

Copyright 2012, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2012, em Salvador/BA no mês de maio de 2012.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Avaliação de inibidores de corrosão e da influência do tempo de pré-corrosão na prevenção de corrosão preferencial em juntas soldadas aplicadas a sistemas de produção de gás

**Juliana Lopes Cardoso^a, Lorie Fugazza de Almeida^b, Anna Ramus Moreira^c,
Neusvaldo Lira de Almeida^d, Flávia Maciel Fernandes Guedes^e, Gustavo Leitão Vaz^f,
Jussara de Mello Silva^g**

Abstract

Carbon steel pipelines and risers are widely used in the gas production lines, however, corrosive agents present in the production fluid, like CO₂ and organic acids, brings the necessity of employing corrosion inhibitors to maintain the integrity of the equipment, considering the production life-time expected to them. This work evaluated some commercial corrosion inhibitors considering their capabilities of protection against welded joint (with 2% nickel) preferential corrosion. The welded joint preferential corrosion occurs, at first, due to the formation of a galvanic cell between regions of different chemical composition resulted from the welding processes. At some cases, corrosion inhibitors are employed at production lines which were already exposed to corrosive liquids, without previous protection. This occurrence, called pre-corrosion, should be considered during the evaluation of the inhibitors. Therefore, a set of tests were done to evaluate the protection of carbon steel and its welded joints promoted by some commercial corrosion inhibitors, also considering pre-corrosion. The results obtained from welded-joint immersion tests and galvanic current measurements are presented. The coupons were exposed to three different solutions: simulated gas exportation condition and gas production condition (with and without incrustation inhibitor).

Keywords: welded joint, corrosion inhibitor, immersion test, galvanic current measurement, gas production systems.

Resumo

Dutos e risers em aço-carbono são amplamente empregados em linhas de produção de gás, porém, a presença de agentes corrosivos nestes fluidos, tais como, CO₂ e ácidos orgânicos, torna necessário o emprego de inibidores de corrosão a fim de manter a integridade dos equipamentos, considerando a vida útil de produção prevista para os mesmos. Neste trabalho foram avaliados diferentes inibidores de corrosão comerciais quanto à capacidade de proteção contra corrosão preferencial em juntas soldadas contendo 2 % de níquel no consumível da solda. A corrosão preferencial na região da junta soldada ocorre, a princípio, pela formação de uma pilha galvânica devido a diferenças de composição química induzidas pelo processo de

^a Dra. - Tecnóloga - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

^b Técnica em Química - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

^c Me. - Química - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

^d Me. - Físico - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

^e Dra. - Engenheira de Processamento - Petróleo Brasileiro S.A.

^f Químico Industrial - Petróleo Brasileiro S.A.

^g Me. - Engenheira de Processamento - Petróleo Brasileiro S.A.

soldagem. Em alguns casos, o emprego de inibidores de corrosão na produção é aplicado em dutos que já foram expostos a meios corrosivos, sem proteção prévia, sendo necessário incluir, na avaliação de inibidores de corrosão, o impacto da pré-exposição de juntas soldadas na capacidade de proteção de inibidores de corrosão. Para tanto, foi realizado um conjunto de ensaios para avaliar a efetividade de diferentes inibidores de corrosão comerciais na proteção do aço-carbono e de suas juntas soldadas, considerando também um cenário com pré-corrosão. São apresentados os resultados obtidos em ensaios de imersão da junta soldada e de medição de corrente galvânica entre o metal de solda e a região contendo a zona afetada termicamente e o metal de base. Os corpos de prova foram expostos a meios simulando as condições de exportação e de produção, sendo neste último caso, realizados testes tanto na presença quanto na ausência de inibidor de incrustação. Os ensaios de imersão foram realizados sem tempo de pré-exposição e permitiram avaliar o teor de inibidor necessário para a proteção da junta soldada. Por meio dos ensaios de corrente galvânica, verificou-se a influência do tempo de pré-corrosão da junta soldada na manutenção da efetividade dos inibidores de corrosão.

Palavras-chave: junta soldada, inibidor de corrosão, ensaio de imersão, medição de corrente galvânica, sistemas de produção de gás.

Introdução

As juntas soldadas são suscetíveis a diversas formas de corrosão, principalmente àquelas que ocorrem em função de variações na microestrutura e composição do material de base (1). Dessas, a corrosão galvânica ocorre quando dois materiais metálicos dissimilares, neste caso, duas regiões diferentes da região de solda, com diferentes potenciais, estão em contato na presença de um eletrólito. O uso de metais de adição com composição diferente do metal de base pode produzir uma diferença de potencial que tornam certas regiões da solda mais ativas (1). Devido à diferença de potencial entre essas regiões, uma corrente eletroquímica é gerada entre elas. Este tipo de corrosão se caracteriza por apresentar corrosão localizada, próximo à região do acoplamento, ocasionando perda de massa acentuada na região que funciona como anodo (2).

Dutos e *risers* em aço-carbono são amplamente empregados em linhas de produção de gás, por razões econômicas. Contudo, a resistência à corrosão do aço-carbono em meio contendo CO_2 é limitada, uma vez que a reação anódica principal na corrosão pelo CO_2 é a dissolução do ferro em íons Fe(II) (3). Como consequência do processo de corrosão, uma camada de produtos de corrosão se forma na superfície do aço-carbono. A proteção promovida por essa camada depende das condições do ambiente em que ela se encontra e de suas características. Uma vez que o ambiente é agressivo e a camada formada não promove proteção, uma alternativa ao controle do processo corrosivo é o emprego de inibidores de corrosão. Os inibidores são geralmente adsorvidos na superfície metálica, gerando uma camada de filme protetor que interfere nas reações eletroquímicas envolvendo o processo de corrosão. Apesar do extenso uso de inibidores de corrosão, seu mecanismo de ação ainda é incerto e poucos estudos consideram as características da superfície como um todo na eficiência de inibição (4-6).

Em alguns casos, o emprego de inibidores de corrosão na produção é aplicado em dutos que já foram expostos a meios corrosivos, sem proteção prévia, sendo necessário incluir na avaliação

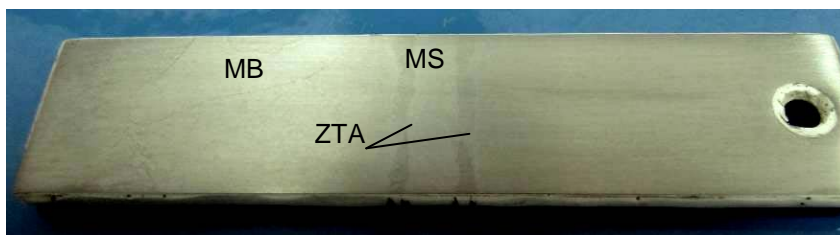
de inibidores de corrosão, o impacto da pré-exposição de juntas soldadas na capacidade de proteção dos inibidores de corrosão. Sabe-se, a partir de dados da literatura (3), que a pré-corrosão pode apresentar um efeito negativo na eficiência do inibidor de corrosão. Sendo assim, foi realizado um conjunto de ensaios para avaliar a efetividade de diferentes inibidores de corrosão comerciais na proteção do aço-carbono e de suas juntas soldadas, considerando também um cenário com pré-corrosão de 72 h e 337 h.

Metodologia

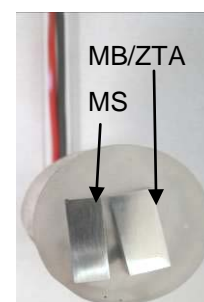
Corpos de prova

Os corpos de prova foram retirados de uma amostra de duto confeccionado em aço-carbono API 5L Gr X65, com composição conforme descrita anteriormente (7), contendo uma junta soldada em que foi utilizado metal de adição contendo teor de níquel igual a 2 % (junta de topo de penetração total - chanfro em V - processo TIG na raiz e processo de eletrodo revestido para enchimento e acabamento).

Os corpos de prova do ensaio de imersão apresentam dimensões de (85 x 20 x 4) mm, com a região de solda (MS) localizada em sua parte central, limitada à direita e a esquerda pela região termicamente afetada (ZTA) e esta limitada pelo metal base (MB) (mostrado na Figura 1). Para a fixação do corpo de prova em um suporte, foi feito um furo em uma de suas extremidades, com diâmetro de 9 mm. Buscando evitar um aumento significativo do teor de íons ferrosos em solução, os quais poderiam interferir no ensaio desacelerando o processo corrosivo, e conseqüentemente, alterando os resultados obtidos, os corpos de prova tiveram suas laterais, seu verso e a região do furo revestidos com resina epóxi (Renner, modelo Revran Eco Arq 998). Desta maneira, apenas uma das faces dos corpos de prova permaneceu exposta à solução de ensaio. A superfície a ser exposta foi lixada com lixa de granulometria 600 mesh, seguida de enxague com acetona e secagem com ar quente (8, 9). Os corpos de prova foram examinados com auxílio de um microscópio confocal (Zeis, modelo AXIO CSM 700) para registro do aspecto superficial antes e após imersão dos corpos de prova da junta soldada.



Corpo de prova do ensaio de imersão



Corpo de prova do ensaio de medição de corrente galvânica

Figura 1 - Aspecto visual dos corpos de provas utilizado nos ensaios

Os corpos de prova do ensaio de medição de corrente galvânica foram preparados retirando segmentos de duas diferentes regiões: região de metal de solda, com dimensões (15 x 5) mm e região contendo metal base e zona termicamente afetada, com dimensões (15 x 6) mm (apresentado na Figura 1). Foram soldados fios a cada um destes segmentos e o conjunto de dois segmentos (MS e MB/ZTA) foram embutidos em resina epóxi (Buehler, modelo

Epoxicure). Antes do ensaio, a superfície dos corpos de prova foi lixada com lixa de granulometria 600 mesh, seguida por enxague em etanol P.A. e secagem com ar quente.

Meios de ensaio

Para a realização dos ensaios, foram utilizadas três soluções diferentes. A solução denominada meio de produção foi preparada com água destilada, 600 mL L^{-1} de etano-1,2-diol (MEG) e os sais listados em trabalho anterior (7). A segunda solução é idêntica ao meio de produção, porém com adição de 20 mL L^{-1} de inibidor de incrustação (20 ppm de matéria ativa). A solução denominada meio de exportação foi preparada com água destilada, 400 mL L^{-1} de etanol e $914,2 \text{ mg L}^{-1}$ de NaCl.

Foram utilizados dois diferentes inibidores de corrosão, denominados neste trabalho por A e B. Os inibidores utilizados foram dosados com seringa de polipropileno descartável, com graduação adequada ao volume a ser medido.

Ensaio de imersão

O ensaio de imersão de junta soldada foi realizado em uma célula de vidro de capacidade para 4 L, com tampa confeccionada em PTFE. A parte interna da tampa possui uma haste, também confeccionada em PTFE, na qual é feita a fixação do corpo de prova. A haste posiciona o corpo de prova no centro da célula de ensaio. A tampa é fixada na célula com auxílio de uma abraçadeira de aço inoxidável. O aspecto visual de ensaios de imersão está apresentado na Figura 2.



Ensaio de imersão



Ensaio de medição de corrente galvânica

Figura 2 – Aspecto visual de ensaios

A montagem do ensaio se inicia com a desaeração prévia do meio de ensaio já com o inibidor de corrosão por meio do borbulhamento de dióxido de carbono (CO_2), durante 1 h para cada litro de solução, com vazão de $0,1 \text{ L min}^{-1}$. Em seguida a solução é inserida no frasco de ensaio, em que o corpo de prova já se encontra devidamente posicionado. Como a injeção de

CO₂ é contínua ao longo do ensaio, foi instalado um condensador à célula e este foi mantido a temperatura de 15 °C para evitar a perda de fluidos. Para que não ocorra entrada de oxigênio através do condensador, a saída de gás foi mantida em um selo d'água. A temperatura do meio de ensaio é mantida em (25 ± 2) °C, sendo seu controle realizado por meio de uma sonda Pt100 acoplada à chapa de aquecimento (IKA, modelo RET control /t). O meio de ensaio foi agitado por barra magnética na velocidade de 320 rpm e o ensaio teve duração de 72 h.

Neste ensaio, não foi adotada a pré-corrosão do corpo de prova. Ensaio sem a adição de inibidor de corrosão (ensaio em branco) também foram realizados para comparação dos resultados. Foram realizadas determinações do teor de ferro das soluções com alíquotas dos meios de ensaio coletadas antes e após o ensaio. As determinações de teor de ferro foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas do IPT, com o uso de espectrômetro de emissão atômica de plasma (ICP).

Ensaio de medição de corrente galvânica

O ensaio de corrente galvânica foi realizado com os mesmos aparatos do ensaio de imersão (vide Figura 2), exceto pela tampa de PTFE, que possui dois acessos, sendo um para posicionar o suporte da sonda que possui um eletrodo de referência confeccionado em *Hastelloy* e, o segundo acesso, para posicionar os corpos de prova do par galvânico embutidos. Em comparação ao método de montagem do ensaio de imersão, para o ensaio de corrente galvânica apenas não foi adicionado inibidor de corrosão antes da desaeração do meio de ensaio e foram empregados um corpo de prova embutido e uma sonda com o eletrodo de referência.

Após a montagem, foi feita a conexão elétrica do eletrodo de referência e dos corpos de prova ao potenciostato (Bio-Logic, modelo VMP3 Multichannel). O corpo de prova MS foi ligado ao terminal correspondente ao eletrodo de trabalho (WE), o corpo de prova MB/ZTA foi ligado ao terminal correspondente ao eletrodo auxiliar (CE) e o eletrodo de referência foi ligado ao terminal correspondente (RE). O potenciostato foi, então, configurado de forma a executar medidas de acoplamento galvânico (técnica ZRA – *zero resistance ammeter*).

Foram empregados tempos de pré-corrosão de 72 h e 336 h antes de se adicionar o inibidor de corrosão. As medidas de corrente galvânica foram realizadas a cada 1 h, ao longo de todo o ensaio. Após a adição de inibidor de corrosão a medição de corrente galvânica foi mantida por mais 24 h.

Resultados e discussão

Ensaio de imersão

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de imersão realizados nos três meios de ensaio. Nas Tabelas 2 a 4 são apresentadas as imagens dos corpos de prova obtidas no microscópio confocal, juntamente com o perfil da região de solda.

Da Tabela 1, para o meio de produção sem inibidor de incrustação, verifica-se que o menor teor de ferro no meio de ensaio, ao término do mesmo, foi obtido para o inibidor A. Para o inibidor de corrosão B, também foi verificada redução significativa de teor de ferro do meio

de ensaio, quando comparados ao valor apresentado pelo ensaio em branco (sem adição de inibidor de corrosão).

Tabela 1 – Teor de ferro total obtido nos meios investigados nos ensaios de imersão (sem pré-corrosão)

Inibidor	Dosagem (ppm)	Teor de ferro total (ppm)	
		Antes do ensaio	Após 72 h de imersão
Meio de produção sem inibidor de incrustação			
Branco	--	0,09 ± 0,02	5,49 ± 0,02
A	200	< 0,05	0,11 ± 0,01
B	150	0,11 ± 0,02	1,23 ± 0,02
	200	0,16 ± 0,01	1,22 ± 0,01
Meio de produção com inibidor de incrustação			
Branco	--	0,20 ± 0,01	4,23 ± 0,03
A	200	< 0,05	0,16 ± 0,01
B	300	0,11 ± 0,02	0,88 ± 0,03
	400	0,052 ± 0,005	0,570 ± 0,004
Meio de exportação			
Branco	--	< 0,05	9,5 ± 0,5
A	200	< 0,05	0,058 ± 0,002
B	400	< 0,05	0,06 ± 0,01

A Tabela 2 apresenta as imagens dos corpos de prova da junta soldada, obtidas por meio de microscópio confocal. Verifica-se nesta tabela que a adição do inibidor A, em meio de produção sem inibidor de incrustação, fez com que a região da junta soldada não fosse revelada, ou seja, não se observou diferença de ataque entre a região de metal de solda e as regiões adjacentes. Já a adição do inibidor B, neste mesmo meio, revelou a região de solda para as duas dosagens ensaiadas. A comparação das imagens de perfil verificadas para as duas dosagens de inibidor B (150 ppm e 200 ppm) indica que o aumento do teor de inibidor reduziu significativamente a diferença de ataque entre a região de metal de solda e as regiões adjacentes.

Da Tabela 1, para o meio de produção com adição de inibidor de incrustação, verifica-se que o menor teor de ferro ao término dos ensaios foi verificado novamente para inibidor A. O inibidor de corrosão B, neste meio e nas duas dosagens ensaiadas, também apresentou redução significativa do teor de ferro do meio de ensaio, quando comparados ao valor apresentado pelo ensaio em branco (sem adição de inibidor).

A Tabela 3 apresenta as imagens dos corpos de prova da junta soldada, obtidas para os ensaios realizados para o meio de produção com adição de inibidor de incrustação. Da Tabela 3, verifica-se que a adição do inibidor A neste meio fez com que a junta soldada do corpo de prova não fosse revelada. Já a adição do inibidor B manteve a revelação da junta soldada nas duas dosagens ensaiadas. Porém, apesar de ser visível a revelação da região de

solda, em virtude do ataque ter sido tênue, aliado à presença de ruído do sinal, não se observa diferença no perfil de rugosidade entre as regiões de MS, ZTA e MB.

A presença de inibidor de incrustação não favoreceu o processo corrosivo, uma vez que os valores de ferro total após o ensaio e o aspecto das superfícies dos corpos-de-prova referentes ao branco para as duas condições de produção são bastante semelhantes. Esta observação foi confirmada por meio de ensaios de *bubble* que não fazem parte do escopo deste trabalho.

Da Tabela 1, em meio de exportação, sem adição de inibidor de incrustação, verifica-se que a adição dos inibidores A e B promoveram significativa redução do teor de ferro presente no meio de ensaio em relação ao ensaio em branco.

A Tabela 4 apresenta as imagens dos corpos de prova da junta soldada, obtidas para os ensaios realizados para o meio de exportação. Da Tabela 4, verifica-se que a adição do inibidor A fez com que a junta soldada do corpo de prova não fosse revelada. Já no caso da junta soldada com a adição do inibidor B, observa-se que a região da solda continua sendo revelada, embora se verifique que o ataque foi pouco significativo, não sendo possível observar diferença no perfil superficial entre as regiões de MS, ZTA e MB.

É interessante notar que em relação ao meio de exportação, o meio de produção na ausência de inibidor de incrustação apresenta menor agressividade ao aço-carbono e sua junta soldada quando se comparam os teores de ferro total obtidos ao final do ensaio. Esta observação está de acordo com outros trabalhos publicados (7) e à literatura (2), em que se verificou que o processo de corrosão preferencial na junta soldada é intensificado em eletrólitos com salinidade menor. Isto ocorre devido à diminuição da área anódica em relação ao catodo (metal de solda).

Tabela 2 – Imagens obtidas por microscopia confocal dos corpos de prova após o ensaio de imersão em meio de produção, sem adição de inibidor de incrustação. A linha amarela na imagem do corpo de prova indica a região em que foi obtido o perfil. O perfil apresentado foi verificado em outros três pontos da amostra (não apresentado), de forma garantir sua representatividade

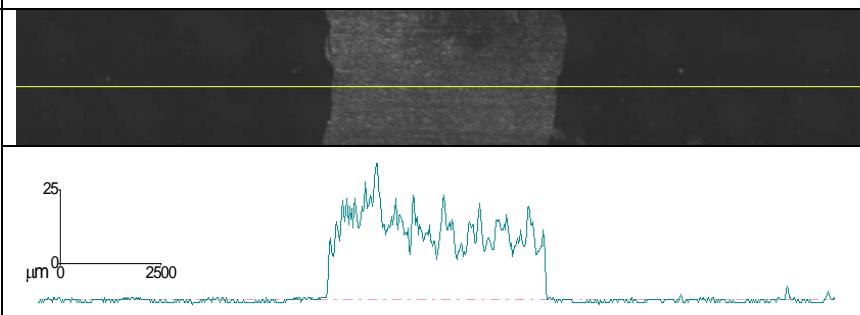
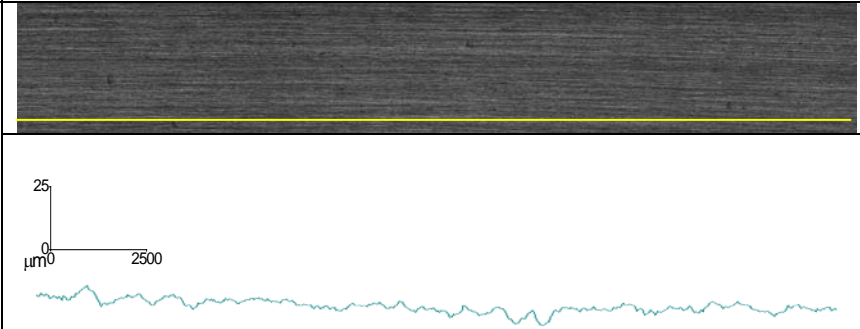
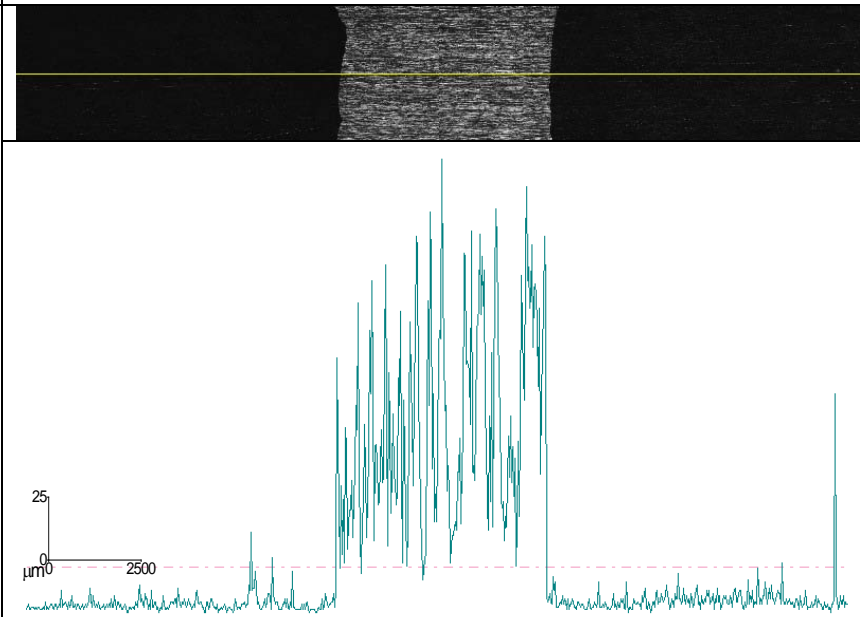
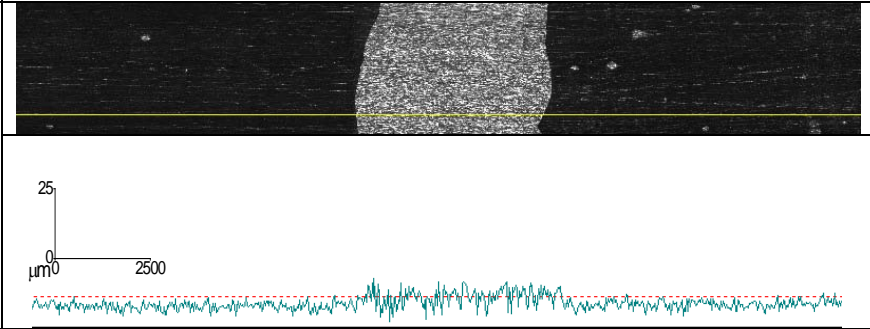
Inibidor	Dosagem (ppm)	Imagens
Branco	--	
A	200	
B	150	
B	200	

Tabela 3 – Imagens obtidas por microscopia confocal dos corpos de prova após o ensaio de imersão em meio de produção, com adição de inibidor de incrustação. A linha amarela na imagem do corpo de prova indica a região em que foi obtido o perfil. O perfil apresentado foi verificado em outros três pontos da amostra (não apresentado), de forma garantir sua representatividade

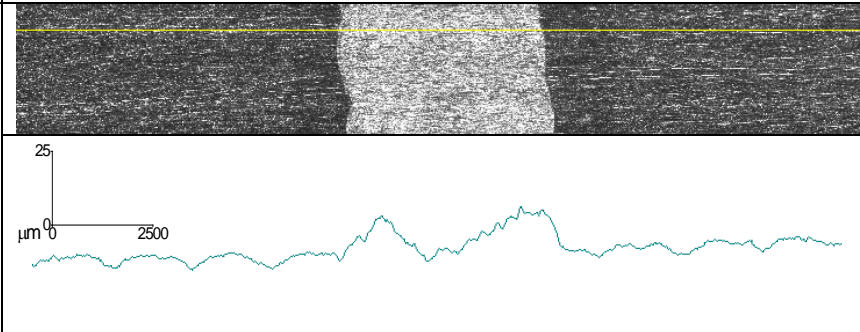
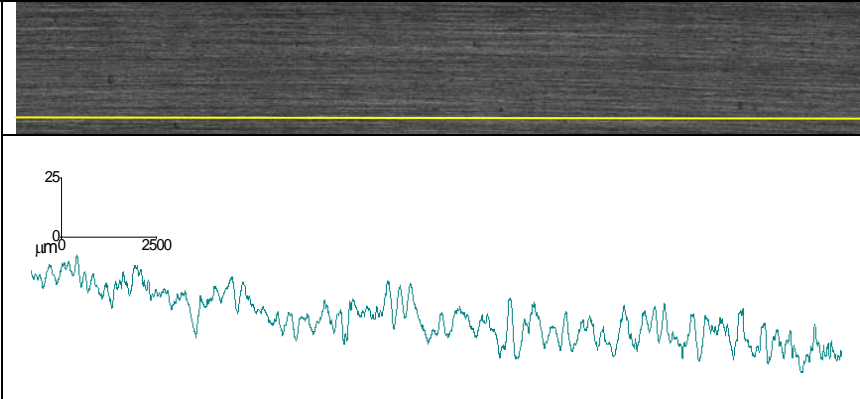
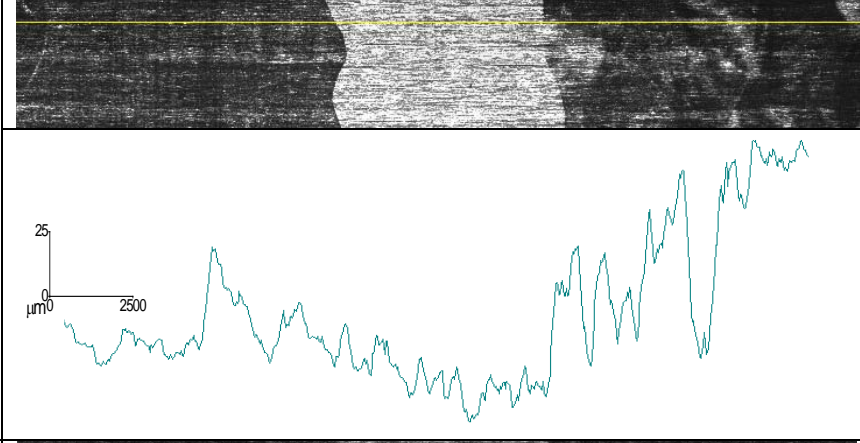
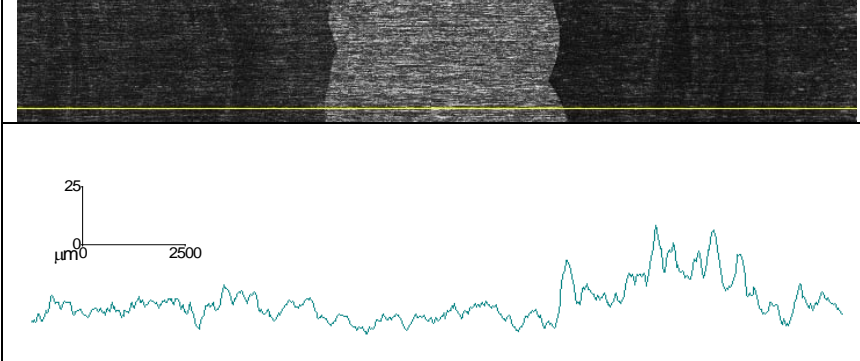
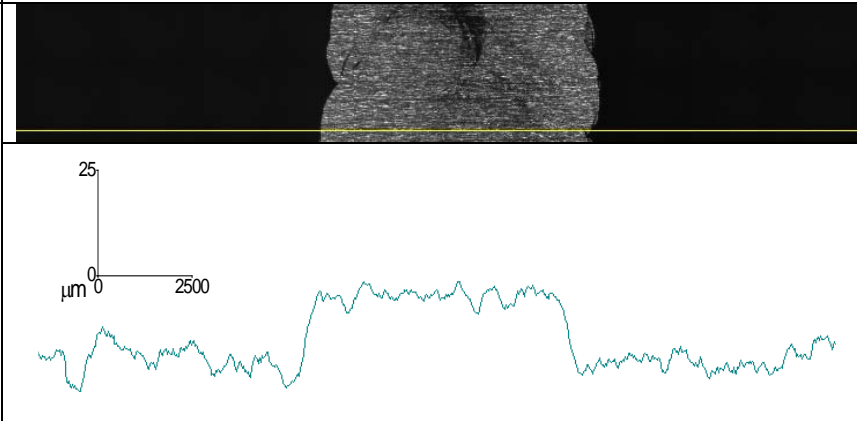
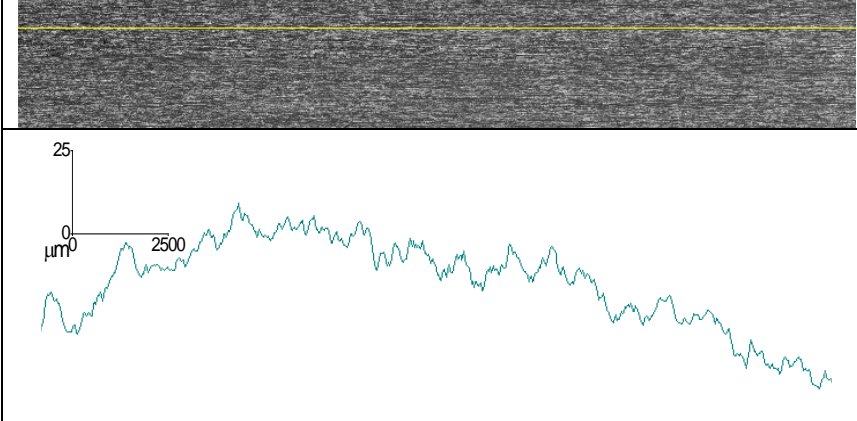
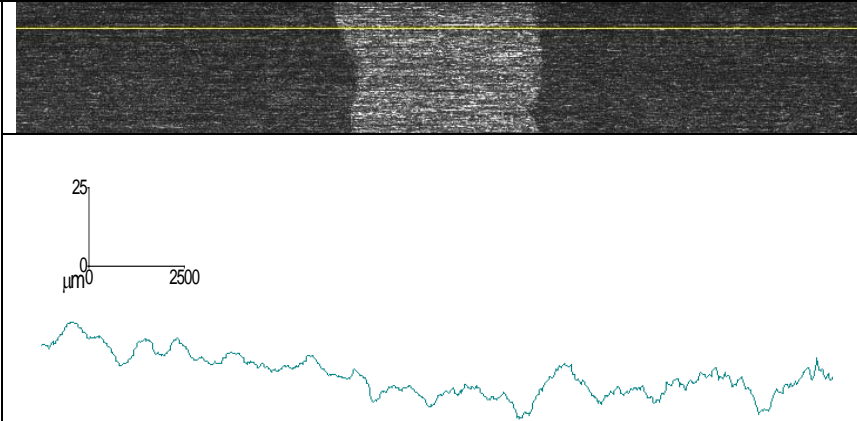
Inibidor	Dosagem (ppm)	Imagens
Branco	--	
A	200	
B	300	
B	400	

Tabela 4 – Imagens obtidas por microscopia confocal dos corpos de prova após o ensaio de imersão em meio de exportação. A linha amarela na imagem do corpo de prova indica a região em que foi obtido o perfil. O perfil apresentado foi verificado em outros três pontos da amostra (não apresentado), de forma garantir sua representatividade

Inibidor	Dosagem (ppm)	Imagens
Branco	--	
A	200	
B	400	

Ensaio de medição de corrente galvânica

Verificou-se nos resultados dos ensaios de imersão que, no meio de produção com e sem a adição de inibidor de incrustação, os inibidores de corrosão foram menos efetivos na redução do teor de ferro após o ensaio, em comparação ao meio de exportação. Em função disso, passa

a ser interessante investigar o comportamento da corrente galvânica entre as regiões da junta soldada no meio de produção. Portanto, na Tabela 5 são listados os ensaios de medição corrente galvânica realizados para o meio de produção, ressaltando-se que foi adicionado inibidor de corrosão em dois diferentes momentos para um mesmo teste, de modo a observar a sensibilidade da corrente galvânica em relação ao aumento da concentração do inibidor de corrosão em um mesmo ensaio.

Nas Figuras 3 a 7 são apresentadas as curvas de corrente galvânica obtidas ao longo do tempo, com tempos de pré-corrosão dos corpos de prova, respectivamente de 72 h e 336 h, antes da primeira adição de inibidor de corrosão.

Tabela 5 – Ensaios de medição de corrente galvânica realizados em meio de produção

Inibidor	Dosagem (ppm)		Meio	Tempo de pré-corrosão (h)
	Adição inicial	Adição final		
A	200	50	Produção, inibidor de incrustação e heptano	72
A	200	50	Produção e inibidor de incrustação	336
B	150	50	Produção e heptano	72
B	400	50	Produção e inibidor de incrustação	72
B	200	100	Produção e inibidor de incrustação	337

Na Figura 3, observa-se que a corrente galvânica medida entre os pares MS e ZTA/MB apresenta variação temporal, diminuindo, em módulo, sua intensidade ao longo do tempo. Essa diminuição ocorre devido à passivação do par galvânico devido à formação de óxido sobre sua superfície (1).

De forma geral, observa-se que a região do MS se mantém menos opaca que a da ZTA/MB, sugerindo que a região de MS seja o catodo do par galvânico. Em função do sentido da corrente medida ser negativo, e do MS estar ligado ao eletrodo de trabalho do potenciostato, confirma-se que a MS está atuando como catodo do par galvânico (2). Este resultado é esperado (10, 11), já que o metal de solda encontra-se catódico em relação ao restante da junta soldada devido ao elevado teor de níquel no metal de adição, 2 % (7).

A adição de 200 ppm do inibidor A, após 72 h de pré-corrosão, permitiu diminuir ainda mais a intensidade da corrente medida, atingindo dezenas de nanoamperes (passando de $.1,10 \mu\text{A}$ para $.0,062 \mu\text{A}$). A adição de uma dosagem complementar de 50 ppm de inibidor não apresentou significativa diminuição da corrente medida (passando de $.0,062 \mu\text{A}$ para $.0,048 \mu\text{A}$).

Na Figura 4, verifica-se a variação na corrente medida em função da adição do inibidor A, com tempo de pré-corrosão de 377 h. A intensidade da corrente galvânica medida, após a adição de inibidor, atingiu dezenas de nanoamperes, passando de $.1,27 \mu\text{A}$ para $.0,010 \mu\text{A}$. A posterior adição de mais 50 ppm de inibidor A fez com que a corrente medida mudasse de

sentido, passado de negativa para positiva, de $-0,010 \mu\text{A}$ para $+0,056 \mu\text{A}$. Dessa forma, observou-se a mudança entre o catodo e o anodo do par galvânico, uma vez que a MS passou a ser o anodo, enquanto que a região ZTA/MB passou a ser o catodo.

Em estudos publicados anteriormente (10,11), verificou-se que a inversão entre o catodo e o anodo, provocada pela adição do inibidor de corrosão, pode ocorrer em inibidores com sinergia inorgânica.

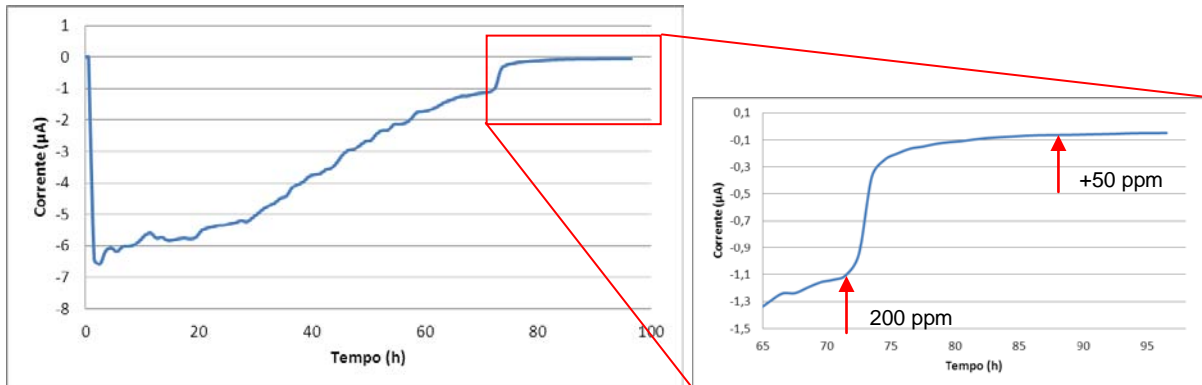


Figura 3 – Curva de corrente versus tempo obtida durante o ensaio de medição de corrente galvânica realizado em meio de produção, com inibidor de incrustação, com heptano e com inibidor de corrosão A. Em destaque, são mostrados os momentos em que foram feitas adições de inibidor, as dosagens utilizadas e o comportamento da corrente após as adições

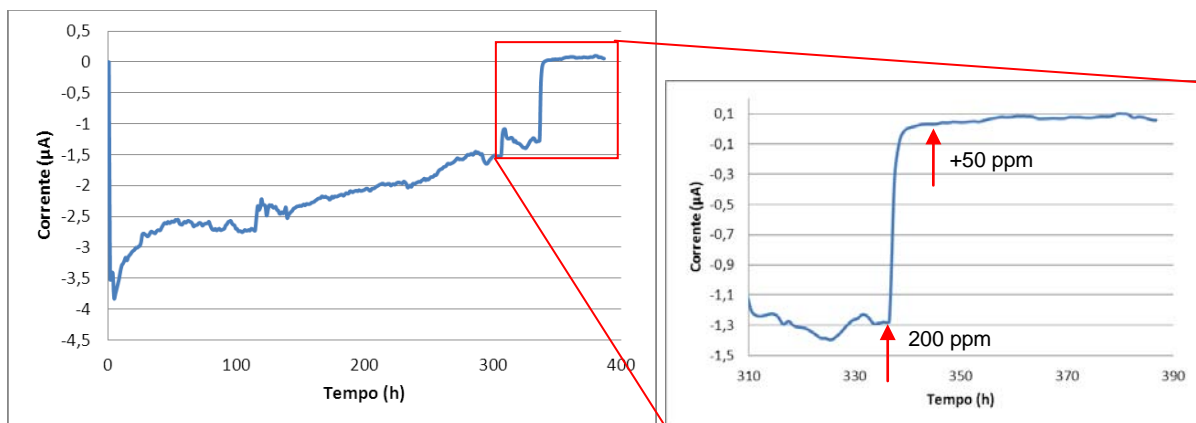


Figura 4 – Curva de corrente versus tempo obtida durante o ensaio de medição de corrente galvânica realizado em meio de produção, com inibidor de incrustação e com inibidor de corrosão A. Em destaque, são mostrados os momentos em que foram feitas adições de inibidor, as dosagens utilizadas e o comportamento da corrente após as adições

Na Figura 5, verifica-se a variação na corrente medida em função da adição do inibidor B em meio de produção sem a adição de inibidor de incrustação. A adição de 150 ppm de inibidor B diminuiu a intensidade da corrente galvânica medida, passando de $-2,86 \mu\text{A}$ para $-1,10 \mu\text{A}$. A posterior adição de uma dose complementar de 50 ppm de inibidor permitiu diminuir ainda mais a intensidade da corrente, atingindo valor da ordem de centenas de nanoampere (passando de $-1,10 \mu\text{A}$ para $-0,34 \mu\text{A}$).

Na Figura 6, verifica-se a variação na corrente medida em função da adição do inibidor B na dosagem inicial de 400 ppm. A intensidade da corrente galvânica medida, após a adição de inibidor, atingiu centenas de nanoamperes, passando de $-2,98 \mu\text{A}$ para $-0,46 \mu\text{A}$. A posterior adição complementar de mais 50 ppm de inibidor permitiu diminuir ainda mais a intensidade da corrente, passando de $-0,46 \mu\text{A}$ para $-0,33 \mu\text{A}$.

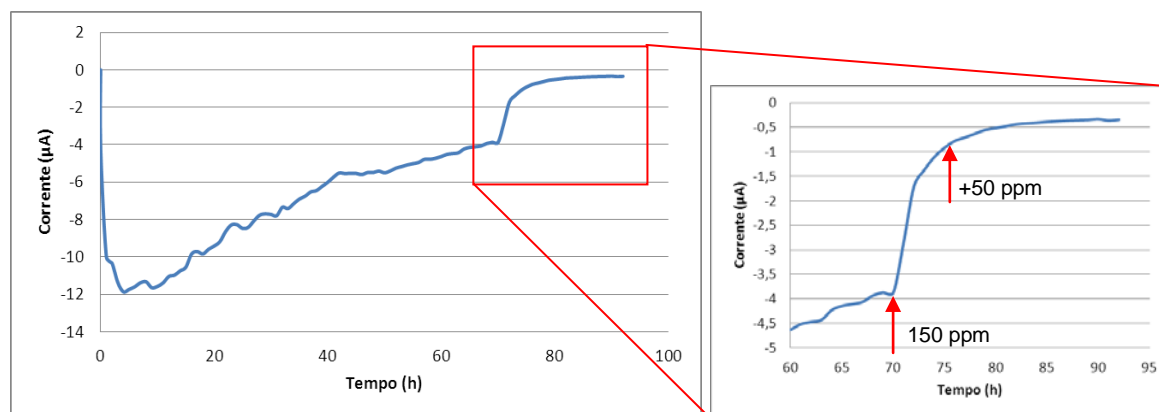


Figura 5 – Curva de corrente versus tempo obtida durante o ensaio de medição de corrente galvânica realizado em meio de produção, sem inibidor de incrustação, com heptano e com inibidor de corrosão B. Em destaque, são mostrados os momentos em que foram feitas adições de inibidor, as dosagens utilizadas e o comportamento da corrente após as adições

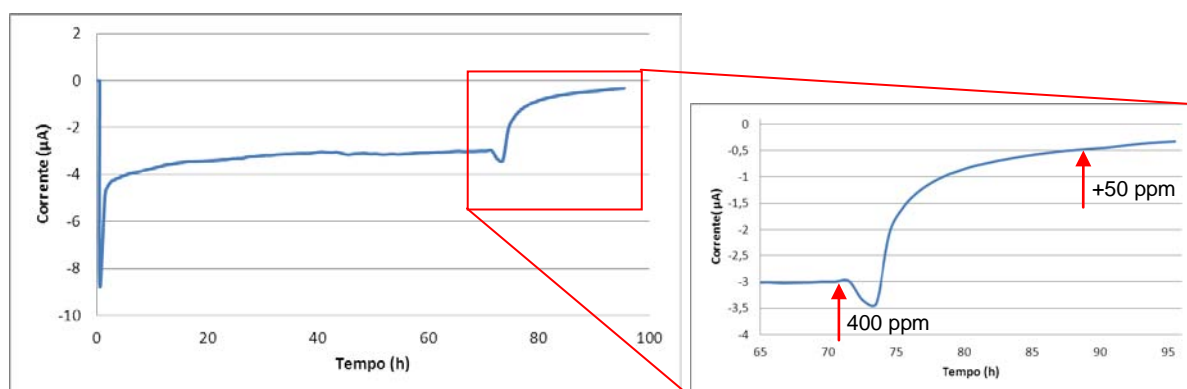


Figura 6 – Curva de corrente versus tempo obtida durante o ensaio de medição de corrente galvânica realizado em meio de produção, com inibidor de incrustação e com inibidor de corrosão B. Em destaque, são mostrados os momentos em que foram feitas adições de inibidor, as dosagens utilizadas e o comportamento da corrente após as adições

Na Figura 7, verifica-se a variação na corrente medida em função da adição do inibidor B na dosagem inicial de 200 ppm para um tempo de pré-corrosão de 337 h. A intensidade da corrente galvânica medida, após a adição de inibidor passou de $-4,07 \mu\text{A}$ para $-1,40 \mu\text{A}$. A posterior adição de uma dose complementar de 100 ppm de inibidor permitiu diminuir ainda mais a intensidade da corrente, passando de $-1,40 \mu\text{A}$ para $-0,49 \mu\text{A}$.

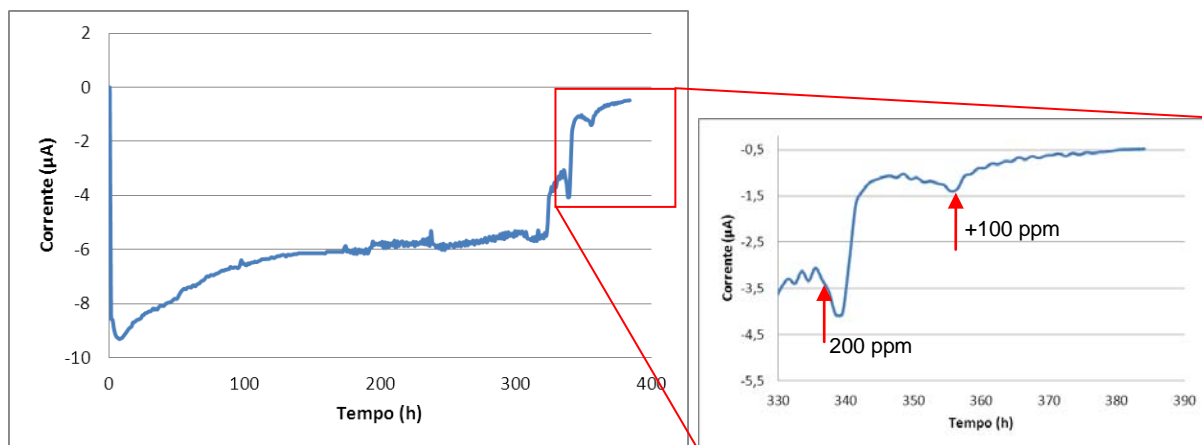


Figura 7 – Curva de corrente versus tempo obtida durante o ensaio de medição de corrente galvânica realizado em meio de produção, com inibidor de incrustação e com inibidor de corrosão B. Em destaque, são mostrados os momentos em que foram feitas adições de inibidor, as dosagens utilizadas e o comportamento da corrente após as adições

A comparação entre os resultados obtidos com esses dois inibidores de corrosão indica que o inibidor A promove a redução da corrente galvânica em dezenas de nanoampere, nos meios ensaiados, com dosagens mais baixas que as verificadas para o inibidor B, nas condições de pré-corrosão de 72 h, assim como de 337 h. Verifica-se que o aumento do tempo de pré-corrosão dos corpos de prova não provocou significativa mudança na proteção promovida pelos inibidores de corrosão estudados.

Conclusões

A partir dos testes de imersão e das análises de teor de ferro total, assim como, da análise dos perfis de varredura de superfície obtidos para os corpos-de-prova, se observou uma maior agressividade do meio de exportação quanto à ocorrência de corrosão galvânica quando comparado aos meios de produção testados com e sem inibidor de incrustação, corroborando os dados encontrados na literatura (7). A proteção dos inibidores de corrosão avaliados foi identificada como sendo mais efetiva no meio de exportação que nos meios de produção (com e sem inibidor de incrustação), uma vez que as análises de teor de ferro dos meios após o ensaio indicaram quantidades inferiores de ferro no meio de exportação.

Os resultados das medições de corrente galvânica realizadas entre o metal de solda e o metal de base/zona afetada termicamente, corroboraram com os resultados obtidos a partir dos testes de imersão. O inibidor de corrosão A apresentou melhor proteção à junta soldada que o inibidor B, e com mais baixa dosagem.

Verificou-se que o aumento do tempo de pré-corrosão dos corpos de prova não provocou significativa mudança na proteção promovida pelos inibidores de corrosão estudados. O inibidor A, em ensaio com tempo de pré-corrosão de 337 h, apresentou inversão na polaridade da corrente medida, indicando inversão entre as regiões anódica e catódica do corpo de prova, tornando o metal de solda anódico e a zona termicamente afeta e metal de base catódico. Isto não foi observado no ensaio com tempo de pré-corrosão de 72 h.

É importante ressaltar que além dos testes de imersão e de corrente galvânica apresentados neste trabalho, outros testes de desempenho, tais como, os de compatibilidade com o meio

(formação de espuma, emulsão, etc.), e os de eficiência de inibição são essenciais para a seleção definitiva de um inibidor de corrosão para um dado sistema.

Referências bibliográficas

- 1 DAVIS, J. R. **Corrosion of Weldments**. ASM International, 2006.
- 2 PANOSSIAN, Z. **Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas**. v.1. São Paulo : IPT, 1993.
- 3 PAOLINELLI, L.D.; PÉREZ, T.; SIMISON, S.N. The effect of pre-corrosion and steel microstructure on inhibitor performance in CO₂ corrosion. **Corrosion Science**, v. 50, p. 2456–2464, 2008.
- 4 LOPEZ, D.A. et al. The influence of carbon steel microstructure on corrosion layers – An XPS and SEM characterization. **Applied Surface Science**, v. 207, p. 69–85, 2003.
- 5 LOPEZ, D.A. et al. The influence of inhibitors molecular structure and steel microstructure on corrosion layers in CO₂ corrosion: An XPS and SEM characterization. **Applied Surface Science**, v. 236, p. 77–97, 2004.
- 6 LOPEZ, D.A.; SIMISON, S.N.; De SANCHEZ, S.R. Inhibitors performance in CO₂ corrosion: EIS studies on the interaction between their molecular structure and steel microstructure. **Corrosion Science**, v. 47, p. 735–755, 2005.
- 7 GUEDES, F. M. F. et al. Aplicação de inibidores de corrosão em sistemas de produção de campos de gás não associado para evitar corrosão preferencial em juntas soldadas. In: 31º Congresso Brasileiro de Corrosão, 2010, Fortaleza. INTERCORR2010. São Paulo: Abraco, 2010. 1 CD-ROM.
- 8 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM G1: Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens, USA, 2003.
- 9 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM G31: Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals, USA, 2004.
- 10 WINNING, I. G.; BRETHERTON, N.; MCMAHON, A. Evaluation of weld corrosion behavior and the application of corrosion inhibitors and combined scale/corrosion inhibitors. Corrosion 2004, paper 04538, 2004.
- 11 MCNAUGHTAN, D.; WINNING, I. G. Comparison of segmented weld corrosion tests with short and long pre-corrosion and the influence of synergist in corrosion inhibitors. Society of Petroleum Engineers, SPE 87553, 2004.