aos procedimentos de limpeza adotados. Ainda assim a probabilidade da ocorrência das descargas de contorno sobre isoladores contaminados existe. Como exemplo o desligamento de uma linha de 69 kV ocorrido em novembro de 2002, na região de Laguna (SC), resultando em conseqüentes prejuízos para o consumidor e para a concessionária.

Compostos poliméricos à base de borracha de silicone (BS) vem sendo utilizado como material isolante de encapsulamento em isoladores expostos ao ar livre há mais de 30 anos<sup>1</sup>. Em isoladores cerâmicos ou de vidro, pode-se utilizar a BS em forma de tinta, de maneira a cobrir estes isoladores com uma película polimérica. Isoladores recobertos com esta película são especialmente indicados para uso em ambientes agressivos ou com alto nível de poluição. Esta película polimérica confere ao isolador cerâmico ou de vidro uma superfície hidrofóbica (repelente de água). As propriedades hidrofóbicas da BS evitam a formação de um filme aquoso contínuo sobre a superfície do isolador, desta forma retardando o desenvolvimento da corrente de fuga, tanto em isoladores recobertos com BS, quanto em isoladores poliméricos (à base de BS), conforme mostrado pelo Gráfico 1.

Os materiais isolantes expostos ao ar livre têm que suportar diversos tipos de condições durante sua vida em operação. Além da tensão normalmente aplicada pelo sistema, os isoladores estão sujeitos a esforços mecânicos e a ação do meio ambiente, tais como contaminação pela poluição ou ataque biológico. Uma condição especialmente crítica ao isolador se dá pela combinação de 3 fatores: tensão do sistema, contaminação e umidade sobre isolador, que podem desencadear o desenvolvimento de descargas de banda seca. A ocorrência continuada destas descargas de banda seca pode levar o material isolante ao trilhamento e/ou erosão, arcos entre as saias e até descargas disruptivas sobre o isolador.



**Gráfico 1: Desenvolvimento da corrente de fuga durante um teste de névoa salina em isoladores de porcelana e em isoladores recobertos com borracha de silicone.**

Em áreas litorâneas, os isoladores de alta tensão estão expostos a níveis elevados de depósito de sal<sup>2</sup>, aumentando o número de falhas no sistema e/ou custos de manutenção. Para reduzir o número de procedimentos de manutenção, tais como a lavagem de isoladores e buchas, isoladores cerâmicos e de vidro podem ser revestidos com BS, criando uma película hidrofóbica, retardando o desenvolvimento da corrente de fuga, minimizando a probabilidade de ocorrência das descargas de banda seca, arcos e descargas disruptivas.

A hidrofobicidade pode ser considerada como uma 'linha de frente', restringindo o desenvolvimento da corrente de fuga. Caso ela seja eventualmente perdida, devido ao acúmulo excessivo de poluentes ou devido ao efeito corona, uma corrente de fuga pode vir a se desenvolver, podendo levar materiais

de base polimérica, tais como a borracha do silicone ou EPDM, ao trilhamento ou à erosão, oriundos das descargas de banda seca. Uma segunda linha de defesa consiste na adição de pequenas partículas tais como, o tri-hidrato de alumina ou Sílica<sup>3</sup>, na formulação de BS. A adição destas partículas tem como objetivo aumentar a resistência ao trilhamento e a erosão da BS. No entanto, cabe ressaltar que na borracha de silicone, normalmente, a difusão de espécies de baixo peso molecular através da matriz polimérica recobre partículas depositadas na superfície, restaurando sua hidrofobicidade. Estas características têm sido demonstradas através de inúmeros artigos disponíveis na literatura, onde o tamanho, o tipo e a concentração das partículas têm uma grande influência na resistência ao trilhamento e erosão. Entretanto, os revestimentos de BS conferem uma característica mais rugosa à superfície original vitrificada da cerâmica, que pode conduzir a um aumento da taxa de acúmulo de contaminantes. A rugosidade esta associada com a resistência ao flashover<sup>4</sup> e a hidrofobicidade<sup>5,6</sup>. Considerando o desenvolvimento industrial das nano partículas e sua disponibilidade, o objetivo principal deste trabalho é o de investigar os efeitos da adição de nano-sílica à BS e sua comparação com a micro-sílica, com respeito à resistência ao trilhamento e erosão. Usando nano-sílica, o alvo é desenvolver um material que apresente uma resistência ao trilhamento e à erosão mais elevada do que a BS com micro-sílica, com uma concomitante diminuição de acúmulo dos contaminantes pela redução da rugosidade. Tal formulação é especialmente destinada para áreas de alta contaminação, como por exemplo, as áreas litorâneas. As várias formulações de BS com nano-sílica e micro-sílica foram submetidas a ensaios de trilhamento e erosão, pelo teste de plano inclinado, avaliando-se o volume erodido de material após quatro horas de teste. Os resultados mostraram que a adição de nano-sílica à BS, quando comparada com a micro-sílica, resultou em uma maior resistência ao trilhamento e a erosão.

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

### ***2.1. Ensaio de plano inclinado.***

O teste plano inclinado (NBR 10296, ASTM D2303, IEC 503) foi projetado para avaliar o desempenho de materiais isolantes quanto à sua resistência ao trilhamento e/ou erosão. O trilhamento é definido como a formação de um caminho carbonizado resultante da ação de descargas elétricas (descargas de banda seca) próximas ou na superfície do material isolante, reduzindo a distância total de isolamento. A erosão é reconhecida pela perda progressiva de material isolante devido a ação de descargas elétricas concentradas em uma região superficial do material isolante. O objetivo do teste é o de acelerar condições eventualmente encontradas em campo, como o de acúmulo de contaminantes, umidade, em conjunto com a própria tensão do sistema, proporcionando condições para que as descargas de banda seca ocorram de maneira contínua sobre a superfície do material sob teste. Segundo a NBR 10296, um fluido contaminante é bombeado através de um tubo colocado junto ao eletrodo superior entre oito camadas de papel filtro, auxiliando na formação de um fluxo contínuo do contaminante. A Figura 1 apresenta um diagrama esquemático dos principais componentes do teste de plano inclinado. O bombeamento é promovido por uma bomba peristáltica de alta precisão. O fluido contaminante é bombeado para o eletrodo superior e escorre deste eletrodo, pela amostra, até o eletrodo inferior, formando assim um caminho aquoso para passagem da corrente. Segundo a NBR 10296, o fluido contaminante é composto de água deionizada onde são dissolvidos o contaminante e o agente umidificante. Segundo a NBR 10296, o contaminante utilizado é o Cloreto de Amônio (NH<sub>4</sub>CL), e é ainda utilizado o Isooctil Fenoxipolietoxietanol, como agente umidificante, favorecendo um fluxo contínuo e uniforme. As Figuras 2A e 2B mostram detalhes da montagem dos corpos de prova no teste de plano inclinado, durante o teste. Nota-se na Figura 2B a ocorrência das descargas de banda seca, representadas por pontos mais claros acima do eletrodo inferior. No teste de plano inclinado implementado, é possível avaliar simultaneamente seis corpos de prova por teste, também demonstrado pela Figura 2B.

Ao teste de plano inclinado segundo a NBR 10296, foi adicionado um sistema de medição e aquisição de dados, que permite a análise da tensão aplicada aos corpos de prova e da corrente de fuga em cada corpo de prova. A taxa de aquisição de dados foi de 60000 amostras por segundo, com uma periodicidade de 1 ciclo em cada 60 ciclos de 60Hz. Os dados de tensão e corrente de fuga assim adquiridos foram então processados e os conteúdos harmônicos foram calculados pela técnica da transformada de Fourier. O sistema de aquisição possui 8 canais (em modo diferencial) de entrada para aquisição da tensão de alimentação e das correntes em cada corpo de prova, simultaneamente. A placa

de aquisição (Modelo PCI 6251-M) é de fabricação da National Instruments e o software utilizado para aquisição e análise dos sinais foi o LabVIEW® 7.1 também fornecidos pela National Instruments. A Figura 3 mostra tela principal de aquisição e interface com o operador.

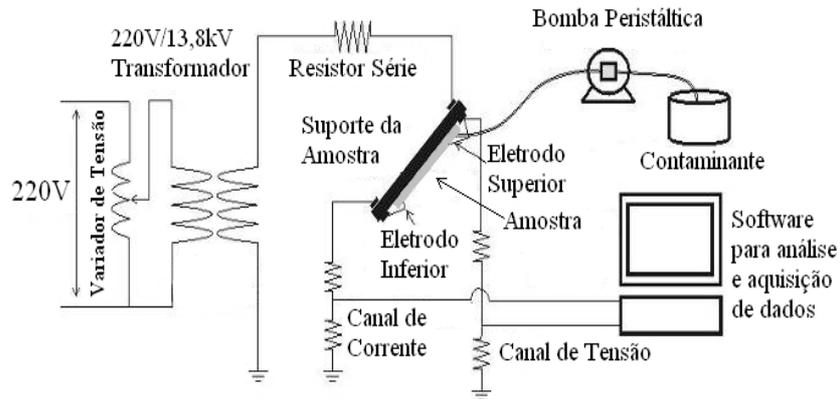


Figura 1 - Diagrama esquemático do teste de plano inclinado e do sistema de medição e aquisição de dados.



(A)



(B)

Figura 2 - Teste de plano inclinado: (A) detalhes da montagem do corpo de prova no teste de plano inclinado (B) ocorrência de descargas de banda seca, indicada por círculos.

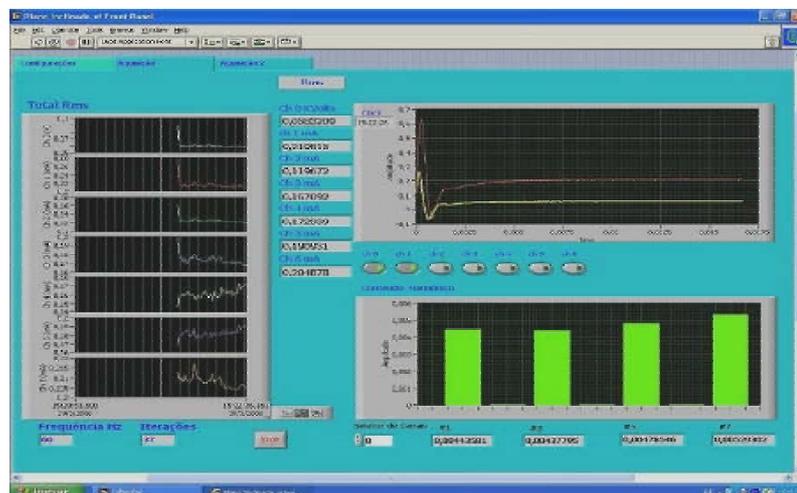


Figura 3 - Uma das 3 telas de monitoramento do sistema de aquisição de dados.

## 2.2. Materiais.

### 2.2.1. Formulações preparadas.

Como material polimérico base, foi utilizada a borracha de silicone BS em duas partes, RTV 615A e RTV 615B, fornecidos pela GE Silicones. Para atingir a cura, os dois componentes A e B devem ser misturados numa proporção de 10:1. A borracha de silicone utilizada como base polimérica consiste em 60-80% Vinil Polidimetil Siloxane e 10-30% resina de Vinil. Como aditivos, foram utilizadas sílica com partículas de diâmetro médio de 15nm (nano-sílica) e 43 $\mu$ m (micro-sílica). As formulações foram preparadas segundo uma concentração de 0% (sem aditivos), 5% e 10% de aditivo em relação ao peso total da BS, conforme mostrado na Tabela 1. É importante ressaltar que a concentração máxima de nano-sílica é limitada em 10% do peso da BS, sendo que concentrações acima deste valor não foram possíveis devido à viscosidade resultante. No entanto, utilizando sílica na forma de micro partículas, consegue-se chegar facilmente a 50% de aditivo em relação ao peso total.

**Tabela 1- Composição das Formulações para o teste de plano inclinado.**

Tamanhos médios e tipos de aditivos	Concentração de aditivo por peso da BS (%)
15nm Nano-Sílica	5
	10
43 $\mu$ m Micro-Sílica	5
	10

### 2.2.2. Elaboração das formulações.

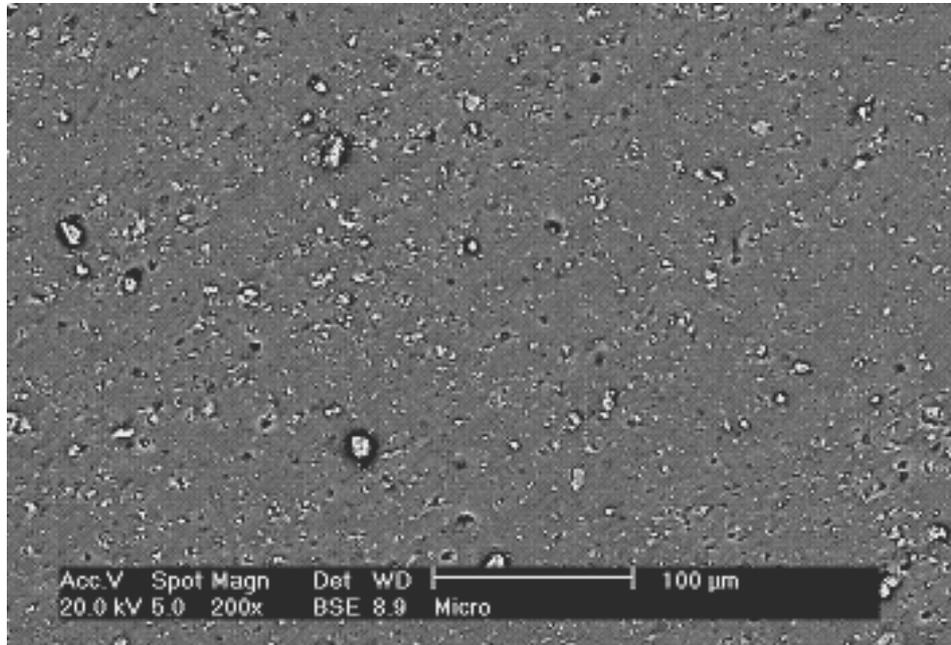
A base polimérica e os aditivos foram pesados e misturados através de um misturador rotativo durante 30 min. Adicionou-se o agente de cura, misturando-se por mais 10 min, quando a mistura foi derramada em um molde e colocada em uma câmara de vácuo para degaseificação, com o objetivo de retirar as bolhas internas, oriundas do processo giratório de mistura. A degaseificação dura aproximadamente 10 min, sob pressão de 25 mmHg. A mistura foi levada à estufa, permanecendo por 4 horas a temperatura de 60<sup>0</sup>C, até que o processo de vulcanização seja completo. Conforme recomendado pelo fabricante da BS. Após resfriado, o molde foi retirado do forno e, para cada formulação, seis corpos de prova foram cortados e preparados de acordo com a NBR 10296. Destes seis corpos de prova de cada formulação, três corpos de prova foram testados pela face superior (face do material voltada para meio ambiente), e três pela face inferior (face inferior do material, voltada para o molde). Observou-se que a face superior é mais lisa que a face inferior. As faces de teste de todos os corpos de prova foram lixadas de maneira a uniformizar as superfícies em termos de sua rugosidade e hidrofobicidade. Para isso, utilizou-se uma lixa fina (# 400), que foi esfregada durante um tempo pré-determinado de 5 minutos para cada face. Depois de lixadas, as amostras foram lavadas com água destilada e limpas com álcool isopropílico, conforme sugere a norma deste ensaio.

Uma amostra de cada composição foi retirada e levada a um microscópio de varredura eletrônica, para análise da dispersão do aditivo na formulação. Os corpos de prova com nano aditivos, não apresentaram nenhuma partícula visível na escala microscópica, indicando que as nano partículas de sílica não estavam aglomeradas. Já os corpos de prova preparados com micro partículas de sílica tiveram dispersão homogênea dentro da base polimérica, como mostrada na Figura 4. A análise da dispersão das partículas na formulação de BS foi realizada por um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo Philips XL30.

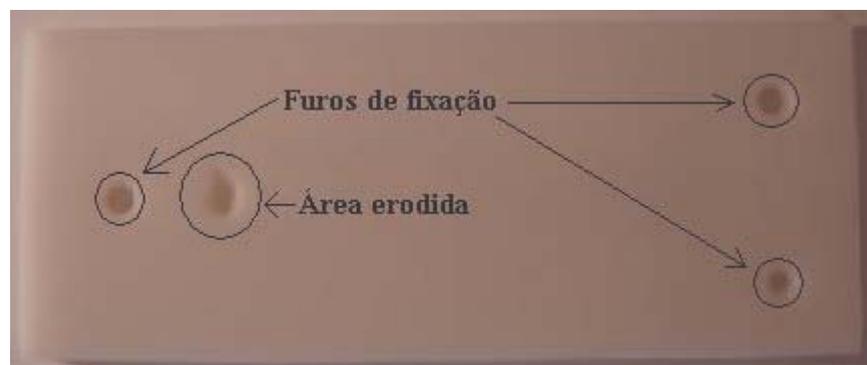
## 2.3. Procedimento do Teste de Plano Inclinado

A tensão inicial entre os eletrodos no teste de plano inclinado, foi de 2kV. A cada hora, aumentou-se a tensão em 250 V, por um tempo total de quatro horas. A taxa de fluxo do contaminante foi mantida constante em 0,15 ml/min. Seis corpos de prova de cada formulação foram testados simultaneamente, três montados de maneira a realizar o teste em sua superfície superior (contato com o meio ambiente) e três montados de maneira a testar sua superfície inferior (contato com o molde). Após o teste de plano inclinado, os corpos de prova foram retirados do suporte de plano inclinado e limpos com água

deionizada e álcool isopropílico. A medida do volume erodido em cada corpo de prova foi realizado pelo preenchimento da cavidade com um material de densidade conhecida. Utilizando-se de uma balança analítica, determinou-se o peso deste material de preenchimento, que foi então convertido em volume, pelo conhecimento de sua densidade. A Figura 5 mostra o volume erodido em uma amostra após o teste de plano inclinado.



**Figura 4 - Imagem do microscópio de varredura eletrônica, Mostrando a dispersão das micro partículas de sílica (áreas brancas) misturadas a BS (fundo cinza).**



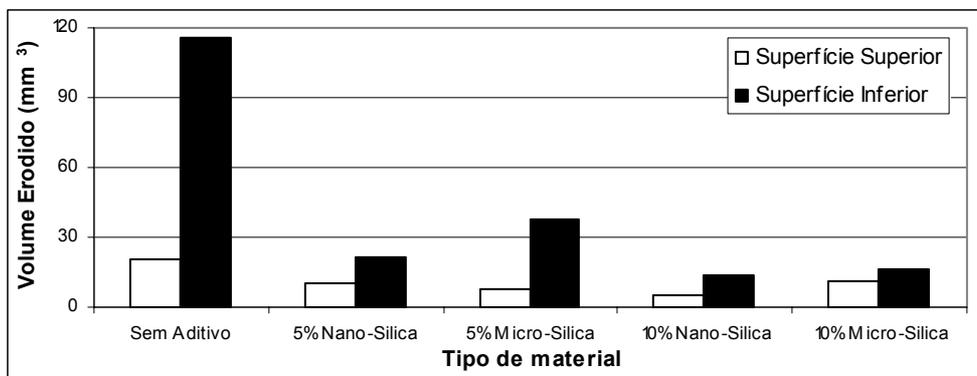
**Figura 5 - Corpo de prova de BS composto com 5% de micro-sílica, após o teste de plano inclinado.**

### **3. RESULTADOS**

A Tabela 2 e o Gráfico 2 mostram os resultados obtidos conforme procedimento 2.3, para as formulações preparadas segundo item 2.2. Observa-se que a massa erodida aumenta com a diminuição da quantidade de aditivo, tanto para a nano-sílica quanto para a micro-sílica. Ainda é possível identificar que a nano-sílica misturada à BS obteve maior resistência ao trilhamento e à erosão quando comparado com a micro-sílica. Podemos comprovar ainda que a face superior obteve uma massa erodida menor com relação à fase inferior, em todas as formulações, incluindo a formulação sem aditivos.

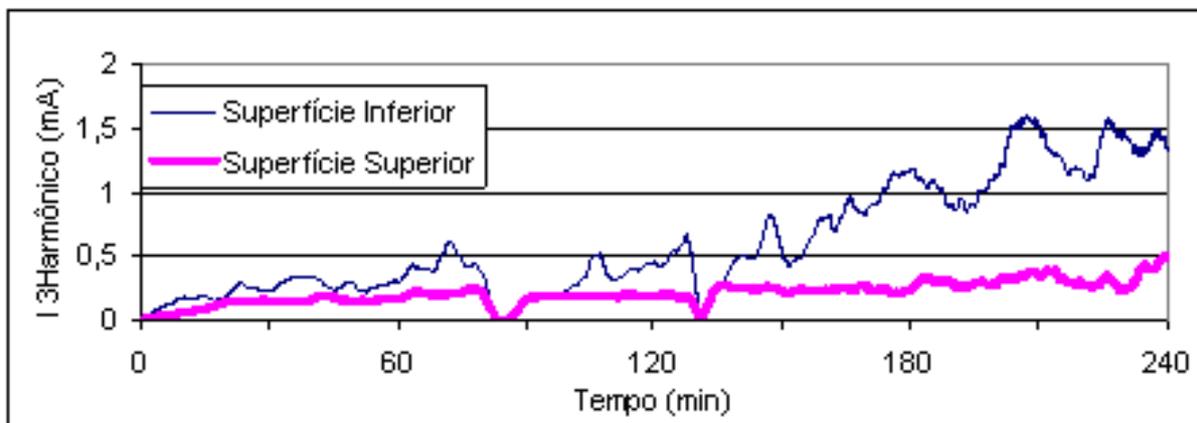
**Tabela 2 - Massa erodida dos corpos de prova sem aditivos, com 5% e com 10% de nano-silica e de micro silica, misturado à BS, após o teste de plano inclinado.**

Material	Volume Erodido (mm <sup>3</sup> )					
	Face Superior			Face Inferior		
Sem aditivo	0	61.6	1.4	61.5	171	113
5% nano-silica	8.2	15.6	7.0	21.2	18.3	24.2
5% micro-silica	5.4	4.0	13.2	34.2	9.4	69.9
10% nano-silica	5.5	4.9	4.8	12.0	12.1	18.2
10% micro-silica	8.0	6.6	19.0	15.9	14.9	17.5



**Gráfico 2 - Média do volume erodido dos corpos de prova, Após o teste de plano inclinado.**

A partir da análise do conteúdo harmônico da corrente de fuga medido, observa-se um crescimento da componente de terceiro harmônico ao longo do teste. É possível relacionar a componente de terceiro harmônico da corrente de fuga com a ocorrência de descargas de banda seca (REF ZIQUE). O Gráfico 3 mostra a média móvel da componente de terceiro harmônico da corrente de fuga no corpo de prova sem aditivo. Através do Gráfico 3, podemos observar ainda que os níveis das componentes de terceiro harmônico da corrente de fuga, são praticamente os mesmos de 0 até 140 min de teste para as duas superfícies. Após o tempo de 140 min de teste e com a elevação do nível de tensão, a corrente na superfície inferior teve um aumento em relação a corrente na superfície superior, indicando maior atividade das descargas de banda secas.



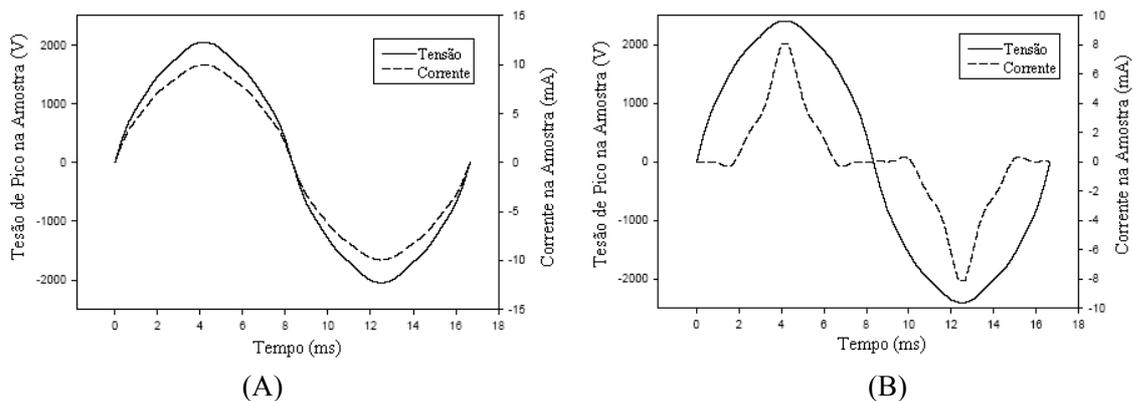
**Gráfico 3 - Componente de terceiro harmônico da corrente de fuga em um corpo de prova sem aditivos, no teste de plano inclinado.**

## 4. DISCUSSÃO

Pela análise da Tabela 2 e Gráfico 2, verifica-se que quanto menor o tamanho das partículas adicionadas a BS, menor a massa erodida no corpo de prova. Uma possível causa para esta menor degradação do corpo de prova com nano-sílica em relação à micro-sílica, baseia-se no fato de que a área superficial total da nano-sílica ser muito maior que a micro-sílica. Numa análise simplificada, estima-se uma área superficial da nano-sílica é da ordem de 3000 vezes maior do que a da micro-sílica, para uma mesma concentração. A erosão ocorre principalmente devido à pirólise nos pontos onde as descargas de banda seca atingem as temperaturas necessárias para que esta pirólise ocorra. A borracha de silicone inicia sua degradação a partir de aproximadamente 400 °C, enquanto que a sílica suporta uma temperatura muito superior, acima de 1200 °C. Nos compostos nano-aditivados, uma vez que a área total de sílica é muito maior que nos compostos micro-aditivados, as descargas de banda seca tem uma probabilidade menor de se concentrar em pontos onde não há aditivos, ou seja, na borracha de silicone. Este mesmo raciocínio pode explicar o motivo pelo qual formulações com maior quantidade de aditivo, seja nano-sílica ou micro-sílica, resultam em uma maior resistência ao trilhamento e à erosão.

Outro resultado obtido do teste de plano inclinado foi a possibilidade da comparação entre a componente de terceiro harmônico da corrente de fuga e a degradação na superfície do material. No início do ensaio, foram observadas poucas atividades de descargas no corpo de prova, resultando em uma corrente de fuga na forma de onda de senoide pura, em fase com a tensão, conforme indica o Gráfico 4A. Durante o teste, com a elevação do nível de tensão, observou-se uma distorção na forma de onda da corrente, como apresentado pelo Gráfico 4B, enquanto que os corpos de prova apresentavam a ocorrência das descargas de banda seca, representadas por pontos mais claros nas proximidades do eletrodo inferior (indicado pela Figura 2B). Este pontos claros sobre a superfície do material sob teste identificam uma região de alta temperatura, sendo este o principal responsável pela da erosão no corpo de prova. Em testes de plano inclinado, as descargas de banda seca podem levar determinadas regiões a temperaturas superiores à 700 °C<sup>7</sup>.

Comparando-se as componentes de terceiro harmônico das correntes de fuga nos corpos de prova, verificou-se que a magnitude desta componente está relacionada com o volume erodido. Quanto maior for esta magnitude da corrente de fuga, maior o volume erodido observado, conforme mostrado pela Tabela 2 e Gráfico 3, por exemplo.



**Gráfico 4 - Forma de onda da tensão aplicada e da componente de terceiro harmônico da corrente de fuga no corpo de prova: (A) sem a presença das descargas de banda seca; (B) durante a ocorrência das descargas de banda seca.**

## 5. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos no teste de plano inclinado e a discussão realizada, podemos concluir que:

- Quanto maior a porcentagem de partículas adicionadas na formulação, maior a resistência à erosão na BS, tanto para a nano-sílica quanto para a micro-sílica.

- As partículas de nano-sílica adicionadas à BS resultaram em uma formulação com uma resistência ao trilhamento e a erosão maior que a da BS adicionada de micro-sílica.
- A medição da componente de terceiro harmônico da corrente de fuga pode ser utilizado com indicador da degradação superficial de isoladores pela ocorrência das descargas de banda seca.

Na continuação deste trabalho, pretende-se avaliar as diferentes formulações aplicadas sobre isoladores cerâmicos, instalados junto à orla marítima, com medição on-line da corrente de fuga sobre estes isoladores, bem a da como da acumulação salina. Serão efetuados testes preliminares em uma já montada baia de testes em uma subestação da CELESC na Praia Brava/Itajaí-SC, de contaminação mediana, bem como em uma de elevada contaminação, na região de Garopaba/SC.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico) pelo suporte financeiro através do fundo setorial CT-ENERG, FURB (Fundação Universidade Regional de Blumenau), Porcelanas Industriais Germer (fabricante de isoladores de porcelana) e CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina), pela parceria neste projeto.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 El-Hag, A.H.; Jayaram, S.H.; Cherney E.A.; “*Comparison between Silicone Rubber containing Micro- and Nano-Size Silica Fillers*”; Conference Report on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 17-20 Oct 2004, pp.: 385-388.

2 Mello, D.R.; Costa Jr., R.T.; Batista, T.; Melo, M.E.; “*Avaliação do Grau de Poluição em Instalações de Transmissão, Subestações e Distribuição*”; I CITENEL, Brasília, 2001.

3 Meyer, L.; Omranipour, R.; Jayaram, S.; Cherney, E.; “*The effect of ATH and silica on tracking and erosion resistance of silicone rubber compounds for outdoor insulation*”, Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 2002, pp. 271-274

4 Smith, J.D.; Hatfield, L.L.; “*Measurement of the effects of surface roughness on flashover*”; Conference Report on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 1988, 16-20 Oct 1988, pp.: 47-52.

5 Wang, X.; Kumagai, S.; Yoshimura, N.; “*Fractal analysis on the recovery of contaminant properties of silicone rubber insulator against acid rain*”; Proceedings of 1998 International Symposium on Electrical Insulating Materials, 1998, 27-30 Sep 1998; pp.: 619-622..

6 Wang, X.; Yoshimura, N.; “*Fractal phenomena. Dependence of hydrophobicity on surface appearance and structural features of SIR insulators*”; IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.: 6 Issue: 6 Dec 1999; pp.: 781-791.

7 Meyer, L.; Jayaram, S.; Cherney, E.A.; “*Correlation of Damage, Dry Band Arcing Energy, and Temperature in Inclined Plane Testing of Silicone Rubber for Outdoor Insulation*”; IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.: 11, Num. 3; Jun 2004; pp.: 432-424.