

TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DA ÁGUA DE LAVAGEM PROVENIENTE DA PURIFICAÇÃO DO BIODIESEL

PHYSICAL CHEMISTRY TREATMENT OF WASTEWATER FROM BIODIESEL PURIFICATION

De Boni, L.A.B.¹, Goldani, E.², Milcharek, C.D.³, Santos, F. A. Dos.⁴

¹ Department of Physical Chemistry, Tche Química Group, Brazil

² Department of Analytical Chemistry, Tche Química Group, Brazil

³ Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Brazil

⁴ Pontifical University Catholic of Rio Grande do Sul (PUC-RS), Brazil

RESUMO - O biodiesel, um produto biodegradável, renovável e que obedece ao ciclo de carbono, vem se destacando cada vez mais no cenário nacional devido ao Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel do Governo Federal, que estipula a adição obrigatória de 2% de Biodiesel ao Diesel de petróleo a partir de 2008. Todavia, a possibilidade de produção maciça de Biodiesel no Brasil representa uma séria ameaça às fontes de água potável, uma vez que uma das etapas críticas que garantem a qualidade do combustível é a sua lavagem com água para a remoção dos subprodutos da reação de formação do biodiesel, que são a glicerina, o álcool e o catalisador residuais ainda misturados no combustível renovável. Esta água entra no processo de produção não-contaminada (às vezes, inclusive, potável) e retorna ao ambiente contaminada, apresentando pH = 11, óleos e graxas na faixa de 500 mg L⁻¹, cor igual a 3.000 mg L⁻¹, turbidez igual a 905 NTU, além de uma demanda química de oxigênio igual a 16.564 mg L⁻¹, ou seja, valores em desacordo com a Resolução Conama nº357. Após o tratamento, porém, obtêm-se um pH = 6, nada detectado para óleos e graxas e cor, 0,64 NTU para turbidez e demanda química de oxigênio igual a 5.000 mg L⁻¹.

Palavras-chave: biodiesel, água de lavagem, tratamento físico-químico.

ABSTRACT - Biodiesel, a biodegradable renewable product that obeys the carbon cycle, comes detaching more each time in the national scene due to the National Program of Production and Use of Biodiesel from the Federal Government, that stipulates a 2% obligatory addition of biodiesel to the Diesel oil starting at 2008. However the possibility of massive production of biodiesel in Brazil represents a serious threat to the drinking water sources, since one of the critical stages that guarantee the fuel quality is the laudering with water to the removal of biodiesel's by-products, such as the glycerin, the residual alcohol and the catalyst that still mixed in the renewable fuel. This water enters in the process of production not contaminated (some times also potable) and returns to the environment contaminated, presenting pH = 11, oils and greases near of 500 mg L⁻¹, color equal to 3,000 mg L⁻¹, turbidity equal to 905 NTU, beyond a chemical demand of oxygen equal to 16,564 mg L⁻¹. This values are in disagreement with the *Conama* Resolution nº357. However after treatment it obtains pH = 6, nothing detected for oils and greases and color, 0,64 NTU for turbidity and chemical demand of oxygen equal to 5,000 mg L⁻¹.

Keywords: biodiesel, wastewater, physical chemistry treatment

INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial, a demanda de energia no mundo cresceu a um ritmo assustador, chegando a níveis tão elevados que, durante as duas décadas do século XX, a

humanidade consumiu mais energia do que em toda sua existência anterior. A partir de então, constatações similares puderam ser feitas para cada período subsequente de 20 anos¹. Tanto no paradigma da Revolução Industrial como no da

industrialização mais recente, o crescimento econômico sempre esteve em estreita relação com o consumo de energia e com o domínio tecnológico da transformação e da utilização de uma sucessão de fontes de energia como o carvão, o petróleo e o gás natural e, no século XX, a eletricidade entrou como uma nova forma de geração de energia.

A partir da segunda metade do século XIX, o petróleo começou a entrar em cena na economia mundial para vir a tornar-se a fonte de energia mais importante durante o século XX. A variedade e a versatilidade de seus derivados, bem como a facilidade de seu manuseio e transporte, determinaram a sua crescente aceitação diante das outras fontes de energia. Mas, além disso, a principal causa de sua crescente importância relativa como insumo energético esteve no fato de que, apesar do aumento da demanda no século XX, foi possível manter o suprimento em escala mundial sempre satisfatório e o preço relativamente estável. No período de 1900 a 1970 os preços do barril de petróleo oscilaram entre US\$ 2,00 e US\$ 4,00 (em valores corrigidos para o poder aquisitivo de 1967). Assim, fundamentado em grandes ofertas e preços convenientes, o mundo moderno se voltou ao uso de derivados do petróleo para o atendimento de uma grande parcela de suas necessidades energéticas e praticamente todos os segmentos industriais desenvolveram tecnologias calcadas na utilização desses derivados².

Porém, com o passar dos anos, as fontes de petróleo começaram a não ser tão abundantes como no início e o preço do barril chegou a US\$ 60,00, ou seja, um valor 1.500% acima do praticado no início do século XX fazendo com que se acentuasse a necessidade de buscar insumos energéticos alternativos que viessem a substituir gradualmente o petróleo. O Brasil possui grandes extensões territoriais e clima propício para a atividade agrícola. O PROALCOOL, adotado em 1975, é um exemplo da viabilidade de experiências deste tipo e, nos dias de hoje, o país se mobiliza em prol do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel^{3,4}.

O processo químico comumente empregado para a produção de biodiesel é a reação de transesterificação (Figura 1), na qual um óleo vegetal triglicéridico como, por exemplo, o óleo de soja, reage com um álcool (metanol ou etanol) na presença de um catalisador (usualmente alcalino, sendo os mais utilizados o

NaOH e o KOH) para formar, majoritariamente, ésteres monoalquílicos (biodiesel) e glicerina⁵⁻⁷.

Esta reação poderá ocorrer tanto por meio ácido quanto por meio alcalino. A rota ácida, como costuma ser chamada a reação em meio ácido, é usualmente utilizada quando se tem uma matéria-prima com qualidade baixa, isto é, com alto teor de acidez e/ou grande quantidade de ácidos graxos livres. Porém, como a nova matriz de biodiesel nacional vai priorizar, em termos de produção nacional e não de produção particular, matérias-primas de boa qualidade, a rota química a ser utilizada será a rota alcalina tradicional (Figura 2)⁸.

Levando-se em consideração que a etapa de lavagem do processo de produção do biodiesel é uma das mais importantes e também uma das mais críticas, esta merece grande atenção por parte dos pesquisadores no que diz respeito às quantidades utilizadas e meios de tratabilidade e reaproveitamento deste efluente. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é o de apresentar melhoramentos nos processos tradicionais de lavagem, bem como propor um tratamento eficaz e de baixo custo para o efluente gerado de modo que possa atender aos padrões de lançamento de efluentes estabelecidos pela Resolução Conama nº 357 de 15 de Março de 2005, enquanto não surge uma legislação específica para este efluente em particular.

Este propósito merece atenção especial por parte dos órgãos ambientais de fiscalização tendo em vista que, a partir de 2008, o Brasil produzirá cerca de 840 milhões de litros de biodiesel para que possam ser adicionados ao diesel de petróleo na proporção de 2%. Para tanto, utilizando métodos tradicionais de lavagem, para cada litro de biodiesel produzido, serão necessários, no mínimo, 3 litros de água, ou seja, isso equivaleria à 2.520.000 m³ de água a serem gastos (sendo otimistas em relação à qualidade das matérias-primas e das quantidades de catalisadores e álcool utilizadas, bem como do respeito aos tempos reacionais). Sendo assim, fica clara a importância de se tentar reduzir esse volume para que se tenha sempre um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, ou seja, um menor impacto ambiental. Além disso, esta água, do jeito que sai do processo de lavagem, apresenta-se inapta a ser despejada a qualquer corpo hídrico, dadas suas características físico-químicas impróprias como, por exemplo, pH elevado (acima de 10),

concentração elevada de óleos e graxas, etc. Desta forma, torna-se imprescindível um tratamento de modo a se ter um efluente com características dentro dos padrões de emissão de efluentes presentes na Resolução Conama nº 357.

MATERIAIS E MÉTODOS

Existem alguns fatores relacionados ao processo de lavagem que podem garantir um melhor ou pior resultado como, por exemplo, adição de ácido acético diluído na água de lavagem, utilização de água com temperatura superior à ambiente, etc. Cada qual apresenta as suas vantagens e desvantagens, sendo neste trabalho testados esses fatores para fins de comparação. Para que estes fatores pudessem ser averiguados, partiu-se do princípio do processo de produção de biodiesel, isto é, efetuaram-se reações de transesterificação para o posterior processo de purificação, a lavagem. As reações foram realizadas utilizando sempre a mesma matéria-prima. O catalisador também foi sempre o mesmo para que se pudesse manter uma fidelidade comparativa dos resultados.

Instrumentação

Todas as análises de pH foram realizadas em um pHmetro Digimed, enquanto que a determinação da cor foi feita em um colorímetro DM-Cor da Digimed. Para a agitação da reação de transesterificação, foi utilizado um agitador magnético com aquecimento Fisatom. Já para a determinação da dosagem ótima/econômica de agente floculante, utilizou-se um *jar test* Turb-Floc Polilab, enquanto que para a determinação da turbidez foi utilizado um turbidímetro DM-TU da Digimed. Para a pesagem dos reagentes, foi utilizada uma balança analítica Ohaus Adventurer comercializada pela Toledo. As determinações dos demais parâmetros (DBO, DQO, óleos e graxas) foram realizadas pelo Laboratório de Processos Ambientais (LAPA) da PUCRS, um laboratório credenciado no órgão de fiscalização ambiental do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM).

Reagentes e soluções

Foram utilizados os seguintes reagentes de grau p.a., da Merck: CH₃COOH 99,5% (m/m), NaOH 98,5% (m/m), KOH 85% (m/m), Metanol 99,8% (v/v), Biftalato de potássio 99,5% (m/m), Fenolftaleína 90% (m/m) dissolvida numa

solução de etanol 50%, Sulfato de alumínio 98% (m/m), Sulfato ferroso 99,5% (m/m) e Isopropanol 99,8% (v/v). Para a purificação do biodiesel, preparo de reagentes e soluções foi utilizada água deionizada Milli-Q (resistividade de 18,2 MΩ.cm). Toda a vidraria e frascos utilizados para preparar e armazenar as soluções, bem como as amostras, foram descontaminados com solução HNO₃ 10% (v/v) durante 3 dias. Após este período de imersão na solução ácida, todos os materiais foram enxaguados com água deionizada.

Preparação das amostras

Para a realização do processo de produção de biodiesel, além da utilização da matéria-prima de interesse, são também empregados alguns reagentes e soluções em etapas distintas da reação. Para a primeira etapa do processo, logo após a homogeneização da matéria-prima, é necessário realizar uma titulação colorimétrica e, para tanto, é utilizada uma solução de hidróxido de sódio padronizada 0,0250M.

Então, o processo de produção pode ser assim descrito. Em um béquer de 2000mL, adicionaram-se 1000mL da matéria-prima (óleo de fritura usado) e iniciou-se um aquecimento até atingir a temperatura de 50°C. Após, com o auxílio de uma pipeta graduada, coletou-se uma alíquota de aproximadamente 1mL do óleo e esta foi inserida em um erlenmeyer de 250mL. Ao erlenmeyer, adicionaram-se cerca de 10mL de isopropanol e algumas gotas de indicador (fenolftaleína). Em seguida, deixa-se escoar, gota-a-gota, a solução de hidróxido de sódio contida na bureta sobre a mistura (óleo + isopropanol + fenolftaleína) presente no erlenmeyer, caracterizando o procedimento da titulação colorimétrica, até que a solução contida no erlenmeyer apresente um tom levemente róseo. O volume gasto na titulação, em mL, visualizado na bureta, deve ser anotado para que venha a ser adotado no propósito de se descobrir a quantidade de catalisador (adotamos o NaOH como catalisador) que será pesado através da equação 1.

Esta primeira etapa do processo é extremamente importante, pois nela será descoberta qual a quantidade de catalisador que será utilizada na reação, quer dizer, é neste momento que é feita uma simples caracterização da qualidade da matéria-prima em termos de acidez (outros testes podem comprovar outras características que não a acidez, mas nesse

momento, e de um modo geral, este é o principal ponto a ser verificado com qualquer matéria-prima que for utilizada na produção de biodiesel).

$$m = 3,5 + X \quad (1)$$

onde m = massa de NaOH que será adicionada ao etanol ou metanol para gerar o catalisador (metóxido ou etóxido de catalisador, neste caso metóxido de sódio, pois foram utilizados como álcool o metanol e como catalisador o NaOH); 3,5 é um valor médio arbitrário de NaOH que é utilizado para reagir com os ácidos graxos livres presentes na matéria-prima e X = quantos mililitros da solução de NaOH foram gastos na titulação (quanto mais usado ou mais ácido for o óleo, maior será a quantidade de catalisador necessária para o andamento da reação, isto é, maior será o volume gasto já titulação). Para esta primeira reação, temos os seguintes números:

$$m = 3,5g + 0,6mL = 4,1g \text{ de NaOH}$$

A partir deste momento, partiu-se então para a preparação do catalisador propriamente dito. Depois de pesados os 4,1g do NaOH, inseriu-se esta massa em um erlenmeyer de 250mL onde já se encontrava o volume de álcool previamente estipulado para as quantidades adotadas. Em termos de metanol, o álcool adotado neste trabalho devido às suas características favoráveis (curto tempo de reação, menor probabilidade de saponificação da reação, etc.), tem-se como o mínimo estequiométrico 12,5% em volume relacionado sempre à quantidade de matéria-prima que será utilizada na reação. Porém, por se tratar de uma reação reversível, sempre é utilizado, seja qual for o álcool, um leve excesso para que se garanta a formação do éster (produto de interesse), ou seja, partimos de 13% de metanol em volume. Como em nossas reações são sempre utilizados 1000mL de matéria-prima, para o preparo do catalisador foram inseridos no erlenmeyer 130mL do metanol, mais os 4,1g do NaOH. Feito isso, agitou-se vigorosamente o erlenmeyer até que todo o NaOH estivesse completamente dissolvido no álcool.

Então, o catalisador presente no erlenmeyer foi vertido no béquer, ou seja, fez-se a mistura da matéria-prima já homogênea e na temperatura adequada (cerca de 50°C) com o catalisador. A partir de então, foi aguardado o tempo reacional de, pelo menos, 1h30min até que a reação pudesse ser cessada e as fases separadas com o auxílio de um funil de separação.

É a partir deste ponto que começamos a ter

amostras do nosso objeto de estudo, a água de lavagem. Findada a reação e separadas as suas fases, quer dizer, biodiesel e glicerina, procedeu-se com a lavagem do biodiesel. Vale salientar que, em termos gerais, em uma reação de transesterificação, o rendimento pode ser entendido como cerca de 90% de conversão no produto de interesse (biodiesel) e 10% de subprodutos (glicerina). A quantidade biodiesel gerada na reação foi inserida em um tanque de lavagem onde se acrescentou uma quantidade proporcional de água deionizada. Feito isso, foi promovida uma forte agitação para que ocorresse a interação dos dois líquidos e a água pudesse “extrair”, em função da sua maior afinidade, tudo o que não foi reagido, ou seja, NaOH e metanol. Em questão de poucos minutos já pôde ser observada uma separação das fases (devido à imiscibilidade entre água e óleo) onde, nesta primeira lavagem, a solução de lavagem apresentava-se esbranquiçada (turva). Esta aparência manteve-se na segunda lavagem, observando o seu gradual desaparecimento com lavagens posteriores. Via de regra, segundo a literatura, em um processo de lavagem tradicional, são necessários cerca de 3 litros de água para cada litro de biodiesel, ou seja, após a adição do 3º litro de água ao biodiesel esta poderá estar saindo límpida ou não. Em caso de já estar saindo límpida é sinal de que a lavagem está completa. Caso contrário, se a água de lavagem ainda estiver saindo esbranquiçada, é sinal de que o produto precisa continuar sendo lavado até que a água venha a sair límpida.

De posse da água de lavagem, partiu-se então para a sua caracterização físico-química seguindo alguns parâmetros da Resolução Conama nº 357/2005. Estabelecidas as características da água (através de um laudo de um laboratório credenciado à FEPAM), totalmente fora dos padrões de emissão de efluentes, partiu-se então para o seu tratamento tentando atingir índices não somente para descarte em algum corpo d'água, mas também para reaproveitamento no próprio processo, constituindo assim um processo de ciclo fechado. Para isso, adotaram-se algumas medidas como, por exemplo, a adição de ácido acético (solução 0,01% v/v), lavagem com água quente, utilização de filtros constituídos de areia grossa, areia fina e britas de diferentes tamanhos, além da utilização de papel-filtro entre as camadas formadas por esses materiais.

Outro procedimento adotado na realização do tratamento da água de lavagem foi

a realização de um *Jar Test*, ou seja, através de um equipamento foi definida qual a dosagem ótima/econômica quando usados agentes floculantes como o sulfato de alumínio e sulfato ferroso. Este tipo de tratamento é largamente empregado pelas companhias responsáveis pelo tratamento de água dos municípios do RS, como DMAE, CORSAN, etc. Para este teste, o procedimento adotado é o seguinte: são inseridos em cada jarro 1-2 litros do efluente que se deseja tratar. Para cada jarro, se estipula uma dosagem do agente floculante que será usado (no nosso caso utilizamos sulfato ferroso e sulfato de alumínio). Esta dosagem estipulada é, literalmente, um valor arbitrário do qual não se sabe qual apresentará o melhor resultado. Definidas as dosagens para cada um dos seis jarros, acrescentam-se os volumes do floculante a cada jarro sob forte agitação para que ocorra a chamada a mistura rápida. Após, reduz-se a velocidade de agitação dos jarros para que seja permitida a formação dos coágulos que, posteriormente, após a parada da agitação, virão a flotar em função das características do efluente de estudo, isto é, nada de material sedimentável e muito material flotável (óleos e graxas de baixíssima densidade). Com isso, é possível uma visualização de qual jarro apresentou o melhor aspecto, quer dizer, em qual deles foi percebida uma menor quantidade de material particulado misturado com a água e, conseqüentemente, o que apresentou a água mais límpida. O programa de formação dos coágulos deve seguir as seguintes etapas:

- Realizar a mistura rápida por 1 minuto em máxima rotação;

- Baixar a rotação para 30rpm e deixar girando por 10min;
- Baixar para 20rpm e deixar girando por 10min;
- Desligar e deixar sedimentar durante 20min;

Feito isso, ainda não se pode dizer que foi achada a dosagem ótima/econômica do processo. É preciso fazer um novo teste para que, a partir do jarro que apresentou o melhor aspecto, se possa estreitar a faixa de dosagens, isto é, realizar um ajuste fino em relação ao valor que apresentou o melhor resultado. Feito o ajuste fino e descoberta qual a dosagem ótima/econômica do processo, partiu-se então para a caracterização do efluente tratado esperando ter sido alcançados alguns dos parâmetros previamente estipulados como a DBO₅, DQO, Turbidez, óleos e graxas, cor, pH e OD.

Com esses testes, quer dizer, com a realização de filtração, lavagem com ácido acético, lavagem a quente, tratamento com agentes floculante pretendeu-se tornar este resíduo, um efluente altamente poluidor e não-conforme com a legislação vigente, apto a ser, pelo menos, descartado adequadamente em um corpo hídrico e, se possível, reutilizado novamente no processo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma análise da água de lavagem (tabela 1) atesta que, dentre os parâmetros analisados, a maioria encontra-se não-conforme com a Resolução Conama 357.

Tabela 1 - Resultados da análise da água de lavagem sem tratamento

Parâmetro	Resultado	Observação	Limite CONAMA
Óleos e graxas	500 mg/L	Lançamento de efluentes	Até 50 mg/L
Hidrocarbonetos	220 mg/L	Lançamento de efluentes	Até 20 mg/L
DQO	16.564 mg/L	Padrão de potabilidade para Classe 1 (consumo humano)	Nenhum limite mencionado
DBO ₅	Nada detectado	Padrão de potabilidade para Classe 1 (consumo humano)	Até 3 mg/L
Cor	3.000 mg/L	Padrão de potabilidade para Classe 1 (consumo humano)	Nível de cor natural do corpo d'água

Parâmetro	Resultado	Observação	Limite CONAMA
Turbidez	905 NTU	Padrão de potabilidade para Classe 1 (consumo humano)	Até 40 NTU
pH	10,44	Lançamento de efluentes	De 5 a 9
OD	5,52 mg/L	Padrão de potabilidade para Classe 1 (consumo humano)	Não inferior à 6 mg/L

Quando utilizado o tratamento com agentes floculantes (Tabela 2), a dosagem ótima/econômica para o sulfato de alumínio foi de 1450 mg L⁻¹, enquanto que para o sulfato ferroso, foi de 1900 mg L⁻¹.

Tabela 2 - Relação entre agentes floculantes e concentração utilizada

Floculante	Nº do Jarro	Concentração Inicial (mg L ⁻¹)	Concentração Ajustada (mg L ⁻¹)	Concentração final (mg L ⁻¹)
Sulfato Ferroso sol. 5%	1	2000	2000	2000
	2	1000	1650	1900*
	3	750	1550	1750
	4	500	1450	1600
	5	250	1350	1450
Sulfato de Alumínio sol. 5%	1	2000	2050	2050
	2	1650	1900	1900
	3	1550	1750	1750
	4	1450	1600	1600
	5	1350	1450	1450*

*Dosagem ótima/econômica para o sulfato ferroso e de alumínio, respectivamente.

Pode-se perceber, através das figuras 3, 4, 5, 6, 7 e 8, que, para cada parâmetro analisado segundo o método de tratamento empregado, quando são adotados apenas processos físicos de tratamento, como a utilização dos filtros somente com areia e brita, ou então areia e brita mais papel filtro entre camadas, não são suficientes para que possam ser alcançados os parâmetros desejados, embora se perceba que estes processos auxiliam na redução dos valores destes parâmetros.

- Método 1 - Água bruta sem qualquer tratamento (amostra sem tratamento);

- Método 2 - Água de lavagem utilizando uma solução de ácido acético 0,01%;

- Método 3 - Água de lavagem utilizando uma solução de ácido acético 0,01% juntamente

com uma filtração em filtro de britas e areia;

- Método 4 - Água de lavagem utilizando uma solução de ácido acético 0,01% juntamente com uma filtração em filtro de britas e areia, com uma membrana filtrante entre camadas;

- Método 5 - Água de lavagem após *Jar Test* fazendo-se uso do sulfato ferroso;

- Método 6 - Água de lavagem após *Jar Test* fazendo-se uso do sulfato de alumínio;

Através dos testes realizados, pôde-se perceber que existem meios executáveis de se tratar um resíduo com alta carga poluidora como este. Também, não menos importante, revela-se o fato de este último processo, tratamento químico com agentes floculantes, ser também economicamente viável, ou seja, para uma

indústria de porte médio com produção diária de biodiesel de 100.000L, o custo do tratamento da água de lavagem não chega a 0,7% do faturamento anual da empresa. Isso significa, ainda, ser algo relativamente barato tendo em vista que o não-tratamento deste efluente e seu respectivo descarte poderá gerar uma multa do órgão ambiental de cerca de quatro vezes o valor gasto anualmente se fosse tratado. Então, além da questão da Legislação, financeira e ecológica, é vantajoso executar esse tratamento, podendo a empresa conseguir benefícios fiscais e em termos de organização (certificações ISO) tornando-se modelo de gestão ambiental.

AGRADECIMENTOS

Laboratório de Processos Ambientais (LAPA) da PUCRS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. <http://www.tecbio.com.br/bdhistoria.htm> ,

acessado em novembro de 2006.

2. <http://www.coppe.ufrj.br/> , acessado em novembro de 2006.
3. DIEGUEZ, F.; AFFINI, M. **Petróleo verde**. Super Interessante. V.5, n.12, p.51-54, dez, 1991.
4. <http://noticias.uol.com.br/economia/ultnot/valor/2006/09/12/ult1913u56993.jhtm>, acessado em outubro de 2006
5. Gelbard, G., Bre's., O., Vielfaure-Joly, F. J. Am. Oil. Chem. Soc. 72 (1995).
6. Haas, M.J., Bloomer, S., Scott, K., 2000. **Simple, high-efficiency shynthesis of fatty acid methyl esters from soapstock**. J. Am. Oil Chem. Soc. 77 (4), 373–379.
7. Boccardo, R.C.; Panorama Atual do Biodiesel. Programa Brasileiro de Formação em Motores e Combustíveis, PUC-PR, CEFET-PR, UFPR, UFSC, 2004.
8. De Boni, L.A.B., Goldani, E. **Economia de água na produção de biodiesel**. Prêmio ANA, 2006.

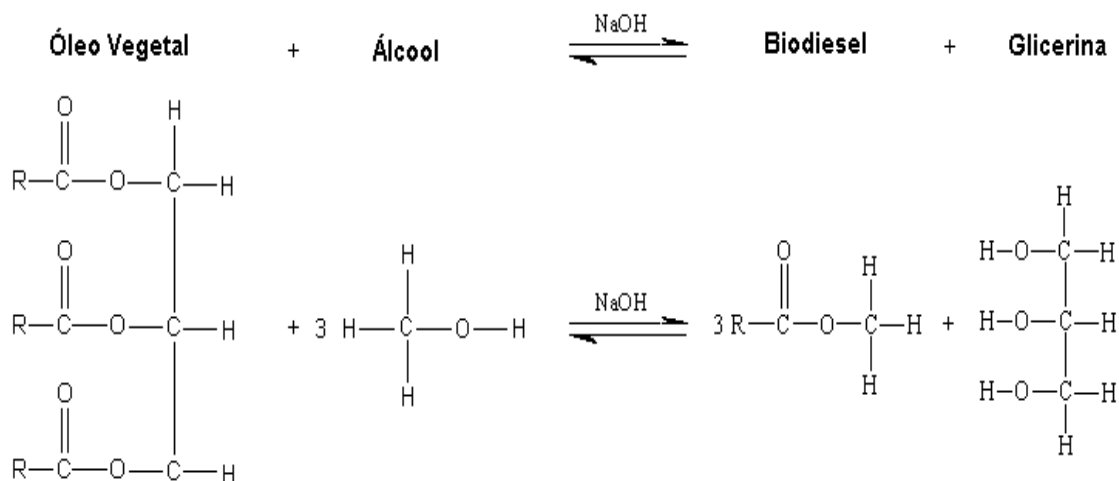


Figura 1 – Reação de transesterificação.

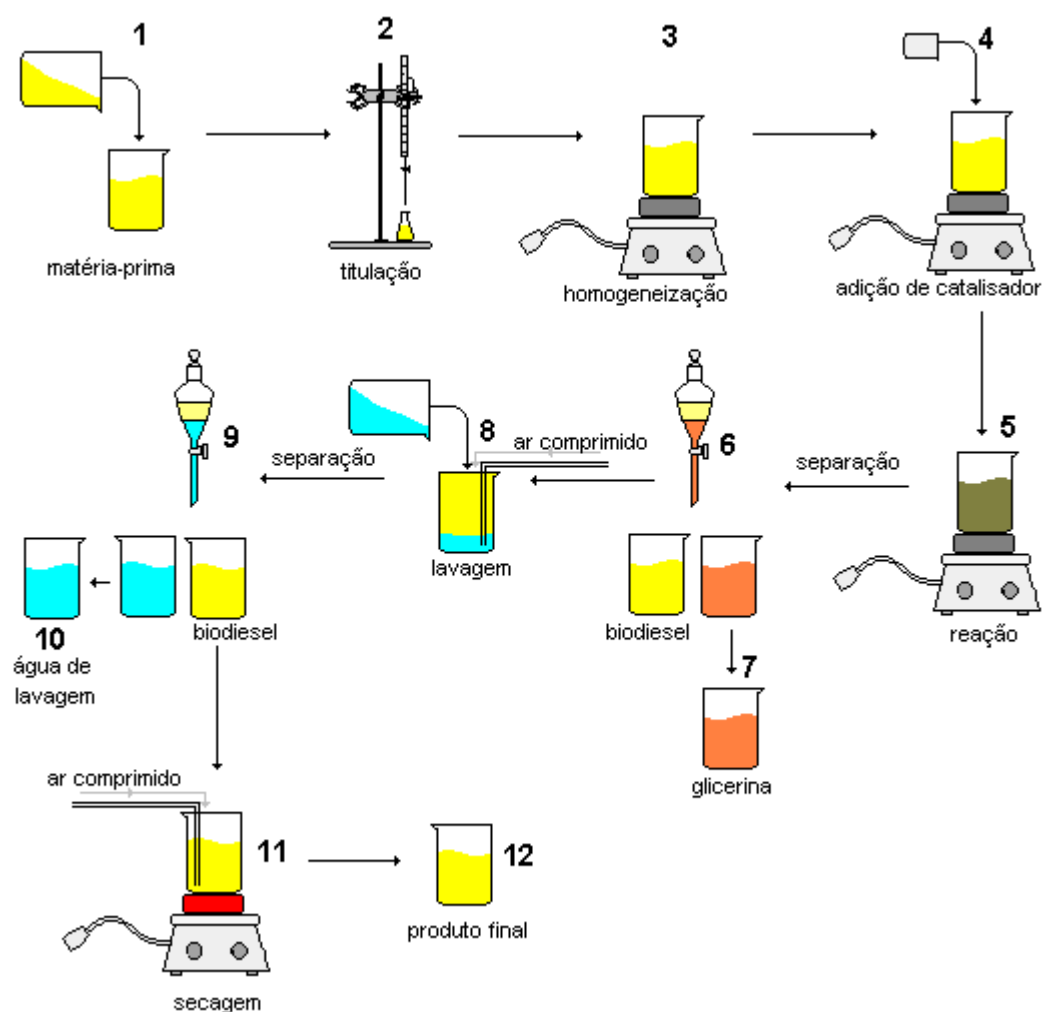


Figura 2 - Organograma de produção via processo tradicional (rota alcalina)

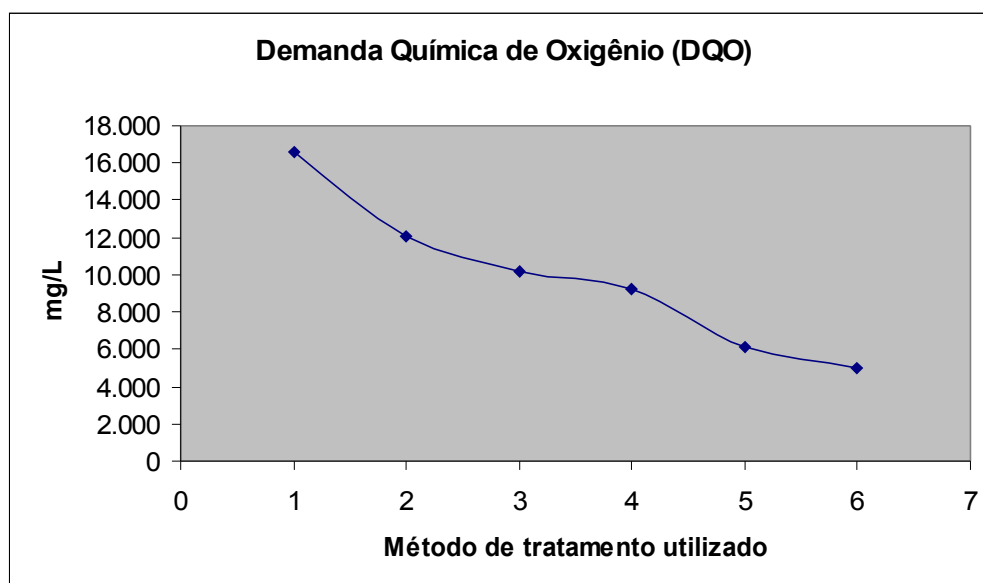


Figura 3 - Variação da Demanda Química de Oxigênio em função do tratamento empregado.

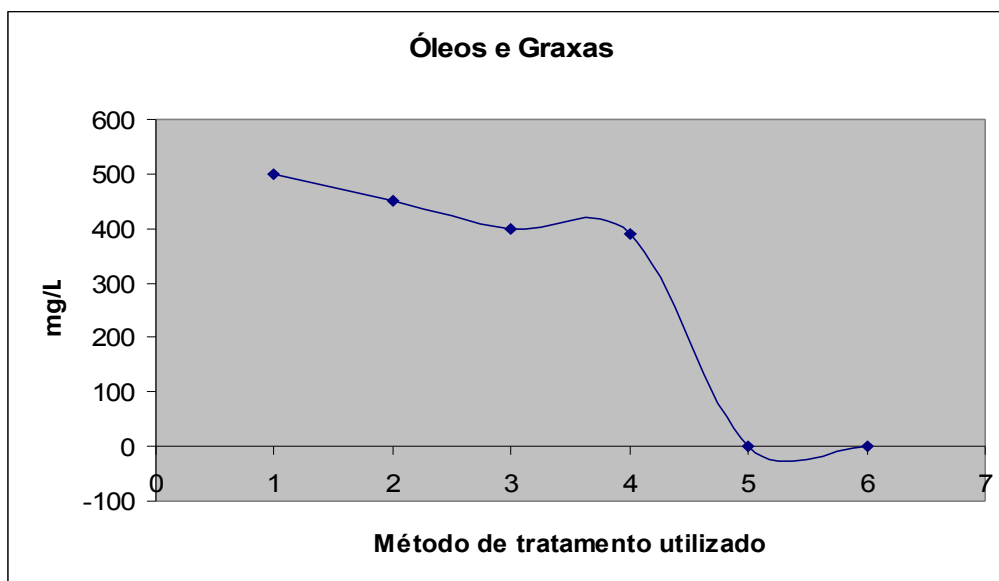


Figura 4 - Variação de Óleos e Graxas em função do tratamento empregado.

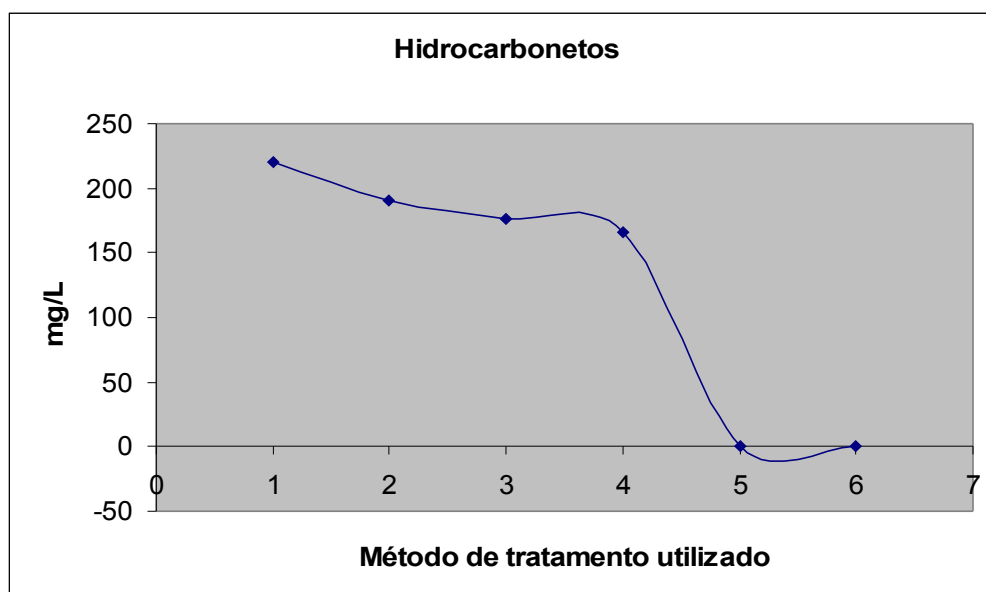


Figura 5 - Variação de Hidrocarbonetos em função do tratamento empregado.

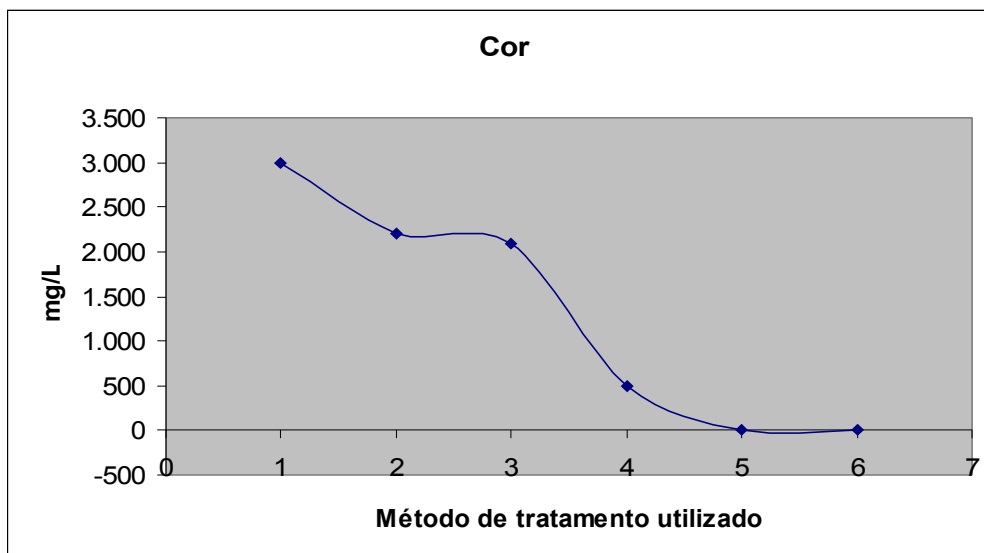


Figura 6 - Variação da Cor em função do tratamento empregado.

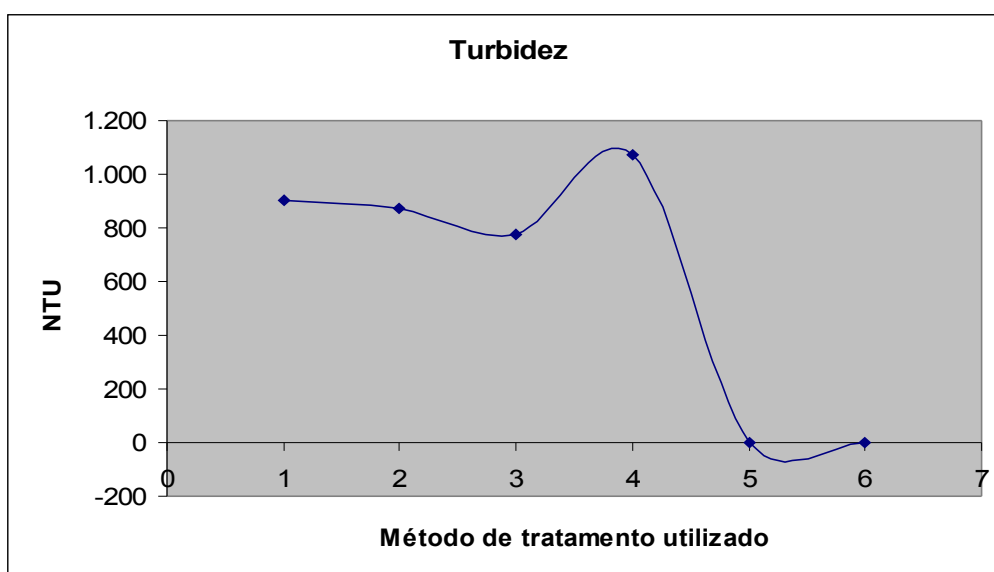


Figura 7 - Variação da turbidez em função do tratamento empregado.

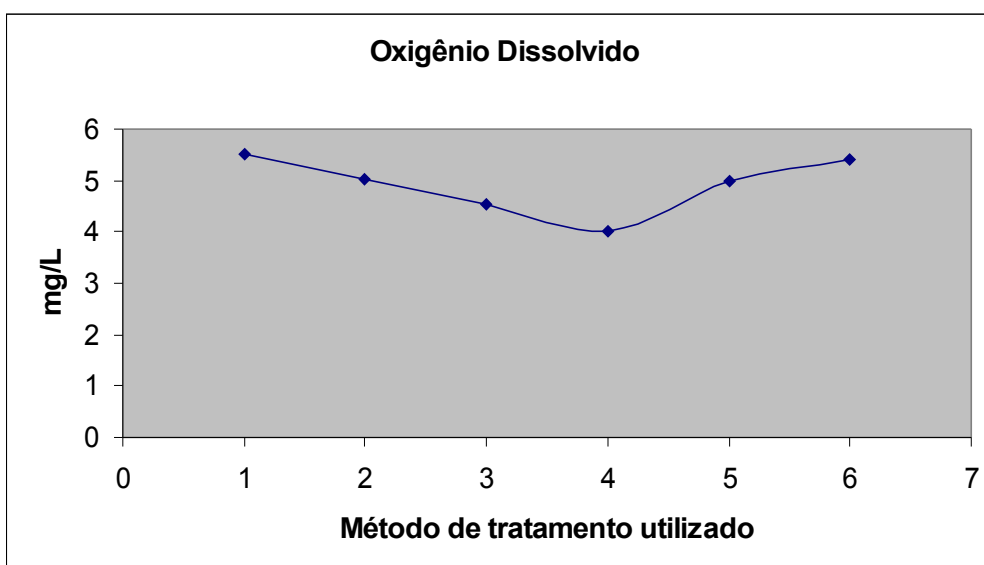


Figura 8 - Variação do Oxigênio Dissolvido em função do tratamento empregado.