

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

REAValiação DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DO NÚMERO DE ACIDEZ TOTAL NA CORROSÃO NAFTÊNICA ATRAVÉS DA TÉCNICA DE RUÍDO ELETROQUÍMICO

AUTORES:

Ana Carolina Tedeschi Gomes Abrantes¹, Vitor Rougemont², Alysson Nunes Diógenes³, Haroldo de Araújo Ponte²

INSTITUIÇÃO:

Bolsista PRH-24 Petrobrás, anaabrantes@ymail.com, ¹PIPE, UFPR, ²Departamento de Engenharia Química, UFPR, ³Universidade Positivo

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 8º PDPETRO.

REAValiação DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DO NÚMERO DE ACIDEZ TOTAL NA CORROSÃO NAFTÊNICA ATRAVÉS DA TÉCNICA DE RUÍDO ELETROQUÍMICO

Abstract

The control of corrosion by naphthenic acids is one of the biggest challenges of the refineries that process viscous oil. This corrosion process, which mainly affects the circuits of elevated temperatures, can cause rapid mass loss and hardware failures. Its monitoring enables the evaluation of the effectiveness of a corrosion control program and the establishment of operational limits. Among the used techniques there is the monitoring of the composition of the streams of crude oil and the measurement of corrosion rate (mass loss coupons, electrical resistance, ultrasound, etc.). Many researches have been developed aiming both information on critical operating parameters and new methods of monitoring, but there are few options that provide online predictive and proactive control of the corrosive process. This research proposes the use of the use of Electrochemical Noise technique as an evaluation tool control parameters and monitoring corrosion by naphthenic acids in critical process conditions. ASTM A335 P5 material was evaluated in oily media with total acid numbers (NAT) of 2.5, 8.0 and 28.0 mgKOH/g at temperatures between 100 °C to 250 °C. It was observed that, under the studied conditions, the temperature is the predominant variable, inducing increased Reaction Charge with its increase. Moreover, the evaluation of Noise Resistance and Frequency of Events demonstrated that there is a predominance of general corrosion in milder temperatures, with an incidence of localized corrosion above 200 °C. Corrosion rates calculated by reaction charge presented lower than 0,3 $\mu\text{m}/\text{year}$ for the studied conditions. It was also evaluated AISI 316 stainless steel in an oily medium with acidity of 8.0 mgKOH/g, with no difference in the corrosion process when compared with the results obtained for ASTM A335 P5.

Introdução

Atualmente, uma quantidade significativa de óleo pesado de baixo °API (10-26 °API[1]) tem sido processada nas refinarias brasileiras devido às reservas existentes deste tipo de petróleo em nosso território e em outras regiões do mundo. A proporção da produção mundial deste tipo de óleo em relação ao total aumentou de 11% em 1995 para 14% em 2005 e tem crescido aceleradamente nos últimos anos.[1] Esse óleo é conhecido como oportuno devido ao seu baixo valor de mercado, valendo em torno de 80% do valor do petróleo convencional[1] (com descontos superiores a U\$10/bbl[2]). Essa desvalorização se deve a sua alta viscosidade e alta densidade (usualmente > 930 kg/m³[3;1]), além da presença de contaminantes, como metais, enxofre e ácidos naftênicos.

Sabe-se que as fontes de petróleo cru na América do Sul, incluindo o Brasil, estão entre as mais ácidas do mundo[3] e que seu refino tem acarretado danos severos aos equipamentos. Isso se deve principalmente ao fato de que grande parte das refinarias foi projetada e construída para o processamento de petróleos com baixos níveis de ácidos naftênicos e que atualmente processa o petróleo oportuno devido a sua viabilidade econômica.

O controle da corrosão por ácidos naftênicos é um dos maiores desafios das refinarias que processam petróleos oportunos. Este processo corrosivo, que afeta principalmente os circuitos de temperaturas elevadas nas refinarias de petróleo[4], pode acarretar em rápida perda de massa e falhas nos equipamentos.[5] A unidade mais vulnerável à corrosão naftênica é a de destilação a vácuo, com o

gasóleo pesado de vácuo tendendo a apresentar maior número de acidez total. Outros pontos críticos são tubos de fornos, curvas, linhas de transferência, casco e pratos da coluna de destilação atmosférica.[6;7] Observa-se perda de espessura em pratos e downcomers, onde ocorre a condensação de elevadas concentrações de ácido provenientes do vapor, e nas paredes das colunas onde o condensado escorre. Ataque localizado também é observado, principalmente nas regiões onde há formação deficiente do filme de sulfeto de ferro e nos locais que apresentam altas velocidades, resultando no processo conhecido como corrosão-erosão.[4]

O desempenho das unidades operacionais e a confiabilidade do sistema também podem ser reduzidos se estratégias de controle apropriadas não forem implementadas[5]. Dessa forma, técnicas de avaliação, mitigação e monitoramento devem ser utilizadas de forma a controlar o processo corrosivo causado pelos ácidos naftênicos.

Embora inúmeros trabalhos estejam sendo desenvolvidos para melhor compreensão da corrosão por ácidos naftênicos, a sua natureza e os fatores que a controlam ainda não foram entendidos por completo. Isso ocorre devido à complexidade e a inter-relação dos fatores que afetam os processos de corrosão e erosão-corrosão, como o número de acidez total (NAT), a atividade dos ácidos naftênicos e a sua distribuição de ponto de ebulição e de decomposição. Os parâmetros de controle do processo, como taxa de alimentação e temperatura de operação, além da susceptibilidade do metal à corrosão, também dificultam o esclarecimento de como a corrosão naftênica atua para os diferentes tipos de óleos.[8]

A avaliação do processo corrosivo e seu monitoramento em meios de elevada resistividade, como o petróleo dessalgado (10^{13-16} ohm-cm[19]), tem sido realizada através de cupons de perda de massa, análise da solução, detecção de corrente galvânica, medição de resistência elétrica e medições eletroquímicas.[12] Na prática, os testes eletroquímicos de corrosão em meios de alta resistividade apresentam alguns desafios. O primeiro está relacionado às dificuldades com a instalação e a remoção de sensores em áreas de difícil acesso, assim como sua configuração e manutenção. Além disso, os eletrodos auxiliar e de referência mantêm uma queda de potencial significativa devido à resistência ôhmica da solução e a distribuição de corrente de polarização não uniforme pode causar incertezas nos dados de análise. O último desafio está relacionado à limitação dos métodos eletroquímicos em simular e medir a corrosão localizada, comumente encontrada em sistema de alta resistividade.[12]

Em relação à avaliação da corrosão por ácidos naftênicos, que ocorre predominantemente em meio oleoso de alta resistividade ôhmica, diversas metodologias de investigação têm sido apresentadas, principalmente baseando-se em testes de laboratório com autoclave ou loops e em medidas de perda de massa.[10] Este trabalho propõe a aplicação da técnica Ruído Eletroquímico para monitoramento da corrosão naftênica como uma alternativa aos processos de avaliação e monitoramento do processo corrosivo em tempo real. Esta técnica detecta as flutuações espontâneas na corrente e no potencial resultantes das reações de transferência de carga.

O método convencional da técnica de Ruído Eletroquímico utiliza três eletrodos expostos em um mesmo meio corrosivo. Dois dos eletrodos são os eletrodos de trabalho, idênticos, os quais permanecem em um mesmo potencial de circuito aberto. Destes obtém-se o ruído da corrente eletroquímica através de um amperímetro de resistência zero que permite que uma medição seja realizada sem perturbações externas, simulando as condições de um ambiente real. O ruído do potencial eletroquímico é medido como a flutuação do potencial do par de eletrodos de trabalho em relação a um terceiro eletrodo, o de referência, o qual apresenta baixo ruído, porém podendo ser idêntico aos dois primeiros em aplicações práticas. Uma vantagem desta técnica é que os dados de ruído de potencial e de corrente podem ser coletados simultaneamente, fornecendo mais informação sobre o processo analisado.[12;13;15]

Após a obtenção dos dados de ruído de corrente e de potencial, os métodos de análise ser divididos em função da dependência da sequência de aquisição e gravação dos sinais. Entre os métodos que independem da sequência de leitura dos dados estão os cálculos dos momentos estatísticos, como a média (primeiro momento), a variância (segundo momento central) e o desvio padrão. O desvio padrão (raiz quadrada da variância) é o parâmetro mais utilizado para descrever a amplitude do sinal de ruído.[16] A partir dele é possível obter a Resistência de Ruído (R_n) a partir das flutuações de potencial e corrente, sendo definida como a razão dos desvios padrões das flutuações de potencial (σ_E) e de corrente (σ_I).[13;16]

Al-Mazeedi e Cottis[15] consideraram que a corrente tem o formato de uma série de pacotes de carga estatisticamente independentes, onde cada pacote tem uma curta duração. Nestas condições, três parâmetros podem ser obtidos: a corrente de corrosão média, I_{corr} ; a carga média de cada evento, q ; e a Frequência de Eventos, f . Este resulta em um gráfico (Figura 1), onde: a) elevada frequência e alta resistência indicam corrosão generalizada com formação de filme protetor; b) elevada frequência e baixa resistência indicam corrosão generalizada sem formação de filme protetor; c) baixa frequência indica corrosão localizada.

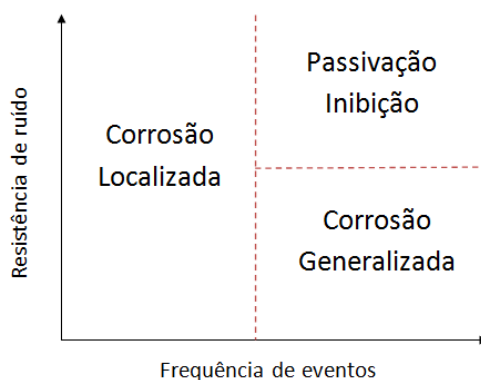


Figura 1: Representação gráfica da metodologia de Al-Mazeedi e Cottis[15].

Paralelamente, o ruído de corrente também foi analisado através da Carga de Reação (Q em C) envolvida no processo corrosivo. A Carga de Reação foi obtida através da integração da curva do módulo do ruído de corrente (I) pelo tempo (t), representando a Carga de Reação referente à flutuação de corrente entre os dois eletrodos de trabalho. As taxas de corrosão foram calculadas utilizando-se a Lei de Faraday.

Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho foram escolhidas três variáveis de estudo (concentração de ácidos naftênicos, temperatura e material dos eletrodos).

Avaliou-se o processo corrosivo de três soluções de óleo mineral com ácidos naftênicos, semelhantes ao petróleo processado e aos seus derivados de maior potencial corrosivo: NAT $\approx 2,5$ mgKOH/g, simulando petróleo estabilizado; NAT $\approx 8,0$ mgKOH/g, simulando derivados com concentração de ácidos naftênicos; NAT $\approx 28,0$ mgKOH/g, simulando regiões de condensação em torres de destilação. Os meios reacionais foram obtidos adicionando-se ácidos naftênicos (mistura comercial de ácidos carboxílicos alquil-ciclopentanos) ao óleo mineral (vaselina líquida), resultando em soluções com número de acidez total (NAT) de 2,5, 8,0 e 28,0 mgKOH/g. O NAT dos meios reacionais foram confirmados utilizando-se a técnica ASTM D 974[17] com variação inferior a 0,5 mgKOH/g. As soluções foram previamente desaeradas com nitrogênio por 1 hora e aquecidas em uma taxa aproximada de 75 °C/hora em um reator eletroquímico confeccionado em alumínio.

As aquisições de dados foram realizadas em temperaturas de 100 °C, 150 °C, 200 °C e 250 °C, com o objetivo de abranger o início da faixa crítica para a corrosão naftênica e de operação dos equipamentos que apresentam a corrosão naftênica[6;9;11]. O óleo mineral puro também foi analisado nestas temperaturas com o intuito de obter a referência de corrosão nula por ácidos naftênicos nas condições estudadas.

O principal material avaliado como eletrodo de trabalho foi o aço de baixa liga ASTM A335 P5, o qual está presente na maioria das refinarias, apresentando taxas de corrosão por ácidos naftênicos significativas. Como comparativo, analisou-se também o aço AISI 316 como eletrodo de trabalho em meio com NAT = 8,0 mgKOH/g, o qual é um possível material de substituição ao ASTM A335 P5. Como referência utilizou-se o AISI 316 por possuir maior resistência à corrosão naftênica.

Para a aquisição dos dados de Ruído Eletroquímico foram empregados três eletrodos cilíndricos e maciços, sendo dois eletrodos de trabalho (ASTM A335 P5 ou AISI 316) e um de referência (AISI 316). Os eletrodos foram polidos com lixa de grão 600 MESH e desengraxados com solução alcoólica de Hidróxido de Potássio (KOH). Após estes procedimentos, os eletrodos foram lavados com água destilada, secos e conectados à sonda de corrosão.

O registro dos dados de ruídos eletroquímico foi realizado através do potenciostato/galvanostato ZRA Reference 600 da Gamry Instruments. A frequência de operação utilizada foi de 500 Hz e a de aquisição dos dados foi de 10 Hz. Os dados de ruído de corrente e de potencial foram tratados conforme metodologia proposta por Cottis[15] e pelo cálculo da Carga de Reação.

Resultados e Discussão

Inicialmente, foi avaliado o comportamento do material ASTM A335 P5 em óleo mineral puro com o objetivo de obter um parâmetro de comparação sem acidez naftênica, sendo chamado de “branco” (NAT = 0,0 mgKOH/g). Após obtenção dos valores de ruído de corrente e de potencial, calculou-se a Resistência de Ruído e a Frequência de Eventos, gerando o gráfico da Figura 2.

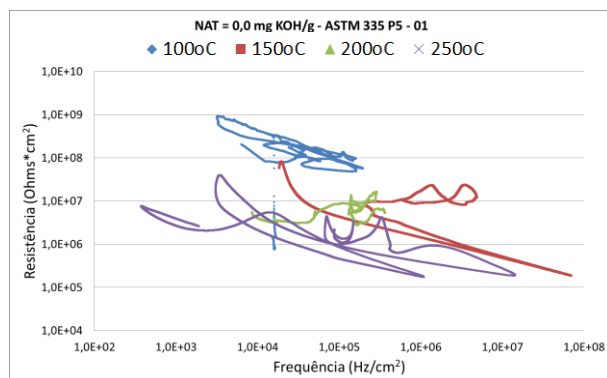


Figura 2: Resistência de Ruído versus Frequência de Eventos para ASTM A335 P5 em óleo mineral.

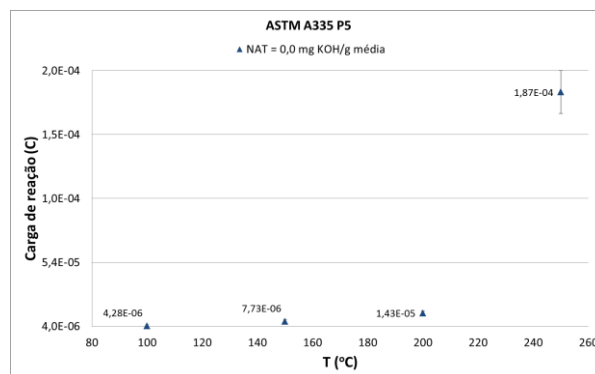


Figura 3: Carga de Reação para ASTM A335 P5 em óleo mineral.

Conforme interpretação proposta por Al-Mazeedi e Cottis[15], verifica-se que as nuvens de pontos apresentaram um deslocamento discreto para valores de maior Frequência de Eventos ao se aumentar a temperatura do meio corrosivo de 100 °C para 150 °C, indicando maior tendência à corrosão generalizada. Para temperaturas superiores, o deslocamento, ainda discreto, ocorreu para a região de menor frequência, indicando maior possibilidade de ocorrência de corrosão localizada. Porém, como há a sobreposição das nuvens de pontos em todas as condições de temperatura em relação à Frequência de Eventos, pode-se afirmar que o tipo de corrosão é praticamente o mesmo para todas elas, podendo-se considerar como sendo generalizada para este caso.

Ao se avaliar a Resistência de Ruído, o experimento indicou redução da resistência com o aumento da temperatura, demonstrando transição de uma região de passivação para a de corrosão generalizada. Durante o processo de tratamento da superfície dos eletrodos de trabalho e inserção no meio corrosivo, uma camada de óxido pode ter se formado na superfície dos eletrodos devido à exposição ao oxigênio do ar. Esta película foi então sendo destruída durante o experimento, dando início ao processo de corrosão generalizada sem formação de película protetora, por se tratar de um meio com baixa concentração de oxigênio.

Na Figura 3 estão representadas as Cargas de Reação para o aço ASTM A335 P5 em óleo mineral. É possível observar que há um aumento gradual da Carga de Reação com a elevação da temperatura, sendo mais expressiva para a temperatura de 250 °C. Isto indica maior intensidade na troca de elétrons entre os eletrodos de trabalho e, portanto, de possíveis reações de corrosão. Este comportamento não era esperado, a princípio, por se considerar o óleo mineral um eletrólito inerte no sistema. Porém, os óleos minerais sofrem degradação quando expostos ao calor pelo mecanismo de peroxidação, formando, entre outros compostos, ácidos que colaboram com o processo corrosivo.[18]

Considerando a interpretação dos dados para a avaliação do aço ASTM A335 P5 em meios com NATs iguais a 2,5 e 8,0 mgKOH/g, observou-se que os resultados a partir do tratamento proposto por Al-Mazeedi e Cottis[15] foram semelhantes. O aumento da temperatura deslocou as nuvens de pontos, no gráfico representado na Figura 4 (exemplo), de uma região de maior Resistência de Ruído e menor Frequência de Eventos para outra de menor resistência e maior frequência. Este comportamento demonstra que a 100 °C o material ainda se encontra com baixa atividade corrosiva em sua superfície, possivelmente protegido por uma película protetora de óxido formada durante a preparação do eletrodo. Além disso, os ácidos naftênicos não são tão agressivos nesta temperatura.

Com o aumento da temperatura a 150 °C, o processo corrosivo se torna mais evidente e de forma generalizada, caracterizado pelo aumento da Frequência de Eventos e pela sutil diminuição da Resistência de Ruído. Este desempenho está de acordo com a literatura e com as observações práticas para o material estudado em meio sem fluxo, as quais descrevem o aumento da taxa de corrosão com a elevação da temperatura e aspecto uniforme. Entre 200 °C e 250 °C, os pontos passaram a abranger tanto a região de corrosão generalizada quanto a de corrosão localizada, deslocando-se para a zona de menor frequência. Isso indica uma possível tendência à formação de pites e alvéolos nesta condição, possivelmente pela presença dos ácidos.

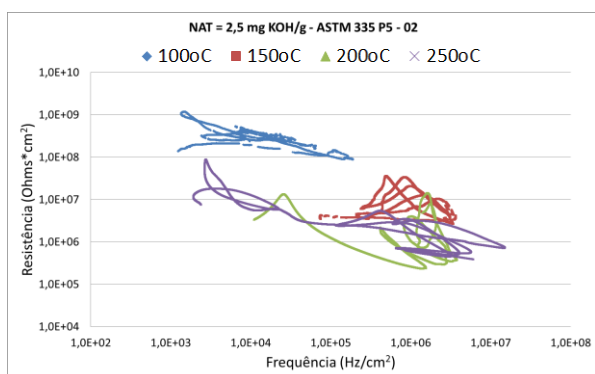


Figura 4: Resistência de Ruído versus Frequência de Eventos para ASTM A335 P5 em solução com NAT = 2,5 mgKOH/g.

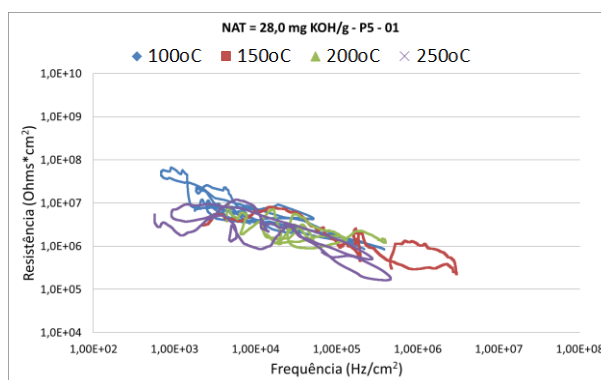


Figura 5: Resistência de Ruído versus Frequência de Eventos para ASTM A335 P5 em solução com NAT = 28,0 mgKOH/g.

Para o eletrólito com NAT = 28,0 mgKOH/g, o cálculo de Resistência de Ruído e da Frequência de Eventos (Figura 5) resultou em nuvens de pontos que ficaram sobrepostas para todas as temperaturas analisadas, demonstrando que o processo corrosivo não é modificado nesta situação. Comparando este

resultado com os obtidos para eletrólitos menos ácidos, observa-se que os pontos estão localizados em uma região de menor frequência, ou seja, de corrosão localizada.

A avaliação pela Resistência de Ruído versus Frequência de Eventos apresentou resultados úteis para avaliação do tipo de corrosão desenvolvido no sistema estudado, porém não foi possível avaliar a intensidade deste processo corrosivo. Para isto, calculou-se a Carga de Reação envolvida em cada temperatura analisada a partir das curvas de ruído de corrente dos experimentos descritos e os valores obtidos estão representados na Figura 6. Para as temperaturas de 100 °C e 150 °C, as Cargas de Reação obtidas ficaram com valores na ordem de 10^{-5} ou menores, próximos aos valores obtidos para os experimentos realizados com óleo mineral puro, demonstrando que a atividade corrosiva devido à presença de ácidos naftênicos, nestas temperaturas, não é significativa nestas condições.

Para as aquisições realizadas em 200 °C, é possível verificar que o valor de Carga de Reação obtido para o mineral puro é praticamente duas ordens de grandeza inferior aos valores de carga para os meios ácidos, o que demonstra a detecção da atividade corrosiva dos ácidos naftênicos. Porém, não é possível diferenciar a intensidade de corrosão entre as diferentes concentrações de ácido devido ao desvio padrão encontrado entre os experimentos, principalmente nas temperaturas mais elevadas. O mesmo comportamento é observado para 250 °C, onde os eletrólitos de acidez igual ou inferior a 8,0 mgKOH/g apresentaram Cargas de Reação semelhantes. Nestes casos, acredita-se que os agentes corrosivos predominantes são os possíveis compostos ácidos formados pela degradação térmica do óleo mineral. Diferencia-se somente o eletrólito com NAT = 28,0 mgKOH/g, o qual apresentou maior Carga de Reação nesta temperatura, evidenciando o efeito corrosivo dos ácidos naftênicos.

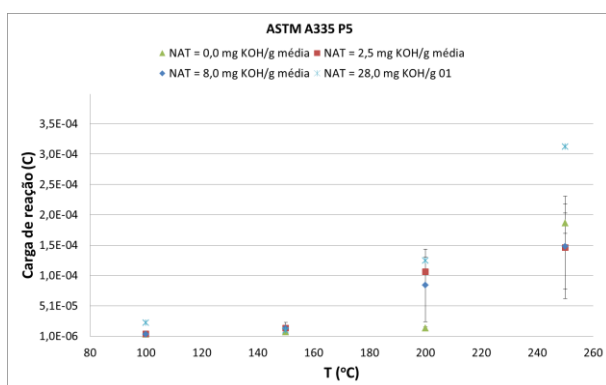


Figura 6: Carga de Reação para ASTM A335 P5 para as temperaturas e os NATs estudados.

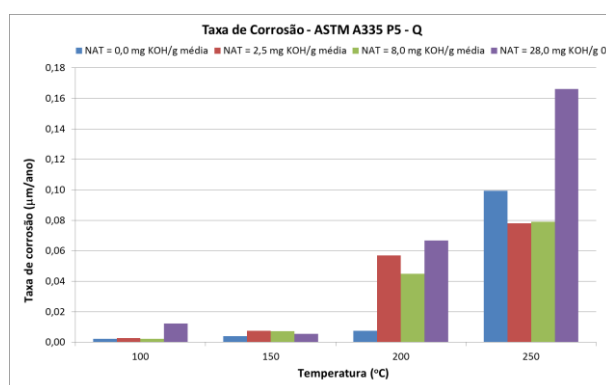


Figura 7: Taxa de corrosão do aço ASTM A335 P5 calculada a partir da Carga de Reação.

Em relação ao estudo do material AISI 316 em meio ácido de NAT = 8,0 mgKOH/g, o tratamento dos dados considerando o cálculo da Resistência de Ruído e da Frequência de Eventos demonstrou que as nuvens de pontos seguem as mesmas tendências observadas para o ASTM A335 P5, levando a conclusão de que não há diferenciação entre os tipos de corrosão presentes nos dois materiais. Há uma tendência à corrosão generalizada no aumento da temperatura até 150 °C com indícios de corrosão localizada para temperaturas acima de 200 °C. Ao se calcular as Cargas de Reação para as duas condições, verificou-se também que a intensidade das cargas é semelhante para os dois materiais em todos os patamares de temperatura, o que sugere taxas de corrosão semelhantes para ambos nas condições estudadas. Embora fosse esperada menor susceptibilidade a corrosão do aço AISI 316, a manutenção de baixos teores de O₂ no meio corrosivo (< 2%) pode ter prejudicado o desempenho deste material.

Visando a quantificação da agressividade corrosiva, calculou-se a taxa de corrosão a partir da Carga de Reação (Figura 7), o que apresentou o aumento da taxa com a elevação da temperatura, evidenciando a importância desta variável no processo corrosivo. Em relação à acidez, a taxa de corrosão para o meio

neutro permaneceu baixa até 200 °C, elevando-se a 250 °C, provavelmente devido a degradação do óleo mineral e a consequente geração de compostos ácidos no meio. Os meios com NAT de 2,5 mgKOH/g e 8,0 mgKOH/g apresentaram taxas de corrosão semelhantes entre si em todas as temperaturas avaliadas, o que sugere que a variação da acidez nesta faixa não é uma variável predominante no processo corrosivo considerando as condições estudadas, principalmente devido a ausência de agitação do meio. Para o meio com NAT = 28,0 mgKOH/g, a taxa de corrosão manteve-se semelhante às demais condições com temperatura inferior ou igual 150 °C, o que demonstra que a corrosão não é significativa até este patamar, independentemente da acidez do meio corrosivo, para as condições aplicadas. Em contrapartida, a taxa de corrosão para a solução mais ácida foi mais elevada tanto a 200 °C quanto a 250 °C, indicando que nesta condição a concentração de ácidos naftênicos se tornou uma variável significativa para o processo corrosivo, além da temperatura.

Conclusões

A técnica de Ruído Eletroquímico tem se mostrado sensível na avaliação da influência de variáveis de controle na corrosão naftênica em meios oleosos, principalmente da temperatura, considerando as condições estudadas.

A metodologia proposta por Cottis[15] para análise dos dados de Ruído Eletroquímico, no sistema estudado, fornece informações sobre o tipo de corrosão (localizado ou generalizado), porém não é possível quantificar a agressividade do processo corrosivo. Em praticamente todas as condições estudadas, temperaturas abaixo de 150 °C induzem uma corrosão generalizada nos eletrodos de trabalho, enquanto que acima de 200 °C o processo corrosivo localizado já se manifesta de forma significativa.

A metodologia proposta de cálculo da Carga de Reação demonstrou que é possível correlacionar o aumento da intensidade de corrosão, proporcional a taxa de corrosão, com a temperatura. Abaixo de 150 °C não há corrosão significativa no sistema estudados, mas identifica-se a atuação dos ácidos naftênicos em temperaturas acima de 200 °C. Porém, não se obteve o mesmo êxito ao se analisar a influência das diferentes concentrações de ácidos naftênicos na corrosão naftênica devido o desvio padrão obtido nos experimentos. Considerando-se os erros, todas as concentrações podem induzir ao mesmo valor de Carga de Reação nas condições estudadas, com exceção para o meio com NAT = 28,0 mgKOH/g, o qual apresentou Carga de Reação acima das demais condições a 250 °C.

Aa taxas de corrosão calculadas a partir da Carga de Reação demonstram um aumento da taxa de corrosão tanto com a elevação da temperatura quanto com a da acidez.

Ao comparar os resultados obtidos para os materiais ASTM A335 P5 e AISI 316, verificou-se o mesmo comportamento corrosivo para ambos, sugerindo que não houve manutenção do óxido de cromo sobre a superfície do aço inoxidável, provavelmente devido à baixa concentração de O₂ no meio corrosivo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Recursos Humanos PRH-24 e à Petrobras pela concessão da bolsa de doutorado e da taxa de bancada, e à UFPR pelo espaço físico e recursos utilizados.

Referências Bibliográficas

1. QING, W. Processing high TAN crude: part I. Petroleum Technology Quarterly, Q4, p. 35-43, 2010.

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

2. LU, T. Challenges in Opportunity Crude Processing. Nalco. International Conference on "Refining Challenges & Way Forward", April 16-17, 2012, New Delhi.
3. GRUBER, L. D. A. et al. Ácidos naftênicos no petróleo. Química Nova, Vol. 35, No. 7, 1423-1433, 2012.
4. SLAVCHEVA, E. et al. Review of naphthenic acid corrosion in oil refining. British Corrosion Journal, v. 34, n. 2, p. 125-131, 1999.
5. RECHTIEN, R. Naphthenic acid corrosion control strategies. In: AIChE – Chicago Symposium, 2006, Chicago. Resumo eletrônico. Disponível em <http://www.aiche-chicago.org/symposium06/abstract.htm>. Acesso em 23/01/2011.
6. ALVISI, P. P.; LINS, V. F. C. An overview of naphthenic acid corrosion in a vacuum distillation plant. Engineering Failure Analysis, n. 18, p. 1403–1406, 2011.
7. MOURA, L. B. et al. Naphthenic Corrosion Resistance, Mechanical Properties and Microstructure Evolution of Experimental Cr-Mo Steels with High Mo Content. Materials Research, n. 15, v. 2, p. 277-284, 2012.
8. SPEIGHT, J G. High Acid Crudes. 1st edition, GPP, Elsevier, 2014, USA.
9. GUTZEIT, J. Crude Unit Corrosion Guide: A Complete How-To Manual. 2nd edition, Process Corrosion Consultants, 2006, USA.
10. HAU, J. L. et al. Measuring naphthenic acid corrosion potential with the Fe powder test. Revista de Metalurgia, Madrid, v. extra, p. 116-123, 2003.
11. BAGDASARIAN, A. Crude unit corrosion and corrosion control. GE Water & Process Technologies, Artigo técnico. Disponível em http://www.gewater.com/pdf/Technical%20Papers_Cust/Americas/English/tp1105.pdf. Acesso em 23/01/2011.
12. TAN, Y. Experimental methods designed for measuring corrosion in highly resistive and inhomogeneous media. Corrosion Science, n. 53, p. 1145-1155, 2011.
13. ABALLE, A. et al. Measurement of the Noise Resistance for Corrosion Applications. Corrosion, vol. 57, n. 1, p. 35-42, 2001.
14. DETTMAN, H. D., et al. The influence of naphthenic acid and sulphur compound structure on global crude corrosivity under vacuum distillation conditions. NACE: Northern Area Western Conference, Calgary-Alberta, 2010.
15. AL-MAZEEDI, H. A. A; COTTIS, R. A. A practical evaluation of electrochemical noise parameters as indicators of corrosion type. Electrochimica Acta, n. 49, p. 2787–2793, 2004.
16. COTTIS, R. A. Interpretation of Electrochemical Noise Data. Corrosion, v. 57, n. 3, p. 265-285, 2001.
17. ASTM D974-08: Standard Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration.
18. OMIDO, A. R. Monitoramento da degradação térmica de óleo mineral isolante de transformador utilizando espectroscopia de absorção e fluorescência UV-VIS. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2014.