

**DESENVOLVIMENTO DE UMA USINA PILOTO MÓVEL PARA PRODUÇÃO DE
BIODIESEL**

DEVELOPMENT OF A MOBILE PILOT PLANT FOR BIODIESEL PRODUCTION

**DESARROLLO DE UNA USINA PILOTO MÓVIL PARA PRODUCCIÓN DE
BIODIESEL**

ANTONANGELE APARECIDO RAIMUNDO¹

MÁRIO AUGUSTO CAMALIONTE²

FERNANDO G. TONIN³

CELSO FERNANDES JOAQUIM JUNIOR⁴

Recebido em setembro de 2009. Aprovado em setembro de 2009.

¹ Graduando do Curso de Logística – Ênfase em Transportes - da Faculdade de Tecnologia de Botucatu.

² Graduando do Curso de Logística – Ênfase em Transportes - da Faculdade de Tecnologia de Botucatu.

³ Professor Doutor da Universidade de São Paulo – Campus Pirassununga.

⁴ Professor Doutor da Faculdade de Tecnologia de Botucatu - cjunior@fatecbt.edu.br – Fone: (14) 3814-3004 – Botucatu/SP.

DESENVOLVIMENTO DE UMA USINA PILOTO MÓVEL PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

RESUMO

A crescente demanda energética mundial, combinada com a escassez de combustíveis fósseis ampliou a importância de fontes alternativas de energias renováveis. Neste contexto, os combustíveis de origem vegetal ganham espaço, culminando com programas governamentais de fomento ao plantio de suas matérias-primas e a sua produção, principalmente em larga escala, demandando grandes usinas processadoras. Neste trabalho, estudou-se o processo de produção de biodiesel em pequena escala, buscando a geração de tecnologia nacional própria, através do projeto e construção de uma usina piloto para biodiesel de fácil manuseio, operação e transporte. Embora sejam inúmeras as matérias-primas que podem ser utilizadas na produção do biodiesel, optou-se por estudar o processamento a partir do óleo de soja e de seu resíduo de fritura. Os processamentos feitos na usina construída permitiram uma avaliação detalhada das etapas principais do processo de produção do biodiesel. Sua operação mostrou-se simples, prática e flexível, permitindo que equipamentos similares venham a ser aplicados futuramente em pequenas propriedades rurais ou cooperativas, sem exigir grandes investimentos ou instalações, capacitando-as a produzir volumes superiores a 100 litros/dia de biodiesel.

PALAVRAS-CHAVE: Biodiesel. Energia renovável. Usina piloto.

DEVELOPMENT OF A MOBILE PILOT PLANT FOR BIODIESEL PRODUCTION

ABSTRACT

The increasing world-wide energy demand, combined with the scarcity of fossil fuels increased the importance of alternative sources of energy. In this context, biomass fuels gaining ground, culminating with government programs to promote the planting of their raw materials and production, especially in large scale, requiring large processing plants. In this work, it was studied the production of biodiesel on a small scale, seeking the creation of national technology itself, through the design and construction of a pilot plant for biodiesel easy to use, operation and transportation. Although many raw materials that can be used in the production of biodiesel, it was chosen to study the process from soybean oil and its residue of frying. The processing plant built in made it possible a detailed assessment of the main steps of the production of biodiesel. Its operation has proved simple, practical and flexible, allowing similar equipment will be applied in future on small farms and cooperatives, without requiring large investments or facilities, enabling them to produce higher volumes up to 100 liters / day of biodiesel.

KEYWORDS: Biodiesel. Pilot plant. Renewable energies.

DESARROLLO DE UNA USINA PILOTO MÓVIL PARA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

RESUMEN

La creciente demanda energética mundial, combinada con la escasez de combustibles fósiles ha aumentado la importancia de fuentes alternativas de energías renovables. En este contexto, los combustibles de origen vegetal ganan espacio, culminando con programas gubernamentales de fomento a la plantación de sus materias-primas y a su producción, principalmente en larga escala, demandando grandes usinas procesadoras. En este trabajo se estudió el proceso de producción de biodiesel en pequeña escala, buscando la generación de tecnología nacional propia, a través del proyecto y construcción de una usina piloto para biodiesel de fácil manejo, operación y transporte. Aunque sean innumerables las materias-primas que pueden ser utilizadas en la producción del biodiesel, se optó por estudiar el procesamiento a partir del aceite de soja y de su residuo de fritura. Los procesamientos hechos en la usina construida permitieron una evaluación detallada de las etapas principales del proceso de producción del biodiesel. Su operación se mostró simple, práctica y flexible, permitiendo que equipos similares vengan a ser aplicados en el futuro en pequeñas propiedades rurales o cooperativas, sin exigir grandes inversiones o instalaciones, las capacitando a producir volúmenes superiores a 100 litros / día de biodiesel.

PALAVRAS CLAVE: Biodiesel. Energía renovable. Usina piloto.

1 INTRODUÇÃO

Apesar dos muitos projetos e estudos sobre utilização de óleos vegetais ou de origem animal, sua aplicabilidade técnica e econômica somente recentemente voltou a ser abordada, com a crescente demanda energética, a escassez iminente do petróleo e os aspectos ecológicos, reacendendo sua utilização, principalmente sob a forma de seu éster derivado, o biodiesel. Segundo Meirelles (2003), tecnicamente, o biodiesel é definido como éster alquílico de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo (óleo e gorduras vegetais ou animais) com álcool de cadeia curta. A transesterificação consiste na reação química de um óleo vegetal com um álcool, que pode ser etanol ou metanol, na presença de um catalisador ácido (ácido clorídrico) ou básico (hidróxido de sódio).

Como resultado, obtém-se o éster metílico ou etílico (biodiesel), conforme o álcool utilizado, e a glicerina. Atualmente, como resultado da iminente escassez de petróleo e da conseqüente crescente pressão mundial pelo desenvolvimento de alternativas renováveis aos combustíveis fósseis, o biodiesel alcança papel relevante no novo panorama da matriz energética mundial. Tal importância refletiu-se na criação da diretiva americana *Clean Air Act Amendment of 1990*, na Lei S-517 e a diretiva européia *2003/30/EC of the*

European Parliament and of the Council of 8th May 2003, as quais instituíram a adição do biodiesel no óleo diesel. Nos Estados Unidos, o percentual adotado é de 20%. Na Europa, o percentual foi fixado obrigatoriamente em 2%, em 2005, e em 5,75% a partir de 2010. No Brasil, a lei 11097/05 determinou o uso obrigatório de 2% (Biodiesel B2), em 2008, e de 5% (Biodiesel B5) em 2013. Considerando-se a lacuna tecnológica em nosso país, totalmente dependente de plantas de produção projetadas no exterior, ainda que construídas no Brasil, o presente trabalho teve como objetivo a construção, desenvolvimento e testes de uma usina piloto de pequenas dimensões.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Segundo Nitske e Wilson, citados por Knothe, Gerpen e Krahl (2006), as primeiras operações de motores diesel com uso de óleo vegetal foram efetuadas pela empresa francesa Otto durante a Feira Mundial de Paris em 1900. O motor operou com óleo de amendoim, sem ter sofrido quaisquer modificações, a pedido do governo francês, que idealizava a possibilidade de utilizar este tipo de óleo para a produção de

energia, já que esta planta era produzida em grandes quantidades nas colônias africanas.

Diesel (1912), afirmou, ainda no início do século passado, que os motores diesel podem trabalhar com óleo de amendoim sem maiores dificuldades, sendo este óleo praticamente tão efetivo quanto os óleos minerais, podendo ser empregado como óleo combustível e lubrificante ao mesmo tempo, tornando o motor uma máquina independente, ideal para os países tropicais. O autor cita ainda o uso de óleo de mamona e óleos animais em locomotivas em experimentos realizados na cidade de São Petersburgo. Já naquela época, Diesel afirmou que a energia dos motores poderia ser produzida com o calor do sol, que sempre estaria disponível para fins agrícolas, mesmo quando todos os estoques de combustíveis sólidos e líquidos estivessem exauridos.

Segundo Knothe, Gerpen e Krahl (2006), em diversos artigos publicados na década de 40, citam o uso do óleo de Palma como fonte de combustível. De acordo com os autores, diversos países que possuíam colônias africanas, tais como Bélgica, França, Itália e o Reino Unido demonstraram interesse no desenvolvimento de combustíveis derivados de óleos vegetais. Os autores comentam ainda que, durante a Segunda Guerra Mundial, óleos vegetais foram utilizados como combustíveis de

emergência. Projetos da época, realizados na Universidade Estadual de Ohio, nos Estados Unidos, investigaram o uso de óleos de caroço de algodão, milho e misturas destes com óleo diesel convencional. Os mesmos autores citam que, após a guerra, pesquisadores indianos expandiram suas pesquisas a 10 novos tipos de óleos vegetais para o desenvolvimento de combustíveis domésticos.

Biodiesel, segundo Meirelles (2003), é definido como éster alquílico de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo (óleo e gorduras vegetais ou animais) com álcool de cadeia curta. A transesterificação consiste na reação química de um óleo vegetal com um álcool, que pode ser etanol ou metanol, na presença de um catalisador ácido (ácido clorídrico) ou básico (hidróxido de sódio). Como resultado, obtém-se o éster metílico ou etílico (biodiesel), conforme o álcool utilizado, e a glicerina.

Portanto, a transesterificação nada mais é do que a separação da glicerina do óleo vegetal. Durante o processo, em que ocorre a transformação do óleo vegetal em biodiesel, a glicerina, que compõe cerca de 20 % da molécula de óleo vegetal, é removida (deixando o óleo

mais fino e reduzindo sua viscosidade), sendo substituída pelo álcool proveniente do etanol ou do metanol. A glicerina, subproduto da produção de biodiesel, pode ser utilizada como matéria-prima na produção de tintas, adesivos, produtos farmacêuticos e têxteis, aumentando a competitividade do produto (PARENTE, 2003).

Freedman et al. (1984) publicaram artigos em que caracterizaram a reação de transesterificação, a qual é catalisada pelo hidróxido de sódio dissolvido em álcool ou pelo metóxido de sódio (metilato) produzido pela dissolução de sódio metálico em álcool metílico.

Segundo os autores, as reações em batelada envolvem o uso de excesso molar de seis vezes entre o álcool metílico e o óleo com hidróxido de sódio ou metilato de sódio como catalisador. Os tempos de reação indicados foram de 2 a 4 horas em temperaturas entre 60 e 65°C, sob pressão atmosférica e agitação vigorosa. Ainda segundo os autores, o substrato deve ser praticamente anidro (teores de água entre 0,1 a 0,3%).

De acordo com os mesmos autores, a reação de transesterificação é um processo de equilíbrio em que o rendimento em ésteres corresponde a aproximadamente 75% do rendimento teórico. A camada de glicerina, que contém traços de álcool não reagido e catalisador, é removida e uma nova partida de metanol e catalisador é

adicionada, repetindo-se a reação. Este processo em duas etapas resulta em rendimentos de transesterificação superiores a 98%, com quantidades negligenciáveis de acilgliceróis não reagidos. O produto final separa-se rapidamente da fase líquida polar, que contém o álcool não reagido, o glicerol e o catalisador.

Parente (2003) afirma que a preparação da matéria-prima para sua conversão em biodiesel visa criar as melhores condições para a efetivação da reação de transesterificação, com a máxima taxa de conversão.

Em princípio, é necessário que a matéria-prima tenha o mínimo de umidade e de acidez, o que é possível submetendo-a a um processo de neutralização, através de uma lavagem com uma solução alcalina de hidróxido de sódio ou de potássio, seguida de uma operação de secagem ou desumidificação. As especificidades do tratamento dependem da natureza e condições da matéria graxa empregada como matéria-prima.

A reação de transesterificação é a etapa da conversão, propriamente dita, do óleo ou gordura, em ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, que constituem o biodiesel. De acordo com Parente (2003), a reação

(alcoolize) pode ser representada da seguinte maneira:

- Óleo ou Gordura + Metanol → Ésteres Metílicos + Glicerol;

- Óleo ou Gordura + Etanol → Ésteres Etílicos + Glicerol.

Conforme o mesmo autor, a primeira equação química representa a reação de conversão, quando se utiliza o metanol (álcool metílico) como agente de transesterificação, obtendo-se, portanto, como produtos os ésteres metílicos que constituem o biodiesel e o glicerol (glicerina).

A segunda equação envolve o uso do etanol (álcool etílico) como agente de transesterificação, resultando como produto o biodiesel ora representado por ésteres etílicos e a glicerina.

Ressalta-se que, sob o ponto de vista objetivo, as reações químicas são equivalentes, uma vez que os ésteres metílicos e os ésteres etílicos têm propriedades equivalentes como combustíveis, sendo ambos considerados biodieseis.

As duas reações acontecem na presença de um catalisador, sendo os mais usuais, segundo Parente (2003), o hidróxido de sódio (NaOH) ou o hidróxido de potássio (KOH), ambos usados em pequenas proporções. A diferença entre eles, com respeito aos resultados na reação, é muito pequena.

No Brasil o hidróxido de sódio é muito mais barato que o hidróxido de potássio sendo, portanto, mais comumente empregado. Por esta razão, o mesmo foi empregado nos processos de produção de biodiesel do presente estudo.

Industrialmente, o processo de transesterificação possui as seguintes fases principais de operação:

- Uma mistura de metanol (ou etanol) e hidróxido de sódio (ou hidróxido de potássio) é aquecida a aproximadamente 70°C em um tanque agitado, específico para esta operação.

- O óleo, previamente tratado, é enviado ao reator de transesterificação, onde é acrescido da pré-mistura de metanol e catalisador. A reação pode ser feita em uma ou duas etapas.

Após a reação de transesterificação, que converte a matéria graxa em ésteres (biodiesel), a massa reacional é constituída de duas fases, separáveis por decantação (adotada neste trabalho) ou por centrifugação.

A fase mais pesada é composta de glicerina bruta, impregnada dos excessos utilizados de álcool, de água e de impurezas inerentes à matéria-prima. A fase menos densa é constituída de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos, conforme a natureza do álcool originalmente

adotado, também impregnado de excessos reacionais e de impurezas.

Os ésteres deverão ser lavados e, posteriormente, desumidificados, resultando finalmente no biodiesel.

Nesta etapa, o biodiesel é limpo de resíduos de sabão, catalisador e metanol através de mistura de contato com água e posterior decantação (processo adotado neste trabalho) ou centrifugação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho consistiu na avaliação e estudo das principais etapas previstas no processo de obtenção do biodiesel, visando reproduzi-las em um único equipamento, em escala piloto, de fácil manuseio e movimentação, conforme mostrado na Figura 1. As etapas envolvidas foram baseadas nas informações disponíveis na literatura e em visitas a plantas industriais alemãs de produção de biodiesel. Desta forma, a miniusina foi prevista para as seguintes funções: permitir a lavagem do óleo (matéria-prima) com água através de recirculação; permitir a separação da água e do óleo por meio de decantação; permitir a secagem do óleo por meio de aquecimento sob vácuo (opcionalmente); permitir a adição de metanol (ou etanol) e catalisador de maneira simples e segura; possuir sistema de mistura por meio de sistema de recirculação por bombeamento; permitir, após a reação de

transesterificação, a separação do biodiesel da glicerina e demais componentes por meio de decantação; permitir a lavagem e posterior secagem do biodiesel em forma análoga àquela procedida com o óleo utilizado como matéria-prima.



Figura 1 – Reator piloto de biodiesel.

3.1 Materiais

3.1.1 Materiais de construção

A miniusina piloto é composta por diversos itens ou sistemas, sendo o vaso de pressão onde ocorre a mistura e a reação química denominado de reator. Os produtos nele processados são agressivos aos aços ao carbono, determinando que as paredes do equipamento sejam revestidas. Os aços inoxidáveis austeníticos são as ligas deste aço mais empregadas na construção de vasos de processos industriais devido a sua boa resistência aos ataques químicos e,

principalmente, devido a sua boa soldabilidade. Portanto, optou-se por construir o corpo do reator e todas as suas partes em contato com o produto com a liga de aço inoxidável austenítico ASTM A 240 304.

3.1.2 Definição geométrica do reator

A geometria do reator deve atender aos seguintes requisitos: maximizar o aquecimento; facilitar a mistura dos componentes; permitir a decantação e boa drenabilidade das fases; dispor de sobrevolume que permita a geração de vácuo sem que ocorra o arraste de líquidos ou partículas.

3.1.3 Sistema de mistura, aquecimento, transferência e controle e sistema de mistura e transferência

Utilizou-se de uma bomba centrífuga (marca Bomax modelo SX potência de 0,5 cv, com vazão de 100 l/h a 2,5 mca) a fim de propiciar mistura por meio de recirculação em tubo tipo *deep-pipe* com furos helicoidais, garantindo a distribuição uniforme do produto na direção radial no interior do reator. Além da função de mistura, a bomba pode atuar na transferência das fases no interior do vaso para tanques de decantação ou de depósito que possam vir a serem incorporados à usina piloto.

3.1.4 Sistema de aquecimento

O reator foi dotado de sistema de aquecimento por meio de resistência elétrica externa, fixada por abraçadeiras ao seu corpo na porção cilíndrica inferior. Tal conceito dispensa o uso de meios intermediários de transmissão de calor (vapor, água quente, óleos térmicos, etc.), podendo ser aplicado em quaisquer locais que disponham de rede elétrica.

3.1.5 Painel de controle

O equipamento foi dotado de painel de controle com proteção do motor da bomba centrífuga (disjuntores) e da resistência elétrica. Todo o projeto da instalação elétrica previu interfaces, cabos, conectores e motores à prova de explosão, com exceção do painel de comando, previsto, para ser instalado distante do equipamento, por questões de custo e segurança. A botoeira liga/desliga da bomba centrífuga foi instalada junto ao reator piloto, facilitando sua operação. No painel de comando, foi instalado um indicador/controlador de temperatura, conectado a um termopar para medição e controle da temperatura do produto, determinada pelo tempo de funcionamento da resistência elétrica.

3.1.6 Projeto do reator

As dimensões externas do equipamento são pequenas, permitindo que o mesmo possa ser transportado facilmente, possibilitando sua operação em laboratórios, mas também em locais de produção de matérias-primas, como por exemplo, em pequenas propriedades rurais que disponham de energia elétrica adequada.

3.2 Metodologia

3.2.1 Procedimentos nos ensaios

Produção do Biodiesel a partir de óleo de soja

Em decorrência de o óleo de soja, utilizado nos ensaios, ser refinado para fins alimentícios, não se procedeu a sua pré-lavagem.

Os ensaios foram realizados segundo a seguinte sequência de operações:

- Através do funil superior do equipamento, descarregou-se 3 litros de óleo de soja a temperatura ambiente no reator, conforme Figura 2.



Figura 2 – Carregamento de óleo de soja no reator.

- O metanol e o catalisador (hidróxido de sódio) foram misturados em um *becker*, nas quantidades previamente estabelecidas para cada ensaio. Após a dissolução do catalisador, a mistura foi despejada no reator, já carregado de óleo de soja, conforme mostra a Figura 3.



Figura 3 – Carregamento de metanol e hidróxido de sódio.

- Após a adição da mistura de metanol e catalisador, foram fechadas as tomadas do reator e o controlador de

temperatura do reator foi ajustado para que o aquecimento seja feito de forma a atingir-se a temperatura estipulada para o ensaio. O painel de comando e controle do equipamento é mostrado na Figura 4.



Figura 4 – Painel de comando e controle.

- Com o término do tempo de reação, o reator foi despressurizado através da abertura de sua válvula de alívio.
- O biodiesel foi retirado através da abertura da válvula de saída na tubulação de recirculação do reator, através de bombeamento (Figura 5).



Figura 5 – Retirada de biodiesel.

- Depois de retirado o produto do reator, o mesmo foi depositado em tanque de

decantação, onde permaneceu por 24 horas.

- Com o biodiesel já decantado, a glicerina, mais densa, foi retirada por gravidade pela tomada inferior do tanque. Foi separada uma amostra, com aproximadamente 300 ml para cada ensaio realizado.

Uma vez removida toda a glicerina gerada, promoveu-se a descarga do biodiesel, do qual se separaram duas amostras com aproximadamente 300 ml cada uma, conforme Figura 6.



Figura 6 – Amostra de biodiesel.

- Ao final de cada ensaio, o reator foi lavado com água e detergente neutro. O equipamento foi enxaguado repetidas vezes, até que nenhum resíduo de detergente ou impurezas fosse percebido a olho nu. O equipamento é seco através de aquecimento a 90°C com todas as suas tomadas abertas para a atmosfera durante 30 minutos.

Lavagem do biodiesel

Uma das amostras de biodiesel de cada ensaio foi submetida à lavagem com água deionizada: 75 ml de água para 150 ml de biodiesel. A lavagem foi feita por agitação dos dois líquidos por 3 minutos em um *becker*.

A fase líquida foi depositada em tubos Falcon (aproximadamente 14 tubos por ensaio), os quais foram submetidos à centrifugação por 5 minutos (Figura 7).

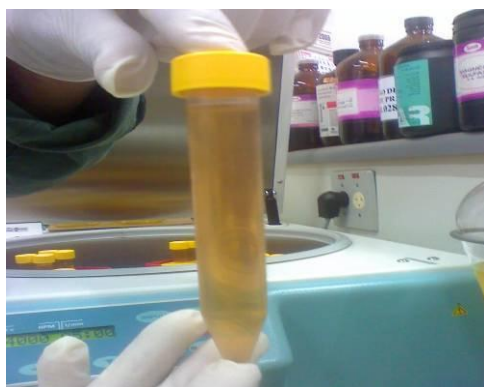


Figura 7 – Amostra de biodiesel lavado com água deionizada.

Através de pipetagem, retirou-se o biodiesel centrifugado, permanecendo impurezas e resíduos de água na porção inferior do tubo.

- O biodiesel submetido à primeira lavagem, já centrifugado, foi novamente depositado num *becker* de decantação, onde foram adicionados mais 75ml de água deionizada, para uma segunda lavagem. Repetiu-se o processo: Agitou-se por 3 minutos e procedeu-se a nova centrifugação por mais 5 minutos.

O biodiesel da segunda lavagem foi centrifugado para separação de eventuais impurezas e água.

Após ser submetido às duas operações de lavagem, o biodiesel foi considerado apto a ser analisado.

Todos os equipamentos utilizados nos ensaios foram lavados com sabão, água da rede pública (torneira), acetona e enxaguados com água deionizada de forma a garantir-se a inexistência de contaminação das amostras de ensaios distintos.

Produção do Biodiesel a partir de óleo de fritura

O óleo de fritura decorrente de óleo de soja utilizado foi obtido em restaurante local. Desta forma, o mesmo apresentou impurezas, sólidos em suspensão e borra, exigindo procedimentos específicos para sua eliminação, conforme sequência descrita a seguir:

O óleo foi coletado em tambores de 20 litros, sem quaisquer tratamentos antes da coleta. Desta forma, identificou-se rápida sedimentação de sólidos formando uma camada de borra correspondente a aproximadamente 40% do volume de material coletado.

O óleo foi separado da borra através de uma mangueira, por processo de sucção por sifonagem.

- Peneiramento

Através de uma peneira MESH 120, construída em aço inoxidável, especificamente para este fim, eliminaram-se as impurezas em suspensão: restos de frituras, borras brancas, gorduras, entre outras (Figura 8).



Figura 8 – Peneira para remoção de impurezas insolúveis.

A Figura 9 apresenta o óleo de fritura depois de peneirado.



Figura 9 – Óleo de fritura peneirado.

- Lavagem

Depois de filtrado, procedeu-se à lavagem do óleo de fritura nas proporções

de 50% de óleo filtrado e 50% de água da rede pública.

Misturaram-se bateladas de 4 litros de óleo e 4 litros de água, previamente dosados em *beckers*, em recipiente construído em aço inoxidável (Figura 10), através de movimentação manual com bastão, por um período de 10 minutos.



Figura 10 – Carga de óleo de fritura e de água para processo de lavagem.

Concluída a lavagem, foram retirados por sifonagem, através de mangueiras, 3 litros de óleo de fritura, a serem utilizados na produção do biodiesel.

Produção do biodiesel de óleo de fritura

O processo de produção do biodiesel produzido a partir de óleo de fritura, após as operações de peneiramento e lavagem, seguiu-se a mesma sequência e procedimentos adotados para a produção com óleo de soja. As Figuras 11 e 12, respectivamente, mostram o início e o

final do processo de decantação do biodiesel durante um período de 24 horas. Nota-se na Figura 12 que a glicerina, mais densa, decantou-se.



Figura 11 – Biodiesel de óleo de fritura em início de decantação.



Figura 12 – Biodiesel de óleo de fritura com duas fases separadas por decantação: éster metílico e glicerol.

Lavagem do biodiesel de óleo de fritura

O processo de lavagem do biodiesel a partir de óleo de fritura foi executado conforme os procedimentos efetuados para o óleo de soja.

- As amostras de biodiesel foram coletadas e armazenadas em recipientes plásticos de volume aproximado de 300 ml. As mesmas

serão destinadas às análises físico-químicas para verificação do atendimento às especificações das normas da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2008) em segunda fase deste trabalho.

4. RESULTADOS

O projeto e desenvolvimento da usina piloto para produção de biodiesel resultou na construção de um sistema que permitiu a produção de biodiesel a partir de óleo de soja e óleo usado de frituras em todas as suas etapas principais com sucesso. Suas pequenas dimensões e seu conceito de projeto conferiram à mesma grande facilidade de operação, manuseio e transporte. Durante os ensaios, parâmetros de processo, tais como o tempo de aquecimento e sua temperatura puderam ser facilmente alterados e controlados, o que permitirá suas alterações nas fases seguintes do projeto. A adição de matérias-primas e insumos, bem como manuseio de válvulas e acessórios mostrou-se fácil e prático, podendo o equipamento ser operado por apenas uma pessoa.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho de pesquisa permitiu a construção de uma usina piloto de biodiesel, móvel e de fácil manuseio. Foi possível conjugar as operações principais de uma usina industrial de biodiesel em um único equipamento, com caráter inédito. Obteve-se a produção de biodiesel a partir de óleo de soja e de óleo de fritura, com sucesso. Os parâmetros físico-químicos do produto final serão analisados na etapa seguinte do projeto, permitindo otimizar também a qualidade do produto final.

Conclusões Preliminares

Os produtos obtidos nos ensaios realizados foram lavados e analisados quanto aos teores de glicerina livre e ligada segundo o critério de eletroforese capilar (Gonçalves Filho e Mücke, 2007). Em todos os ensaios preliminares, os valores de glicerina livre apresentaram tendência inferior ao valor máximo permitido pela portaria da Agência Nacional de Petróleo (ANP), de 0,02% para a glicerina livre e de 0,38% para a glicerina total, o que dá indícios da eficiência do método de lavagem utilizado.

Os valores de glicerina ligada estão sendo utilizados como resposta na análise do planejamento fatorial adotado nos ensaios, de onde se poderá obter uma equação preditiva que descreva a quantidade de glicerina ligada a ser obtida em qualquer ensaio executado em

condições englobadas pelo espaço experimental do planejamento fatorial. Uma vez obtida tal equação, serão simuladas algumas condições de processo, como por exemplo, quantidade mínima de metanol a ser utilizado, custo total do processo, ou tempo de processo no reator, tendo-se sempre como condição de contorno a obtenção de um produto com teor de glicerina ligada abaixo do nível máximo permitido pela ANP. Desta forma, pretende-se dominar o processo de obtenção de biodiesel com relação às variáveis estudadas, podendo-se modificar o processo a qualquer momento (de acordo com a conveniência do mercado) sem que haja perda de qualidade do produto final.

6 REFERÊNCIAS

- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico 2001, 2002, 2003, 2004**. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp>. Acesso em 20 fev. 2008.
- DIESEL, R. The Diesel Oil-Engine, *Engineering* 93:395-406 (1912). **Chem. Abstr.** 6: 1984 (1912).

FREEDMAN, B., et al. Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 61, 1638-1643, 1984.

GONÇALVES FILHO, L.C. e MICKE, G.A. Development and validation of a fast method for determination of free glycerol in Biodiesel by capillary electrophoresis. *Journal of Chromatograph*, 1154, 477-480 (2007).

MEIRELLES, F.S. **Biodiesel**. Brasília. 2003. Disponível em: <<http://www.faespsenar.com.br/faesp/economico/EstArtigos/>>. Acesso em 10 set. 2005.

KNOTHE, G.; GERPEN, J.V.; KRAHL, J.; RAMOS, L.P. **Manual do Biodiesel**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 340p.

PARENTE, E.; J. de S. **Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza. Tecbio/Nutec, 2003.