

DESENVOLVIMENTO DE UM COMPÓSITO PARTICULADO PARA PROTEÇÃO CONTRA EROÇÃO EM SUPERFÍCIES METÁLICAS ¹

*Polyana Borges Dias²
Paula Ambrozini Sciamarella Sant'Anna³
Eduardo Atem de Carvalho⁴*

Resumo

O desenvolvimento de sistemas de proteção contra corrosão e erosão em dutos metálicos empregados na indústria do petróleo, levou a este estudo onde foram elaboradas diversas misturas a partir de uma tinta de base epóxi com partículas de porcelanato e alumina, variando-se os teores de carga. Foram realizadas medições em corpos de prova de aço AISI-1020. Paralelamente o mesmo foi feito com uma Proteção Pintável contra Abrasão (PPA), comercialmente oferecida ao mercado, a título de análise e comparação. Os lotes de amostras que tiveram um valor da espessura de camada mais próximo do valor de espessura da PPA, apresentaram um valor em torno de 23 e 27,7% menor do que o da PPA. São estes os lotes carregados com 50% em peso de porcelanato e alumina, respectivamente.

Palavras-chave: Compósito particulado; Erosão; Dutos.

DEVELOPMENT OF A PARTICULATE COMPOSITE FOR PROTECTION AGAINST EROSION IN METALIC SURFACES

Abstract

The development of protection systems against corrosion and erosion in metallic pipes used by the oil industry, several mixtures led to this study where several elaborated using as base an epoxy paint and porcelanate and alumina particles in various amounts. AISI-1020 steel specimens were used as measurement reference. Besides the same was done using an Anti-Erosion Paintable Protection (AEPP), commercially offered to the market, used here as benchmark. The sample batches that presented layer thickness closer to the AEPP one, presented values around 23 and 27,7% smaller than the AEPP. The batches are these loaded with 50% in weight of porcelanate and alumina respectively.

Key-words: Particulate composite; Erosion; Pipes.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Aluna de Doutorado – LAMAV/CCT/UENF (polyana@uenf.br)*

³ *Engenheira de Materiais. Petrobras UN-BC (paulasant_anna@yahoo.com.br)*

⁴ *Eng.º Mecânico, M.Sc., Ph.D., Professor Associado, LAMAV/CCT/UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goitacazes, RJ, 28013-600, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darci Ribeiro (UENF), Centro de Ciência e Tecnologia (CCT), Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV).*

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o petróleo cru, em particular, vem de uma variedade dos campos de óleo muito diferentes que produzem o petróleo predominantemente pesado,^[1] carregado com partículas, sendo de extrema importância a proteção efetiva dos dutos através dos quais este óleo é transportado. Sabe-se que só na Bacia de Campos, responsável por mais de 80% da produção nacional,^[2] há cerca de 3.900 quilômetros de dutos submarinos.^[3]

A presença de partículas, junto à velocidade com que este fluido viscoso é bombeado desde longas profundidades, acelera o processo de erosão do revestimento protetor anticorrosão removendo-o antes do tempo previsto em comparação a um fluido sem partículas, desta forma expondo o substrato à ação corrosiva do fluido e caracterizando o petróleo como um escoamento em regime turbulento e multifásico.

Com intuito de avaliar uma possível solução para preservar a integridade das tubulações e equipamentos empregados na indústria do petróleo, este trabalho tem como objetivo desenvolver um compósito a partir de uma tinta de base epóxi e diversas misturas tendo como carga inerte partículas de alumina e porcelanato. Para avaliar a influência da rugosidade superficial no fator de atrito e na perda de carga, corpos de prova de aço comum ao carbono foram revestidos com estas misturas e também com uma PPA para este fim, sobre as quais serão realizados testes e medições visando estudar o possível emprego destas misturas como sistemas de proteção contra corrosão e erosão em dutos metálicos empregados na indústria do petróleo. Desta forma, possibilitando o aumento da produtividade em um equipamento fundamental, diminuindo o risco de acidente, dano ou perda de produção, além da diminuição do custo.

Um compósito pode ser definido como qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades.^[4] De acordo com este princípio, propõe-se a utilização da ação combinada da resina epóxi com partículas cerâmicas a fim de que o revestimento obtido proteja o substrato contra a ação conjunta da corrosão-erosão.

Revestimentos orgânicos são uns dos mais comuns sistemas de proteção de metais contra corrosão. Em diversas aplicações eles devem mostrar, junto com as propriedades protetoras uma boa aparência.^[5] Deve-se enfatizar que danos mecânicos podem diminuir significativamente as propriedades de proteção, até mesmo no caso de um revestimento orgânico extremamente protetor.^[6] De acordo com Rossi et al (2004) para avaliar a resistência da abrasão de revestimentos que orgânicos o teste de Abrasão *Taber* é usado freqüentemente. Os danos mecânicos são determinados medindo a perda de massa sem considerar o formulário dos danos (morfologia e influência em desempenhos da proteção de corrosão).^[5]

A corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio,^[7] enquanto que a erosão corresponde a uma degradação da superfície sob efeito de impacto de partículas, gotículas, ou da ação de um escoamento turbulento. Em certas condições, em presença de eletrólitos, observa-se uma corrosão-erosão, que é uma degradação simultânea por erosão e por corrosão.^[8]

O regime turbulento é caracterizado por movimentos tridimensionais, com as partículas do fluido se movendo ao acaso em todas as direções.^[9] Neste regime o

coeficiente de atrito é dependente do número de Reynolds e da rugosidade relativa, e pode ser observado no diagrama de *Moody*.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

As resinas epóxi são um dos veículos mais importantes para a proteção efetiva da corrosão, sua importância se deve às suas ótimas propriedades de resistência química e aderência, além de possuírem boa resistência à abrasão e ao impacto. Elas podem ser empregadas como tinta de fundo, intermediária e de acabamento quando se deseja alta resistência a corrosão em meios agressivos.^[7]

O porcelanato é um tipo de cerâmica fabricada com tecnologia avançada. O que difere este produto da cerâmica comum, é o seu processo de queima e as matérias primas que compõem a sua massa, com baixíssima absorção de água (menor do que 0,05%), o que provoca uma baixíssima expansão por umidade.^[10] Ela é composta por argila, feldspatos e corantes, queimada a mais de 1250 °C. Ela possui alta resistência à abrasão, alta impermeabilidade e alta resistência mecânica em relação a variações térmicas e reagentes químicos.^[11]

O porcelanato foi adquirido pelo processo de produção via seca com formulação, processamento das massas, conformação e sinterização fundamentada na literatura. A matéria-prima argilosa é proveniente de Campos dos Goytacazes e Silva Jardim.

A alumina é um termo químico específico para definir o óxido de alumínio (Al_2O_3), e ele foi obtido na forma de finos.

Preparação e limpeza dos corpos de prova

De uma chapa de aço comum ao carbono tipo AISI 1020 foram cortadas e rebarbadas uma série de amostras retangulares com tamanho médio de 35 mm de lado, estas amostras tiveram a superfície submetida a faceamento, seguidas de lixamento e passagem de solvente para completa remoção de quaisquer impurezas que ainda pudessem estar presentes. As amostras foram numeradas e foi marcado um ponto na lateral adjacente à face das mesmas para especificar o lugar onde será medida a rugosidade superficial. Foi medida a rugosidade superficial das amostras nuas (sem tinta).

Foram utilizadas chapas planas ao invés de um tubo por se tratar de um estudo preliminar sobre a viabilidade do uso destes revestimentos em sistemas de proteção contra corrosão-erosão, não descartando a possibilidade dos mesmos testes e medições serem aplicados posteriormente a tubos metálicos para se confirmar os resultados.

Aplicação das tintas

As amostras foram divididas em lotes que receberam uma camada de revestimento de tinta epóxi somente, tinta epóxi carregada com partículas de alumina (10, 20, 30, 40 e 50% em peso), tinta epóxi carregada com partículas de porcelanato (10, 20, 30, 40 e 50% em peso), e uma PPA que servirá como parâmetro comparativo.

Acerca da PPA deve ser dito que este é um revestimento importado utilizado atualmente no mercado para os mesmos fins deste estudo (proteção contra corrosão-abrasão), sendo constituída por resina epóxi, agente de cura poliamínico,

pigmentos inertes especiais, óxido de alumínio, isento de solventes orgânicos e de outros produtos voláteis.

A preparação da tinta epóxi comum, assim como da tinta epóxi com cargas de alumina e porcelanato, e da PPA foram feitas na proporção de $\frac{3}{4}$ de resina (Componente A) para $\frac{1}{4}$ de endurecedor (Componente B).

Após o tempo de cura, para ambas de sete dias, foi medida a rugosidade superficial e a espessura de camada de cada amostra.

A proporção utilizada na preparação de ambas as tintas, assim como o tempo de cura foi especificado pelo fabricante de cada tinta.

2.2 Métodos

Medida da rugosidade e espessura de camada

A medida da rugosidade superficial foi feita em microns (μm), utilizando um rugosímetro de marca Mitutoyo, modelo SJ-201P em uma mesa de desempenho. Do manual,^[12] temos que a Rugosidade Superficial é obtida a partir da expressão:

$$Ra = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Y_i| \quad (1)$$

R_a é o somatório dos valores absolutos dos perfis de rugosidade (Y_i) obtido a partir de uma linha média, dividida pelo número de picos medidos (N).

A espessura de camada foi medida em microns (μm), em vários pontos aleatórios de cada amostra com um medidor de marca Mitutoyo, modelo Digi-Derm, com resolução de 1,0 μm .

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após serem feitas as medidas das rugosidades antes e depois das amostras serem revestidas, foram calculadas as médias da rugosidade superficial de cada lote de amostras antes e depois de elas serem submetidas ao revestimento.

Tabela 1 – Comparação da Rugosidade Superficial antes e depois das amostras serem revestidas.

Revestimento	Rugosidade média da amostra nua (μm)	Rugosidade média após Revestimento (μm)
PPA	1.42	0.62
Epóxi pura	1.67	0.67
Epóxi + 10% Porcelanato	1.34	1.93
Epóxi + 20% Porcelanato	1.38	3.12
Epóxi + 30% Porcelanato	1.38	4.04
Epóxi + 40% Porcelanato	1.06	5.14
Epóxi + 50% Porcelanato	1.27	4.55
Epóxi + 10% Alumina	1.66	2.77
Epóxi + 20% Alumina	1.87	2.64
Epóxi + 30% Alumina	1.62	1.87
Epóxi + 40% Alumina	1.66	2.68
Epóxi + 50% Alumina	2.04	3.69

A partir daí foi feito um gráfico demonstrando como varia a rugosidade das amostras revestidas com tinta epóxi carregadas com alumina e porcelanato. Isso foi

feito calculando-se uma Rugosidade Adimensional, onde ela representa a razão entre o valor da rugosidade medida após o revestimento e o valor da rugosidade medida antes do revestimento (valor de referência).

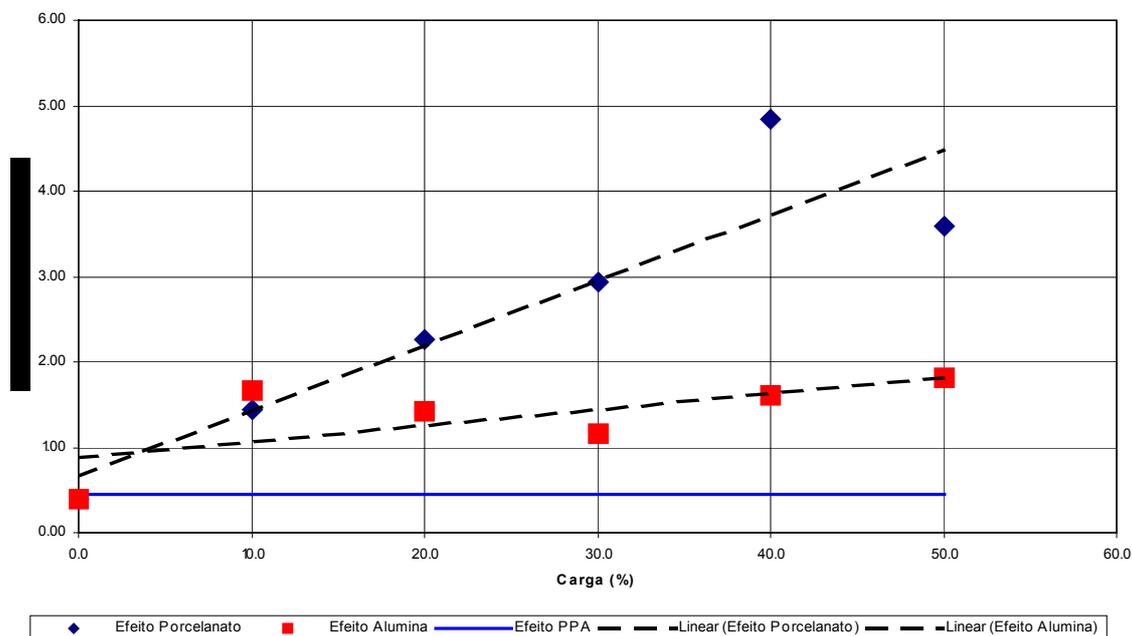


Figura 1 – Comparação da Rugosidade Adimensional com o aumento de carga.

Observou-se na Tabela 1 que apenas as amostras revestidas com a PPA e a tinta epóxi apresentaram uma diminuição da rugosidade após o revestimento, enquanto as amostras revestidas com tinta epóxi carregadas com alumina e porcelanato mostraram um aumento significativo na rugosidade, além disso, pôde-se observar que a rugosidade superficial das amostras aumenta com o aumento de carga. Partindo desses resultados, foi calculado para cada lote o valor de sua rugosidade relativa média (definida anteriormente), para avaliar a influência deste aumento de rugosidade superficial no coeficiente de atrito.

Tabela 2 – Valor da Rugosidade Relativa Média de cada lote de amostras.

Revestimento	Rugosidade Relativa Média (R_r)
PPA	$5,06 \cdot 10^{-7}$
Epóxi	$4,59 \cdot 10^{-7}$
Epóxi + 10% Porcelanato	$1,58 \cdot 10^{-6}$
Epóxi + 20% Porcelanato	$2,64 \cdot 10^{-6}$
Epóxi + 30% Porcelanato	$3,31 \cdot 10^{-6}$
Epóxi + 40% Porcelanato	$4,22 \cdot 10^{-6}$
Epóxi + 50% Porcelanato	$3,73 \cdot 10^{-6}$
Epóxi + 10% Alumina	$2,28 \cdot 10^{-6}$
Epóxi + 20% Alumina	$2,17 \cdot 10^{-6}$
Epóxi + 30% Alumina	$1,53 \cdot 10^{-6}$
Epóxi + 40% Alumina	$2,20 \cdot 10^{-6}$
Epóxi + 50% Alumina	$3,03 \cdot 10^{-6}$

Com estes valores e com número de Reynolds, ambos parâmetros foram empregados no diagrama de *Moody*.^[13] Podê-se então observar que apesar da rugosidade superficial aumentar após o revestimento com tinta epóxi carregado com

partículas de alumina e porcelanato, este aumento não foi capaz de alterar o fator de atrito, o que é favorável, pois manteve-se o comportamento como um tubo liso, onde se tem o menor coeficiente de atrito possível.

Também foi observado que as amostras carregadas com partículas de porcelanato experimentaram um aumento mais significativo na rugosidade. Isso pode ser devido ao fato de que os grãos de porcelanato eram visivelmente maiores do que os grãos da alumina.

Após ter sido feita a medição de espessura para cada amostra, obteve-se a média de cada lote.

Tabela 3 – Medida da Espessura de Camada Média após o revestimento

Tipo de Revestimento	Espessura Média 1ª camada (μm)
PPA	339
Epóxi	113
Epóxi + 10% Porcelanato	146
Epóxi + 20% Porcelanato	197
Epóxi + 30% Porcelanato	184
Epóxi + 40% Porcelanato	234
Epóxi + 50% Porcelanato	261
Epóxi + 10% Alumina	127
Epóxi + 20% Alumina	126
Epóxi + 30% Alumina	120
Epóxi + 40% Alumina	157
Epóxi + 50% Alumina	245

Podê-se observar que a PPA obteve a camada mais espessa, como mostrado na Tabela 3, além disso, os revestimentos que mais se aproximaram dela foram os que tinham 50% em peso de carga de porcelanato e alumina, mesmo assim, eles apresentaram, comparando-se com a PPA, uma redução de espessura em torno de 23%, para o lote carregado com 50% em peso de porcelanato e cerca de 27,7%, para o lote carregado com 50% em peso de alumina.

4 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Conclui-se que o efeito do aumento de rugosidade superficial ocasionado pelas partículas de alumina e porcelanato, pode proporcionar, pela sua natureza de alta dureza, proteção contra a erosão imposta por um regime de escoamento turbulento sem aumentar o coeficiente de atrito. Logo, com um coeficiente de atrito mínimo, tem-se que a perda de carga também será a mínima possível, o que é desejável num sistema de bombeamento de óleo.

Como a espessura de camada média de cada lote não alcançou a espessura de camada do revestimento comercial, para conseguir uma espessura de camada aproximada àquela medida na PPA, seria necessário aumentar o teor de carga de alumina e porcelanato na tinta epóxi, isso seria perfeitamente possível visto que o revestimento comercial não especifica o teor de cargas utilizado em sua formulação, sendo imprescindível à realização posterior de um teste de abrasão para avaliar o teor de carga ideal.

Devido aos grãos de porcelanato serem visivelmente maiores que os grãos de alumina, sugere-se um teste de granulometria para saber-se exatamente o tamanho de partícula e a repetição das medições para os dois tipos de carga com a

mesma granulometria para avaliar-se realmente a influência do tamanho de grão no resultado.

Agradecimentos

A Faperj pelo apoio através do Programa Primeiros Projetos do Edital MCT/CNPq/CT INFRA/FAPERJ nº 05/2003 e a Petrobrás UN – BC através do Projeto Argus.

REFERÊNCIAS

- 1 Falla, F.S.; Larini, C. ; Le Roux , G.A.G.; Quina, F.H.; Moro, L.F.L.; Nascimento, C.A.O. **Caracterização do petróleo cru por NIR**. Rio de Janeiro, RJ, p.1, nov.2005.
- 2 O Perfil da Bacia de Campos. Disponível em: <http://www.clickmacae.com.br/?sec=359&pag=pagina&cod=283>. Acesso em 18 dez.2005.
- 3 Bacia de Campos - A maior reserva de petróleo do Brasil. Disponível em: http://www2.petrobras.com.br/portal/frame.asp?pagina=/Petrobrás/português/plataforma/pla_bacia_campos.htm. Acesso em 02 fev. 2006.
- 4 Callister, Jr.; W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Ed. 5ª, 2000, Rio de Janeiro/RJ. p.358.
- 5 Rossi, S.; Deflorian, F.; Fontanari, L.; Cambuzzi, A.; Bonora, P. L. **Medidas eletroquímicas para avaliar os danos devido à abrasão em sistema de proteção orgânica**. Universidade de Trento-Itália, p.1-2, set. 2004.
- 6 Cambuzzi, A.; Rossi S.; Deflorian, F. **Redução das propriedades protetoras dos revestimentos orgânicos produzidas por partículas abrasivas**. Universidade de Trento-Itália, p.1-5, nov. 2004.
- 7 Gentil, V. **Corrosão**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. cap.1, p.1
- 8 Gemelli, E. **Corrosão de Materiais Metálicos e sua Caracterização**. Rio de Janeiro: LTC, 2001 cap. 6, p.84-86.
- 9 Giles, R.V.; Evet, J.B.; Liu C. **Mecânica dos Fluidos e Hidráulica**. 2ª ed. São Paulo: Makron Books, 1998. cap.8, p. 174-180.
- 10 Voittle, G.F.D.N. **Aplicações do Porcelanato**. Universidade Federal do Paraná – 2005. p. 1 – 4.
- 11 A Soberania do Porcelanato. Disponível em http://www.revestir.com.br/saiba_mais/saiba_mais_Abr_03/soberania/body_soberania.html. Acessado em: 15 fev. 2006.
- 12 SJ – 201P; Surface Roughness Tester; User' s Manual. Mitutoyo Corporation. Japão. p.10 - 19
- 13 Fox, R. W.; McDonald; A.T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. cap.8, p. 227-241.