

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

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

## LEGENDA:

### Degradação do Aço Carbono AISI 1020 Imersos em Diferentes Misturas de Óleo Diesel B6/B30 com Água do Mar

Eraldo de J. Argolo<sup>a</sup>, Rafael G. C. da Silva<sup>b</sup>, Sara H. de Oliveira<sup>c</sup>, Tayse C. da Silva<sup>d</sup>, Leillane B. S. Medeiros<sup>d</sup>, Francisca P. de França<sup>e</sup>, Severino L. Urtiga Filho<sup>f</sup>, Maria A. G. de A. Lima<sup>c</sup>

#### Abstract

The presence of water in the petroleum industry has been the primary cause of microbial contamination in the fuel, which when coming from marine environment is corrosive and biologically active. This research aimed to study the formation of biofilms and carbon steel corrosion rates AISI 1020 exposed to two static systems during periods of 14 and 35 days: the first containing the blend 10% of diesel B6 (6% of biodiesel) and 90% seawater, and the second blend containing 10% of diesel B30 (30% of biodiesel) and 90% seawater. The sessile micro-organisms at the end of the experiment, increased in the B30 system with 10% on average in the order of  $10E + 09$  NMP /  $cm^2$ , while the system containing 10% B6 was  $10E + 04$  NMP /  $cm^2$ . The corrosion rates obtained a polynomial parabolic profile of third degree for the two systems with diesel oil and seawater, with  $R^2 = 0.9938$  (bioreactor with 10% B6) and  $R^2 = 0.9394$  (bioreactor with 10% B30). Corrosion rates, in accordance with NACE-RP-0775 standard, verified moderate corrosiveness for carbon steel coupons immersed in both systems, and the system containing diesel B30 presented a corrosion rate higher than the system containing diesel B6.

**Keywords:** biocorrosion, diesel, biodiesel, seawater, carbon steel.

#### Resumo

A presença de água na indústria do petróleo tem sido a principal causa da contaminação microbiana em combustíveis, que quando proveniente do ambiente marinho é corrosiva e biologicamente ativa. Este trabalho teve como objetivo estudar a formação de biofilmes e taxas de corrosão do aço carbono AISI 1020 exposto a dois sistemas estáticos durante os períodos de 14 e 35 dias: o primeiro, contendo a mistura 10% óleo diesel B6 (6% biodiesel) e 90% água do mar, e o segundo, contendo mistura 10% óleo diesel B30 (30% biodiesel) e 90% água do mar. Os micro-organismos sésseis, ao final do experimento, apresentaram

<sup>a</sup> Doutorando, Engenheiro Químico – Universidade Federal de Pernambuco

<sup>b</sup> Mestrando, Engenheiro Químico - Universidade Federal de Pernambuco

<sup>c</sup> Prof. Doutora, Engenheira Química - Universidade Federal de Pernambuco

<sup>d</sup> Graduando, Engenharia Química - Universidade Federal de Pernambuco

<sup>e</sup> Prof<sup>a</sup>. Doutora, Engenheira Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro

<sup>f</sup> Prof. Doutor, Engenheiro Mecânico - Universidade Federal de Pernambuco

crescimento no sistema com 10% óleo diesel B30 em média na ordem de  $10E+09$  NMP/cm<sup>2</sup>, enquanto que o sistema contendo 10% óleo diesel B6 foi de  $10E+04$  NMP/cm<sup>2</sup>. As taxas de corrosão obtiveram um perfil parabólico polinomial de grau 3 para os dois sistemas com óleo diesel e água do mar, com  $R^2 = 0,9938$  (biorreator com 10% óleo diesel B6) e  $R^2 = 0,9394$  (biorreator com 10% óleo diesel B30). As taxas de corrosão, de acordo com a norma NACE-RP-0775, permitiram verificar corrosividade moderada para os cupons de aços carbono imersos em ambos os sistemas, sendo que o sistema contendo óleo diesel B30 apresentou uma taxa de corrosão mais elevada que o sistema contendo óleo diesel B6.

**Palavras-chave:** biocorrosão, óleo diesel, biodiesel, água do mar, aço carbono.

## **Introdução**

---

Biocorrosão ou corrosão influenciada microbiologicamente (CIM) é o dano causado ou acelerado pela presença de micro-organismos e suas atividades metabólicas. O biodiesel, por sua vez, é um combustível renovável e suas propriedades físicas são semelhantes ao do diesel de petróleo, entretanto sua queima apresenta menores emissões de gases estufa. A partir de novembro de 2014, a Agência Nacional de Petróleo (ANP) regulamentou a utilização de 7% em volume de biodiesel em conjunto com o diesel (1).

A água do mar é uma solução bem complexa que contém vários sais, tais como, cloretos, sulfatos e carbonatos, matéria orgânica e diversos micronutrientes. Logo, haverá um incremento na corrosão, tanto por o fornecimento de nutrientes para os micro-organismos, como também por a água do mar ser um dos eletrólitos mais agressivos, dentro dos processos corrosivos dos materiais (2). A atividade biocorrosiva em sistemas de óleo e gás, por exemplo, pode levar a formação de produtos metabólitos corrosivos decorrentes da degradação microbiológica de um combustível, podendo causar à degradação de revestimentos protetores de tanques, destruição ou inativação de inibidores de corrosão e a corrosão localizada de tanques e equipamentos de injeção (3). Vários micro-organismos estão envolvidos no processo de deterioração de superfícies metálicas, destacando-se as bactérias heterotróficas aeróbias, produtoras de ácidos, precipitantes de ferro, oxidantes de enxofre, heterotróficas anaeróbias, fungos, algas e, principalmente, as BRS (Bactérias Redutoras de Sulfato), pois reduz o sulfato a gás sulfídrico, substância altamente corrosiva (4).

O material utilizado neste trabalho foi o aço carbono, que é um dos mais empregados no ramo de petróleo devido as suas propriedades mecânicas e baixo custo, porém a depender das condições ambientais, os micro-organismos podem acelerar a sua corrosão e dissolução metálica (5). Este trabalho teve como objetivo quantificar as concentrações celulares de grupos microbianos importantes no processo de biocorrosão, e taxas de corrosão do aço carbono AISI 1020 exposto em dois sistemas estáticos durante um período de 35 dias: o primeiro, contendo a mistura 10% óleo diesel B6 (6% de biodiesel) e 90% água do mar, e o segundo sistema, contendo mistura 10% óleo diesel B30 (30% de biodiesel) e 90% água do mar.

## **Metodologia**

---

### **1 - Corpos de Prova**

Nos experimentos foram utilizados cupons metálicos de aço carbono AISI 1020 nas dimensões 30 mm x 10 mm x 3 mm, com área de 8,4cm<sup>2</sup>. O tratamento da superfície dos cupons foi feito com o jateamento de microesferas de vidro, para remover impurezas e incrustações, e a obtenção de um perfil de rugosidade adequado. Antes dos experimentos, os cupons metálicos foram lavados com álcool isopropílico e posteriormente acetona, para desgordurar e remover matéria orgânica da superfície do aço. Em seguida, os cupons foram secos com jatos de ar quente e pesados ao décimo de miligrama, e só então utilizados nos biorreatores para posterior cálculo da taxa de corrosão.

## **2 - Fluidos Utilizados no Experimento**

### **2.1 Água do Mar**

A água do mar utilizada nos experimentos foi coletada em frente ao Marco Zero, centro da cidade do Recife, mais especificamente entre o cais e arrecifes, onde há o encontro entre o rio e o mar, com 30 cm de profundidade. A primeira coleta dada para o experimento para o diesel B30, a temperatura da água foi 28°C, a umidade relativa do ar de 78%, a direção e intensidade do vento NE 9 km/h e pressão atmosférica de 1011 hPa. Na sua segunda coleta, por sua vez, a temperatura foi de 26°C, a umidade relativa do ar de 78%, a direção e intensidade do vento NE 9 km/h e pressão atmosférica de 1014 hPa (dados coletados do CPTEC).

### **2.2 Óleo Diesel B30**

O óleo diesel B30 foi preparado dentro do Laboratório de Microbiologia através de uma mistura (v/v) contendo 70% óleo diesel puro (óleo diesel tipo A) e 30% biodiesel. Porém, as amostras de combustíveis puros foram obtidas através da empresa Total<sup>®</sup> Combustíveis. Vale ressaltar que a amostra pura de biodiesel, que não é comercializada, foi cedida através de um acordo com a empresa.

## **3 – Biorreator**

Os experimentos foram conduzidos em sistemas nas condições estáticas, abertas e sob temperatura ambiente. Os cupons previamente tratados foram inseridos nos sistemas com volume de 3L, aprisionados as tampas dos biorreatores por fios de nylon e posicionados internamente a mesma altura (Figura 1). Os cupons metálicos foram expostos a mistura de 10% óleo diesel B6 com 90% água do mar e 10% óleo diesel B30 com 90% água do mar, no tempo total de 35 dias.



Figura 1 - Sistemas com 90% de água do mar, (A) 10% óleo diesel B6 e (B) 10% óleo diesel B30.

## **4 - Meios de Cultura**

### **4.1 Bactérias heterotróficas aeróbias**

Para quantificar as bactérias heterotróficas aeróbias (BHA), o meio de cultura caldo nutriente foi preparado e ajustado para pH  $7,0 \pm 0,2$ . Este meio de cultura foi distribuído em tubos de ensaio para posterior inoculação. Após inoculação os tubos foram incubados a  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  por um período de 48 horas. A presença de células e metabólitos causou a turvação do meio após o período de incubação.

### **4.2 Bactérias precipitantes do ferro**

As bactérias precipitantes do ferro (BPF) foram quantificadas em meio contendo citrato férrico amoniacal após 14 dias de incubação a  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ . Após o preparo do meio, o pH foi ajustado para  $6,6 \pm 2$ . Estas bactérias foram incubadas em ausência de luz. O crescimento microbiano foi caracterizado através da formação de óxidos de ferro de coloração ferruginosa.

### **4.3 Bactérias heterotróficas anaeróbias**

As bactérias heterotróficas anaeróbias (BHAn) foram quantificadas em meio fluido tioglicolato desidratado. O pH do meio foi ajustado para  $7,1 \pm 0,2$  e purgado com nitrogênio para expulsar todo o oxigênio livre presente. Em seguida foram colocados 9 mL desse meio em frascos do tipo de penicilina e vedados com tampa de borracha e lacre. Antes da inoculação dos frascos, foi adicionado a cada um deles, 0,1 mL de uma solução redutora de tioglicolato de sódio 12,4 g/L (esterilizada à 1atm, 20 minutos). O período de incubação do meio, após inoculações, foi de 28 dias à temperatura de  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ . O crescimento celular microbiano e a excreção de metabólitos foram evidenciados pela turvação do meio.

### **4.4 Bactérias redutoras de sulfato**

As bactérias redutoras de sulfato (BRS) foram quantificadas em meio Postgate E modificado.

O meio foi ajustado para o pH  $7,6 \pm 0,1$  e purgado com nitrogênio para expulsar todo o oxigênio livre presente. Em seguida foram colocados 9 mL desse meio em frascos do tipo de penicilina e vedados com tampa de borracha e lacre. Antes da inoculação dos frascos, foi adicionado a cada um deles, 0,1 mL de uma solução redutora de tioglicolato de sódio 12,4 g/L (esterilizada à 1atm, 20 minutos). A determinação do crescimento celular foi feita após incubação a  $30 \pm 1^\circ\text{C}$  por 28 dias. Após o período de incubação, o escurecimento do meio, devido à formação de depósitos de sulfeto de ferro, confirmou o crescimento das BRS.

#### 4.5 Solução redutora

Solução de tioglicolato de sódio a 0,124 g/L e água destilada. O pH foi ajustado para  $7,6 \pm 0,2$  e o meio foi purgado com nitrogênio para eliminar o oxigênio presente. Posteriormente foi distribuído 9 mL da solução em frascos de penicilina tampados com borracha e lacrados com lacre de alumínio. Nesta solução foram preparadas as respectivas diluições para inoculação nos meios anaeróbios.

### 5 – Quantificação Microbiana no Biofilme

As análises microbiológicas foram realizadas durante os experimentos para quantificação dos micro-organismos sésseis; nos intervalos de 14 e 35 dias. A cada análise, foram retirados quatro cupons do biorreator. Dois cupons foram colocados em recipiente contendo 30 mL de solução salina estéril, para análise dos micro-organismos aeróbios, e os outros dois colocados em recipiente contendo 30 mL de solução redutora, para análise dos micro-organismos anaeróbios. Os cupons para a quantificação celular foram submetidos a ultrassom (lavadora ultrassônica UltraCleaner USC700 Unique) por 15 segundos, para garantir a remoção e dispersão dos micro-organismos sésseis. Posteriormente, estes corpos de prova foram raspados com espátula estéril, nas soluções apropriadas. Os grupos de micro-organismos bactérias heterotróficas aeróbias, precipitantes do ferro, bactérias heterotróficas anaeróbias e bactérias redutoras de sulfato foram quantificadas pela técnica do Número Mais Provável (NMP) (6).

### 6 – Taxa de Corrosão por Perda de Massa

Os cupons metálicos foram submetidos às decapagens e a avaliação dos níveis de corrosividade de acordo com a norma NACE Standard RP 0775-2005 (7). As perdas de massa foram quantificadas nos tempos de 7, 14, 21, 28 e 35 dias. A Tabela 1 mostra as faixas das variações das taxas de corrosão segundo a norma utilizada.

**Tabela 1 – Variações das taxas de corrosão (Norma NACE).**

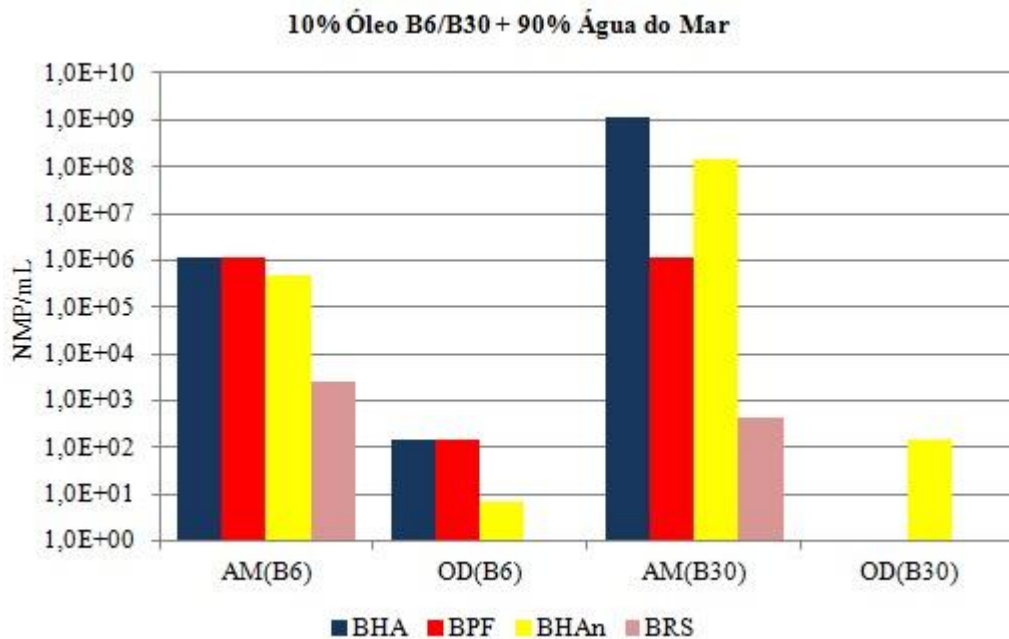
Taxa de corrosão uniforme (mm/ano)	Taxa de pite (mm/ano)	Corrosividade
< 0,025	< 0,13	Baixa
0,025 a 0,120	0,130 a 0,200	Moderada
0,130 a 0,250	0,210 a 0,380	Alta
> 0,250	> 0,380	Severa

$$CR = \frac{W \times 365 \times 1000}{ATD} \quad (1)$$

Onde: CR = taxa de corrosão em milímetros por ano (mm/ano); W = perda de massa em grama; A = área do cupom em mm<sup>2</sup>; T = tempo de exposição em dias; D = Densidade do cupom em g/cm<sup>3</sup>.

## Resultados e discussão

Antes de quantificar os micro-organismos sésseis, são quantificados primeiramente os micro-organismos planctônicos presentes individualmente na água e no óleo diesel utilizados em cada sistema, antes de efetuar a mistura. A Figura 2 mostra os resultados encontrados para cada composto utilizados nos sistemas: 10% Diesel B6 (OD B6) + 90% Água do mar (AM B6) e 10% Diesel B30 (OD B30) + 90% Água do mar (AM B30).



**Figura 2 – Análise microbiológica da Água do mar, do Diesel B6 e do Diesel B30 utilizados no experimento.**

As coletas da água do mar foram realizadas em dias diferentes para cada sistema, e pela Figura 2 é possível confirmar uma maior diversidade e quantidade de micro-organismos na água do mar do que no óleo diesel. Os maiores valores foram das bactérias heterotróficas aeróbias e anaeróbias da água do mar, utilizada na mistura com diesel B30, com  $1,1 \times 10^9$  NMP/mL de BHA e  $1,4 \times 10^8$  NMP/mL de BHAn. Já para a água do mar utilizada com diesel B6, estes resultados foram de  $1,1 \times 10^6$  NMP/mL de BHA e  $4,5 \times 10^5$  NMP/mL de BHAn. Quantidades semelhantes de bactérias precipitantes do ferro foram encontradas nas duas amostras de água do mar. Apesar das coletas terem sido realizadas na mesma região, provavelmente fatores tais como datas diferenciadas, mudança de maré, correntes marítimas e salinidade influenciaram na diferença destes resultados. No diesel B6 foram constatadas as

presenças das bactérias heterotróficas aeróbias, anaeróbias e precipitantes do ferro, enquanto no diesel B30 apresentou apenas as bactérias anaeróbias heterotróficas.

A quantificação dos micro-organismos sésseis foi realizada nos tempos de 14 e 35 dias para cada sistema como consta nas Figuras 3 e 4.

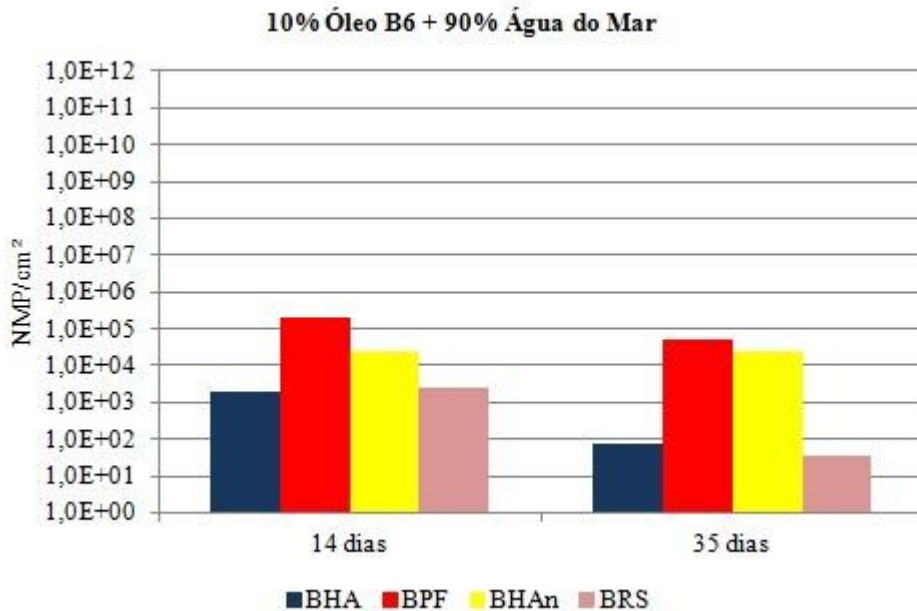


Figura 3 – Concentração de micro-organismos sésseis no biorreator com 10% diesel B6 e 90% Água do mar.

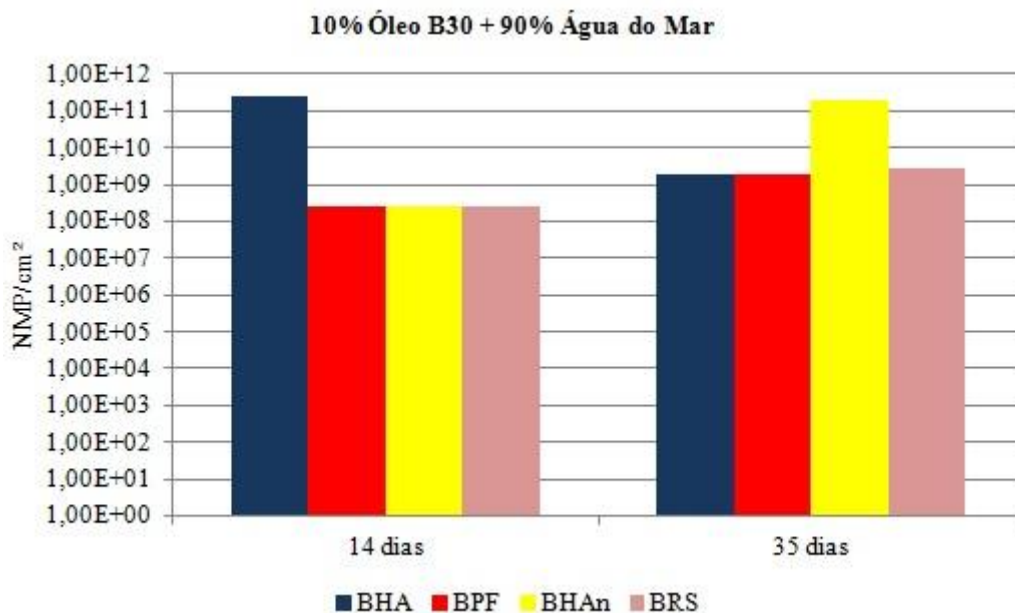


Figura 4 – Concentração de micro-organismos sésseis no biorreator com 10% diesel B30 e 90% Água do mar.

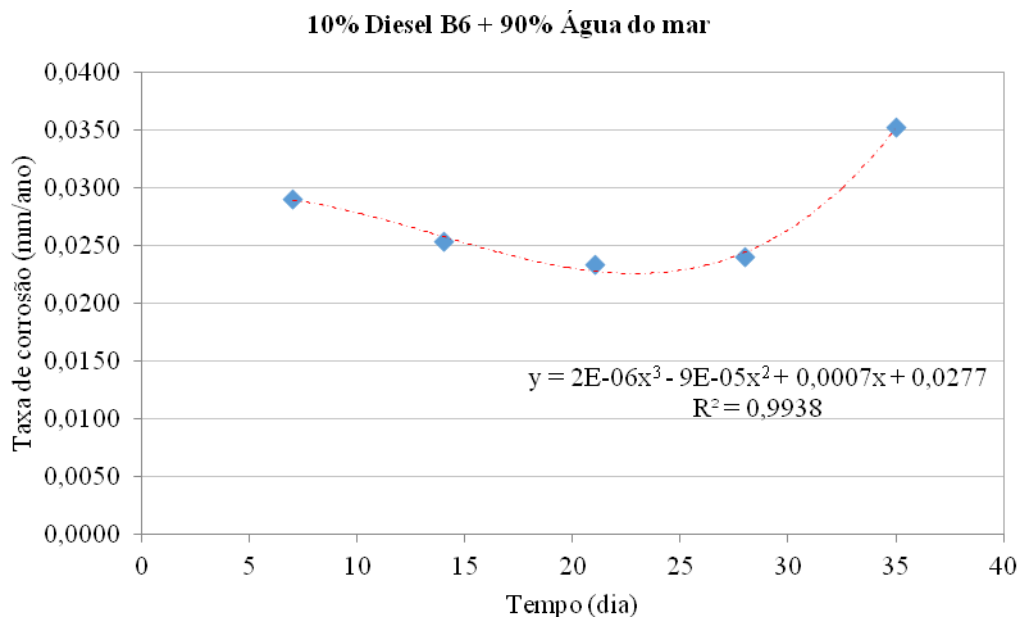
Dentre os resultados obtidos, Figuras 3 e 4, é possível constatar que o sistema contendo diesel B30 apresentou maior quantificação de micro-organismos quando comparado ao sistema com diesel B6. Pesquisas como a de Sorensen *et al.* mostraram que as comunidades microbianas

na mistura de combustível realmente variam de acordo com a proporção do biodiesel presente (8). Bücken *et al.* relataram em seu trabalho sobre biodegradação que a adição de biodiesel ao diesel faz com que o combustível seja mais susceptível a contaminação microbiana ou a formação de biomassa durante armazenamento, fato que também foi diagnosticado por este trabalho (9).

Pela Figura 3 é possível observar que a quantidade dos grupos microbianos de BHA, BPF e BRS diminuíram no período de 14 dias para 35 dias. O decréscimo na população bacteriana de BHA e BPF foi provavelmente devido à diminuição de nutrientes e concentração de oxigênio no biorreator (10). O decréscimo das BPF foi provavelmente suficiente para não produzir condições necessárias para o crescimento das BRS, uma vez que as BPF apresentam por característica oxidar íons ferrosos, produzindo precipitados de óxidos e hidróxidos que acabam por favorecer o crescimento das BRS devido à criação de um ambiente anaeróbio (11). Contudo, a detecção de bactérias heterotróficas anaeróbias sésseis corroborou com o encontrado por Vieira que afirma que o desenvolvimento desse grupo bacteriano é influenciado pela não renovação de oxigênio, tendo em vista que o sistema não é dinâmico, e então as condições de aeração foram suficientes para o crescimento destas bactérias (12).

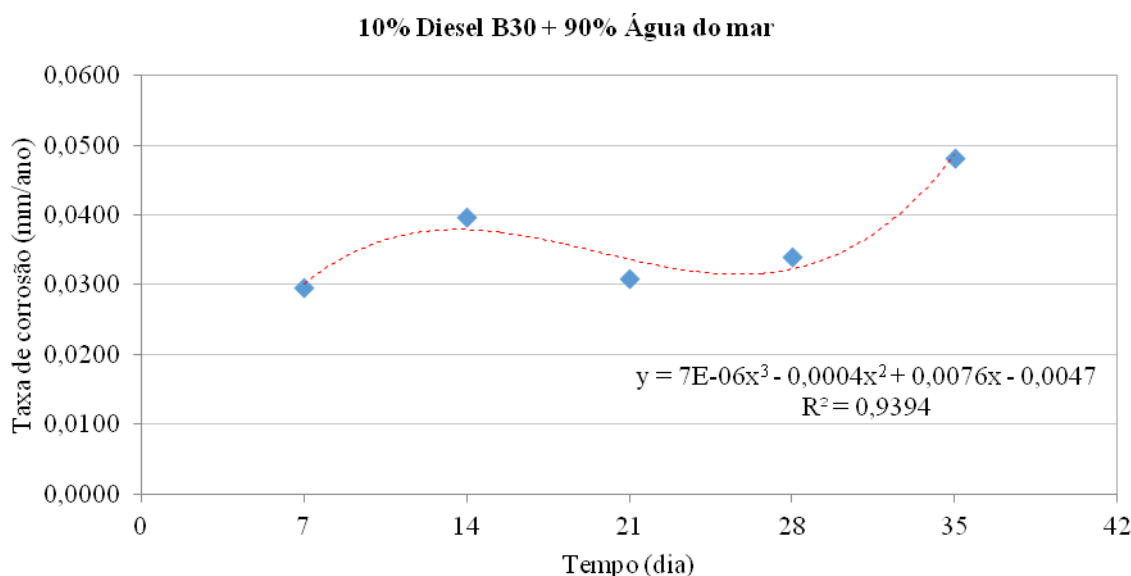
O mesmo raciocínio pode ser aplicado para a análise do biorreator 10% óleo diesel B30 com 90% água do mar, figura 4, o qual o crescimento das BRS (de  $10^8$  NMP/mL para  $10^9$  NMP/mL) foi igual ao das BPF, e a redução das BHA (de  $10^{11}$  NMP/mL para  $10^9$  NMP/mL) concordou com o aumento na população das BHAn (de  $10^8$  NMP/mL para  $10^{11}$  NMP/mL) pelo consumo de oxigênio e de nutrientes presentes no meio pelas BHA e BPF.

A taxa de corrosão por perda de massa foi diagnosticada a cada semana, dos 35 dias de experimento de cada sistema, como mostra nas Figuras 5 e 6.



**Figura 5 – Taxa de corrosão para o aço carbono no biorreator contendo 10% diesel B6 e 90% Água do mar**





**Figura 6 – Taxa de corrosão do aço carbono no biorreator contendo 10% diesel B30 e 90% Água do mar**

Pelas Figuras 5 e 6, o gráfico que melhor se ajustou aos pontos encontrados foi uma curva polinomial de terceiro grau para ambos os sistemas estudados, com coeficiente de regressão linear ( $R^2$ ) de 0,9938 e 0,9394, respectivamente. O maior valor de perda de massa foi constatado no dia 35 para ambos os sistemas, com valores de 0,0350 mm/ano para o biorreator com 10% diesel B6 e de 0,0482 mm/ano para o biorreator com 10% diesel B30. Portanto, o sistema com maior percentual de biodiesel não só apresentou a maior quantificação microbiológica, como também obteve o maior valor de taxa de corrosão por perda de massa. De acordo com a Tabela 1 da norma NACE Standard RP 0775-2005, as taxas de corrosão obtidas podem ser classificadas como de corrosividade moderada.

Estudos avaliados por Cruz *et al.* (13) também encontraram maiores valores de perda de massa em sistemas com maior percentual de biodiesel, porém a menor porcentagem de água utilizada em seus sistemas acarretou em menores valores da taxa de corrosão, uma vez que a água possui uma maior concentração de eletrólitos, bem como uma maior quantidade de oxigênio dissolvido (10).

## Conclusões

Dentre a análise dos micro-organismos planctônicos, constatou-se que os quatro grupos de bactérias estudadas estiveram presentes na água do mar, enquanto que no diesel B6 foram constatadas as presenças das bactérias heterotróficas aeróbias, anaeróbias e precipitantes do ferro; no diesel B30 apenas as bactérias anaeróbias heterotróficas. Na análise dos micro-organismos sésseis em 14 e 35 dias, destacou-se a presença das bactérias heterotróficas anaeróbias nos dois sistemas, contudo o sistema contendo diesel B30 apresentou a maior quantificação microbiológica e também o maior valor de taxa de corrosão por perda de massa que o sistema diesel B6. De acordo com a norma NACE Standard RP 0775-2005, as taxas de corrosão obtidas em ambos os sistemas foram classificadas como de corrosividade moderada e apresentaram um comportamento parabólico polinomial do terceiro grau.

---

**Referências bibliográficas**

---

- (1) ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Apresentação dos resultados dos Testes de uso experimental e específico de biodiesel e suas misturas com óleo diesel em teores diversos do autorizados em legislação. **Relatório Técnico N° 03/2014/SBQ/RJ**. 25 de março de 2014.
- (2) ARGOLO, E.J.; DE FRANÇA, F.P.; OLIVEIRA, S.H.; DA SILVA, R.G.C.; CRUZ, T.C.S.; QUEIROZ, V.B.; URTIGA FILHO, S.L.; LIMAS, M.A.G.A. Biocorrosão em Cupons de Aço Carbono AISI 1020 Expostos à Água do Mar e Óleo Diesel S10/Biodiesel B6. In: CONFERÊNCIA SOBRE TECNOLOGIA DE EQUIPAMENTOS, 13<sup>a</sup>, 2015. **Anais...** 13<sup>a</sup> Conferência Sobre Tecnologia de Equipamentos, 2015, 16p.
- (3) RODRIGUES, T.; DE OLIVEIRA, A.; COUTINHO, D.; GUERREIRO, L.; GALVÃO, M.; SOUZA, P.; CHARRET, S.; DE OLIVEIRA, V.; LUTTERBACH, M. Diversidade de microrganismos relacionados com a biocorrosão no sistema óleo e gás. **Corros. Prot. Mater**, v. 32, n. 4, p. 100-104, 2013.
- (4) SILVA, P. **Utilização de THPS e xantana como estratégia para o controle da corrosão microbiologicamente induzida**. 2011. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.
- (5) MARANGONI, P.R.D. **Formação de biofilmes em usinas hidrelétricas, seus efeitos e o controle da corrosão influenciada por micro-organismos**. 2014. 187f. Tese (Doutorado em Microbiologia, Parasitologia e Patologia Básica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- (6) APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. **Standard methods for The Examination of Water and Wastewater**. 21st edition, Washington, DC, Centennial Edition, 2005.
- (7) NORMA NACE RP-07-75. **Standard recommended practice, preparation, installation, analysis and interpretation of corrosion coupons in oilfield operations**. 2005.
- (8) SORENSEN, G., PEDERSEN, D. V., NORGAARDA, A. K., SORENSEN A., K. B., NYGAARDA, S.D. Microbial growth studies in biodiesel blends. **Bioresource Technology**, v. 8, n. 3, p. 40–42, 2011.
- (9) BÜCKER, F.; BARBOSA, C.S.; QUADROS, P.D.; BUENO, M.K.; FIORI, P.; TE HUANG, C.; FRAZZON, A.P.G.; FERRÃO, M.F.; CAMARGO, F.A.O.; BENTO, F.M. Fuel biodegradation and molecular characterization of microbial biofilms in stored diesel/biodiesel blend B10 and the effect of biocide. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.95, p. 346-355, 2014.
- (10) GENTIL, V. **Corrosão**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos S.A, 2012, 392p.

- (11) VIDELA, H.A. **Biocorrosão, biofouling e biodeterioração de materiais**. 1.ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda., 2003. 160 p.
- (12) VIEIRA, M.R.S. **Estudos dos Processos de Corrosão e Biocorrosão Causados por Fluidos na Indústria do Petróleo**. 2013. 152p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.
- (13) CRUZ, T.C.S., ARGOLO, E.J., OLIVEIRA, S.H., DA SILVA, R.G.C., DE QUEIROZ, V.B., LIMA, M.A.G.A., FILHO, S.L.U., DE FRANÇA, F.P. Degradation of carbon steel AISI 1020 coupons immersed in blends containing 90% Diesel B6 and 10% Seawater, 90% Diesel B30 and 10% Seawater. In: VI International Conference on Environmental, Industrial and Applied Microbiology – BioMicroWorld; 2015 Oct 28-30; Barcelona, Spain. **Anais**...Barcelona: Formatex Research Center; 2015. p. 497.