Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Avaliação da corrosividade de biodiesel para os metais do circuito de combustíveis em motores de automóveis (b)

Isabella P. Aquino[1], Idalina V. Aoki [2] (c)

Abstract

The biodiesel is an alternative energy source to Brazil that brings a series of strategic, economical, social, environmental and technological advantages. For these reasons, there is a great incentive for the substitution of the diesel oil (petrodiesel) for biodiesel. In this context, researches on the themes associated to the biodiesel, need constant development, improvement, planning and study of the viability of the Biodiesel Brazilian Program. Therefore, this work presents the study of some purification processes of fatty acid ethylic esters obtained by transesterification reaction of refined soybean oil with ethanol, in order to evaluate the reactions that interfere in the transesterification (parallel reactions, type and catalyst concentration) and that favor corrosion problems in the metallic parts of the automotive motors. The electrochemical characterization to determine the corrosiveness tendency of the produced biodiesel was accomplished by electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and potentiodynamic polarization curves. Weight loss tests were also performed to determine the aggressiveness of biodiesel to four metals of the fuel circuit in automobile motors. Copper, aluminum, brass and mild steel corrosion resistance was evaluated in the presence of biodiesel. The results showed that the copper, the zinc and brass are less corrosion resistance. The wash with HCl 0,2 M presented better efficiency in the purification and removal of the soaps and free fatty acids no esterificated.

Resumo

O biodiesel representa para o Brasil uma alternativa energética que traz uma série de vantagens estratégicas, econômicas, sociais, ambientais e tecnológicas. Por estes motivos, há um grande incentivo para a substituição do uso do óleo diesel (petrodiesel) por biodiesel. Dentro deste contexto, pesquisas sobre os temas associados ao biodiesel, necessitam de constante aprimoramento, tendo como conseqüências futuras a viabilidade do plano de ação do Programa Brasileiro de Biodiesel. Dessa forma, este trabalho apresenta o estudo de alguns métodos de purificação dos ésteres etílicos obtidos por reação de transesterificação do óleo de soja refinado com etanol, de modo a avaliar as reações que interferem na transesterificação (reações paralelas, tipo e concentração de catalisador) e que favorecem os problemas de

[1] Mestre, Doutoranda – DEPARTAMENTO DE ENG. QUÍMICA - EPUSP
[2] Professora Doutora – DEPARTAMENTO DE ENG. QUÍMICA - EPUSP

corrosão nos motores. A caracterização eletroquímica para determinar a tendência à corrosão do biodiesel produzido foi realizada por meio da espectroscopia de impedância eletroquímica e curvas de polarização potenciodinâmicas. Os ensaios de perda de massa foram realizados para determinar a agressividade dos ésteres etílicos frente aos metais presentes no circuito dos combustíveis em motores de automóveis. A resistência à corrosão de cobre, aço carbono, latão, zinco e alumínio foi avalida quando em contato com biodiesel. Os resultados mostraram que o cobre, o zinco e latão são menos resistentes à corrosão. A lavagem com HCl apresentou melhor eficiência na purificação e remoção dos sabões e ácidos graxos não esterificados.

Palavras-chave: biodiesel, purificação, corrosão, cobre, latão, alumínio, zinco e aço carbono.

Introdução

Biodiesel é o nome dado ao combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, respectivamente [1]. O biodiesel não contém componentes derivados de petróleo, podendo ser empregado na forma pura ou mesmo misturado em qualquer proporção com o diesel mineral, de modo a formar uma mistura diesel/biodiesel. Por ser totalmente miscível e possuir praticamente as mesmas propriedades do petrodiesel, o biodiesel é visto como uma excelente alternativa ao combustível fóssil, podendo ser usado nos motores de ciclo diesel (com ignição por compressão) sem a necessidade de modificação ou onerosas adaptações [2]. Deve-se ressaltar que o produto da reação de transesterificação de um triglicerídeo é definido como biodiesel quando este produto atende os parâmetros de especificação exigidos pela ANP.

A rota etílica tem sua justificativa na posição do Brasil como o maior produtor de etanol para ser usado como combustível e principalmente pelo fato do etanol ser reagente de alcoolise preferível sob o ponto de vista ambiental e de saúde, por ser muito menos tóxico que o metanol. Hoje, no Brasil, todo o biodiesel produzido utiliza a rota metílica (usando o metanol na transesterificação) porque esta apresenta vantagens pelo menor custo de produção do metanol e principalmente por ser a rota que apresenta maior facilidade na etapa de separação e purificação do biodiesel, em função das propriedades físico-químicas de equilíbrios de miscibilidade e solubilidade favoráveis ao metanol e seus ésteres. Assim, o país carece de estudos mais aprofundados sobre a obtenção do biodiesel empregando o etanol. O desempenho dos diferentes materiais metálicos que compõem o circuito dos combustíveis nos motores dos veículos é de grande importância. Dessa forma, é possível correlacionar que variáveis da reação e condições do processo de purificação influem na importante característica de corrosividade do biodiesel, para que se faça a devida especificação de materiais presentes no circuito de contato do combustível, nos veículos automotores.

O objetivo deste trabalho consiste na avaliação da corrosividade do biodiesel obtido por dois diferentes métodos de purificação frente aos metais zinco, cobre, alumínio, latão e aço carbono empregando técnicas eletroquímicas e gravimétrica.

Parte experimental

Os reagentes utilizados nas reações e análises são de grau P.A. O óleo utilizado na reação foi um óleo de soja refinado da marca Liza. O catalisador empregado foi o etóxido de sódio da marca Aldrich. Na reação também foi utilizado álcool etílico absoluto 99%.

Os ésteres etílicos foram obtidos por meio da reação de transesterificação alcalina do óleo de soja com etanol. Inicialmente foi feita a mistura do catalisador etóxido de sódio (CH_3CH_2ONa) com o álcool (álcool etílico anidro). A massa do álcool utilizado corresponde a 30% da massa do óleo, sendo a razão molar 6:1 (etanol;óleo). As reações de transesterificação foram realizadas em reator de vidro encamisado com três conexões (A) e capacidade interna para 1000 mL, como mostra a Figura 1. Na conexão central encaixou-se um agitador mecânico da Nova Ética modelo 105 (B) com o auxílio de uma rolha (G). Em uma das conexões laterais, um termômetro (D) foi conectado utilizando uma rolha perfurada. Na terceira conexão, um condensador de bolas resfriado com água (C) foi encaixado. O controle de temperatura foi realizado por banho termostat marca Lauda modelo 12 (E). Na Figura 1, é mostrada a representação esquemática da montagem.

Figura 1

No reator contendo o óleo de soja aquecido a 80 °C foi adicionada à mistura de catalisador e álcool. A mistura foi agitada a 600 rpm por 30 min . Posteriormente, a mistura foi transferida para um funil de separação e deixada em repouso por no mínimo 24 horas para permitir a separação das duas fases. Isso resulta na formação de uma fase superior composta por ésteres (biodiesel), contendo excesso de álcool, sabões, glicerina e outras impurezas. A fase inferior contém glicerina (glicerol) e impurezas. Após a etapa de separação das fases, a mistura superior foi aquecida em torno de 80 °C (ponto de ebulição do etanol) para permitir a evaporação do álcool excedente da reação de transesterificação. Novamente, foi feita a separação das duas fases por decantação. Após esta etapa de separação das fases determinou-se a massa e o volume da fase superior (biodiesel) e inferior. Em seguida, foi feita a purificação dos ésteres por um sistema de lavagem simples com solução de HCl 0,2M (**purificação A**) e solução de H_2SO_4 0,1M (**purificação B**). O volume de água utilizada na lavagem correspondeu a 100 % do volume total de ésteres. A fase aquosa (inferior) foi separada também por decantação, após 24h de repouso.

Caracterização físico-química dos ésteres

O excesso de álcool presente nos ésteres após a lavagem e separação da fase aquosa foi caracterizado por meio das medidas de flash-point segundo as normas de especificação do biodiesel (ASTM D56) [3]. O biodiesel obtido foi submetido à análise por cromatografia gasosa e cada composto separado (em cada pico do cromatograma) foi analisado por espectroscopia de massa (CG-Massa) para sua identificação. A análise foi feita em um cromatógrafo à gás acoplado a um analisador de massas CG-MS da marca Shimadzu modelo 14B/QP5050A com analisador tipo quadrupolo.

Ensaios eletroquímicos

Todos os experimentos foram conduzidos em meio não agitado, naturalmente aerado e à temperatura ambiente numa célula de três eletrodos de 200 mL de capacidade construída em vidro Pyrex de 5 cm de diâmetro por 6 cm de altura, tendo na parte inferior um orifício onde um anel de Viton veda o corpo-de-prova (eletrodo de trabalho) expondo à solução uma área de 1 cm^2. A célula eletroquímica possui uma tampa de Teflon onde foram encaixados o eletrodo de referência de Ag/AgCl, KCl_{sat} e uma folha de platina com área de 15 cm^2 como eletrodo auxiliar (contra-eletrodo). O eletrólito usado foi os ésteres etílicos já purificados, conforme apresentado na Figura 2. As amostras metálicas com área exposta de 1 cm^2 foram utilizadas como eletrodo de trabalho. Foram feitos ensaios eletroquímicos em amostras de aço-carbono e cobre com dimensão de 3,5 x 3,5 x 0,2 cm^2.

Figura 2

Primeiramente, as amostras de aço-carbono e cobre (eletrodos de trabalho) foram tratadas superficialmente em uma politriz, com lixas d'água de granas 320, 400 e 600. Em seguida, foi feita a medida do potencial de circuito aberto (potencial em função do tempo). O tempo de imersão e estabilização do potencial de circuito aberto foi de 24h. As medidas foram registradas durante 1h. Estas medidas foram obtidas em um potenciostato-galvanostato EG&G/PAR modelo 273A. Para o monitoramento utilizou-se o software SoftCorr III.

Após o monitoramento do potencial de circuito aberto foram feitas medidas de espectroscopia de impedância eletroquímica. Para controle dos equipamentos e aquisição dos dados, utilizou-se o software Zplot2. Para visualização e ajuste dos diagramas de Nyquist e Bode utilizou-se o software Zview2.

As medidas de espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS) foram realizadas no potencial de circuito aberto, após estabilização. Os diagramas foram obtidos na faixa de freqüência de 50 kHz a 5 mHz com amplitude de pertubação do potencial de 30 mV rms e 10 medidas realizadas por década logarítmica de freqüência em um potenciostato-galvanostato EG&G/PAR, modelo 283 acoplado a um analisador de freqüência Solartron modelo 1255B, controlado pelo programa de hardware, Zplot.

As curvas de polarização potenciodinâmicas anódicas e catódicas foram obtidas após as medidas de impedância. A faixa de potencial estudada foi de–0,3 V a 0,3 V/Ag|AgCl,KCl_{sat}, em relação ao potencial de circuito aberto. A velocidade de varredura usada foi de 0,5 mV/s. Foi usado o filtro de 5,3MHz do potenciostato para poder obter as respostas em corrente, sem ruído.

Ensaios de perda de massa

Foram utilizadas para o ensaio de perda de massa amostras de aço-carbono, cobre, alumínio, zinco e latão. Os corpos-de-prova foram submetidos a tratamento superficial em uma politriz, com lixa d'água de granas 320, 400 e 600. As dimensões dos corpos de prova foram obtidas com o auxilio de um paquímetro. A seguir, foram lavados com água destilada, desengraxados com álcool, acetona e secos em corrente de ar quente. Em seguida, foram pesados em uma balança analítica, obtendo-se a massa inicial, m_i. Finalmente, foram imersos no meio corrosivo (biodiesel). Ao final de cada ensaio, as amostras metálicas foram lavadas com água destilada, álcool, acetona e secos em ar quente, e finalmente pesados obtendo-se a massa final, m_f. Com os valores de massa inicial e final, obteve-se a variação de massa, Δm, que é a quantidade do metal que foi dissolvido na solução. A velocidade de corrosão foi expressa em termos da perda de massa por unidade de área exposta, por unidade de tempo de imersão.

O tempo de imersão foi de 17 dias. Os corpos-de-prova foram mantidos submersos na solução e suspensos por meio de um fio de material plástico.

Resultados e discussões

Neste trabalho foram avaliados os tratamentos de purificação da fase contendo os ésteres etílicos- biodiesel (fase superior). O processo de lavagem é uma etapa essencial para purificação do biodiesel (ésteres de ácido graxo) obtido pela reação de transesterificação, pois favorece a redução de impurezas. Após a separação das fases, a fase superior rica em ésteres contém impurezas como excesso de álcool, catalisador que não reagiu, sabões devido às reações paralelas de saponificação causada pela presença de água, glicerina, entre outras. Por

este motivo, a lavagem deve ser empregada na purificação para que os ésteres etílicos possam atender as especificações exigidas pela ANP.

A lavagem dos ésteres apenas com água após a separação das fases não apresenta resultados satisfatórios para os ésteres, pois este tipo de lavagem não permite a remoção do excesso de álcool presente nos ésteres. O excesso de álcool presente nos ésteres após a lavagem e separação da fase aquosa foi caracterizado por meio das medidas de flash-point segundo as normas de especificação do biodiesel [3]. Neste caso, os valores de flash-point obtidos são menores que o valor limite (100 °C) exigido nas especificações da ANP. Dessa forma, foi possível constatar que a lavagem apenas com água não é eficaz na purificação do biodiesel. Além disso, a lavagem com água provoca a formação de emulsões que foram dificilmente separadas.

Como a lavagem com água não foi um método eficiente para eliminar o excesso de álcool e também provocou a formação de emulsões, a fase rica em ésteres, após a etapa de separação por decantação, foi aquecida a 80 °C (ponto de ebulição do etanol) para permitir a evaporação do álcool excedente da reação de transesterificação. Com a evaporação do álcool, foi possível observar novamente a precipitação da glicerina (fase inferior), pois a solubilidade da glicerina na fase contendo ésteres etílicos diminuiu quando o álcool é removido [4], [5]. A obtenção de altos obtenção de altos rendimentos da reação e a purificação final dos ésteres etílicos depende principalmente da eficiência da etapa de separação das fases contendo os ésteres (fase superior) e a glicerina (fase inferior) [5]. Dessa forma, constatou-se que o processo de evaporação reduz o excesso de álcool além de remover a glicerina que ainda estava presente na fase de ésteres como impureza. Assim, é possível submeter essa nova fase de ésteres às etapas de lavagem.

Uma lavagem com solução de HCl 0,2M **(A)** e solução de H_2SO_4 0,1M **(B)** foi empregada nos ésteres para neutralizar os sabões formados durante a reação de transesterificação, pois o etóxido de sódio favorece muito mais a formação de emulsão na reação devido ao fato de ser uma base muito mais forte que o hidróxido de sódio. Por este motivo, é necessário acidificar o meio para que os sabões formados sejam convertidos novamente em ácidos graxos livres e sais [6]. Durante a lavagem foi possível perceber que as soluções ácidas diminuiram a formação de emulsões, permitindo assim a separação de fases. Observou-se neste caso, apenas a formação de um precipitado fino branco que não impediu a separação das fases. A medida de flash-point do éster purificado, após a evaporação e lavagem ácida, apresentou um valor maior que 110 °C provando a eliminação do álcool. A lavagem com solução de HCl 0,2M apresentou nitidamente na fase aquosa (fase inferior) uma quantidade muito maior de sabões. Dessa forma, foi possível constatar que a solução de HCl é mais eficaz na eliminação dos sabões que estavam presentes nos ésteres, comparado com a solução de H_2SO_4 0,1M (Figura 3).

Figura 3

O biodiesel obtido foi analisado semi-quantitativamente por cromatografia gasosa seguida de espectrometria de massas (CG-MS) para verificar a conversão da reação de transesterificação do óleo de soja em ésteres etílicos (Figura 4). Analisando-se os cromatogramas obtidos verificou-se a produção de ésteres etílicos a partir dos ácidos graxos característicos presentes no óleo de soja (ácido linoléico, ácido oleico, ácido palmítico e ácido esteárico [7], confirmando a eficiência da conversão dos ácidos graxos em ésteres etílicos pelo procedimento adotado neste trabalho. Dessa forma, constatou-se que a análise por CG-MS é uma técnica bastante eficiente que pode ser utilizada de forma qualitativa e semi-quantitativa, para avaliar se a conversão em ésteres etílicos foi completa e, conseqüentemente, se houve a produção de biodiesel.

Figura 4

Qualquer mistura de triglicerídeos, como os óleos vegetais ou gorduras animais, pode ser utilizada na produção de biocombustíveis, por diferentes rotas tecnológicas. Os óleos vegetais diferem entre si pela proporção entre os principais ácidos graxos [7]. A Tabela 1 apresenta a composição das amostras de biodiesel purificadas pelos processos com HCl e com H_2SO_4 obtidas por CG-MS. Observa-se a predominância de ésteres etílicos de ácidos graxos insaturados, como ácido linoléico aparecendo em maior quantidade com 52,23% (A) e 56,43% (B) na composição do biodiesel. Dependendo da matéria-prima utilizada, o biodiesel pode conter mais ou menos ácidos graxos insaturados em sua composição, os quais são susceptíveis a reações de oxidação aceleradas pela exposição ao oxigênio e altas temperaturas [7]. Os resultados indicam que a lavagem com ácido clorídrico resultou um biodiesel com menos contaminações por ácidos graxos do óleo que não foram esterificados. Os resultados permitiram constatar a baixa conversão de ésteres etílicos do ácido linolênico, provavelmente pelo baixo percentual desses ácidos graxos no óleo refinado Liza, pois a presença de ácidos graxos, em especial os insaturados, que são mais instáveis, como é o caso do ácido linolênico (C18:3), permite a rancificação, pela transformação dos ácidos graxos em aldeídos, conferindo odor e gosto desagradável, além de reduzir seu valor nutritivo [7]. Dependendo da matéria-prima utilizada, o biodiesel pode conter mais ou menos ácidos graxos insaturados em sua composição, os quais são susceptíveis a reações de oxidação aceleradas pela exposição ao oxigênio e altas temperaturas [8]. Assim, quanto menor a insaturação dos ácidos graxos, maior a energia potencial do combustível gerado, pois a energia é liberada na oxidação do carbono das moléculas [7].

Tabela 1

Os resultados de velocidade de corrosão, ν_{corr}, que foram obtidos a partir dos ensaios de imersão com medidas de perda de massa para as amostras metálicas (aço-carbono, cobre, zinco, alumínio e latão) em meio de ésteres etílicos de ácidos graxos (biodiesel), são apresentados na Tabela 2. Os valores de ν_{corr} mostram que o cobre, zinco e latão são os metais que apresentaram maior velocidade de corrosão média para os 17 dias de imersão. Os materiais como bronze, latão, cobre, zinco, chumbo, e estanho são entre os metais aqueles que podem oxidar com diesel ou biodiesel e criar sedimentos, enquanto que alumínio e aço inoxidável têm sido reportados como materiais compatíveis com o biodiesel [9]. Os dados de perda de massa mostram que o alumínio e aço-carbono são mais resistentes à corrosão em biodiesel.

Tabela 2

Os resultados da caracterização eletroquímica por meio da espectroscopia de impedância eletroquímica do aço-carbono e cobre em meio de biodiesel purificado com a solução de H_2SO_4 0,1M (**B**) mostram que o cobre apresenta uma resistência à corrosão levemente maior que a do aço-carbono (Figura 5a) comprovada pelo valor um pouco maior de módulo de impedância em baixas frequências. No entanto, os ensaios de perda de massa, mostraram que o cobre é menos resistente à corrosão causada pelo biodiesel para um tempo maior de contato, 17 dias. Essa aparente falta de coerência entre os resultados da técnica EIS e a técnica gravimétrica deve ser interpretada como consequência da alteração da cinética de interação do cobre com o tempo de imersão ou a existência de um mecanismo apenas químicos de corrosão, com participação menor do mecanismo eletroquímico. Por este motivo,

estudos de impedância deverão ser feitos para avaliar a cinética da corrosão dos metais com o tempo de imersão.

Figura 5

As curvas de polarização potenciodinâmicas para o aço carbono e o cobre em meio de H_2SO_4 0,1M obtidas após 24h de imersão, são apresentadas na Figura 6. Essas curvas mostram que o cobre apresenta um valor menor de densidade de corrente de corrosão, i_{corr}, que o aço carbono. Quando polarizados anodicamente, o cobre apresenta maiores valores de resposta em densidade de corrente. Na polarização catódica, o cobre apresenta as menores densidades de corrente de resposta.

Figura 6

Conclusões

A lavagem dos ésteres com água não remove o excesso de álcool presente no meio, provocando um baixo flash-point. Além disso, a adição de água dificulta o processo de purificação, pois favorece a formação de emulsão devido à presença de sabões nos ésteres que não são facilmente separadas.

O aquecimento dos ésteres provocou a precipitação da glicerina e reduziu o excesso de álcool por evaporação. A remoção da glicerina que ainda estava presente no biodiesel e a lavagem com solução ácida facilitou a etapa de purificação, permitindo aparentemente a obtenção de um produto de melhor qualidade e com maior flash-point. A lavagem com HCl apresentou melhor eficiência na purificação e remoção dos sabões e ácidos graxos não esterificados, o que pode ser comprovado pelos resultados de CG-Massa.

Os resultados de perda de massa mostraram que o cobre, zinco e latão são menos resistentes à corrosão para um tempo de imersão de 17 dias no biodiesel. As curvas de polarização mostraram que o cobre apresenta um valor menor de densidade de corrente de corrosão que o aço.

Referências bibliográficas

[1] PARENTE, J.S. **BIODIESEL**: **Uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza,** 2003. Disponível em: http://www.tecbio.com.br/Downloads/Livro%20Biodiesel.pdf. Acessado em: 06 de agosto de 2006.

[2] PETROBIO, Indústrias e Comércio de Equipamentos e Processos para Biodiesel LTDA. **Relatório – Biodiesel: Aspectos Atuais e Viabilidade de Aplicação, 2004.**

[3] ASTM Standard Test Method. **ASTM D56-05**: Standard Test Method for Flash Point by Tag Closed Cup Tester, 2006.

[4] CAMARGOS R.R.S. **Avaliação da viabilidade de se produzir biodiesel através da transesterificação de óleo de grãos de café defeituosos**. 2005. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

[5] KUCEK, K. T. **Otimização da transesterificação etílica do óleo de soja em meio alcalino**. 2004. 123 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

[6] CVENGROS J. Acidity and corrosiveness of methyl esters of vegetable oils. **Lipid-Feet.** v. 100, n. 2, p. 41–44, 1998.

[7] LEITE, R.M.B.C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. Embrapa Soja, 641 p., 2005, p. 158.

[8] FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja – Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005.

[9] KAUL, S. et al. Corrosion behavior of biodiesel from seed oils of Indian origin on diesel engine parts. **Fuel Processing Technology,** v**.** 88, p. 303–307, 2007.

Figuras e Tabelas

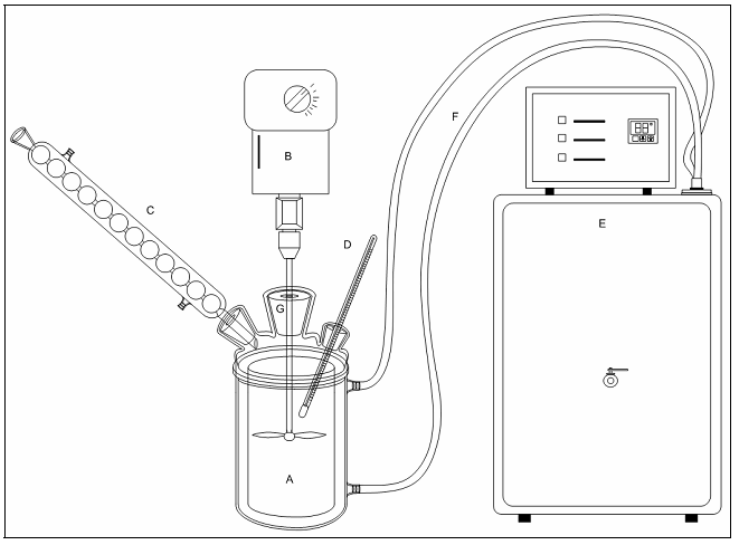


Figura 1- Representação esquemática da montagem utilizada nas reações de transesterificação

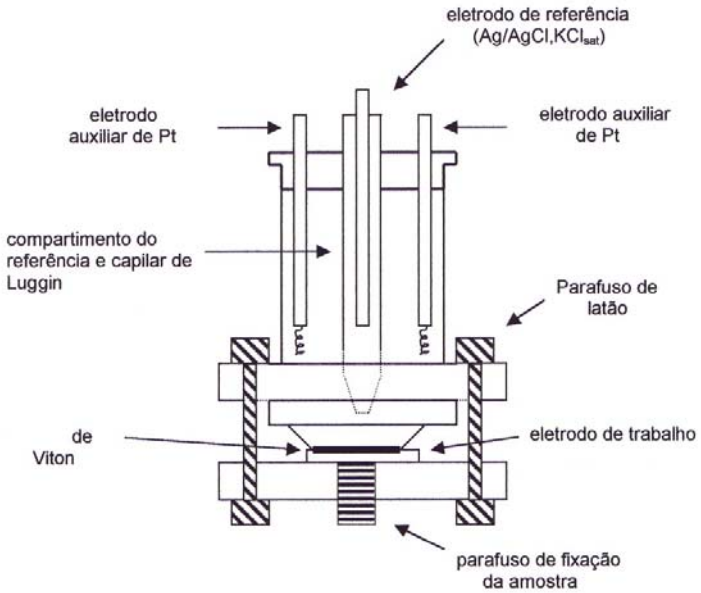
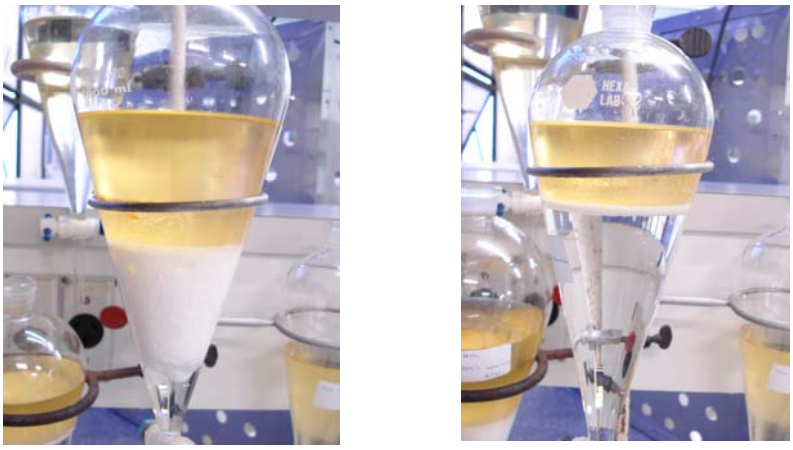


Figura 2 – Representação esquemática da célula eletroquímica

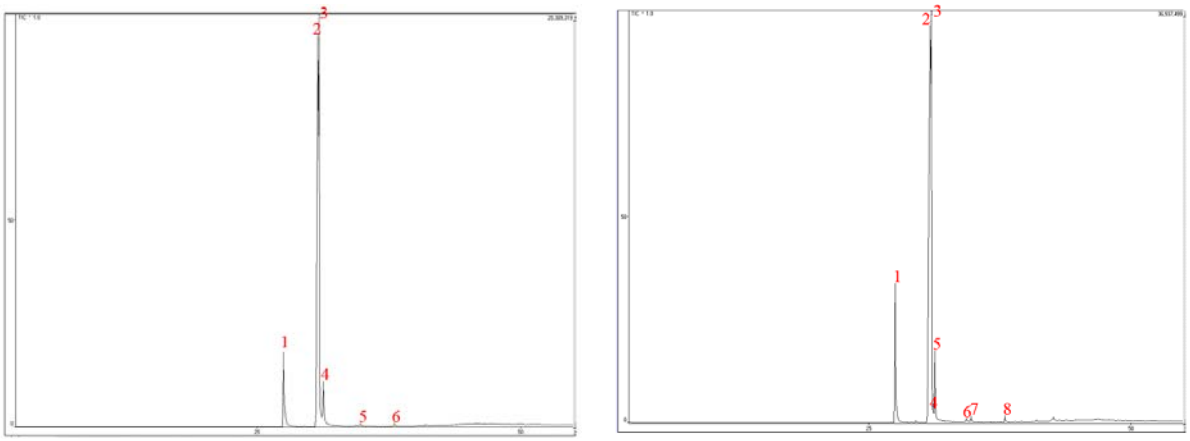


(a) **(b)**

Figura 3 – Separação de fases. **(a)** Após a lavagem dos ésteres etílicos com HCl 0,2M, **(b)** Após a lavagem dos ésteres etílicos com H_2SO_4.

Tabela 1 – Composição média de ésteres etílicos de ácidos graxos do biodiesel produzido a partir de óleo d soja e etanol.

Pico	Tempo de retenção (s)	Identificação	Percentual de ésteres etílicos de ácidos graxos (%)
Ésteres etílicos purificados com HCl 0,2M (A)			
1	27,517	éster etílico de ácido palmítico	9,28
2	30,786	éster etílico de ácido linoléico	52,23
3	30,902	éster etílico de ácido oléico	32.73
4	31,305	éster etílico de ácido esteárico	5,11
5	34,833	11-dodecen-1-ol	0,30
6	38,048	éster etílico de ácido nonadecanóico	0,34
Ésteres etílicos purificados com H_2SO_4 0,1M (B)			
1	27,538	éster etílico de ácido palmítico	10,55
2	30,884	éster etílico de ácido linoléico	56,43
3	31,000	éster etílico de ácido oléico	27,13
4	31,130	éster etílico de ácido linolênico	0,74
5	31,321	éster etílico de ácido esteárico	4,33
6	34,315	ácido oléico (não esterificado)	0,12
7	34,781	éster etílico de ácido eicosanóico	0,32
8	38,006	éster etílico de ácido nonadecanóico	0,38

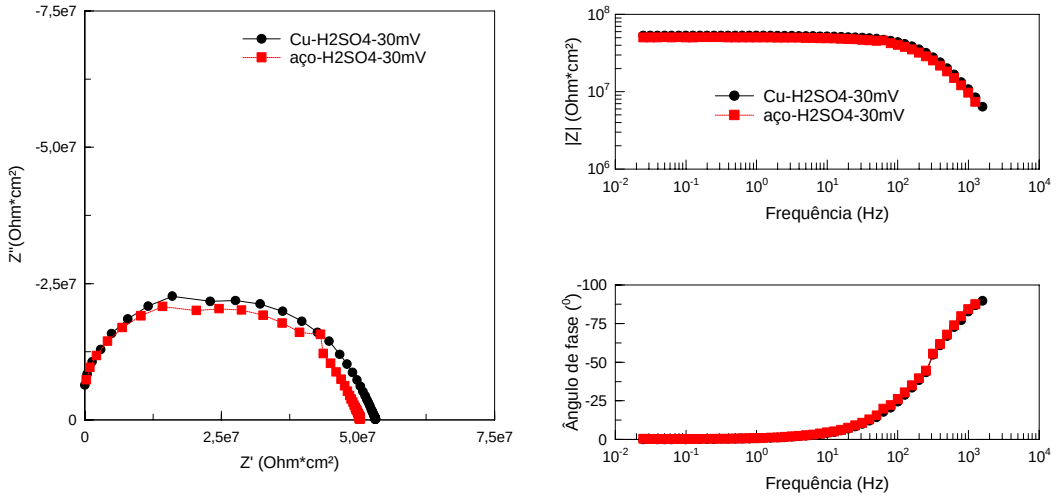


(a) **(b)**

Figura 4 – Cromatrograma dos ésteres etílicos**. (a)**Após lavagem com HCl 0,2M, **(b)** Após lavagem com H_2SO_4 0,1M.

Tabela 2 – Resultados de v_{corr}, e perda de espessura a partir dos ensaios de perda de massa

METAL	Método de Purificação	$m_{inicial}$ (g)	m_{final} (g)	Δm (g)	A (cm^2)	v_{corr} ($mg/cm^2.h$)
aço	A (HCl)	9,1637	9,1628	0,0009	7,38	$2,9890.10^{-4}$
	B (H_2SO_4)	9,6662	9,6651	0,0011	7,54	$3,5757.10^{-4}$
cobre	A	20,0637	20,0575	0,0062	13,03	$1,1662.10^{-3}$
	B	21,1241	21,1180	0,0061	13,07	$1,1439.10^{-3}$
alumínio	A	5,4691	5,4691	0	14,21	0
	B	7,9416	7,9410	0,0006	13,32	$1,1041.10^{-4}$
zinco	A	12,4558	12,4343	0,0215	14,09	$3,7399.10^{-3}$
	B	13,6444	13,6343	0,0101	14,27	$1,7347.10^{-3}$
latão	A	3,0155	3,0108	0,0047	7,01	$1,6433.10^{-3}$
	B	2,7532	2,7485	0,0047	6,40	$1,79994.10^{-3}$



(a) **(b)**

Figura 5 – Diagramas de impedância em meio de biodiesel purificado com H_2SO4 0,1M para aço-carbono e cobre. **(a)** Diagramas de Nyquist e **(b)** Diagramas de Bode

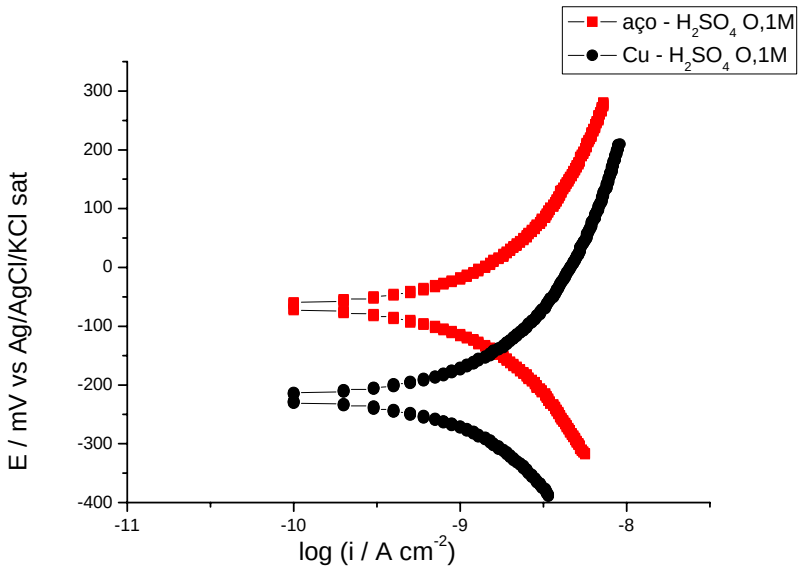


Figura 6 - Curvas de polarização potenciodinâmicas anódicas e catódicas do aço-carbono e cobre em meio de biodiesel purificado com H_2SO4 0,1M após 24h de imersão