



Grupo de Estudo de Linhas de Transmissão-GLT

Desenvolvimento e Avaliação de Revestimentos Super-Hidrofóbicos para Aplicações em Isoladores Elétricos

**ARTHUR DE CASTRO RIBEIRO(1); JOSÉ GERALDO DE MELO FURTADO(1); LUIZ ALBERTO FERREIRA DA SILVA(1); RICARDO WESLEY SALLES GARCIA(1);
CEPEL(1);**

RESUMO

A aplicação de revestimentos super-hidrofóbicos vem sendo recentemente proposta como alternativa para controlar a molhabilidade e evitar falhas elétricas motivadas pela formação de caminhos condutivos na superfície de isoladores elétricos instalados em ambientes poluídos e úmidos.

Este trabalho objetiva descrever a influência de diferentes formulações, variando-se o tipo de cargas, nas propriedades físico-químicas, morfológicas e de resistência ao desenvolvimento de corrente de fuga de revestimentos compósitos super-hidrofóbicos. Acredita-se que os resultados encontrados, principalmente em termos de redução de corrente de fuga e de incremento da resistência ao trilhamento, contribuirão para o desenvolvimento desta tecnologia, especificamente, como revestimentos em isoladores elétricos.

PALAVRAS-CHAVE

Isoladores, Super-hidrofobicidade, Revestimentos funcionais, Nanotecnologia, Efeito lótus.

1.0 - INTRODUÇÃO

Os isoladores elétricos são dispositivos fundamentais em sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, tendo funções de sustentar fisicamente as linhas de transmissão de energia e isolá-las eletricamente de suas estruturas de suporte ou equipamentos, conseqüentemente, impedindo a dissipação de corrente elétrica através da estrutura e possíveis interrupções no fornecimento de energia no sistema. Os isoladores mais utilizados no sistema elétrico brasileiro são os fabricados com porcelana vitrificada e vidro temperado devido às suas excelentes propriedades mecânicas e dielétricas. Entretanto, estes materiais possuem uma característica intrínseca hidrofílica em sua superfície, o que pode ocasionar falhas prematuras nesses dispositivos, quando expostos em ambientes contaminados e úmidos, por ação da formação de caminhos condutivos superficiais (1).

A modificação da molhabilidade da superfície utilizando-se revestimentos super-hidrofóbicos pode ser uma possível solução para os problemas associados à instalação de isoladores de vidro ou de porcelana em ambientes muito poluídos. Em comparação aos revestimentos comerciais com cura à temperatura ambiente (RTV - *Room Temperature Vulcanization*) tradicionalmente utilizados, esse tipo de revestimento apresenta a vantagem de poder exibir a capacidade de autolimpeza na superfície, reduzindo ou impedindo o acúmulo de sujeira e evitando que uma falha elétrica se suceda (2, 3).

Superfícies super-hidrofóbicas – caracterizadas por um ângulo de contato superior a 150° - vem gerando considerável interesse em diversos setores devido às potenciais aplicações na indústria e na ciência (4). Entretanto, no caso da sua aplicação no setor elétrico, ainda são necessários mais estudos para se compreender o comportamento de diferentes revestimentos super-hidrofóbicos. Ainda há uma carência de informações disponíveis

sobre como esse tipo de material se comporta quando submetido ao efeito conjunto da poluição e do campo elétrico. Nota-se que poucos trabalhos publicados, até então, avaliam o efeito de diferentes formulações super-hidrofóbicas nas propriedades elétricas dos revestimentos. Mais especificamente, até o nosso conhecimento, nenhum trabalho reportado estudou o efeito de diferentes nano e micro cargas na resistência ao trilhamento e à erosão de revestimentos super-hidrofóbicos.

O objetivo deste trabalho, portanto, é estudar a influência de diferentes formulações de revestimentos compósitos de matriz polimérica, especificamente variando-se os tipos de nanopartícula e micropartícula, nas propriedades físico-químicas, na morfologia e na resistência ao desenvolvimento de corrente de fuga durante o teste de resistência ao trilhamento e à erosão.

2.0 - METODOLOGIA

2.1 Materiais

Para o preparo dos revestimentos compósitos, silicone tipo RTV composto por monômeros de 2,2,4 trimetil-pentil-silano foi utilizado como agente hidrofobizante e ligante, dois tipos de alumina tri-hidratada (ATH) com diferentes tamanhos (1 e 10 μm) foram utilizadas como micropartículas e quatro tipos de nanopartículas de sílica com diferentes tratamentos superficiais (hidrofílica, PDMS, octilsilano e dimetil-dicloro-silano) foram testadas. Além disso, isopropanol grau P.A. foi utilizado como solvente para diluição e dispersão das cargas no silicone.

2.2 Preparo dos Revestimentos

Os revestimentos foram produzidos a partir de uma sonicação inicial de 3 gramas de nanopartículas de sílica em 100 ml de isopropanol por 30 minutos. Em seguida, 4 gramas de ATH foram adicionadas à dispersão e tendo sido agitadas magneticamente durante 30 minutos. À nova dispersão formada, adicionaram-se 6 gramas de silicone, prosseguindo com uma nova agitação magnética por 30 minutos. Após este processo, os revestimentos foram aplicados em substratos de vidro, via spray (atomização). A Tabela 1, a seguir, apresenta a codificação utilizada neste trabalho para melhor identificar as diferenças de formulação entre os revestimentos produzidos.

Tabela 1 – Diferentes formulações estudadas para os revestimentos compósitos e seus respectivos códigos.

Código	Silicone	ATH 1 μm	ATH 10 μm	SiO₂	tratamento SiO₂
1A4S3h	6 g	4 g	0 g	3 g	hidrofílica
1A4S3p	6 g	4 g	0 g	3 g	PDMS
1A4S3o	6 g	4 g	0 g	3 g	octilsilano
1A4S3d	6 g	4 g	0 g	3 g	dimetildiclorosilano
10A4S3h	6 g	0 g	4 g	3 g	hidrofílica
10A4S3p	6 g	0 g	4 g	3 g	PDMS
10A4S3o	6 g	0 g	4 g	3 g	octilsilano
10A4S3d	6 g	0 g	4 g	3 g	dimetildiclorosilano

2.3 Avaliações de hidrofobicidade

As avaliações de hidrofobicidade foram feitas mediante mensurações do ângulo de contato (AC) e do ângulo de deslize (AD) em um goniômetro (modelo 250, Ramé-hart Instrument) equipado com uma seringa de 250 μL capaz de produzir gotas de diferentes volumes. Para o AC, depositou-se uma gota de água destilada com volume de 5,0 μL , mediante pipetador automático, e, posteriormente, capturou-se a imagem e procedeu-se a análise do perfil da gota, com o auxílio do software do equipamento. Para o AD, adicionaram-se 10 μL de água destilada e, em seguida, a superfície foi rotacionada, a uma taxa de 0,5°/s, e o ângulo de inclinação da superfície, em relação ao plano horizontal, em que a gota começa a escorrer foi registrado. Ambos os procedimentos foram repetidos em cinco posições diferentes das amostras, registrando-se a média das medições e seus respectivos desvios padrões.

2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As imagens das topografias dos revestimentos foram geradas em dois equipamentos diferentes. Em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo Versa 3D da FEI, que possui fonte de emissão de elétrons por efeito de campo (FEG), foram obtidas imagens com ampliação de 10000 vezes, operando-se com tensão da fonte entre 1 e 2 kV, em alto vácuo. Em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo EVO 40 da Zeiss, que possui filamento de hexaboreto de lantânio como fonte de elétrons, foram obtidas imagens com ampliação de 5000 vezes, operando-se com tensão da fonte entre 10 e 20 kV, em alto vácuo.

Previamente às análises de MEV, as amostras foram revestidas com 10 a 15 nm de ouro, em um Sputter Coater modelo Leica EM ACE600, a fim de que se evitasse degradação da superfície polimérica e de que se pudessem obter melhores resoluções de imagem sem, no entanto, afetar a observação de possíveis nanoestruturas nos revestimentos.

2.4 Resistência ao trilhamento e à erosão em plano inclinado

Foram realizados ensaios de resistência ao trilhamento e à erosão no equipamento Tracker da Furukawa Electric Institute of Technology, que possibilita monitoramento da corrente de fuga superficial e submete as amostras a uma tensão alternada (60 Hz). O ensaio foi realizado seguindo-se o método 2 da norma ABNT NBR 10296 (5), utilizando-se a avaliação da ocorrência de falha da amostra quando a corrente de fuga registrada atingisse um valor acima de 60 mA, durante período superior a 2 segundos. Submeteram-se os corpos de prova de vidro revestidos a um intervalo de tensão de 2 a 3,25 kV, a uma taxa de 250 V/h, sob fluxo de solução contaminante de água destilada contendo 0,1%, em massa, de cloreto de amônio (NH_4Cl) e 0,02%, em massa, de sabão não iônico Arkopal (nonafenil-polietilenoglicol). As vazões de solução contaminante para cada tensão de ensaio avaliada são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Vazão da solução contaminante em função dos níveis de tensão do ensaio de resistência ao trilhamento e à erosão.

Tempo (min)	Tensão (kV)	Vazão (ml/min)
0 a 60	2,00	0,15
60 a 120	2,25	0,15
120 a 180	2,50	0,15
180 a 240	2,75	0,15
240 a 300	3,00	0,30
300 a 360	3,25	0,30

2.5 Avaliação da aderência ao substrato

A avaliação da aderência dos revestimentos ao substrato de vidro foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR 11003, método B (6). Os revestimentos foram cortados em grade, com o auxílio de um gabarito e de um estilete, colando-se, em sequência, uma fita sobre a superfície do revestimento e descolando-a, posteriormente, com ângulo de aproximadamente 180° . As imagens dos revestimentos restantes foram comparadas com o guia da norma e classificadas quanto ao grau de aderência.

3.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ângulo de contato (AC) e ângulo de deslize (AD) são importantes caracterizações físico-químicas de superfície para se avaliar a hidrofobicidade e a capacidade de autolimpeza de um material. A Figura 1 apresenta os resultados para o AC e o AD dos revestimentos produzidos neste trabalho. Verifica-se que o AC foi sensivelmente influenciado pelo tipo de nanopartícula utilizado, quando ATH 1 μm estava presente na formulação, enquanto que, para os revestimentos contendo ATH 10 μm , tal influência não foi tão pronunciada. Dentre as formulações produzidas, a 1A4S3p ($109 \pm 1^\circ$) e a 1A4S3d ($135 \pm 2^\circ$) foram as únicas que não apresentam características super-hidrofóbicas, ou seja, não tiveram valores de AC superiores a 150° . Pode-se dizer, portanto, que a utilização de ATH com maior tamanho gerou um aumento nos valores do AC.

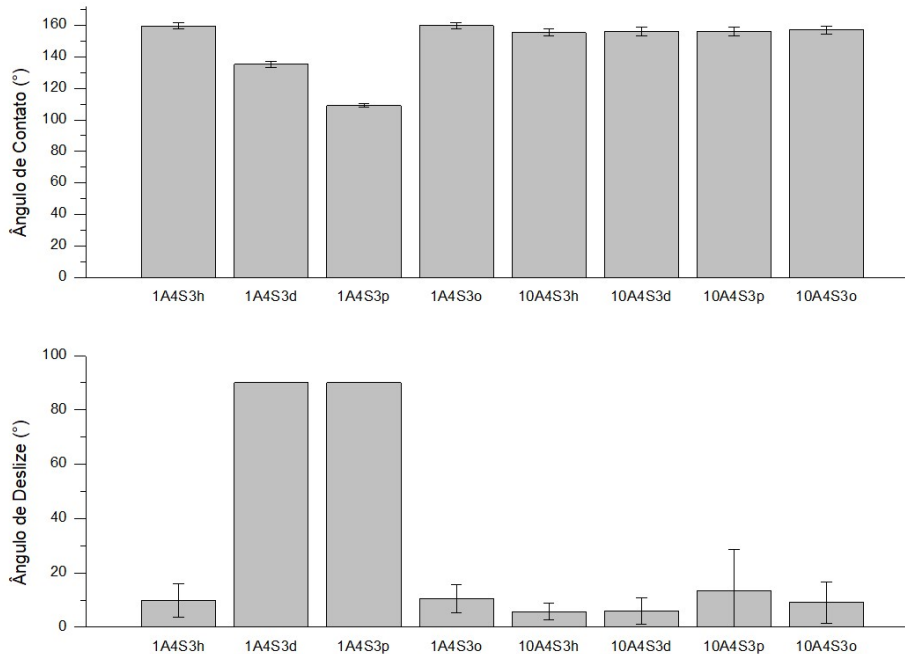


Figura 1 – Ângulo de contato (AC) e ângulo de deslize (AD) dos revestimentos produzidos neste trabalho.

Ao se comparar os valores obtidos pelas avaliações do AD, nota-se que os revestimentos que não possuíam super-hidrofobicidade (1A4S3p e 1A4S3d) apresentaram valores de 90° . Provavelmente, a existência de espaçamentos micrométricos entre aglomerados motivou o alto AD nestas amostras, uma vez que a gota de água depositada previamente pode penetrar por esses espaçamentos (7, 8). Outro fator que pode ter vindo a gerar um alto AD pode ser a existência de pontos hidrofílicos na superfície devido a possíveis heterogeneidades na sobrecamada polimérica (9, 10).

Os revestimentos com super-hidrofobicidade, por outro lado, apresentaram valores de AD pequenos, inferiores, em suas médias, a 10° . Vê-se que a inserção de ATH com maior tamanho resultou na diminuição do AD nos revestimentos, efeito, inverso ao observado nas avaliações de AC. Geralmente, quando uma gota de água em contato com a superfície de um material apresenta um AD inferior a 10° , considera-se que ela possui propriedades de autolimpeza, tendo uma alta repelência à água (11). Assim, os revestimentos super-hidrofóbicos produzidos neste trabalho apresentaram também capacidade de autolimpeza.

Os revestimentos super-hidrofóbicos produzidos foram também avaliados por MEV, objetivando-se constatar diferenças morfológicas obtidas devido às diferentes cargas utilizadas. As Figuras 2a e 2b apresentam, respectivamente, imagens das amostras 1A4S3h e 10A4S3h obtidas por MEV, com ampliação de 5000 vezes. Percebe-se que o aumento no tamanho da ATH na formulação gerou um pouco mais agregados de nanopartículas e uma diferença entre picos e vales micrométricos maior. Por sua vez, as Figuras 2c e 2d apresentam, respectivamente, imagens das amostras 1A4S3o e 1A4S3h obtidas por MEV, com ampliação de 10000 vezes. Fica evidenciado, nestas imagens, diferenças topográficas obtidas ao se modificar o tipo de nanopartícula utilizada na formulação. Percebe-se que a utilização de sílica hidrofílica resultou em uma estrutura superficial mais grosseira, enquanto que a utilização de sílica com tratamento orgânico implicou em nanopartículas mais distribuídas ao longo da superfície.

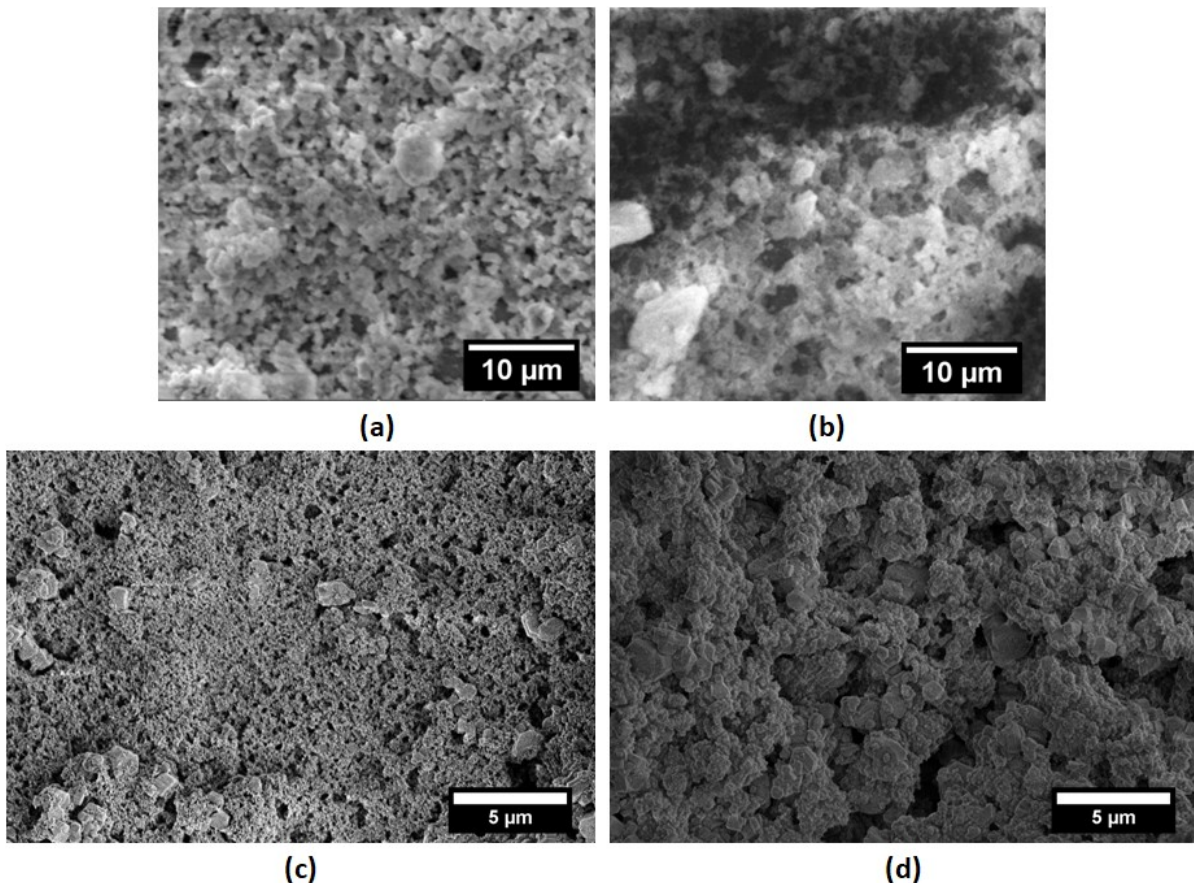


Figura 2 – Imagens de MEV com ampliação nominal de 5000 vezes para as amostras (a)1A4S3h e (b) 10A4S3h e de 10000 vezes para as amostras (c)1A4S3o e (d)1A4S3h.

O ensaio de resistência ao trilhamento elétrico e à erosão é uma importante caracterização feita para se avaliar a degradação de revestimentos ou materiais isolantes poliméricos, principalmente, quando estes são submetidos a regiões altamente contaminadas. A Figura 3 apresenta os resultados para as correntes de fuga desenvolvidas pelas amostras super-hidrofóbicas produzidas.

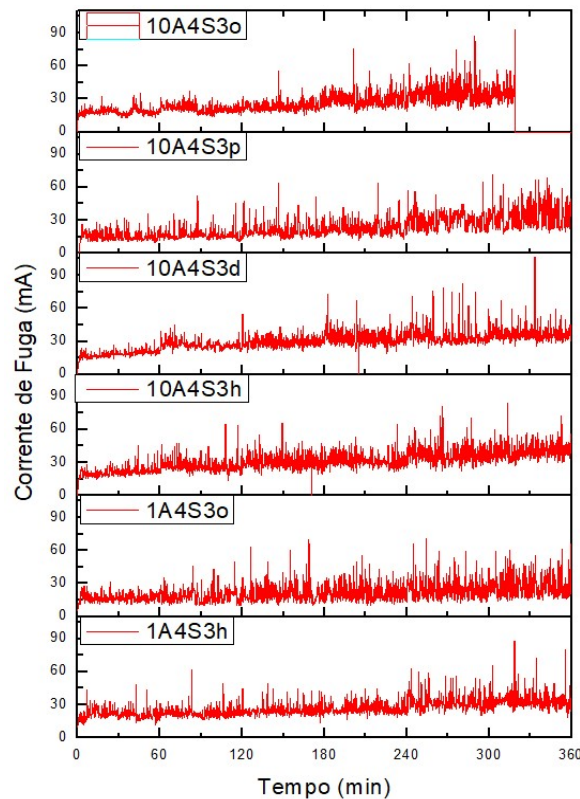


Figura 3 – Evolução da corrente de fuga dos revestimentos super-hidrofóbicos produzidos, durante ensaio de resistência ao trilhamento e à erosão.

Fica evidente a influência do tipo de carga na corrente elétrica de fuga desenvolvida ao longo do ensaio. Dentre as amostras avaliadas, nota-se que o revestimento contendo sílica tratada com dimetil-dicloro-silano e ATH 10 μm (10A4S3d) apresentou a maior quantidade de picos de corrente acima de 60 mA, totalizando um valor de 18 ocorrências, seguida pelas amostras 10A4S3h (15 ocorrências), 1A4S3o (10 ocorrências), 10A4S3p (10 ocorrências), 10A4S3o (8 ocorrências) e 1A4S3h (7 ocorrências). Entretanto, apesar do considerável número de ocorrências de corrente de fuga acima de 60 mA, apenas a amostra 10A4S3o apresentou corrente de fuga acima de 60 mA por mais de 2 segundos, o que configurou falha no ensaio para este revestimento, evidenciado pela descontinuidade no sinal da corrente de fuga.

Com relação à influência do tamanho da ATH no número de picos de corrente de fuga acima de 60 mA, notam-se distintos efeitos dependendo do tipo de nanopartícula. Enquanto que para o caso dos revestimentos contendo nanopartículas de sílica hidrofílica o aumento do tamanho da ATH gerou mais que o dobro de ocorrências de corrente de fuga acima de 60 mA, no caso dos revestimentos contendo nanopartículas de sílica com tratamento octilsilano o efeito foi o inverso: o aumento do tamanho da ATH gerou menos ocorrências de corrente de fuga acima de 60 mA.

A Tabela 3 apresenta os maiores valores de corrente de fuga registrados para cada tensão de ensaio. Observa-se que o revestimento 10A4S3d apresentou a maior corrente alcançada dentre as amostras avaliadas, sendo registrado um valor de 106,6 mA na tensão de 3,25 kV. Com relação à corrente máxima, os revestimentos 1A4S3h, 10A4S3h, 10A4S3o e 10A4S3p registraram valores de 88,5, 84,0, 92,9 e 71,3 mA, respectivamente, sendo todos eles na tensão de 3,25 kV, enquanto que o revestimento 1A4S3o registrou um valor de 71,1 a 3,0 kV. Ao se avaliar a influência do tamanho da ATH na corrente máxima desenvolvida, nota-se que o aumento do tamanho da ATH gerou um maior valor máximo para a maioria das tensões de ensaio.

Tabela 3 – Maiores valores de corrente de fuga (em mA) registrados para cada tensão no ensaio de resistência ao trilhamento e à erosão das amostras super-hidrofóbicas produzidas.

Tensão (kV)	1A4S3h	1A4S3o	10A4S3h	10A4S3d	10A4S3o	10A4S3p
2,00	48,9	31,2	46,1	31,6	35,6	36,4
2,25	61,7	50,0	64,6	45,6	37,0	52,7
2,50	50,0	70,3	66,3	55,1	55,4	64,0
2,75	44,6	55,9	64,9	73,3	75,7	64,0
3,00	63,1	71,1	81,1	82,9	87,8	64,5
3,25	88,5	66,0	84,0	106,6	92,9	71,3

Outra abordagem possível para se avaliar o comportamento das amostras durante o ensaio de resistência ao trilhamento e à erosão é se comparar a carga elétrica acumulada durante o tempo, conforme pode ser visualizado na Figura 4. Assim como observado para a ATH com 1 μm , as amostras contendo ATH com 10 μm de tamanho variaram sua carga elétrica acumulada, durante o ensaio, de acordo com o tipo de nanopartícula utilizada. Percebe-se que, para os revestimentos com ATH 1 μm , a amostra contendo sílica hidrofílica (1A4S3h) acumulou mais carga elétrica do que a contendo sílica funcionalizada (1A4S3o). No caso dos revestimentos com ATH 10 μm , vê-se que a formulação com nanopartícula de sílica funcionalizada com dimetil-dicloro-silano (10A4S3d) foi a que acumulou mais carga durante o ensaio.

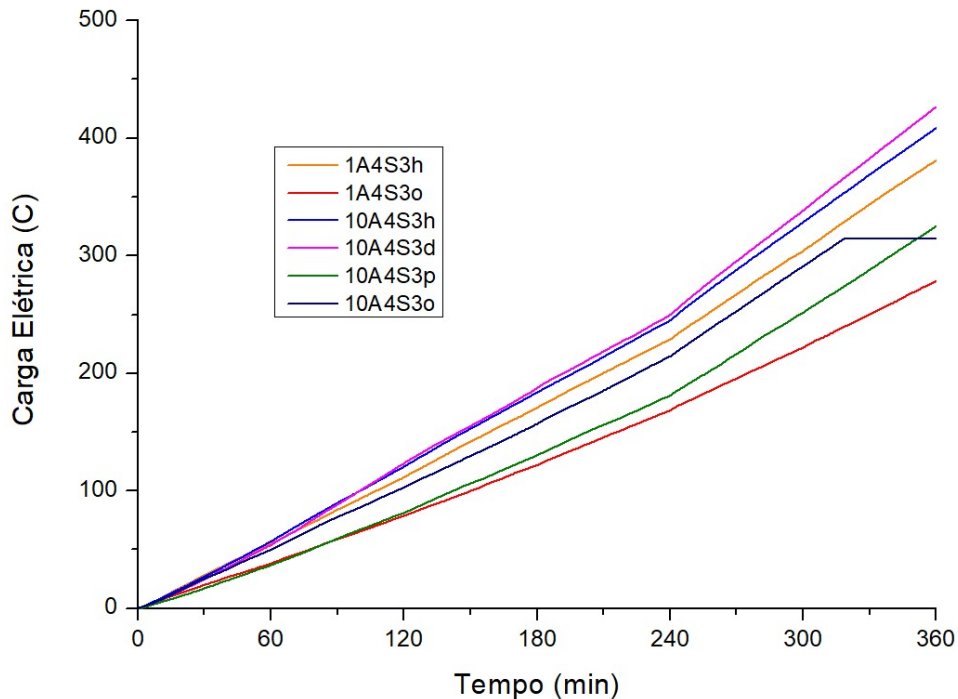


Figura 4 – Carga elétrica acumulada, durante ensaio de resistência ao trilhamento e à erosão, dos revestimentos super-hidrofóbicos produzidos e avaliados.

Com relação ao efeito do tamanho da ATH no comportamento dos revestimentos, constata-se que a ATH de 10 μm aumentou a carga elétrica acumulada durante o ensaio, quando comparada à ATH de 1 μm . Esta constatação é válida para todas as amostras com formulação parecidas, em que apenas se variou o tamanho da ATH. Acredita-se que um dos parâmetros que afeta a resistência ao trilhamento e à erosão de um revestimento polimérico é a sua condutividade térmica, sendo que quanto maior a capacidade na transferência do calor gerado pela corrente de fuga, maior será a resistência ao trilhamento do material (12, 13). Assim, uma possível explicação para o melhor desempenho da ATH de 1 μm é a sua maior área superficial específica (m^2/g), o que, conseqüentemente, aumenta a condução de calor do revestimento (13, 14).

Os revestimentos super-hidrofóbicos produzidos foram também avaliados quanto às suas aderências aos substratos de vidro. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para cada uma das amostras. Nota-se que apenas as formulações 10A4S3h e 10A4S3d não apresentaram grau máximo de aderência, segundo os critérios da norma ABNT NBR 11003. Entretanto, as amostras super-hidrofóbicas 1A4S3h, 1A4S3o, 10A4S3o e 10A4S3p, apesar de possuírem grau máximo de aderência (Gr0), apresentaram problemas de coesão, ou seja, houve remoção de intercamadas do revestimento pela fita adesiva. Tais problemas são, contudo, passíveis de serem minimizados ou mesmo resolvidos mediante o prosseguimento dos estudos de desenvolvimento do processo de obtenção dos revestimentos.

Tabela 4 – Resultados para o ensaio normalizado de aderência das amostras super-hidrofóbicas produzidas.

Amostra	Classificação
1A4S3h	Gr0
1A4S3o	Gr0
10A4S3o	Gr0
10A4S3d	Gr4
10A4S3h	Gr4
10A4S3p	Gr0

4.0 - CONCLUSÕES

O desenvolvimento do estudo mostrou que a ATH afeta sensivelmente a hidrofobicidade da superfície, sendo possível obter revestimentos super-hidrofóbicos, conferindo a eles capacidade de autolimpeza e, consequentemente, aumentando a eficiência na propriedade de antipoluição.

A morfologia da superfície dos revestimentos foi sensivelmente afetada pelo tipo de nanopartícula, sendo que os revestimentos contendo sílica organomodificada apresentaram topografias menos grosseiras.


No ensaio de resistência ao trilhamento e à erosão, apenas a formulação contendo ATH 10 µm e nanopartículas de sílica tratada com octilsilano apresentou falha. Além disso, constatou-se um acréscimo no acúmulo de carga elétrica dos revestimentos contendo ATH 10 µm, quando comparados aos revestimentos com ATH 1 µm.

Com exceção das formulações contendo ATH 10 µm e nanopartículas de sílica hidrofílica ou nanopartículas de sílica tratada com dimetil-dicloro-silano, todos os revestimentos super-hidrofóbicos apresentaram grau máximo de aderência. Entretanto, também foram percebidos problemas de coesão nas intercâmbias destes revestimentos, o que dá margem ao desenvolvimento e aperfeiçoamento do processo de produção dos revestimentos.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Braini, S. M., Haddad, A. e Harid, N. "The Performance of Nano-Coating for High Voltage Insulators", em 46th International Universities Power Engineering Conference, 2011, pp. 7–10.
- (2) Momen, A.G., Farzaneh, M. e Nekahi, A. "Properties and applications of superhydrophobic coatings in high voltage outdoor insulation: A review", *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 24, no. 6, pp. 3630–3646.
- (3) Seyedmehdi, A., Zhang, H. e Zhu, J. "The role of ATH in Superhydrophobic Silicone Rubber Coatings for High Voltage Insulators", em 28 th International Power System Conference, 2013, pp. 1–6.
- (4) Verma, R., Tomar, N., Creager, S. E. e Smith, D. W. "Statically non-wetting electrospun perfluorocyclobutyl (PFCB) aryl ether polymer doped with room temperature ionic liquid (RTIL)", *Polymer (Guildf.)*, vol. 53, no. 11, pp. 2211–2216. 2012.
- (5) Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 10296 Material isolante elétrico - Avaliação da resistência ao trilhamento e erosão sob condições ambientais severas. Brasil, 2014.
- (6) Associação Brasileira de Normas Técnicas. Tintas — Determinação da aderência. NBR 11003, Brasil, 2009.
- (7) Bhushan, B. e Nosonovsky, M. "The rose petal effect and the modes of superhydrophobicity", *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 368, no. 1929, pp. 4713–4728, 2010.
- (8) Ebert, D. e Bhushan, B. "Durable Lotus-effect surfaces with hierarchical structure using micro- and nanosized hydrophobic silica particles", *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 368, no. 1, pp. 584–591, 2012.
- (9) Chang, B., Zhou, Q., Ras, R. H. A., Shah, A., Wu, Z. e Hjort, K. "Sliding droplets on hydrophilic/superhydrophobic patterned surfaces for liquid deposition", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 108, no. 15, p. 154102, 2016.
- (10) Varagnolo, S. et al., "Stick-Slip Sliding of Water Drops on Chemically Heterogeneous Surfaces", *Phys. Rev. Lett.*, vol. 111, no. 6, p. 066101, 2013.
- (11) Quan, Y. Y. e Zhang, L. Z. "Facile fabrication of superhydrophobic films with fractal structures using epoxy resin microspheres", *Appl. Surf. Sci.*, vol. 292, pp. 44–54, 2014.
- (12) Kumagal, S. e Yoshimura, N. "Impacts of thermal aging and water absorption on the surface electrical and chemical properties of cycloaliphatic epoxy resin", *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, vol. 7, no. 3, pp. 424–431, 2000.
- (13) Siderakis, K., Agoris, D. e Gubanski, S. "Salt Fog Evaluation of RTV SIR Coatings With Different Fillers", *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 23, no. 4, pp. 2270–2277, 2008.
- (14) Deng, H., Hackam, R. e Cherney, E. A. "Role of the size of particles of alumina trihydrate filler on the life of RTV silicone rubber coating", *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 10, no. 2, pp. 1012–1024, 1995.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

<p>ARTHUR DE CASTRO RIBEIRO</p> 	<p>Graduado em Engenharia Química pela UFF (2012) e Mestre em Ciência e Tecnologia de Polímeros pelo IMA/UFRJ (2018). Desde 2015, atua como Pesquisador no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), em que colabora com pesquisas desenvolvidas pelo Laboratório de Análises Químicas envolvendo polímeros e nanotecnologias. Participa, como membro, dos comitês de estudos B2 e D1 do Cigré-Brasil, além de atuar no WG B2.69 (<i>Coatings for Power Network Equipment</i>), como membro correspondente.</p>
--	--