

CORROSÃO DE LIGA DE ALUMÍNIO EM MEIO DE BIODIESEL E DIESEL

CORROSION OF ALUMINUM ALLOY IN THE MIDDLE OF BIODIESEL AND DIESEL

Mayara Soares (Bolsa discente, modalidade Iniciação Científica Fundação Araucária –UNICENTRO.

Danielle Cristina Silva (Bolsa discente modalidade Iniciação Científica e Tecnológica - PIBIT/CNPq –UNICENTRO.

Orientador: Prof. Dr. Everson do Prado Banczek

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Departamento de Química, Campus CEDETEG, Guarapuava, PR.

Submetido em 28/06/2016

Revisado em 29/06/2016

Aprovado em 03/10/2016

RESUMO:

Este estudo teve como objetivo investigar a corrosão do alumínio AA 3003 em meio de diesel S10 B5 e biodiesel B100 de soja. As amostras foram imersas em diesel e biodiesel durante 2 meses em temperatura ambiente. Ensaio de perda de massa foram realizados. As amostras foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), potencial de circuito aberto (PCA), espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) e polarização Potenciodinâmica anódica (PPA). Os resultados de perda de massa sugerem que o alumínio, quando imerso em diesel ou biodiesel não sofre um processo corrosivo acentuado. A morfologia da superfície revelou que houve alteração da superfície devido ao processo corrosivo. Os resultados eletroquímicos demonstraram que o alumínio AA 3003 se mostrou mais resistente à corrosão quando foi imerso nos combustíveis.

Palavras chave: Biocombustível, Combustível, Oxidação.

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the AA 3003 aluminum corrosion in S10 B5 diesel and B100 soybean biodiesel. The samples were immersed in diesel and biodiesel for 2 months at room temperature. Weight loss tests were performed. The samples were characterized by scanning electron microscopy (SEM), open circuit potential (PCA), electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and potentiodynamic anodic polarization (PPA). The mass loss results suggest that aluminum, when immersed in diesel or biodiesel does not suffer a

marked corrosive process. The surface morphology revealed that the surface was no change due to the corrosion process. The electrochemical results showed that AA 3003 aluminum was more resistant to corrosion when it was immersed in fuel.

Keywords: Biofuel, Fuel, Oxidation.

Introdução

A substituição de combustíveis fósseis é objeto de estudo principalmente devido aos problemas ambientais causados pela sua combustão. Uma das alternativas ambientalmente corretas para a substituição dos combustíveis fósseis é o biodiesel (ASHRAFUL, 2014; BASHA, 2009). Este biocombustível apresenta diversas fontes para a sua obtenção por meio de uso de diferentes oleaginosas. É definido como etil ou metil éster de ácido graxo de óleos vegetais ou gordura animal (DEMIRBAS, 2007; RIZWANUL, 2014). Possui propriedades semelhantes ao diesel combustível (BASHA, 2009; FOO, 2009; JANAUN, 2010). O biodiesel é uma fonte de energia renovável que pode ser utilizado sem alterações dos motores a diesel (MEHER, 2006). Os combustíveis fósseis são formas de energia não renováveis e poluentes os quais contribuem para o aquecimento global e seus usos determinarão o seu esgotamento em um futuro próximo (AGARWAL, 2007).

Além dos problemas ambientais gerados o uso de combustíveis estes podem causar danos relacionados à manutenção e troca de peças metálicas devido ao processo corrosivo (AMBROZIN, 2009). A ruptura de um tanque de armazenamento ou tubulação pode proporcionar problemas ambientais relacionados com derramamento do combustível para o meio ambiente. Uma desvantagem do biodiesel frente ao diesel é que é mais corrosivo que o combustível fóssil (ASHRAFUL, 2014; FAZAL, 2010).

Quando o biodiesel atende as especificações de qualidade, fica garantido que o mesmo pode ser empregado pelo consumidor. Porém, com o passar do tempo e o contato deste combustível com os componentes metálicos do motor, as propriedades do biodiesel podem ser alteradas (PULLEN, 2012).

As alterações nas propriedades originais do combustível podem acontecer de diferentes formas, entre estas se destaca: a decomposição térmica devido ao superaquecimento, oxidação pelo contato com o oxigênio do ar

atmosférico, ação microbiológica ou ainda por meio da hidrólise devido a presença de umidade excessiva (PULLEN, 2012).

A corrosividade do biodiesel pode ser ainda maior se o mesmo possuir a presença de água ou ácidos graxos residuais do processo de transesterificação. Desta forma, devido à baixa estabilidade oxidativa provocada no biodiesel pela existência destes compostos, ocorrem os processos de auto oxidação. As propriedades iniciais do biocombustível são alteradas, aumentando a tendência de corroer os componentes dos motores automotivos (ASHRAFUL, 2014; FAZAL, 2010).

Um estudo demonstrou que a presença de 2% de biodiesel no diesel aumenta a corrosividade do diesel quando em contato com diversos materiais metálicos (TSUCHIYA, 2006). Estudos demonstraram que o contato do biodiesel com diferentes metais não mostra somente que há um aumento da degradação do combustível, mas também ocorre o aumento da corrosividade do meio (GELLER, 2008; HASEEB, 2010).

Diversos materiais metálicos são utilizados em componentes veiculares e de armazenamento, e entre estes pode ser destacado o alumínio e suas ligas que apresentam propriedades interessantes às quais determinam as suas diversas aplicações. Entre as características podem ser destacadas sua leveza, alta condutividade elétrica e térmica, resistência a altas e baixas temperaturas, resistência à corrosão, possui uma boa aparência, é reciclável e é facilmente fabricado (DAVIS, 1999; SUKIMAN, 2013).

O alumínio forma liga com uma variedade de metais, os quais são utilizados para aumentar a propriedade de resistência mecânica para assim aumentar sua diversibilidade de aplicações. Porém, uma das mais importantes características do alumínio puro é sua resistência à corrosão, e ao formar ligas o metal pode ter essa propriedade diminuída. Quando o alumínio é exposto à atmosfera ocorre uma reação de oxidação pela qual forma-se uma película que o protege contra a corrosão. O alumínio é resistente ao desgaste e contra muitos ácidos, entretanto quando exposto ao um meio agressivo com cloreto o óxido pode ser rompido e ocorrer à corrosão (DAVIS, 1999; DIAZ, *et al.*, 2009;).

As ligas de alumínio são identificadas por um conjunto de quatro números, onde cada uma representa liga com específicos metais. Na indústria

automobilística destaca-se a liga 3003 e 6061. A liga 3003 tem muitas aplicações como em utensílios de cozinha, calhas, telhas, trocadores de calor, na indústria de ônibus e baús e na produção de tanques de armazenamentos de combustíveis, nos quais ocorre o contato direto metal x combustível. A liga 3003 consiste em Al-Mn, é a liga Al-Mn mais antiga no mercado e a de maior importância econômica, apresenta alta resistência à corrosão e moderada resistência mecânica (MARTINS e PADILHA, 2006; MINATEL, 2009; SUKIMAN *et al.*, 2013).

A película de óxido na superfície do alumínio se forma rapidamente, é compacta e passiva ao contato com o ar. A resistência à corrosão do alumínio tem uma forte dependência do pH. A valores de pH extremos, menores que pH= 4,0 ou maiores que pH= 9,0 essa resistência diminui drasticamente, particularmente em soluções alcalinas ou na presença de íons cloretos, os quais dissolvem a camada de óxido protetora (DIAZ, *et al.*, 2009; DOS SANTOS, 2011).

A região onde há passividade do alumínio em meio aquoso, ou seja, onde ele está estável e o óxido em sua superfície está protegendo está em torno de pH 4,0 e 8,5. Em pH maiores que 8,5 e abaixo de 4,0 o óxido perde seu poder protetor devido à exposição à solução muito ácidas e muito básicas e assim ocorre a oxidação do metal (DOS SANTOS, 2011).

Estas propriedades tornam o alumínio muito útil nos sistemas veiculares, nas peças automotivas, como blocos de motor ou pistões, no sistema de exaustão e sistemas de injeção (SUKIMAN, 2013; VENKATESHWARLU, 2014). Normalmente o sistema de combustível de um automóvel, o pistão é constituído por alumínio (100%), bloco do motor (19%), cabeça do cilindro (70%), entre outros (FAZAL, 2010).

Este estudo teve como objetivo investigar a corrosão da liga de alumínio AA 3003 em meio de diesel S10 B5 e biodiesel B100 de soja.

Metodologia

Materiais:

O substrato metálico empregado foi o alumínio AA 3003, previamente lixado com lixas de SiC com #280, #400, #600, #1200 e polidas com pasta de

diamante de 9µm, 6µm, 3µm, 1µm e ¼ µm. O Biodiesel empregado foi o B100 de soja e o Diesel utilizado foi o B5 S10 comercial.

Ensaio de imersão:

As peças metálicas foram submetidas a imersão nos dois combustíveis separadamente, durante 2 meses à condição de temperatura ambiente, para assim simular como o combustível estaria em condições de armazenamento. A norma ASTM G31/72 (2004), determina a forma de determinação de corrosão por ensaios de perda de massa estabelecendo o volume de 0,20 mL/mm² de combustível, baseado na área da peça metálica. A imersão foi monitorada semanalmente. Foi medida a massa de cada amostra antes e após a imersão nos combustíveis para a determinação da diferença de massa devido ao processo corrosivo promovido pelos combustíveis. Após o período de imersão as amostras foram retiradas dos combustíveis, lavadas com etanol e secadas com jato de ar, antes de realizar a pesagem final. A perda de massa foi determinada de acordo com a equação a seguir:

$$m \text{ (g cm}^{-2}\text{)} = \frac{m_1 - m_2}{A}$$

Onde m_1 = massa antes da imersão em combustível (g);

m_2 = massa após imersão em combustível (g);

A = área da peça metálica de alumínio (cm²);

Uma amostra de alumínio não imersa foi utilizada como controle. Esta amostra permaneceu em dessecador durante 2 meses em temperatura ambiente. Para os ensaios eletroquímicos estas peças foram preparadas como descrito no item materiais da metodologia.

Caracterização eletroquímica:

Os ensaios eletroquímicos foram realizados em uma célula com formato cilíndrico feita de PVC contendo três eletrodos. O eletrodo de referência foi de sulfato mercuroso, o eletrodo de trabalho de alumínio AA 3003 e um contra eletrodo de platina. A solução eletrolítica utilizada foi de Sulfato de Sódio (Na₂SO₄) 0,5 molL⁻¹ pH = 4,0, tamponada com biftalato de potássio e hidróxido de sódio. A solução tamponada foi utilizada para a manutenção do pH= 4, o qual

determina a região de limite de passividade do metal. As amostras de alumínio foram analisadas neste eletrólito antes e após os 2 meses de imersão nos combustíveis.

As peças de alumínio tinham uma área média de $5,67 \text{ cm}^2$, porém, durante as medidas eletroquímicas a área ativa foi delimitada em $0,95 \text{ cm}^2$.

As medidas eletroquímicas foram realizadas em um potenciostato Gamry® PC4-300, associado a um analisador de frequência EIS 300.

Os ensaios consistiram em potencial de circuito aberto (PCA), espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) e polarização potenciodinâmica anódica (PPA).

As medidas de (EIE) foram realizadas potenciostaticamente, no potencial de circuito aberto, com uma amplitude de perturbação de $\pm 10 \text{ mV}$ em uma faixa de frequência de 10 kHz a 10 MHz e aquisição de dados de 10 pontos por década.

Os ensaios de (PPA) foram realizados aplicando-se uma sobretensão de 2 V no sentido anódico a partir do potencial de circuito aberto com uma velocidade de varredura de 1 mVs^{-1} .

Microscopia Eletrônica de varredura (MEV) e Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS):

Os ensaios de MEV foram empregados para se averiguar a morfologia da superfície do metal antes e após a imersão nos combustíveis com aumento de $1500\times$. As análises de EDS foram executadas para se determinar a composição elementar da superfície. O aparelho utilizado foi um equipamento Tescan® Vega 3, com aumento de 1500 vezes.

Resultados e Discussões:

Ensaio de Perda de Massa:

A perda de massa média foi determinada pela diferença de massa das peças antes e após imersão nos combustíveis e os resultados são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1: Resultados obtidos dos ensaios de perdas de massa para o alumínio imerso nas amostras de diesel e biodiesel.

AMOSTRA	AA 3003 + B100	AA3003 + Diesel
Perda de Massa (mgcm ⁻²)	5,5 ± 0,002	3,7 ± 0,002

Os resultados de perda de massa demonstram que valores muito baixos de perda de massa foram obtidos, sugerindo que o alumínio, quando imerso nos combustíveis, não sofre um processo corrosivo acentuado. Tal comportamento está relacionado à característica que o alumínio possui de se passivar. De acordo com Kaul, (2007) o alumínio é um dos metais mais compatíveis em presença de diesel ou biodiesel. Entretanto, a perda de massa foi maior em presença do biodiesel o que está de acordo com a literatura Fazal, (2010).

Os resultados de perda de massa indicam que o alumínio AA 3003 em meio de biodiesel B100 está mais susceptível ao processo corrosivo, pois a perda de massa foi maior, entretanto, os valores de perda de massa são muito baixos e, por isso, estes resultados não são definitivos para a determinação e caracterização frente à corrosão deste material metálico em meio de biodiesel e diesel.

Os resultados de perda de massa estão de acordo com a literatura Fazal, (2010), pois comportamento semelhante foi obtido para o alumínio imerso em biodiesel e diesel.

De acordo com Cordeiro, (2013) a massa que o alumínio perde na presença dos combustíveis é desprezível e estes resultados estão de acordo com os obtidos neste trabalho.

Além disso, quando as amostras foram retiradas da imersão não havia nenhuma mudança visível na lâmina metálica e o biodiesel e o diesel não apresentaram nenhuma mudança em sua coloração, resultado obtido semelhante aos trabalhos de Cordeiro, (2013) e Fazal, *et al.*, (2012).

Outros metais como, por exemplo, o cobre, quando imerso em biodiesel, pode haver uma intensa mudança na coloração, a qual pode ocasionar contaminação no biocombustível, esta mudança de coloração se deve aos diferentes estados de oxidação e transformações que o metal sofre (CORDEIRO, 2013 e FAZAL *et al.*, 2012; HUANG *et al.*, 2012).

Ensaio Eletroquímico:

Na figura 1 são apresentados os resultados de Potencial de Circuito Aberto. A curva de PCA é importante para a análise os processos que ocorrem na superfície metálica, principalmente a formação e a dissolução da película de óxido.

A análise das curvas permite determinar o comportamento do potencial de cada amostra e é possível observar que as peças imersas nos combustíveis tendem a potenciais mais nobres, quando comparadas ao material não imerso. Adicionalmente, observa-se que a amostra imersa em diesel apresentou a tendência de deslocamento de potencial para os valores mais positivos entre os sistemas, sugerindo uma maior resistência à corrosão. Este resultado está de acordo com aqueles obtidos por perda de massa nos quais há a indicação de que o alumínio é mais resistente à corrosão em meio de diesel.

Estes resultados estão de acordo com a literatura Cordeiro, (2013) onde amostras de microemulsão de B100 e B5 apresentaram resultados semelhantes aos deste trabalho a partir de medidas de potencial de circuito aberto. Díaz *et al.*, (2009), obteve o mesmo resultado para medidas de PCA, porém ele utilizou ciclos de lavagem para o biodiesel, mas os resultados foram os mesmos, o potencial ficou mais positivo com o passar do tempo devido a formação de um filme.

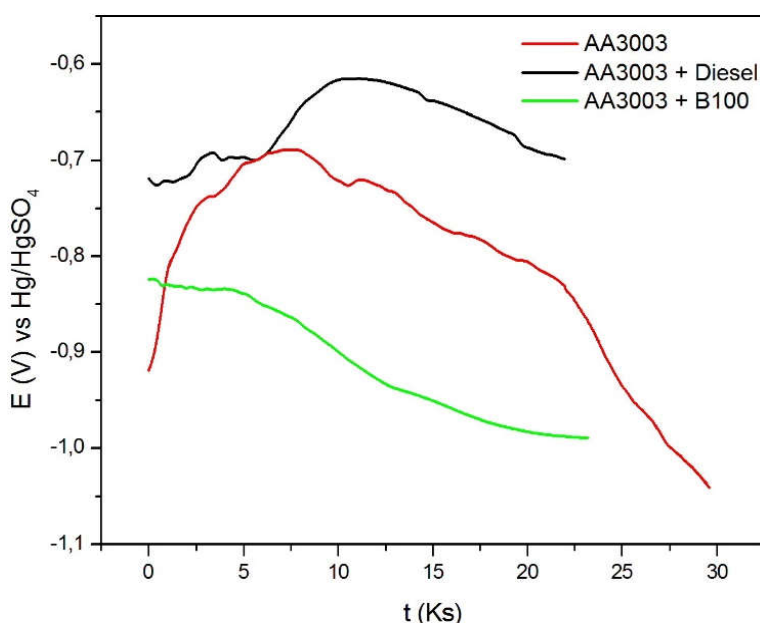


FIGURA 1: Curvas de PCA para peça de Alumínio, antes e após 2 meses imersão em diesel e biodiesel, obtidas em meio de Na_2SO_4 0,5 M pH = 4,0.

Na figura 2 estão apresentados os resultados de Espectroscopia de Impedância Eletroquímica em forma de diagramas de Nyquist e Ângulo de fase de Bode.

Os diagramas de Nyquist da figura 2 apresentam apenas um arco capacitivo para todas as amostras. Maiores valores de impedância foram medidos para as peças imersas nos combustíveis, indicando maior resistência contra corrosão. As amostras imersas em diesel foram as que apresentaram os maiores valores de impedância, sugerindo que neste meio a resistência a corrosão do alumínio é maior.

Os diagramas de ângulo de Bode apresentam duas constantes de tempo para cada amostra, indicando que ocorrem dois processos. A primeira constante, detectada em altas frequências, pode ser atribuída à formação do óxido de alumínio na superfície. A segunda constante, em baixas frequências é atribuída ao processo de transferência de carga na interface metal/solução.

Um aumento do ângulo de fase para a primeira constante foi determinado para as amostras imersas nos combustíveis, sugerindo uma maior resistência contra a corrosão para o alumínio quando imerso. Tal comportamento está associado à formação de um óxido mais compacto na presença dos combustíveis. O deslocamento para menores frequências da constante de transferência de carga, para as amostras imersas em combustíveis, indica um retardamento do processo corrosivo, o que sugere uma maior resistência à corrosão, sendo tais resultados fortalecidos pelos maiores ângulos de fase medidos para este processo.

Segundo os resultados de pesquisas de Cursaru *et al.*, (2014) o alumínio quando comparado ao cobre e ao aço carbono apresentou uma taxa de corrosão menor quando imerso em biodiesel. Em números de taxa de corrosão foram obtidos os seguintes resultados: cobre (0.323615 mpy) > aço carbono (0.170124 mpy) > alumínio (0.162201 mpy). Segundo os autores, essa maior resistência à corrosão do alumínio no biocombustível é devido a película de óxido da superfície do metal a qual impede que as taxas de corrosão sejam altas; foi

observada uma pequena quantidade de $\text{AlO}(\text{OH})$ após análises, provavelmente derivados da reação entre o alumínio e o oxigênio e água do biodiesel, o autor afirma que para compreender o mecanismo de corrosão do alumínio no biodiesel, são necessárias investigações adicionais.

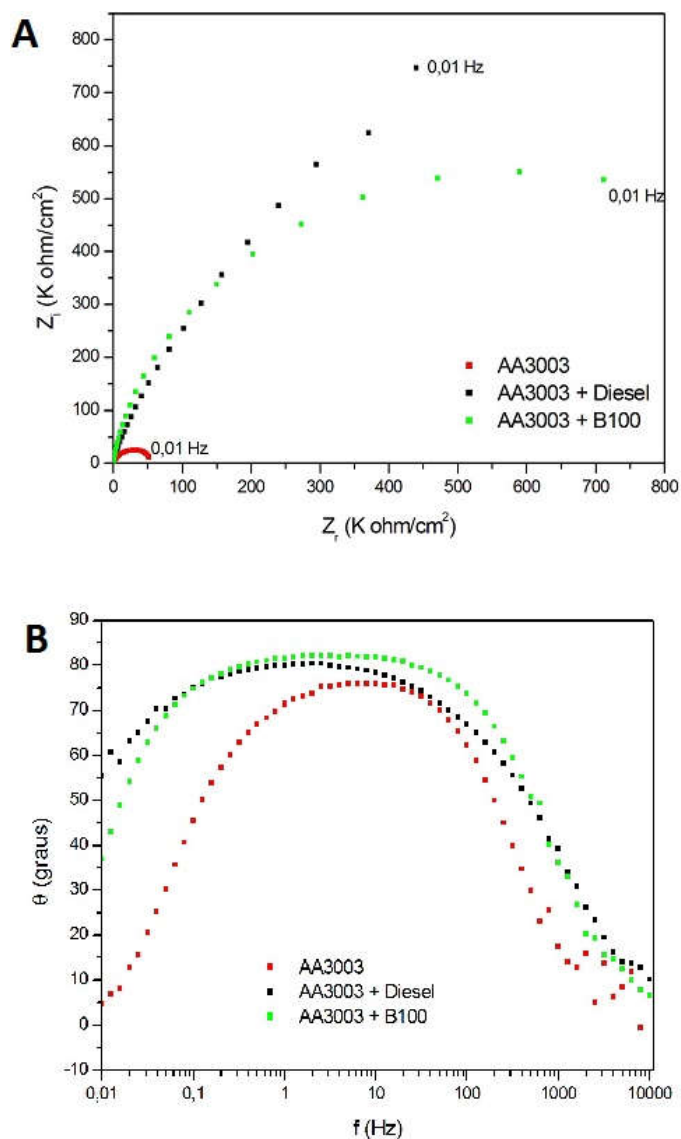


FIGURA 2: Diagramas de EIE (A) Nyquist; (B) Ângulo de fase de Bode, para peça de Alumínio antes e após imersão em diesel e biodiesel, obtidos em meio de Na_2SO_4 0,5M.

Na figura 3 estão apresentados os resultados de Polarização Potenciodinâmica Anódica. A partir das medidas de (PPA) foi possível determinar o comportamento de corrosão dos materiais em condições de

sobretensões anódicas e, é possível observar, que menores densidades de corrente foram medidas para as amostras imersas nos combustíveis, sugerindo maior resistência contra corrosão. As menores densidades de corrente foram determinadas para o alumínio imerso em diesel indicando que este combustível promove uma maior resistência à corrosão do alumínio AA 3003.

Observa-se que o a curva do alumínio sem combustível apresenta maiores valores de densidade de corrente, sugerindo que este é mais susceptível à corrosão.

Menores valores de densidade de corrente foram obtidos para o alumínio AA3003 imerso em diesel indicando que o metal é mais resistente à corrosão neste combustível. Este resultado está de acordo com os resultados anteriores de perda de massa, potencial de circuito aberto e espectroscopia de impedância eletroquímica.

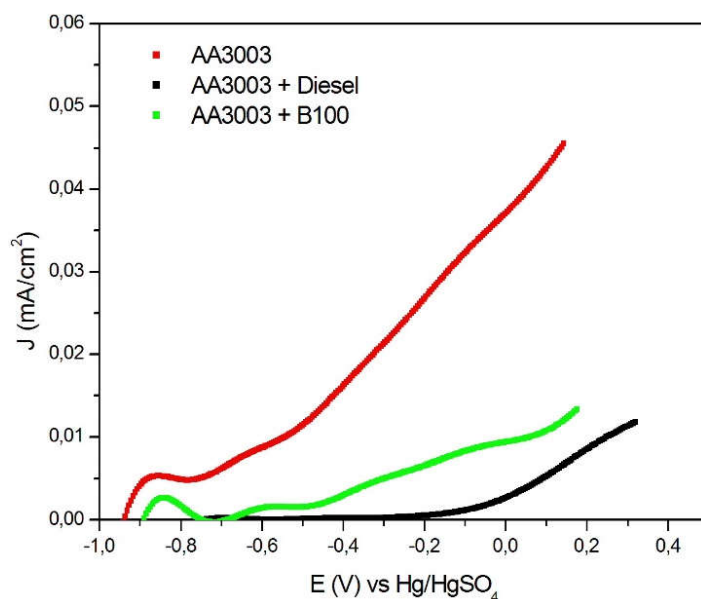


FIGURA 3: Curvas de Polarização Anódica para peça de Alumínio antes e após 2 meses de imersão em diesel e biodiesel. Eletrólito suporte: Na_2SO_4 0,5 M, pH = 4,0 tamponado.

Os resultados dos ensaios eletroquímicos estão de acordo com os trabalhos de Fazal, (2010) e Tsuchiya, (2006), a partir dos quais observou-se que a taxa de corrosão do alumínio em biodiesel é maior do que em diesel, devido à presença de ácidos graxos, maior quantidade de oxigênio e maior teor de água que compõe o biodiesel.

A partir dos ensaios eletroquímicos confirma-se a afirmação de Ambrozim, *et al.*, (2009) na qual o alumínio é um material compatível com o biodiesel e diesel.

Microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de impedância eletroquímica:

As micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura são apresentadas na figura 4. A análise da superfície antes e após polarização potenciodinâmica anódica indica que há alteração na morfologia da superfície tanto após a imersão nos combustíveis quanto após polarização anódica.

A alteração da morfologia superficial após imersão no combustível pode ser atribuída ao processo corrosivo do alumínio AA 3003 para formação de um óxido que promove, posteriormente, a passivação da superfície.

A superfície após o processo de polarização se apresenta aparentemente menos irregular o que indica o efeito de ataque ao óxido da superfície devido ao sobre potencial anódico.

A composição elementar foi determinada por espectroscopia de energia dispersiva e os resultados das quantificações são apresentados na tabela 2.

A partir dos resultados de EDS é possível observar uma diminuição da quantidade de alumínio na superfície do metal quando este é imerso nos combustíveis e também quando é polarizado. Tal resultado indica que apesar de o alumínio apresentar maior resistência à corrosão quando imerso nos combustíveis o óxido de alumínio formado não é estável no meio, pois a diminuição na quantidade de alumínio indica que há dissolução do óxido, entretanto, esta dissolução não diminui a resistência à corrosão do material, pois o óxido dissolvido é reformado na superfície e promove a manutenção da passividade.

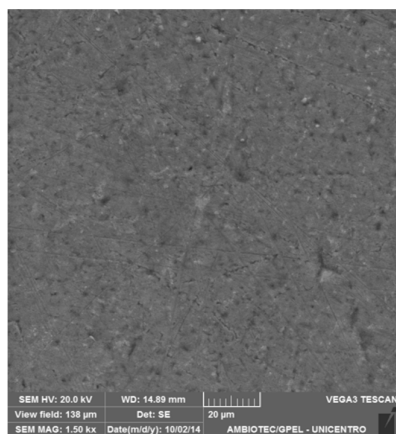
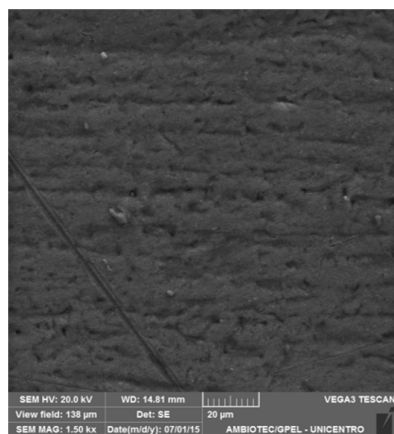
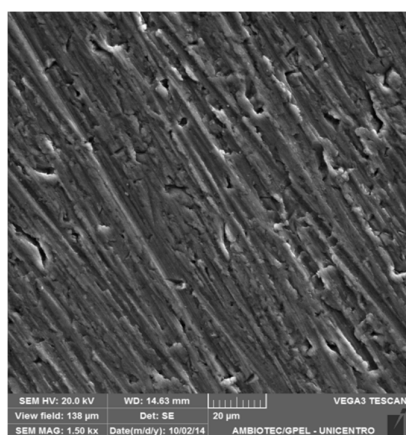
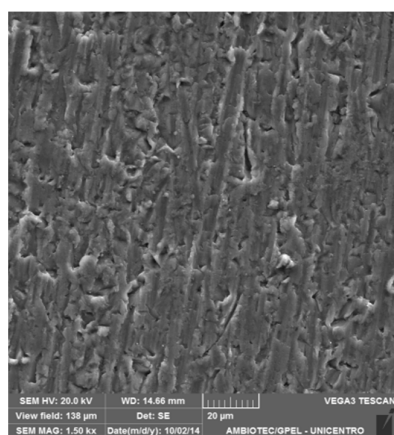
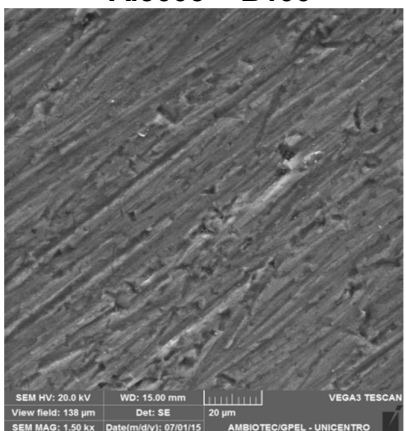
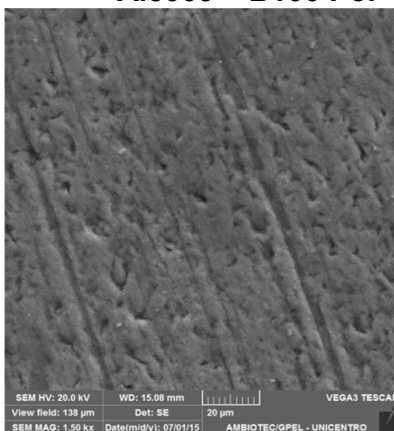
**Al3003****Al 3003 Pol****Al3003 + B100****Al3003 + B100 Pol****Al3003 + Diesel****Al3003 + Diesel Pol**

FIGURA 4: Micrografias obtida por MEV da superfície do alumínio AA3003 imerso não imerso em combustíveis e após polarização em meio de Na_2SO_4 $0,5 \text{ molL}^{-1}$ e $\text{pH} = 4,0$, com aumento de 1500 X.

Segundo as análises de micrografias de Fazal *et al.*, (2012) o alumínio comparado a cobre, latão e ferro fundido em presença de biodiesel foi o que menos foi atacado por corrosão.

Os resultados de micrografia eletrônica de varredura e de EDS estão de acordo com os resultados de Cursaru, *et al.*, (2014), que concluíram que após a imersão em diesel e biodiesel à temperatura ambiente não foi identificado corrosão e sim uma camada que parece proteger o metal.

TABELA 2: Composição elementar da superfície das amostras de Al3003.

Amostra	Elementos % m/m			
	O	Al	Mn	Fe
AA3003	3,52	87,07	0,93	0,52
AA3003 (Polarizado)	4,45	80,58	0,97	0,50
AA3003 + B100	4,76	85,29	0,92	0,48
AA3003 + B100 (Polarizado)	7,37	90,14	1,03	0,46
AA3003 + Diesel	7,65	73,51	0,79	0,47
AA3003 + Diesel (Polarizado)	8,04	73,00	0,83	0,59

Conclusões:

Os resultados indicaram que o procedimento realizado é eficiente para a determinação da corrosão do alumínio AA 3003 imerso em diesel e biodiesel.

O alumínio AA3003 se mostrou mais resistente à corrosão quando foi imerso nos combustíveis. A maior resistência foi determinada para o alumínio imerso em diesel, pois a maior corrosividade é do biodiesel devido à presença de ácidos graxos, maior quantidade de oxigênio e maior teor de água.

Os resultados indicaram que alumínio AA 3003 é material metálico adequado para utilização na confecção de componentes veiculares que ficarão em contato com o diesel ou com o biodiesel.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica de Mayara Soares

Referências Bibliográficas

AGARWAL, A. K; RAJAMANOCHARAN, K. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. **Prog Energy Combust Sci**, v.33, p.233–271, 2007.

AMBROZIN, A. R. P; KURI, S. E; MONTEIRO, M. R. Corrosão metálica associada ao uso de combustíveis minerais e biocombustíveis. **Química Nova**, v.32, n.7, p.1910 –1916, 2009.

ASHRAFUL, A. M; MASJUKI, H. H; KALAM, M. A; RIZWANUL, F. I. M; IMTENAN, S; SHAHIR, S A. Production and comparison of fuel properties, engine performance, and emission characteristics of biodiesel from various non-edible vegetable oils: a review. **Energy Convers Manage**, v.80, p.202-228, 2014.

ASHRAFUL, A. M; MASJUKI, H. H; KALAM, M. A; RASHEDUL, H. K; SAIJAD, H. ABE, M. J. Influence of anti-corrosion additive on the performance, emission and engine component wear characteristics of an IDI diesel engine fueled with palm biodiesel. **Energy Conversion and Management**, v.87, p.48–57, 2014.

ASHRAFUL, A. M; MASJUKI, H. H; KALAM, M. A; ASHRAFUR, R. S. M; HABIBULLAH, M; SYAZWAN, M. Study of the effect of storage time on the oxidation and thermal stability of various biodiesels and their blends. **Energy Fuels**, v.28, p.1081–1089, 2014

ASTM G 31-72, 2004, **Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals**, American Society for Testing and Materials, www.astm.org.

BASHA, S. A; GOPAL, K. R; JEBARAJ, S. A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance. **Renew Sustain Energy Rev**, v.13, p.1628-1634, 2009.

CORDEIRO, C. I. **Avaliação por Espectroscopia de Impedância Eletroquímica do efeito corrosivo de Biodiesel puro e misturas em Alumínio**, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Química - Universidade Federal do Maranhão, São Luís – MA, 2013.

CURSARU, D.L.; BRANOIU, G.; RAMADAN I.; MICULESCU, F.; Degradation of automotive materials upon exposure to sunflower biodiesel. **Industrial Crops and Products**, v.54, p.149–158, 2014.

DAVIS, J. R; Aluminum and Aluminum Alloys. **ASM International Materials Park**, OH, 313p. ISBN: 0871706296, 1999.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biofuels. **Prog Energy Combust Sci**, v. 33, p.1–18, 2007.

DIAZ, B. L; LOPEZ, S. J. F; MALDONADO, L. L; GARFIAS, M. L. F. Corrosion behavior of aluminum exposed to a biodiesel. **Electrochemistry Communications**, v.11, p.41-44, 2009.

FAZAL, M. A; HASEEB, A. S. M. A; MASJUKI, H. H. Comparative corrosion characteristics of petroleum diesel and palm biodiesel for automotive materials. **Fuel Processing Technology**, v.91, p.1308-1315, 2010

FAZAL, M. A.; HASEEB, A. S. M. A.; MASJUKI, H. H. Degradation of automotive materials in palm biodiesel. **Energy** v.40, p.76-83, 2012.

FOO, K. Y. H. B. Utilization of biodiesel waste as a renewable resource for activated carbon: application to environmental problems. **Renew Sustain Energy Ver**, v.13, p.2495–2504, 2009.

GELLER, D. P; ADAMS, T. T; GOODRUM, J. W; PENDERGRASS, J. Storage stability of poultry fat and diesel fuel mixtures: specific gravity and viscosity. **Fuel**, v.87, p.92–102, 2008.

HASEEB, A. S. M. A; SIA, S. Y; FAZAL, M. A; MASJUKI, H. H. Effect of temperature on tribological properties of palm biodiesel. **Energy**, v.35, p.1460–1464, 2010.

HUANG; CHEN , RICHIE L.C., Impedimetric sensing of the biodiesel contents in diesel fuels with a carbon paste electrode pair. **Fuel** ,v.102, p.724–728 , 2012.

JAIN, S; SHARMA, M. P. Stability of biodiesel and its blends: a review. **Renew Sustain Energy Rev**, v.14, p.667–678, 2010.

JANAUN, J; ELLIS, N. Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel. **Renew Sustain Energy Rev**, v.14, p.1312–1320, 2010.

KAUL, S; SAXENA, R. C; KUMAR, A; NEGI, M. S; BHATNAGAR, A. K. Corrosion behavior of biodiesel from seed oils of Indian origin on diesel engine parts, Fuel Process. **Technol**, v.88, p.303–307, 2007.

MARTINS, J. P.; PADILHA, A. F. **Caracterização da liga comercial de alumínio 3003 produzida por fundição contínua de chapas (twin roll caster) – microestrutura** - Rev. Esc. Minas vol.59 no.4 Ouro Preto – 2006

MEHER, L; VIDYA, S. D; NAIK, S. Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. **Renew Sustain Energy Rev**, v.10, p.248–268, 2006.

MINATEL, R. **Um estudo comparativo sobre a recristalização de chapas de alumínio AA 12000 e AA 3003 obtidas por lingotamento contínuo (twin roll caster) e por fundição de placas (direct chill)** – Dissertação de Mestrado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo – 2009.

PULLEN, J.; SAEED, K. An overview of biodiesel oxidation stability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.16, p.5924-5950, 2012.

RIZWANUL, F. I. M; MASJUKI, H. H; KALAM, M. A; HAZRAT, M. A; MASUM, B. M; IMTENAN, S. et al. Effect of antioxidants on oxidation stability of biodiesel derived from vegetable and animal based feedstocks. **Renew Sustain Energy Ver**, v.30, p.356–370, 2014.

SUKIMAN, N. L; ZHOU, X; BIRBILIS, N; HUGHES, A.E; MOL, J. M. C; GARCIA, S. J; ZHOU, X; THOMPSON, G. E. - Durability and Corrosion of Aluminium and Its Alloys: Overview, Property Space, **Techniques and Developments**, cap. 2, 2013.

TSUCHIYA, T; SHIOTANI, H; GOTO, S; SUGIYAMA, G; MAEDA, A. Japanese standards for diesel fuel containing 5% FAME: investigation of acid generation in FAME blended diesel fuels and its impact on corrosion. **SAE Techn Paper**, v.2015, p.06–22, 2006.

VENKATESHWARLU, G; PRASAD, A. M. K; RAMESH, K. K; - Evaluation of Mechanical Properties of Aluminium Alloy AA 6061(HE-20) - International Journal of Current Engineering and Technology – **INPRESSCO**, 2014.