
Copyright 2018, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2018, em São Paulo, no mês de maio de 2018.

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

Ensaio de corrosão acelerado para avaliação do metal formador de tanques de armazenagem de biodiesel

Renan Francisco Bohrer Klein^a, Sandra Raquel Kunst^b,
Cláudia Trindade Oliveira^c, Luciane Tais Fuhr^d

Abstract

With the advances of biodiesel development driven by renewable energy matrixes, Brazil is at the forefront of the use of plant and animal oil as automotive fuel. The quick production evolution created the need of improvements in the biodiesel storage system. However, operating storage bases use metal tanks designed for other types of fuels with physicochemical characteristics different from biodiesel. This scientific article seeks the development of a methodology to assess the aggression suffered by the carbon steel of the biodiesel storage tanks by accelerated corrosion tests. For such, fog tests be used with biodiesel, immersion test will be performed to compare and validate the results. A statistical approach for design of experiments was carried out. The results show the corrosive nature of biodiesel in relation to specified steel, and that the sulfur in the fuel is the factor with the greatest impact on corrosion.

Keywords: Rating of corrosion, Biodiesel, Storage Tanks.

Resumo

Com os avanços no desenvolvimento do biodiesel impulsionado pelas matrizes energéticas renováveis, o Brasil está na vanguarda da utilização de óleo vegetal e animal como combustível automotivo. A rápida evolução da produção gerou a necessidade de soluções para armazenagem de biodiesel, porém a indústria em geral utiliza tanques metálicos projetados para outros combustíveis com características físico químicas diferentes do biodiesel. A corrosão afeta a indústria de forma a gerar custos de aproximadamente 30% da instalação com posteriores substituição ou manutenções preventivas. Este trabalho buscou desenvolver uma metodologia para avaliar a corrosão do aço de tanques utilizados para armazenagem do biodiesel, devido à ausência de um ensaio específico para análise do biodiesel como fator de corrosão. Para tanto, testes de névoa com biodiesel foram desenvolvidos em uma câmara experimental, além de ensaios de imersão para comparação. Uma abordagem estatística por planejamento de experimentos foi realizada. Os resultados mostraram o caráter corrosivo do biodiesel em relação ao aço especificado, e que o enxofre presente no combustível é o fator de maior impacto na corrosão.

Palavras-chave: Avaliação da Corrosão; Biodiesel; Tanques de Armazenagem.

^a Engenheiro Químico – Universidade Feevale

^b Doutor-Professor/Pesquisador –Universidade Feevale

^c Doutor-Professor/Pesquisador –Universidade Feevale

^d Mestre-Professora – Universidade Feevale

Introdução

Em tanques de armazenagem de combustíveis, o principal meio corrosivo, considerando a parte interna do tanque, é o acúmulo de água no fundo. Combustíveis líquidos, derivados do petróleo ou óleos combustíveis, apresentam densidade menor que a água, assim, a água confinada no interior do tanque é encontrada preferencialmente em contato direto com o material do fundo do tanque, promovendo a oxidação prematura das chapas de aço do equipamento (1). Sendo assim, as superfícies internas apresentam maior complexidade na proteção contra corrosão, pois apenas a parte inferior, localizada de 18 a 24 polegadas da concha (anel formado por chapas de aço que circunda o tanque) são revestidos (2,3).

Para tanques de armazenagem de biodiesel a indústria não costuma utilizar pintura, pois o biodiesel promove a degradação acelerada deste, contaminando o produto e inutilizando a proteção. Ainda não há teste comprovando a viabilidade de utilização de pintura interna exposta ao biodiesel (4). Por outro lado, o Brasil possui condições de ser o país líder em produção e comercialização de biodiesel mundial, por desenvolver muitas culturas de oleaginosas potencialmente viáveis para produção de biodiesel (5, 6,7). As principais são soja, canola, amendoim, mamona e girassol. Ressalta-se que o Brasil ainda possui o potencial de desenvolvimento do biodiesel vindo do sebo liquefeito de bovinos de corte (8,9).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a resistência a corrosão do aço ASTM A 285 grau C dos tanques de armazenamento para biodiesel. As amostras serão caracterizadas por ensaios de corrosão acelerados e de imersão.

Metodologia

O aço ASTM A 285 Grau C foi fornecido pela USIMINAS. As amostras foram decapadas quimicamente por meio de imersão com ácido clorídrico 20% v/v por 2 minutos, após foram lixadas com lixas de granulometria 400 e 600. Foram lavadas com água corrente e deionizada para posterior secagem com ar frio. Um corpo de prova para controle foi limpo da mesma forma que os outros, porém guardado em dessecador para análises de comparação.

Para realização dos ensaios foi fabricado um protótipo de câmara de névoa salina, seguindo especificações da ASTM B117 (10). Para garantir uniformidade da névoa na câmara, uma aferição de geração de névoa foi realizada, por dois recipientes de coleta, seguindo a norma ASTM B117. A Figura 1 mostra o interior da câmara com o bico de atomização.



Figura 1 – Interior da câmara de ensaio após 12 horas de ensaio.

Com o intuito de relacionar a temperatura de exposição do campo com a prática proposta, o controle foi realizado por coleta de dados de termômetro digital, modelo TP-7, com escala de -38 a +110°C e sensibilidade de 0,01°C, marca Thermoprobe.

Para comparação com o método acelerado de ensaio, utilizou-se ensaio de imersão direta simples em biodiesel produzido a partir do óleo de soja pelo processo de transesterificação alcalina (Biodiesel B100). As amostras foram mantidas na seguinte configuração: metade da sua superfície imersa em biodiesel e metade exposta à atmosfera, em um bequer de vidro de 250 mL, com 150 mL de biodiesel B100. No ensaio de corrosão por imersão em biodiesel, as amostras foram imersas por períodos de 15, 30, 45, 60, 75, 90 dias. A avaliação dos corpos de prova (em triplicata) se deu por inspeção visual e gravimetria. A condutividade do biodiesel foi determinada antes e depois do ensaio com condutivímetro DM-3P-PE2 marca Digimed.

Em paralelo com os ensaios de imersão direta simples, foi realizado ensaio de imersão com indução de corrosão microbiológica, com inoculação de Bacilos gram positivo esporulados previamente cultivados a partir do biodiesel em análise. O caldo preparado com a cepa foi diluído em porção de 1% em B100. Os tempos de ensaio foram de 07, 15 e 30 dias (11). Para determinação da principal bactéria encontrada no biodiesel em análise, foi utilizado método proposto pela ANVISA, utilizando procedimento do laboratório de microbiologia Feevale, sendo semeado biodiesel de fundo de tanque em meio ágar sangue para análise quantitativa, levado para estufa por 24 horas a 37°C. Após o ensaio de imersão no biodiesel com bactérias, as amostras foram lavadas com água corrente secadas com soprador de ar e guardadas em dessecador para análise gravimétrica. A condutividade do biodiesel foi medida antes e depois do ensaio.

Os ensaios acelerados para a metodologia proposta com névoa de solução adaptada para as condições de trabalho com biodiesel, tiveram ciclos de duração de 2, 4, 6, 10, 15 e 24 horas. Foi utilizado para os ensaios acelerados de corrosão eletrólito contendo as espécies químicas corrosivas presentes no biodiesel, além do próprio biodiesel. A composição do eletrólito é apresentada na Tabela 1. Cabe salientar que ainda não há procedimentos normatizado para este tipo de eletrólito, e que o eletrólito proposto é baseado na literatura geral sobre a composição do biodiesel e suas impurezas frequentes. Os sais utilizados apresentam grau de pureza analítica. Não foram determinadas a solubilidade dos sais no biodiesel, nem o teor de umidade presente no mesmo.

Tabela 1 – Composição da solução da névoa de biodiesel para ensaio com acelerado

Composição	Teor
Na ₂ S	3%
NaOH	1%
KOH	1%
CaCl ₂	1%
Biodiesel	84%
CH ₃ OH	3%
P ₂ O ₅	1%

Para melhor compreensão dos resultados, as amostras de todos os ensaios foram avaliadas conforme a classificação NBR 8094/1984 (12) gerando um fator para cada análise visual, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação da corrosão adotada por este estudo

Amostra (simbologia)	Descrição
F0	Amostra não apresenta nenhum tipo de corrosão;
F1	Amostra apresenta corrosão em pontos em áreas localizadas;
F2	Amostra apresenta corrosão em pontos em geral;
F3	Amostra apresenta corrosão em áreas localizadas;
F4	Amostra apresenta corrosão parcial (pontos e áreas);
F5	Amostra apresenta corrosão total.

Uma bateria de ensaios de corrosão acelerados por névoa salina simples seguindo a norma NBR 8094/1984 (12) foi realizado para comparação com os resultados do ensaio com névoa de biodiesel.

As análises gravimétricas foram realizadas segundo a ASTM G31/72 (13), sendo utilizada a especificação mínima de contato $0,20 \text{ mL.mm}^{-2}$, originando também a taxa de corrosão.

Resultados e discussão

A análise visual das amostras submetidas ao ensaio de imersão direta simples não apresentaram corrosão aparente em todos os tempos de análise, porém houve variação na condutividade do biodiesel, conforme apresentado na figura 2. Nota-se pelo gráfico da figura 2 que quanto maior o tempo de imersão do metal no biodiesel, maior a condutividade da solução vai se tornando. Segundo Gallina (14), o metal quando é oxidado libera íons na solução que o cerca. O acréscimo de condutividade nas amostras deste estudo provavelmente foi devido à liberação de íons da amostra metálica, já que mesmo sem corrosão aparente as amostras perderam massa. Outro fator que pode ter contribuído para o aumento da condutividade é o processo de auto-oxidação do biodiesel(15). Porém ao analisar a condutividade de uma amostra de biodiesel exposta as mesmas condições sem contato com metal após 90 dias, apresentou condutividade abaixo de todas análises (97 pS/m), assim supôs-se que não ocorreu o processo de oxidação do biodiesel. Portanto, a perda de massa nas amostras indica que realmente o acréscimo da condutividade está associado à presença de íons metálicos oriundos do processo corrosivo, evidenciado pela perda de massa das amostras (Figura 3).

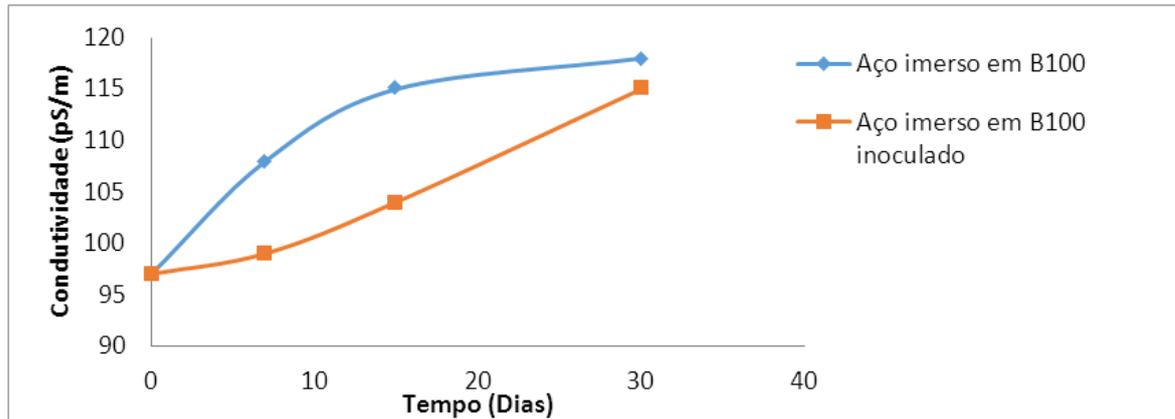


Figura 2 – Avaliação de condutividade nos eletrolitos de imersão em biodiesel B100

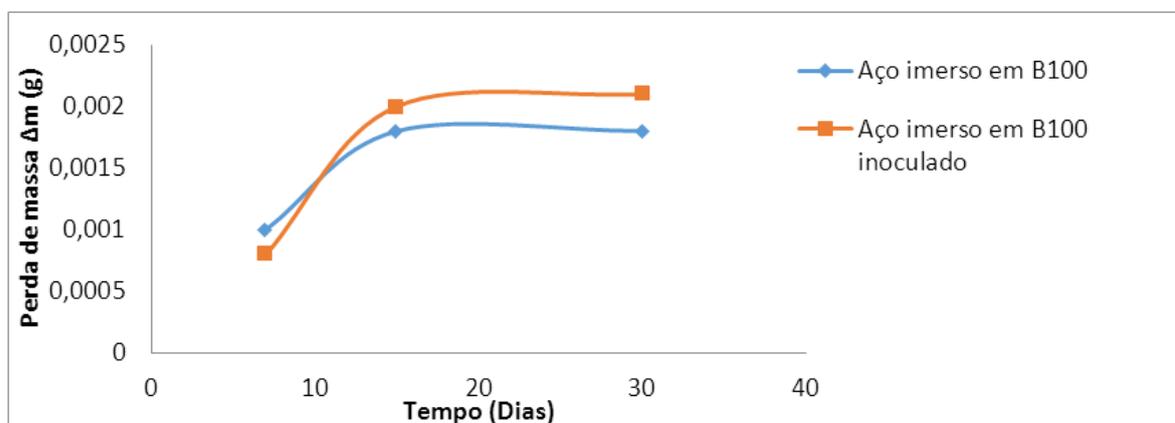


Figura 3 – Avaliação de perda de massa nos eletrolitos de imersão em biodiesel B100

As amostras do ensaio de imersão direta com corrosão microbiológica (B100 inoculado) não apresentaram corrosão visual, porém, ao retirar-se as amostras da solução todas apresentaram coloração levemente amarelada devido a provável formação de biofilme sobre a chapa. Contudo, apresentaram perda de massa, como apresentado na figura 3. Os resultados mostraram que a perda de massa no 15º dia foi maior para o ensaio com inoculação, e equiparando no 30º dia como era esperado devido a redução de atividade bacteriana. A perda de massa sobre as chapas expostas a microorganismos foi maior que a apresentada pelo ensaio de imersão com biodiesel, o que já era esperado, pois segundo Videla (11) a formação de biofilme por microorganismos acelera as taxas de corrosão, embora não influam diretamente na natureza do processo corrosivo.

O ensaio microbiológico apresentou maior perda de massa até o 30º dia em comparação com o ensaio de imersão tradicional, porém a condutividade foi menor (figura 2). Assim, pode-se intuir que os íons removidos da chapa de aço não foram dispersos na solução, visto que no 30º dia houve um aumento considerável na condutividade, mas a taxa de corrosão foi reduzida. Esse resultado concorda com Videla (11), que afirma que parte dos íons podem ficar presos no biofilme ou utilizados pelo mesmo em processo de auto sustentação, assim a condutividade se mostra menor apesar do processo de oxidação estar ocorrendo. No caso do presente estudo, acredita-se que o aumento de condutividade no final do 30º dia se deve ao decréscimo no

crescimento do biofilme e liberação dos íons presos nele, enquanto que a maior parte dos íons ficou presa no biofilme durante seu crescimento e amadurecimento.

Já nas amostras submetidas a ensaio de corrosão acelerada por névoa de biodiesel (adaptação da câmara de névoa salina) apresentaram corrosão a partir 4 h de exposição (corrosão Grau F1) e chegando a grau F5 após 24h de exposição. Os resultados da gravimetria das amostras dos ensaios adaptados para biodiesel são apresentados na tabela 3. Como pode ser observado pela tabela 3, a taxa de corrosão se mostrou constante durante todas as análises, com média de 43,129 mpy ($\pm 1,98$). O resultado obtido é semelhante ao encontrado por Matos et al (16), que obteve taxa de corrosão do aço de 39,9812 mpy em biodiesel, porém a partir de dados eletroquímicos utilizando a equação de Tafel. Assim, demonstra-se a viabilidade da metodologia proposta obter resultados experimentais próximos ao da literatura, comprovando que o biodiesel apresenta potencial de corrosão superior ao do diesel. Segundo Haseeb et al (17), o biodiesel apresenta menor estabilidade quanto a oxidação, alto teor de ácidos graxos e subprodutos vindos da oxidação, diferente do diesel e demais combustíveis fósseis, tornando aquele mais corrosivo.

Tabela 31 - Variação de massa e taxa de corrosão nos ensaios acelerados

Tempo de ensaio (horas)	Perda de massa Δm (g)	Taxa de corrosão (mpy)	Taxa de corrosão (mm/ano)
2	0,0045	39,50	1,00
4	0,0098	43,01	1,09
6	0,0151	44,18	1,12
10	0,0250	43,89	1,11
15	0,0371	43,42	1,10
24	0,0612	44,77	1,14

Por meio da análise visual das amostras após ensaios corrosivos foi possível a verificação de formação de corrosão alveolar, corrosão generalizada em pontos e corrosão localizada em linha; a formação de biofilme bacteriano não foi visível, devido ao tempo de formação; a formação e consolidação do biofilme bacteriano levam de 48 a 72 horas, como os ensaios apresentaram menor tempo a ação bacteriana não pode ser identificada (18).

A solução utilizada para o ensaio apresenta 1% de CaCl_2 , Segundo Gentil (20) a presença de cloro no meio favorece a formação de pites no metal, por ser um íon especialmente prejudicial ao filme de óxido e pela formação do processo de autocatálise. Assim a provável causa do aparecimento de corrosão alveolar comuns em fundo de tanques de armazenagem, um mecanismo próximo ao pites, seja a presença de cloro livre na solução.

A corrosão localizada em linha vista em destaque nas placas figura 4, ocorreu no tempo de 6 horas em ensaio. A corrosão provavelmente aconteceu devido ao desnível característico na região específica da amostra, segundo ASTM (2010) a câmara pode gerar áreas de acúmulo sobre as amostras, visto a importância de manter as amostras com inclinação para os ensaios, assim a névoa acumulada provavelmente criou caminho preferencial sobre a placa gerando a corrosão vista. A ocorrência da corrosão em linha não é característica em tanque de biodiesel, pois o produto se manter em repouso; caminhos preferenciais de corrosão não são formados e o produto de corrosão se acumula de forma uniforme. A partir de 10 horas de exposição o tipo predominante de corrosão sobre o sistema foi a generalizada. As placas apresentavam completa perda do brilho e produto de oxidação em toda face de análise como pode ser visto

na figura 4. Em tanques de armazenagem de biodiesel, quando há necessidade de substituição das chapas de aço do fundo é comum encontrar a corrosão generalizada com grandes áreas de corrosão alveolar. A amostra de 10 horas de exposição demonstra a formação de oxidação generalizada, porém a falta de uniformidade na superfície favorece regiões formadoras de alvéolos de corrosão. Segundo Gentil (20) a superfície do metal é um forte agente na formação de oxidação devido sua geografia singular, sulcos profundos estão sujeitos a concentração de cargas estagnadas provocando corrosão alveolar, como é visto nas amostras após o ensaio de 24 horas (Figura 4) comprovando o que se encontra em campo quando oxidados os tanques de biodiesel.

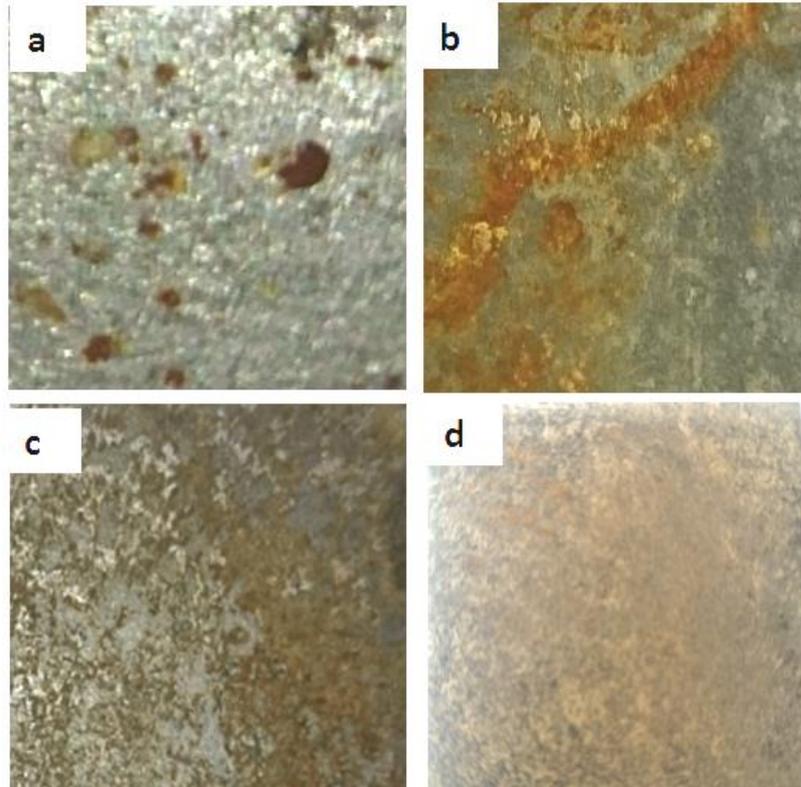


Figura 4 – Amostras de ensaio acelerado com biodiesel, com 4 h de exposição, apresentando corrosão localizada em pontos (a); com 6 h de exposição, apresentando corrosão localizada em linha(b); com 10 h de exposição (c) e 24 h de exposição (d), com corrosão generalizada.

Buscando comparativo entre o método de ensaio acelerado de corrosão com biodiesel e o teste de névoa salina tradicional, foi realizado um comparativo entre ambos. Em um ensaio de 24 horas com três amostras cada, foi utilizado névoa salina segundo NBR 8094/1984 (12) e um segundo ensaio com as mesmas condições porém com B100 e NaCl 5%. A figura 5 mostra a comparação entre as duas amostras ao final do ensaio.

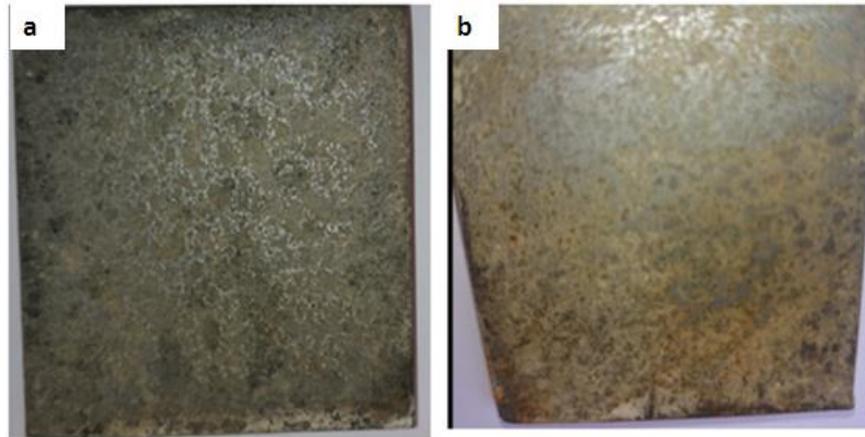


Figura 5 – Amostras dos ensaios de corrosão por névoa salina convencional (a) e por névoa de biodiesel B100 (b) após 24 h de exposição

No ensaio segundo NBR 8094/1984 (12) a amostra apresentou corrosão generalizada, similar ao ensaio com névoa adaptada, porém o ensaio com B100 apresentou pontos na chapa de coloração amarelada. Foi realizada comparação gravimétrica onde o ensaio tradicional teve média de perda de massa de 0,0551 g com desvio padrão de 0,008 g, enquanto a média de perda de massa para o ensaio com névoa adaptada foi de $0,0599 \pm 0,005$ g, apresentando perda de massa 9% maior no ensaio adaptado.

A névoa com biodiesel apresenta viscosidade muito maior do que a névoa salina convencional. Segundo Demirbas (6), a viscosidade do biodiesel (36,8 cSt), comparado a água (1,8 cSt) apresenta fator de impacto frente as análises, visto que o B100 contém componentes químicos em sua formulação que podem alterar as características da corrosão, assim a névoa quando entra em contato com a amostra forma um filme mais denso e persistente sobre a mesma, diferente do ensaio tradicional apenas com água e NaCl, onde a névoa tem um contato de menor período de tempo e não promovendo a sobreposição da névoa. A sobreposição ocorre no ensaio adaptado devido a viscosidade elevada, já que esta concentra a solução sobre a amostra provocando maior ataque destrutivo sobre o aço, causando a formação amarelada vista na figura 5.

Para identificar o principal fator causador da corrosão na interação com o biodiesel uma abordagem estatística foi utilizada, segundo o modelo de planejamento de experimentos (*desing of experiments* – DOE) utilizando software Minitab 17. A tabela 4 mostra os valores encontrados de variação para perda de massa em cada análise assim como o grau de corrosão atribuído pela análise visual, os agentes selecionados para o ensaio (Na_2S , NaOH, CaCl_2 e Bactéria inoculada) foram extrapolados para verificar a ação em ensaio acelerado.

Tabela 42 - Resultados dos ensaios de corrosão por DOE

Ensaio	Na ₂ S (%)	NaOH (%)	CaCl ₂ (%)	Bactéria (%)	Perda de massa (g)	grau de corrosão
1°	0	0	10	10	0,0091	2
2°	10	10	10	0	0,0201	5
3°	0	10	10	0	0,0101	2
4°	0	10	0	0	0,0020	1
5°	10	10	0	0	0,0106	3
6°	0	0	0	10	0,0003	0
7°	10	0	10	0	0,0189	4
8°	10	0	0	0	0,0099	2
9°	0	0	0	0	0	0
10°	10	0	0	10	0,0102	2
11°	10	10	0	10	0,0107	3
12°	0	0	10	0	0,0092	2
13°	10	0	10	10	0,0202	3
14°	0	10	10	10	0,0104	2
15°	0	10	0	10	0,0021	1
16°	10	10	10	10	0,0215	5

Utilizando como fator de entrada o grau de corrosão da tabela 4, e plotando esses dados em um gráfico de Pareto (figura 6), foi possível identificar o principal fator de entrada que causou corrosão no sistema.

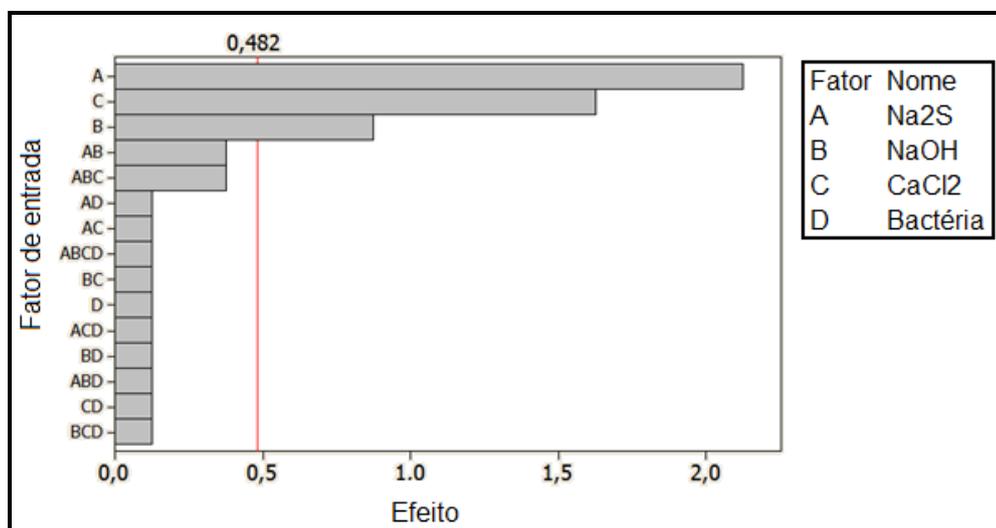


Figura 6 - Gráfico de Pareto coma interação entre os agentes de corrosão estudados

Assim, na figura 6 o eixo y representa os componentes da mistura e as interações entre eles, representado pela junção dos fatores, como a interação entre Sulfeto de sódio e Hidróxido de sódio, que é representada por AB. O eixo x demonstra o impacto corrosivo causado pelos respectivos fatores. Os três principais fatores de influência na corrosão, como era esperado, foram o sulfeto de sódio, o cloreto de cálcio e o hidróxido de sódio. Porém a influência do

Na₂S foi muito superior a dos demais agentes, podendo ser considerada o principal fator de influência na corrosão nos ensaios, seguido pelo cloreto de cálcio como o segundo maior fator de influência dentro do sistema.

A dissociação do sulfeto de sódio dentro do biodiesel libera o íon sulfeto. Segundo Almeida (20), a presença de enxofre é indicativo de potencial corrosão por diesel e seus derivados, sendo responsável pela formação de pontos de corrosão alveolar em estruturas de aço em equipamentos de fracionamento de petróleo. Tal fato indica também a capacidade destrutiva do agente sulfeto de sódio encontrado no biodiesel.

Já o cloreto de cálcio, quando em solução, tende à dissociação liberando o cloreto, conhecido pelo seu potencial corrosivo. De acordo com Videla (11), o cloreto em solução causa a corrosão de superfícies metálicas, pois seu caráter eletroquímico gera a tendência de oxidação, danificando a superfície e sua estrutura. A solução utilizada apresentou alta concentração de cloreto de cálcio, comprovando sua ação frente ao aço analisado.

A Figura 6 demonstra a fraca interação existente entre os fatores, onde apenas a interação do sulfeto de sódio com o hidróxido de sódio que a apresentou aumento na oxidação quando juntos na solução, porém de forma fraca, comprovando a singularidade de ação corrosiva dos agentes utilizados. A interação entre os fatores ficou abaixo de qualquer influência perceptível, como pode ser visto os fatores A, C e B apresentaram os maiores valores de corrosão, quanto à interação entre os fatores AB e ABC mesmo tendo influência na corrosão não obtiveram resultado expressivo. O produto de principal fator para corrosão foi o sulfeto de sódio, não apresentando valor muito maior que o da análise com o Cloreto de sódio, porém a participação do Na₂S dentro de todas as análises afetou de forma mais significativa.

Conclusões

Os resultados apresentados neste estudo mostram que o aço ASTM A285 utilizado na construção de tanques de armazenagem de biodiesel é sujeito a corrosão por este na taxa de cerca de 1 mm/ano.

Os ensaios de corrosão acelerada com névoa de biodiesel mostraram resultados semelhantes aos obtidos com névoa salina convencional segundo NBR 8094/1984. Apesar de apresentar inúmeras variáveis que possam perturbar os resultados, e de o teor de umidade no biodiesel não ter sido considerado nesse estudo, estes mostram que o ensaio acelerado com a metodologia adaptada proposta pode ser utilizado para prever a corrosão metálica por biodiesel.

Os ensaios acelerados de corrosão realizados por abordagem estatística mostraram baixa interação entre os mecanismos de corrosão e salientando dois fatores de corrosão no biodiesel, íons de Enxofre e Cloro. Não foi possível identificar a influência significativa da corrosão microbiológica no sistema, pois fatores como tempo e temperatura, fundamentais para o desenvolvimento bacteriano e formação de biofilmes, não foram controlados.

Não foi possível vincular o tempo de ensaio nos testes de corrosão acelerada (adaptada ou convencional) frente à corrosão por imersão, pois os ensaios de imersão necessitam de maior tempo para gerar resultados. Assim surge a oportunidade de em um trabalho futuro, avaliar a corrosão por ensaio de imersão em biodiesel com íons cloreto e em biodiesel com íons sulfeto separadamente.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Feevale, ao Mestrado em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais da Universidade Feevale, ao órgão de fomento CAPES. Também agradecem ao Laboratório de Estudos Avançados em Materiais da Universidade Feevale pela realização dos ensaios químicos e da preparação das amostras.

Referências bibliográficas

- (1) PETROBRAS N-1888: **Fabricação de tanques atmosférico**, Rio de Janeiro: Petrobras Engenharia Nortec, 2011. 14p
- (2) PETROBRAS N-270: **Projeto de tanques de armazenagem atmosférico**. Rio de Janeiro, Petrobras Engenharia Nortec, 2010, 10p
- (3) PETROBRAS N-271: **Montagem de tanques de armazenamento**. Rio de Janeiro: Petrobras Engenharia Nortec, 2010 18p
- (4) LAKE. L. W.; ARNOLD K. E.: **Facilities and construction engineering: *Petroleum engineering handbook***. Volume III 1998. 74p
- (5) LEUNG, D.Y.C; KOO, B.C.P.; GOU, Y.: **Bioresource Technology** 2006 280p
- (6) DEMIRBAS, A.; **Energy Conversion and Management** 2008. 78p
- (7) FERRARI, R.A.; OLIVEIRA, V.S.; SCABIO, A.: **Química Nova: Biodiesel de soja—taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia** 2005.174p
- (8) AKTIPARMAK, D.; KESKIN, A; KOCA, A.; GURU, M.; **Bioresource Technology**. 2007, 98p
- (9) ROSENHAIM, R.; TAVARES, M.L.A.; CONCEIÇÃO, M.M.; LIMA, A. E.A.; SANTOS, I.M.G.; SOUZA, A.G.: **Termogravimetria do Biodiesel de Origem de Óleo Vegetais Usados**. UFRG, 2006. 120p
- (10) ASTM B 2017 – 1996. **Standard Practice for Cyclic Salt Fog/UV Exposure of Painted Metal, (Alternating Exposures in a Fog/Dry Cabinet and a UV/Condensation Cabinet)**. Philadelphia, 1996. 8pg
- (11) VIDELA, H. A. **Corrosão Microbiológica**. E. Blusher, São Paulo SP, 1993. 122p
- (12) ABNT, NBR. 8094. **Material metálico revestido e não revestido-Corrosão por exposição à névoa salina-Método de ensaio**, 1983.
- (13) ASTM G31-72(2004), **Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals**, ASTM International, West Conshohocken, PA 2004. 8p.
- (14) GALLINA, André Lazarin et al. **A corrosão do aço inoxidável austenítico 304 em biodiesel**. **Rem: R. Esc. Minas, Ouro Preto**, v. 1, n. 63, p.071-075, jan.mar. 2010.
- (15) PULLEN, J.; SAEED, K. **An overview of biodiesel oxidation stability**. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.16, p.5924-5950, 2012
- (16) MATOS, Larissa Aparecida Corrêa et al. **Estudo da corrosão de ligas ferrosas em diesel e biodiesel**. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação de M. Sc., UNICENTRO/PR, Guarapuava, PR, Brasil, 2013
- (17) HASEEB, A. S. M. A. et al. **Compatibility of automotive materials in biodiesel: a review**. **Fuel**, v. 90, n. 3, p. 922-931, 2011.
- (18) FLEMMING H. C.: **Biofilms as a particular form of microbial Life**. Heidelberg. 1994. 98p
- (19) GENTIL, V. **Corrosão**. Rio de Janeiro, Editora LTC, 2003. 332p
- (20) ALMEIDA, Vinícius Mansur Dose Lage de. **Estudo da Influência do Número de Acidez Total e Teor de Enxofre Total nas Frações Destiladas no Processo de Corrosão em Aços do Tipo AISI 1020 e AISI 316**. 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.