PRODUÇÃO DE BIODIESEL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE REJEITOS DE METANOL GERADOS POR LABORATÓRIOS DE CONTROLE DE QUALIDADE EM INDÚSTRIAS DO PÓLO FARMACÊUTICO DA CIDADE DE ANÁPOLIS.

Ernando Soares Araújo
Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás, Pós-graduando MBA em Engenharia Sanitária e Ambiental, Especialista em Tecnologia de Processos Químicos Industriais, Químico Industrial, Técnico em Química Industrial.
Karina Vitti Klein

e-mail: ernandoquimico@gmail.com

RESUMO

A indústria farmacêutica, devido aos seus processos de síntese e análise de fármacos, que requerem o uso constante de solventes orgânicos, é considerada como uma grande geradora de resíduos químicos. Estudos sobre o tratamento adequado desses rejeitos são necessários, e contribuem para novos conceitos e programas de qualidade ambiental existentes. Diante desse contexto, o trabalho propõe a utilização de rejeitos de metanol gerados em laboratórios de controle de qualidade de indústrias farmacêuticas da cidade de Anápolis, no processo produtivo do biodiesel. O biodiesel é o combustível obtido da reação de transesterificação que ocorre entre 1 molécula de triglicerídeo e 3 moléculas de álcool (geralmente metanol ou etanol). O trabalho apresenta um breve estudo sobre o biodiesel, suas propriedades físico-químicas, seus aspectos técnicos, ambientais e sócio-econômicos, bem como sua situação mundial. Uma abordagem sobre a reação de transesterificação, seus principais parâmetros e reagentes utilizados, também é demonstrada. São apresentados dados relativos a estudo realizado junto às indústrias farmacêuticas da região sobre o consumo de metanol dessas empresas, a fim de se estabelecer uma estimativa sobre o volume total desse solvente. O processo de obtenção do biodiesel foi realizado a partir de metanol puro anidro, e de rejeitos de metanol de três empresas farmacêuticas diferentes, da cidade de Anápolis. Foram avaliadas as condições das matérias primas utilizadas, como a umidade presente e o índice de acidez, que podem influir na reação de transesterificação. Apresenta-se no trabalho, um relato sobre a caracterização físico-química dos produtos finais obtidos pelo processo. Os parâmetros utilizados nessa caracterização foram a umidade, o índice de acidez, a viscosidade, a densidade e a espectroscopia na região do infravermelho. Todos os parâmetros avaliados indicaram a conversão do óleo de soja puro em biodiesel, mediante a transesterificação com os rejeitos de metanol provenientes das indústrias farmacêuticas. Os espectros de infravermelho do biodiesel produzido a partir dos rejeitos industriais foram similares ao biodiesel obtido do metanol anidro, no que se refere às bandas de absorção existentes, comprovando, a princípio, a viabilidade do processo de produção de biodiesel através de resíduos de metanol de indústrias farmacêuticas.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem, Resíduos Industriais, Meio Ambiente, Biocombustíveis.

INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento industrial e tecnológico da sociedade, principalmente nos últimos 30 anos, gera atualmente uma constante preocupação com a questão ambiental. A rápida expansão de diferentes setores industriais formou uma complexa variedade de resíduos nocivos e prejudiciais ao meio ambiente. O lançamento de rejeitos industriais seja no solo, na água ou na atmosfera, pode produzir efeitos danosos a todo o ecossistema.

Atualmente a indústria química é uma das maiores responsáveis pela dispersão de substâncias tóxicas. Dessa forma, a busca por processos que torne possível o tratamento adequado desses rejeitos vem conquistando especial importância frente aos problemas ambientais enfrentados atualmente.
Um aspecto fundamental a ser abordado no tratamento de resíduos industriais, é a hierarquia de atitudes a serem tomadas com relação à gestão ambiental. Em termos gerais, essa hierarquia corresponde a seguinte prioridade de ações (GIL, 2007):

1º. Otimização dos processos visando à redução da quantidade de resíduos.
2º. Reuso, reciclagem ou aproveitamento do resíduo gerado.
3º. Disposição final adequada dos resíduos.

No que se refere à indústria farmacêutica, o consumo constante de solventes orgânicos em processos de síntese e análise de fármacos, coloca esse setor como um importante gerador de rejeitos químicos. Assim sendo, é necessária a implantação de projetos que busquem a minimização de efeitos nocivos ao meio ambiente, decorrentes do descarte desses solventes, seja através da diminuição de seu consumo, seja pelo reaproveitamento ou reciclagem dos mesmos (GIL, 2007).

Dessa forma, o estudo de novas tecnologias de reciclagem e utilização de rejeitos de solventes orgânicos é útil e contribui para os novos conceitos ambientais que surgem atualmente, como a química verde e a ecologia industrial, bem como para programas de qualidade ambiental.

Dentro desse contexto, o presente trabalho propõe a utilização de rejeitos de metanol gerados em indústrias farmacêuticas, como matéria prima para a produção de biodiesel.

O biodiesel é considerado atualmente como o combustível sucedâneo ao óleo diesel mineral, obtido do petróleo. Ele é produzido principalmente pelo processo de transesterificação, em que ocorre a reação química entre uma molécula de triglicerídeo e três moléculas de álcool, geralmente metanol ou etanol com a formação de glicerina como produto secundário (DANTAS, 2006).

Conforme definição do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, mantido pelo governo brasileiro (PORTAL DO BIODIESEL, 2006):

"Biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, que pode ser obtido por diferentes processos tais como o craqueamento, esterificação ou pela transesterificação. Pode ser produzido a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais, existindo dezenas de espécies vegetais no Brasil que podem ser utilizadas, tais como mamona, dendê (palma), girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso e soja, dentre outras."

Segundo a *National Biodiesel Board*, órgão responsável pela implantação do processo de produção do biodiesel nos Estados Unidos, o Brasil apresenta todas as condições para liderar a produção mundial desse produto, podendo promover a substituição de pelo menos 60 % da demanda mundial de óleo diesel mineral (FREITAS & PENTEADO, 2006). Devido à sua imensa extensão territorial e às suas condições climáticas favoráveis, o Brasil é considerado como um paraíso para a produção de biomassa necessária para fins energéticos (HOLANDA, 2004). Dependendo da região a ser considerada, as vocações para a produção de biodiesel no país são bastante diversificadas, podendo ser utilizadas no processo, diferentes oleaginosas, como o óleo de dendê, óleo de soja, óleo de babaçu, óleo de mamona, óleo de girassol, entre outras (FREITAS & PENTEADO, 2006).

Recentemente, a questão ambiental vem sendo a maior motivadora para o uso de biodiesel, como substituinte ao óleo diesel proveniente do petróleo.

DANTAS (2006) afirma que a utilização de biodiesel como combustível reduz as emissões na atmosfera em 20% de enxofre, 9,8% de gás carbônico, 14,2% de hidrocarbonetos, 26,8% de material particulado e 4,6% de óxido de nitrogênio em relação ao uso do óleo diesel mineral. Como conseqüência, há uma crescente produção e uso de biodiesel em diversos países do mundo, principalmente nos países europeus, como a Alemanha e a França, que se destacam na fabricação desse produto (HOLANDA, 2004).

Assim sendo, a utilização de rejeitos industriais de metanol como matéria prima alternativa para a produção de biodiesel pode ser uma solução adequada para a reciclagem desse resíduo, por satisfazer perfeitamente aos programas e ações de proteção ambiental. Evitará a emissão de dióxido de carbono na atmosfera, principal gás responsável pelo aquecimento global e produto da incineração desse solvente, que é o tratamento mais comum dispensado a esses rejeitos, quando não há a possibilidade de reutilização ou reciclagem dos mesmos. Ressalta-se também que esse processo, além de apresentar vantagens ambientais, pode apresentar vantagens econômicas, com a redução de custos inerentes à incineração desses rejeitos industriais.

Dessa forma, o trabalho tem por objetivo estudar a viabilidade técnica do biodiesel produzido a partir de rejeitos de metanol de laboratórios de controle de qualidade de indústrias farmacêuticas da cidade de Anápolis, através da sua caracterização físico-química e da avaliação da qualidade do produto final obtido, em comparação ao biodiesel produzido através de metanol puro.

Para tanto, faz-se necessária uma breve análise sobre as principais propriedades físico-químicas do biodiesel, bem como seus aspectos técnicos, ambientais, sócio-econômicos e sua situação mundial. Tem-se por objetivo ainda, uma abordagem sobre a reação de transesterificação, seus principais parâmetros e reagentes utilizados.
A realização de um estudo sobre a quantidade de rejeitos de metanol gerada pelas principais indústrias farmacêuticas da região, também é importante, para o estabelecimento do consumo médio desse solvente por essas empresas, e é um dos objetivos do trabalho.

Para a caracterização físico-química e avaliação do biodiesel obtido no processo, propõem-se a determinação da umidade, índice de acidez, viscosidade, densidade e a obtenção de espectros na região do infravermelho, como forma de identificação do produto final obtido.

1. BIODIESEL: CONCEITO E PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

1.1. CONCEITO

Quimicamente, o biodiesel é definido como sendo ésteres monoalquílicos de ácidos carboxílicos de cadeia longa derivados de fontes lipídicas renováveis, tais como óleos vegetais e gorduras animais. Na utilização de óleos vegetais, existe uma grande variedade de oleaginosas que podem ser utilizadas, tais como a soja, amendoim, canola, algodão, girassol, entre outras.

A Agência Nacional de Petróleo - ANP, através da resolução 042, de 24.11.2004, em seu Artigo 2º, define biodiesel (FREITAS & PENTEADO, 2006):

"I - Biodiesel (B100): Combustível composto de alqui-ésteres de ácidos graxos de cadeia longa derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais, conforme a especificação contida no Regulamento Técnico nº 4/2004.
II - Mistura Óleo Diesel/Biodiesel (B2): Combustível comercial, composto de 98%, em volume, de óleo diesel, conforme a especificação da ANP, e 2% em volume de biodiesel, que deverá atender à especificação prevista pela Portaria ANP nº 310, de 27 de dezembro de 2001, e suas alterações."

A definição americana para biodiesel, através da especificação ASTM D6751/2002, item 3 ("*Terminology*"), citada por FREITAS & PENTEADO (2006), estabelece que:

"Biodiesel é um combustível composto de mono-alquil-éster de cadeia longa de ácidos graxos, derivado de óleos vegetais ou gorduras animais, designado B100. Biodiesel é tipicamente produzido através da reação de óleos vegetais ou gorduras animais com álcool, como metanol ou etanol, na presença de catalisadores, para se produzir mono-alquil éster e glicerina, que é removida. O biodiesel resultante é derivado, em 10% de sua massa, do álcool reagido. O álcool utilizado na reação poderá ser proveniente de fontes renováveis."

1.2. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Como combustível, o biodiesel deve apresentar algumas propriedades que justifiquem o seu uso como substituinte ao óleo diesel convencional. Dentre essas propriedades, destacam-se as seguintes:

1.2.1. VISCOSIDADE E DENSIDADE

São denominadas de propriedades fluidodinâmicas de um combustível, sendo muito importantes no que se refere ao funcionamento de motores diesel. Elas exercem uma grande influência na circulação e na injeção do combustível (FREITAS & PENTEADO, 2006).

A viscosidade deve assegurar o escoamento de forma que promova a pulverização do combustível no momento da injeção. Dessa maneira, o combustível deve apresentar viscosidade que possibilite um escoamento satisfatório, mesmo a baixas temperaturas, pois caso contrário ocorrerá um desgaste dos bicos injetores e do pistão, diminuindo o desempenho do motor(FREITAS & PENTEADO, 2006).

Conforme PITANGUY (2005), valores da densidade do combustível que estejam acima das faixas de regulagem podem produzir uma mistura mais rica de ar/combustível, o que promoveria uma maior emissão de poluentes como hidrocarbonetos, monóxido de carbono e materiais particulados, e valores menores de densidade favorecem uma mistura pobre, favorecendo um maior consumo e uma perda de potência do motor.

1.2.2. LUBRICIDADE

Lubricidade é uma medida que avalia o poder lubrificante de uma substância, sendo que esse valor depende de várias propriedades físicas como a viscosidade e a tensão superficial (FREITAS & PENTEADO, 2006). Dessa forma, o combustível deve apresentar um poder lubrificante satisfatório, para que possa lubrificar as peças do motor enquanto escoa, minimizando o desgaste das mesmas (PARENTE, 2003).

1.2.3. PONTO DE NÉVOA E FLUIDEZ

De acordo com FREITAS & PENTEADO (2006), ponto de névoa é a temperatura na qual o líquido, por refrigeração, começa a turvar, e o ponto de fluidez é a temperatura em que o líquido não escoa livremente. Geralmente, o ponto de névoa é mais importante, visto que é nessa temperatura que começa a ocorrer o entupimento do filtro de combustível, ocasionando a interrupção do fluxo de combustível para o motor. Porém, no Brasil, devido ao clima tropical, não existem tantos problemas com relação a esses fatores, sobretudo porque a intenção é utilizar o biodiesel em mistura com o óleo diesel convencional (FREITAS & PENTEADO, 2006).

1.2.4. PONTO DE FULGOR (FLASH POINT)

Ponto de fulgor é definido como "a menor temperatura na qual o produto gera quantidade de vapores que se inflamam quando se dá a aplicação de uma chama, em condições controladas" (PITANGUY, 2005). Essa propriedade somente tem alguma importância no que se refere à segurança de transportes, manuseios e armazenagem do produto. Conforme a ANP, o ponto de fulgor do biodiesel é aproximadamente 100 °C, sendo superior à temperatura ambiente, indicando que o combustível não é inflamável em condições normais nas quais ele é transportado, manuseado e armazenado (FREITAS & PENTEADO, 2006).

1.2.5. PODER CALORÍFICO

Segundo FREITAS & PENTEADO (2006), esse parâmetro indica a quantidade de energia gerada pela substância no momento de sua combustão. Combustíveis com poder calorífico inferior ao especificado para o motor, influem no rendimento dos motores provocando uma perda de potência nos mesmos (PITANGUY, 2005). O biodiesel possui um poder calorífico muito semelhante ao do óleo diesel convencional, o que faz com que ele tenha um consumo específico equivalente ao diesel mineral (FREITAS & PENTEADO, 2006).

1.2.6. ÍNDICE DE CETANO

Refere-se à qualidade de ignição do combustível. O índice de cetano para os motores Diesel representa a mesma importância e função que o índice de octanagem para os motores à gasolina (ciclo Otto) (FREITAS & PENTEADO, 2006).

Diferente dos motores à gasolina, onde a ignição ocorre através de uma centelha gerada por uma vela de ignição, os motores do ciclo Diesel apresentam uma auto-ignição do combustível, sendo, primeiramente, o ar aspirado para o interior do cilindro e comprimido pelo pistão, aumentando sua temperatura. Imediatamente antes do processo de combustão ser iniciado, o combustível é injetado diretamente na câmara de combustão e, por aquecimento, evapora-se, misturando-se com o ar comprimido. Nessa mistura combustível/ar, ocorre uma série de reações precursoras, resultando finalmente na auto-ignição. O tempo necessário para que esse processo ocorra é denominado atraso de ignição. Um atraso de ignição longo provoca um acúmulo de combustível sem queimar no interior da câmara e, quando entra em ignição, já fora do tempo ideal, gera um aumento brusco de pressão e um forte ruído, que é conhecido como batida diesel (PITANGUY, 2005).

Combustíveis para motores Diesel com baixo índice de cetano, apresentam um atraso de ignição muito longo, causando, além do fenômeno das batidas diesel, uma maior dificuldade de partida do motor à frio, surgimento de fumaça branca na exaustão, devido ao processo de combustão incompleta e um funcionamento inadequado do motor, gerando perda de potência (PITANGUY, 2005).

Valores elevados para o índice de cetano facilitam a partida à frio, possibilita atingir a temperatura de trabalho do motor mais rapidamente, permite um funcionamento mais suave, sem a presença de batidas diesel, e minimiza a emissão de poluentes como hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado (PITANGUY, 2005).

Em média, o índice de cetano do biodiesel é 60, maior que o índice de cetano do óleo diesel mineral que está entre 48 e 52. Dessa forma, existe uma melhor qualidade na combustão do biodiesel em motor diesel que o próprio óleo diesel convencional (FREITAS & PENTEADO, 2006).

1.2.7. TEOR DE ENXOFRE

A presença de compostos de enxofre no combustível gera, durante a combustão, óxidos de enxofre, que reagem com o vapor de água formando ácido sulfúrico. O ácido sulfúrico, ao se condensar, provoca corrosão das superfícies metálicas do motor, o que prejudica seu rendimento, devido principalmente a alterações nas folgas existentes entre as partes móveis, sendo necessário, nesse caso, uma reforma geral do motor (FREITAS & PENTEADO, 2006).

Dessa forma, existe uma grande preocupação com a quantidade de enxofre presente no óleo diesel mineral, que geralmente apresenta teores consideráveis dessa substância, visto que sua presença é necessária para promover a lubrificação do motor (PITANGUY, 2005).

O biodiesel, por apresentar uma maior lubricidade que o óleo diesel, não necessita do enxofre em sua composição como elemento lubrificante, sendo considerado como um combustível limpo, que não apresenta riscos à flora, à fauna e ao homem, aumentando também a vida útil do motor (FREITAS & PENTEADO, 2006).

1.2.8. UMIDADE

A presença de água no biodiesel em valores acima do que é permitido pela legislação, causa conseqüências danosas não só ao motor, como ao meio ambiente. Entre essas conseqüências está o desgaste prematuro do bico injetor, danificando o motor, e o crescimento de microrganismos que degradam o biodiesel e favorecem a formação de emulsão e compostos que são prejudiciais ao motor. Em relação ao meio ambiente, a presença de água pode favorecer uma combustão inadequada do combustível, promovendo a formação e emissão de monóxido de carbono na atmosfera, contribuindo para problemas ambientais, como, por exemplo, o aquecimento global (MA & HANNA, 1999).

Segundo DANTAS (2006), a quantidade máxima de água permitida pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) no biodiesel, corresponde a 0,05%.

2. ASPECTOS TÉCNICOS, AMBIENTAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO BIODIESEL

2.1. ASPECTOS TÉCNICOS

O biodiesel, quando misturado ao óleo diesel convencional, melhora as características desse produto. Certamente ocorre um aumento na lubricidade do combustível, uma redução no teor de enxofre e um aumento no índice de cetano (FREITAS & PENTEADO, 2006).

O biodiesel, por apresentar uma maior viscosidade, promove uma boa lubrificação das peças do motor, evitando um desgaste do mesmo. Por ser um combustível oxigenado, apresenta uma combustão completa, sendo que quando adicionado ao diesel mineral, pode facilitar a queima de hidrocarbonetos menos hidrogenados, que tem maior dificuldade de combustão (FREITAS & PENTEADO, 2006).

Por se tratar de uma mistura de ésteres de ácidos carboxílicos, o biodiesel tem um alto poder de solvência de substâncias orgânicas. A utilização dessa substância requer alguns cuidados para que não haja conseqüências desagradáveis, como danos à pintura do veículo, nas proximidades do bocal de abastecimento (FREITAS & PENTEADO, 2006).

2.2. ASPECTOS AMBIENTAIS

O uso de combustíveis de origem fóssil derivado do petróleo gera um impacto muito grande sobre o meio ambiente, tais como a poluição do ar, as mudanças climáticas, a produção de rejeitos tóxicos e os vazamentos de óleo. Nos Estados Unidos, 67% do monóxido de carbono, 41% dos óxidos de nitrogênio, 51% dos gases orgânicos reativos, 23% dos materiais particulados e 5% do dióxido de enxofre emitidos na atmosfera, são gerados pela queima desses combustíveis, sendo o setor de transportes responsável por 30% da emissão de dióxido de carbono, um dos principais agentes do aquecimento global do planeta (HOLANDA, 2004). Dessa forma, o uso do biodiesel oferece um ganho ambiental de grande importância, diminuindo as emissões de grande parte dos gases nocivos e balanceando a quantidade de dióxido de carbono emitido na atmosfera, que é absorvido no crescimento de culturas agrícolas utilizadas como fonte de matéria-prima na produção daquele biocombustível. Uma tonelada de biodiesel utilizada representa uma redução de 2,5 toneladas de dióxido de carbono presentes na atmosfera, diminuindo as conseqüências do efeito estufa (FREITAS & PENTEADO, 2006).

Segundo BONOMI (2006), como na composição do biodiesel não existem compostos químicos aromáticos, a substituição, mesmo que seja parcial, do óleo diesel derivado do petróleo por esse biocombustível diminui significativamente a emissão de substâncias carcinogênicas.

Esses benefícios ao meio ambiente podem gerar também vantagens econômicas, através do enquadramento do biodiesel nos acordos que foram estabelecidos pelo protocolo de Kioto e nas diretrizes dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo. É importante citar que países como o Japão, a Espanha, a Itália e países do norte e

leste europeu apresentam grande interesse na produção e utilização de biodiesel, sendo motivados especialmente pela questão ambiental (HOLANDA, 2004).

Outra questão apresentada pelo biodiesel, é a glicerina formada durante seu processo produtivo. Estima-se que com a adoção do combustível B2, ocorra um acréscimo de 60 a 80 mil toneladas/ano na produção de glicerina no Brasil (BONOMI, 2006). Sabe-se que essa quantidade não será totalmente absorvida pelo mercado atual, sendo que há somente projetos para a utilização dessa glicerina formada. Alguns desses projetos se referem ao seu uso como aditivo oxigenado à gasolina e como aditivo para lamas de perfuração (BONOMI, 2006).

2.3. ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

A produção de biodiesel gera, mesmo que haja somente uma substituição parcial do óleo diesel mineral por esse biocombustível, uma maior oferta de emprego, principalmente no setor primário, devido à necessidade de uma maior produção de oleaginosas como fonte de matéria-prima para o processo produtivo. Ressalta-se que a adição de 2% de biodiesel ao diesel mineral no Brasil, gera um mercado potencial de 800 milhões de litros por ano, o que promove um ganho na balança comercial brasileira de aproximadamente 160 milhões de dólares por ano, devido à redução nas importações de derivados do petróleo. Com a previsão da adição de 5% de biodiesel ao diesel convencional, esse ganho na balança comercial será de aproximadamente US$ 400 milhões/ano (BONOMI, 2006). Outro fator importante se refere à possibilidade da venda de cotas de carbono, segundo o protocolo de Kioto, conforme mencionado anteriormente (HOLANDA, 2004).

Entretanto, as maiores desvantagens ao biodiesel estão na questão econômica. Os protótipos de usinas mais simples necessárias para a produção desse combustível apresentam um alto custo, sendo inviáveis, mesmo para comunidades de agricultores. Esses valores elevados para a produção de biodiesel apresentam-se como um dos maiores obstáculos para a sua comercialização. Outro problema refere-se ao custo do óleo diesel no Brasil, que é um dos menores no mundo. A isenção de impostos e taxas para a cadeia produtiva do biodiesel é uma medida importante para possibilitar a competição deste novo combustível com o óleo diesel mineral (PARENTE, 2003).

3. SITUAÇÃO ATUAL DO BIODIESEL NO BRASIL E EM OUTROS PAÍSES

3.1. O BIODIESEL NO BRASIL

No Brasil, a motivação para a produção de biodiesel baseia-se principalmente em três fatores: o social, o ambiental e o econômico. Em 06 de dezembro de 2004, o Governo Brasileiro lançou o marco regularizador que introduziu as condições legais para a inserção do biodiesel na matriz energética brasileira de combustíveis líquidos, de acordo com o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel – PNPB. Em 13 de janeiro de 2005, foi publicada a Lei n° 11.097, que obriga a adição de biodiesel ao óleo diesel mineral comercializado em qualquer parte do país. Essa porcentagem obrigatória foi estabelecida inicialmente em 2% três anos após a publicação dessa Lei, sendo que decorridos oito anos após a publicação da mesma, será de 5% esse percentual obrigatório (BONOMI, 2006).

O Brasil devido à sua diversidade social, econômica e ambiental, apresenta distintas motivações para a produção do biodiesel (HOLANDA, 2004). Diante desse quadro, faz necessário realizar um estudo individual de cada região brasileira.

3.1.1. AMAZÔNIA

Essa região envolve o estado do Amazonas, Pará e Maranhão e parte dos estados do Piauí e Tocantins predominando a floresta amazônica, com clima úmido e equatorial (FREITAS & PENTEADO, 2006). Apresenta excelentes resultados na produção de oleaginosas de palmeiras, principalmente o babaçu (*Orrbignya speciosa*), onde se desenvolve espontaneamente nessa região. O biodiesel obtido das florestas de babaçu nativas pode ser utilizado principalmente no abastecimento de pequenas indústrias. Ressalta-se que grande

parte da energia elétrica utilizada nessa região é oriunda do óleo diesel, sendo que os custos de transporte desse óleo até locais distantes são bastante elevados. Dessa forma, o biodiesel apresenta-se como um caminho para reduzir parte dos valores gastos com transporte (HOLANDA, 2004).

Considerando-se a imensidão dos babaçuais, que tem um potencial de produção de coco superior a 40 milhões de toneladas anuais, o que equivale a 17 mil toneladas de óleo por ano, a capacidade de biodiesel produzido a partir dessa oleaginosa seria de aproximadamente 20 bilhões de litros anuais (FREITAS & PENTEADO, 2006).

A principal motivação do babaçu está no aproveitamento de um recurso natural já existente e muito pouco explorado, que pode gerar, além do biodiesel, vários outros produtos, como carvão vegetal, grafite, combustível para fornos e caldeiras, rações animais, aglomerados para a fabricação de móveis e para a construção civil, entre outros (FREITAS & PENTEADO, 2006).

3.1.2. NORDESTE SEMI-ÁRIDO

Essa região é composta por quase todos os estados da Região Nordeste, incluindo também o norte do estado de Minas Gerais. Apresenta como característica a convivência com secas periódicas, e por conseqüência, existe um grande aglomerado de pessoas com baixa renda, devido à região improdutiva no período de estiagem (FREITAS & PENTEADO, 2006).

A região possui mais de dois milhões de famílias que convivem com a fome e habitualmente se tornam flagelados da seca. Dessa forma, a maior motivação para o estabelecimento de um programa de produção de biodiesel está na melhoria da economia local, oferecendo melhores condições sociais e econômicas à população (HOLANDA, 2004).

As culturas energéticas mais adequadas para a região são as lavouras de sequeiro, ou seja, que não há irrigação, tais como a mamona (*Ricinus communis*) e o algodão (*Gossypium hisutum*), que se adaptam muito bem ao clima local. A mamona é útil no que se refere à cultura familiar, apresentando uma economicidade elevada. Sua torta resultante do processo de extração do óleo é considerada um ótimo adubo, podendo ser aplicado na fruticultura, horticultura e floricultura, que são atividades em crescimento nos locais irrigados dessa parte do nordeste brasileiro (HOLANDA, 2004).

A principal dificuldade para a utilização da mamona na produção de biodiesel refere-se ao seu alto preço, que oscila entre 440 dólares e 1100 dólares a sua tonelada (FREITAS & PENTEADO, 2006).

Na região sudeste da Bahia, a palmeira de dendê (*Elaus guineesis*) se adapta muito bem, devido às condições ótimas de clima e ao solo que é ideal para seu cultivo. Suas plantações contribuem para o reflorestamento da região, já degradada pela atividade agropecuária, e para a geração de novos empregos, ressaltando-se a pouca mecanização necessário e a reduzida utilização de defensivos agrícolas.

3.1.3. SUDESTE, SUL

Abrange os estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, que formam o cone sul brasileiro (FREITAS & PENTEADO, 2006). A grande vocação agrícola dessa região está sobre as culturas temporárias e mecanizadas, principalmente a soja (G*lycine max*) e o amendoim (*Arachis hypogaea*), sendo que esta última se apresenta mais adequada para a produção energética, pois possui um teor de óleo superior a 45%, enquanto a soja tem um percentual de óleo entre 17% e 22% (FREITAS & PENTEADO, 2006). Entretanto, devido a questões mercadológicas e ao fato de mais de 90% do óleo produzido no Brasil ser proveniente da soja, essa oleaginosa vem sendo mais utilizada na produção de biodiesel nessa região (FREITAS & PENTEADO, 2006). O girassol (*Helianthus annus*) e a canola (*Brassica campestris*) também podem contribuir, direta ou indiretamente, para a produção de biodiesel, devido principalmente às suas extraordinárias produtividades (FREITAS & PENTEADO, 2006).

Uma grande motivação para a utilização do biodiesel nessa região, refere-se à questão ambiental, pois a mistura desse biocombustível ao óleo diesel mineral reduz não somente a quantidade de dióxido de carbono lançado na atmosfera, como também a emissão de enxofre e hidrocarbonetos cíclicos, que são extremamente danosos ao meio ambiente. Nas grandes cidades, onde a emissão desses compostos são maiores devido ao grande número de veículos existentes, a qualidade ambiental se torna forte fator motivador para a produção e o uso do biodiesel (FREITAS & PENTEADO, 2006).

3.1.4. CENTRO-OESTE

Forma essa região os estados do Mato Grosso e Goiás. A vocação agrícola baseia-se nas culturas temporárias e mecanizáveis, tais como o algodão (*Gossypium hirsutum*), a soja (G*lycine max*) e o girassol (*Helianthus annus*). Tal como na região Sul e Sudeste, vem sendo observado um crescimento no consumo de óleo diesel, em virtude principalmente do desenvolvimento do agro-negócio. Como os preços locais do óleo diesel são elevados, devido principalmente a questões logísticas, a produção de biodiesel na região torna-se uma alternativa para a redução do custo do combustível utilizado na matriz energética regional (FREITAS & PENTEADO, 2006).

O Brasil atualmente é o segundo maior produtor mundial de soja, sendo essa oleaginosa utilizada na produção de óleo vegetal e na obtenção de farelo, que por ser rico em proteína, é utilizado como suplemento em ração animal.

A soja, por ser a oleaginosa mais utilizada para a produção de óleo vegetal na região, é uma das alternativas mais viáveis no processo produtivo do biodiesel. Devido à sua grande expressão internacional, apresenta uma elevada densidade tecnológica, o que possibilita seu cultivo de forma totalmente mecanizada (FREITAS & PENTEADO, 2006).

Entretanto, o óleo de soja apresenta alguns problemas a serem avaliados, como a sua estabilidade à oxidação, que é menor em comparação as outras oleaginosas, e seu teor de fósforo, que potencializa a formação de sabões e ácidos graxos, responsáveis pelo entupimento de filtros e depósitos em injetores de motores (FREITAS & PENTEADO, 2006).

3.2. O BIODIESEL NOS DEMAIS PAÍSES

No início dos anos 90, houve um processo de industrialização do biodiesel na Europa, seguindo a mesma concepção original brasileira, em todos os seus aspectos. A partir do uso do biodiesel, em adição ao diesel comercial, vem sendo observado nesse continente uma queda na quantidade de enxofre e seus derivados presentes na atmosfera (PARENTE, 2003). Esse fato deve-se à eliminação desse composto do diesel mineral, visto que sua presença era necessária somente para manter a lubricidade do óleo diesel. Com a ausência do enxofre, a correção da lubricidade é realizada pela a adição do biodiesel, que apresenta um índice de lubricidade maior que o óleo diesel (FREITAS & PENTEADO, 2006).

3.2.1. ALEMANHA

A Alemanha estabeleceu um amplo programa de produção de biodiesel a partir da canola (*Brassica campestris*). O sistema produtivo praticado no país baseia-se na plantação de canola por parte de agricultores para nitrogenar o solo e repor a quantidade de matéria orgânica. A partir das sementes geradas por essa oleaginosa, extrai-se o óleo, sendo que o farelo resultante é destinado para a ração animal e o óleo extraído é transformado em biodiesel e distribuído tanto na forma pura como adicionado ao diesel mineral em proporções que chegam a 5,75% (FREITAS & PENTEADO, 2006).

Uma estratégia adotada no país foi divulgar o novo biocombustível através de frotas de táxi, com a distribuição de folhetos explicativos ressaltando as características e vantagens do biodiesel (PARENTE, 2003). A total isenção de impostos em toda a cadeia produtiva do biodiesel na Alemanha teve como conseqüência a possibilidade da prática de um menor preço deste biocombustível no país (FREITAS & PENTEADO, 2006).

3.2.2. FRANÇA

Atualmente a França é considerado o maior produtor mundial de biodiesel. A diminuição da emissão de enxofre e, por conseqüência, a melhoria na qualidade ambiental é um dos maiores motivadores para a produção e utilização de biodiesel no país (FREITAS & PENTEADO, 2006).

A proporção de biodiesel adicionada ao diesel derivado do petróleo utilizada no país é de 5%, podendo ser brevemente elevada para 8%, sendo que, devido à redução observada nas emissões de gases poluentes, toda a frota de ônibus urbano da França utiliza o biodiesel adicionado ao diesel mineral em uma proporção de até 30% (HOLANDA, 2004). Há incentivos para a cadeia produtiva do biodiesel, com relação aos impostos, no país (PARENTE, 2003).

3.2.3. ESTADOS UNIDOS

Os Estados Unidos vem demonstrando grande interesse na produção e uso de biodiesel. O grande fator motivador para esse interesse no país é a questão ambiental, visto que há uma séria preparação para a implantação desse combustível, principalmente nas grandes cidades, ressaltando-se que o Programa Americano de Biodiesel é baseado principalmente em pequenos produtores (HOLANDA, 2004). A proporção mais cogitada para utilização nos Estados Unidos é de 20% de biodiesel adicionado ao diesel mineral – B20, proporção esta que oxida as mercaptanas e os hidrocarbonetos cíclicos no momento da combustão (PARENTE, 2003).

3.2.4. ARGENTINA

A Argentina deu início ao seu programa de biodiesel através da Resolução 129/2001, que estabeleceu os padrões para a produção e utilização do biocombustível no país. Pelo Decreto Governamental 1.396 de novembro de 2001, houve a isenção de impostos por um período de 10 anos para a cadeia produtiva do biodiesel (FREITAS & PENTEADO, 2006).

3.2.5. OUTROS PAÍSES

Vários outros países vêm demonstrando interesse no biodiesel, seja para produzir, adquirir ou consumir. Países como o Japão, a Itália, a Espanha e outros países do norte e do leste europeu pensam não somente na produção, como também na importação do biodiesel (PARENTE, 2003).

A grande motivação para a produção e utilização do biodiesel, em todos esses países é a questão ambiental, através da redução de emissões de poluentes dos motores, diminuindo o nível de poluição da atmosfera e o efeito estufa (HOLANDA, 2004).

4. MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

A produção de biodiesel é realizada através da reação de transesterificação. De um modo geral, a reação de transesterificação ocorre entre um óleo ou gordura com um álcool para produzir um éster e glicerina, mediante a ação de um catalisador (DANTAS, 2006). Assim sendo, segundo FREITAS & PENTEADO (2006), as principais origens de matérias-primas para a produção de biodiesel são:

- Óleos Vegetais;
- Gorduras Animais;
- Óleos e Gorduras Residuais, e
- Álcool de Cadeia Curta (Metanol ou Etanol).

4.1. ÓLEOS VEGETAIS

Quimicamente, óleos vegetais são constituídos de ésteres de ácidos graxos de alta massa molecular, formados a partir de ácidos carboxílicos de cadeia carbônica longa com 12 a 22 carbonos, conhecidos como ácidos graxos, e glicerol, sendo esses ésteres frequentemente chamados de glicerídeos ou triglicerídeos. Os ácidos carboxílicos que formam as moléculas de glicerídeo podem ser saturados ou insaturados, e distribuem-se aleatoriamente na estrutura do glicerol (SOLOMONS & FRYHLE, 2001).

Para a produção de biodiesel, todos os óleos vegetais que se enquadram na categoria de óleos fixos ou triglicerídicos, podem ser utilizados. Dessa forma, de acordo com FREITAS & PENTEADO (2006), pode ser utilizada uma quantidade enorme de matéria-prima, tais como o óleo extraído de:

"Grão de amendoim, da polpa do dendê, da amêndoa do coco de dendê, da amêndoa do coco de praia, do caroço do algodão, da amêndoa do coco de babaçu, da semente de girassol, da baga da mamona, da semente de colza, da semente de maracujá, da polpa de abacate, do caroço de oiticica, da semente de linhaça, da semente de tomate, entre muitos outros vegetais em forma de sementes, amêndoas ou polpas."

4.2. GORDURAS ANIMAIS

O Brasil possui o segundo maior rebanho bovino do mundo, produzindo anualmente, cerca de 200.000 toneladas de sebo bovino. Esse resíduo gorduroso apresenta estrutura química semelhante à dos óleos vegetais, sendo constituída principalmente por trilglicerídeos que contêm ácido palmítico (aproximadamente 30%), ácido esteárico (de 20% a 25%) e ácido oléico (aproximadamente 45%). O sebo, por possuir um alto teor de ésteres derivados de ácidos graxos saturados, como o ácido palmítico e esteárico, apresenta-se no estado sólido à temperatura ambiente, com um alto ponto de fusão (FREITAS & PENTEADO, 2006; MA & HANNA, 1999).

Outras gorduras animais também podem, devido à sua semelhança química aos óleos vegetais, ser utilizadas na produção de biodiesel. Entre as principais fontes de gordura animal que podem ser utilizadas no processo produtivo do biodiesel, destacam-se, além do sebo bovino, os óleos de peixe, o óleo de mocotó, a banha de porco, entre outras (FREITAS & PENTEADO, 2006).

4.3. ÓLEOS E GORDURAS RESIDUAIS

São os óleos e gorduras resultantes de processamento doméstico, comercial e industrial. Podem ter origem em diversos estabelecimentos, como lanchonetes, cozinhas industriais, restaurantes, indústrias de processamento de frituras de produtos alimentícios, esgotos municipais e águas residuais de indústrias de pescado, couro, entre outras (FREITAS & PENTEADO, 2006).

Os óleos de fritura têm apresentado um grande potencial, devido à sua elevada oferta. Ele apresenta-se como uma substância que promove um grande impacto ambiental negativo. Dessa forma a sua reutilização para a produção de biodiesel, permitiria não só a geração de uma fonte de energia alternativa, como também seria uma solução viável para esse problema ambiental (FREITAS & PENTEADO, 2006).

4.4. ÁLCOOL DE CADEIA CURTA (METANOL E ETANOL)

De acordo com a definição de SOLOMONS & FRYHLE (2001), "álcoois são compostos cujas moléculas têm um grupo hidroxila ligado a um átomo de carbono saturado" (SOLOMONS & FRYHLE, 2001).

Na reação de transesterificação, o álcool reage com o glicerídeo presente na gordura animal ou óleo vegetal, formando ésteres de ácidos graxos e glicerina. O álcool utilizado nessa reação deve ser alifático, contendo de 1 a 8 carbonos em sua estrutura química, podendo ser primário ou secundário. Frequentemente, o metanol e o etanol são os álcoois mais utilizados na produção de biodiesel (MA & HANNA, 1999).

4.4.1. METANOL

O metanol, de fórmula química CH_3OH, é também conhecido como álcool de madeira por ser um produto da destilação destrutiva da madeira. Porém, grande parte do metanol atualmente é produzida pela hidrogenação catalítica do monóxido de carbono (SOLOMONS & FRYHLE, 2001). Vale ressaltar que ele também pode ser obtido a partir da biomassa (FREITAS & PENTEADO, 2006).

Considerado uma substância altamente tóxica, o metanol provoca, mesmo em pequenas quantidades, cegueira e, em quantidades mais elevadas, pode causar até a morte. A inalação de seus vapores e o contato prolongado com a pele também pode provocar envenenamento. Sendo miscível com água, pode provocar a contaminação de esgotos, rios e outros corpos d'água (SOLOMONS & FRYHLE, 2001).

O metanol é um líquido incolor, inflamável, de baixa viscosidade e com odor característico, sendo utilizado como solvente, combustível e em muitas sínteses orgânicas, principalmente na obtenção do formaldeído (PARENTE & BRANCO, 2004).

Devido à baixa produção de metanol no Brasil, a demanda nacional é parcialmente atendida por importações desse produto, em grande parte com a isenção de impostos de importação. Porém, sabe-se que historicamente o metanol, mesmo o importado apresenta menor custo no Brasil que o etanol. Esse fato aliado à menor demanda energética e ao menor investimento em equipamentos requeridos pela rota metílica, apresenta uma maior viabilidade econômica do metanol para o processo produtivo do biodiesel (PARENTE & BRANCO, 2004).

4.4.2. ETANOL

Conhecido como álcool de cereais, o etanol é produzido a partir da fermentação natural de hidratos de carbono presentes nos cereais, frutas e bagos. Muito utilizado em bebidas alcoólicas, o etanol é o menos tóxico de todos os álcoois, sendo reconhecido como um solvente valioso, muito utilizado em diversas sínteses orgânicas (SOLOMONS & FRYHLE, 2001).

O etanol tem uma grande produção nacional, com uma indústria consolidada e um grande potencial exportador. Dessa maneira, no que se refere à disponibilidade, o etanol apresenta maior possibilidade de uso do que o metanol (PARENTE & BRANCO, 2004).

Outra grande vantagem do uso de etanol para a produção de biodiesel refere-se à questão ambiental, uma vez que o metanol é mais tóxico e tradicionalmente obtido a partir de derivados do petróleo e o etanol além de apresentar menor toxicidade, pode ser produzido a partir da biomassa (PARENTE & BRANCO, 2004; FREITAS & PENTEADO.

5. A REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

A transesterificação, também conhecida por alcóolise, é a reação que ocorre entre uma molécula de triglicerídeo e três moléculas de álcool, a fim de se obter ésteres e glicerina. Geralmente, para melhorar a taxa de reação e o rendimento, um catalisador é utilizado e um excesso de álcool é necessário para deslocar o equilíbrio químico a favor dos produtos, visto que se trata de uma reação reversível (MA & HANNA, 1999).

5.1. REAGENTES

Os três reagentes essenciais da reação de transesterificação são o óleo vegetal, o álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, e o agente catalisador. O óleo vegetal deve ser isento de lecitina e outros fosfolipídios, a fim de evitar a formação de gomas nas paredes do tanque e motor. Deve ser também isento de água e apresentar um nível de acidez reduzido, ou seja, baixo teor de ácidos graxos livres, pois de outra forma a produção de ésteres de ácidos graxos é significativamente reduzida. Caso o óleo possua um alto teor de acidez, esse deve ser neutralizado utilizando-se hidróxido de sódio (MA & HANNA, 1999).

Com relação ao álcool utilizado no processo, seja metanol ou etanol, deve ser isento de umidade, pois a presença de água promove a formação de sabão que pode consumir o catalisador e diminuir a eficiência do processo, além de diminuir a viscosidade do sistema e dificultar a separação dos produtos (MA & HANNA, 1999). O etanol, devido à sua capacidade de formação de azeótropo, quando misturado à água em concentrações maiores que 95%, impossibilita a sua desidratação pelo processo de destilação simples, sendo necessário o uso de uma etapa de destilação fracionada (PARENTE & BRANCO, 2004).

Para que ocorra a reação de transesterificação, primeiramente o hidróxido de sódio reage com o álcool, formando o íon alcóxido. A reação entre o álcool e o íon hidróxido é representada pela equação (1).

$$CH_3OH + OH^- \leftrightarrow CH_3O^- + H_2O \qquad \text{equação (1)}$$

O par de elétrons do íon hidróxido ataca o hidrogênio da hidroxila que pertence à molécula de álcool, provocando a ruptura da ligação O-H do álcool, formando água e o íon alcóxido. Devido a efeitos indutivos de repulsão eletrônica, quanto maior a cadeia carbônica do álcool utilizado, mais forte será a ligação O-H da hidroxila desse álcool. Isso faz com que o metanol, de cadeia menor que o etanol e consequentemente com uma ligação O-H mais fraca, disponibilize uma maior quantidade de íons alcóxidos, no caso, íons metóxidos, para a reação (PARENTE & BRANCO, 2004).

Dessa forma, quando se utiliza metanol na reação, essa apresenta maior rendimento, comparado ao uso de etanol. Isso ocorre também, porque o etanol possui um maior poder de solubilização entre o biodiesel e a glicerina, o que prejudica a reação de transesterificação e dificulta a etapa de purificação dos produtos (PARENTE & BRANCO, 2004).

Com relação ao conteúdo de água presente nos reagentes, MA & HANNA (1999) destacam que no processo de transesterificação, esse fator é mais crítico que o conteúdo de ácidos graxos livres.

Quanto ao catalisador utilizado, esse deve ser livre de impurezas e umidade, principalmente se a escolha for o hidróxido de sódio, pois essa substância é altamente higroscópica, pois caso contrário, a qualidade e o rendimento da reação podem ser prejudicados.

5.2. EFEITO DOS CATALISADORES

A reação de transesterificação ocorre mediante a presença de um catalisador (PARENTE, 2003). Esse processo catalítico pode ser classificado como ácido, alcalino ou enzimático. A catálise mais utilizada para a produção de biodiesel é a alcalina, visto que a reação nessas condições ocorre de forma mais rápida, oferece maior rendimento e apresenta menor corrosão aos equipamentos (MA & HANNA, 1999). Pode ser utilizado como catalisador nesse processo o hidróxido de sódio, hidróxido de potássio, metóxido de sódio, metóxido de potássio, entre outros. Dessas substâncias, as mais utilizadas na produção de biodiesel são o hidróxido de sódio, que apresenta um baixo custo e é muito utilizado em processos de grande escala, e o hidróxido de potássio, que é menos usado que o hidróxido de sódio, porém existe a possibilidade da utilização de resíduos gerados durante esse processo para a fabricação de fertilizantes (MA & HANNA, 1999). Segundo MA & HANNA (1999), a concentração mais indicada de hidróxido de sódio a ser utilizada no processo é de 1%.

A realização do processo de transesterificação por meio da catálise básica exige um cuidado especial quanto à velocidade de agitação do sistema. A aplicação de uma agitação mais enérgica favorece a formação de sabões, o que dificulta a separação dos produtos formados pela reação (MA & HANNA, 1999).

A catálise ácida pode ser realizada pela a utilização de ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido clorídrico e ácido sulfônico e é mais indicada quando existe uma maior quantidade de água nos reagentes utilizados (MA & HANNA, 1999). Mas devido ao seu baixo rendimento e seletividade, à maior lentidão do processo e problemas relacionados à corrosão de equipamentos, a catálise ácida é muito pouco utilizada comercialmente (DANTAS, 2006).

Um processo catalítico realizado por lípases (processo enzimático), foi desenvolvido para a reação de transesterificação do óleo de soja com metanol em um fluído supercrítico de dióxido de carbono, sendo que esse apresentou um rendimento superior a 98% (MA & HANNA, 1999).

5.3. RAZÃO MOLAR

Um dos principais fatores que afetam o processo de transesterificação é a razão molar existente entre o álcool e o triglicerídeo utilizado no processo. A razão molar a ser utilizada depende do tipo de catálise. Processos de catálise ácida requerem uma maior razão molar do que os de catalise básica (MA & HANNA, 1999).

Estequiometricamente, a reação requer a proporção de 3 moles de álcool para 1 mol de triglicerídeo (3:1), ocorrendo a produção de 3 moles de ésteres de ácidos graxos e 1 mol de glicerina (MA& HANNA, 1999). Contudo, devido ao caráter reversível da reação, utiliza-se na prática uma razão molar de 6:1 dos reagentes, para que se tenha uma maior geração de ésteres de ácidos graxos (HOLANDA, 2004).

5.4. TEMPERATURA DA REAÇÃO

O processo de transesterificação pode ocorrer sob diversas temperaturas. A reação entre óleo de soja refinado e metanol na razão molar de 6:1, com 1% de NaOH, foi estudada em três temperaturas diferentes. Após 0,1 horas, o rendimento foi de 94%, 87% e 64% a 60 °C, 45 °C e 32 °C respectivamente. Após 1 hora de iniciado o processo, o rendimento foi idêntico para as temperaturas de 60 °C e 45 °C, sendo um pouco inferior quando se utilizou a temperatura de 32 °C. Dessa forma, observa-se que a temperatura interfere claramente na produção de ésteres de ácidos graxos (MA & HANNA, 1999).

5.5. TEMPO DE REAÇÃO

O rendimento da reação de transesterificação aumenta de acordo com o tempo que é utilizado durante o processo. A transesterificação de óleo de soja, de semente de algodão e de semente de girassol com metanol foi estudada no que se refere ao tempo de reação, sob uma razão molar de 6:1, 0,5% de metóxido de sódio como catalisador e a uma temperatura de 60 °C. Foi observado que após 1 minuto, teve-se um rendimento aproximado de 80% nas reações que envolveram o óleo de soja e óleo de girassol. Após 1 hora, a taxa de conversão foi praticamente a mesma para todos os três óleos estudados, apresentando valores entre 93% e 98% (MA & HANNA, 1999).

6. ESTUDO SOBRE RESÍDUOS DE METANOL GERADOS EM INDÚSTRIAS FARMACÊUTICAS DO ESTADO DE GOIÁS

6.1. A INDÚSTRIA FARMACÊUTICA NO ESTADO DE GOIAS

Atualmente a indústria farmacêutica é considerada uma referência econômica em Goiás, devido à grande aglutinação de parques produtivos, o que caracteriza um pólo industrial na região. Esse pólo está localizado no eixo Anápolis-Goiânia, sendo composto por aproximadamente 21 empresas que geram cerca de 5 mil empregos diretos e 12 mil indiretos. É considerado o terceiro centro de indústrias farmacêuticas do país, e o maior em fabricação de medicamentos genéricos, apresentando grande potencial de crescimento, com a tendência a se transformar no maior pólo da América Latina. A maior parte dessas indústrias localiza-se no Distrito Agro-Industrial de Anápolis – DAIA, podendo-se destacar entre elas: Laboratório Teuto-Brasileiro®, Laboratório Neo-Química®, Vitapan® Indústria Farmacêutica, Laboratório Geolab®, Greenpharma® Química e Farmacêutica, Laboratório Genoma®, Laboratório Kinder®, entre outras (PORTAL SEPIN, 2004).

6.2. METANOL UTILIZADO EM LABORATÓRIOS DE CONTROLE DE QUALIDADE DE INDÚSTRIAS FARMACÊUTICAS

O metanol é um solvente importante em laboratórios de controle de qualidade de indústrias farmacêuticas. Ele é bastante utilizado em testes de solubilidade de substâncias. Também é um solvente típico em análises espectrofotométricas e em fases móveis para cromatografia líquida de alta eficiência – CLAE (VOGEL, 2002).

Existem dois tipos principais de metanol utilizado em análises químicas, que são metanol grau HPLC e metanol PA. O metanol grau HPLC apresenta uma pureza mais elevada, sendo o seu uso próprio para cromatografia líquida, tanto na composição de fase móvel como no preparo das soluções de amostras. O metanol PA apresenta um menor grau de pureza, apresentando menor custo e muito usado em análises espectrofotométricas e em testes de solubilidade (VETEC, 2005).

Segundo VETEC (2005), esse solvente para uso em análises químicas deve apresentar um alto grau de pureza, superior a 99,8% e um baixo nível de água – 0,1% para o metanol PA e 0,05% para o metanol HPLC. Como os dois tipos de metanol apresentam especificações semelhantes, não será feita distinção entre eles no que se refere à coleta dos resíduos das indústrias farmacêuticas.

A tabela 1 apresenta o resultado de estudo realizado junto às indústrias farmacêuticas da cidade de Anápolis, em que foi estimado o consumo médio mensal de metanol (PA + HPLC) dos setores de controle de qualidade dessas empresas. A pesquisa se refere ao consumo no período compreendido entre maio de 2006 e maio de 2007.

Tabela 1. Consumo de metanol de algumas indústrias farmacêuticas da cidade de Anápolis no período entre maio/2006 e maio/2007. Fonte: informação obtida junto a funcionários do setor de qualidade das indústrias (2007).

Empresa	Consumo médio (em L $mês^{-1}$)	Principais fornecedores
A	100	Merck, Malinckrodt e Synth
B	900	JT Baker e Vetec
C	130	JT Baker e Synth
D	90	Tedia e Vetec
E	120	JT Baker e Synth
F	900	JT Baker, Vetec e Synth
G	120	Merck e Synth

De acordo com a tabela 1, a quantidade média de metanol utilizada por esses laboratórios de controle de qualidade é de aproximadamente 2400 L $mês^{-1}$.

Devido principalmente à falta de dados por parte de algumas indústrias, não foi possível realizar uma pesquisa com todas as empresas, porém estima-se que o total de metanol consumido em todas as indústrias farmacêuticas da região pode superar o volume de 4000 L $mês^{-1}$.

Somente quando não for possível a reutilização ou reciclagem de solventes orgânicos usados em laboratórios de análise química, é que a disposição deve ser a incineração. GIL (2007) também declara que a reciclagem é o melhor destino para os resíduos de solventes industriais gerados, devendo ser aplicada sempre que possível, sendo que, somente em último caso, deve-se decidir pelo processo de incineração. Segundo DIAS[1], processos de reciclagem desses resíduos, como o da reutilização de rejeitos de metanol de indústrias farmacêuticas na produção de biodiesel, é uma excelente solução para esse problema, pois permitiria uma redução de custos, se tornando uma alternativa economicamente mais viável, além da possibilidade de promover programas sócio-ambientais que seriam desenvolvidos pelas empresas.

7. METODOLOGIA

O processo de obtenção do biodiesel foi realizado a partir das seguintes substâncias:

- Rejeitos de metanol coletados em setores de controle de qualidade de três indústrias farmacêuticas (A, B e C), na cidade de Anápolis.
- Metanol puro (anidro) – Marca : Merck.
- Óleo de soja puro, refinado, obtido junto ao comércio local, produzido por indústria brasileira, tendo passado, após sua extração dos grãos de soja, pelo processo de degomagem, neutralização, clarificação e desodorização.
- Hidróxido de Potássio PA – Marca Vetec.

7.1. OBTENÇÃO DO BIODIESEL

Pesou-se exatamente 2,0 gramas de hidróxido de potássio e misturou-se a 40 g de metanol anidro, sob agitação constante, até a dissolução total do hidróxido de potássio (solução de metóxido de potássio).

À 200 gramas de óleo de soja refinado, adicionou-se a solução de metóxido de potássio, e deixou-se agitando sobre um agitador magnético por 40 minutos à temperatura ambiente.

Ao término da reação, a mistura foi transferida para um funil de decantação, para possibilitar a separação das fases. Após 30 minutos, retirou-se a camada inferior, recolhendo-a em um béquer. À camada remanescente, adicionou-se 50 mL de água destilada, agitando-se em seguida.

Deixou-se a mistura em repouso, até a separação das fases.

Descartou-se a camada inferior (fase aquosa), e repetiu-se o processo de lavagem até a obtenção da fase aquosa límpida.

A mistura remanescente do processo de lavagem foi submetida a aquecimento de 100°C, em chapa aquecedora, para a eliminação de água residual. Após esse processo, obteve-se o produto final.

Repetiu-se o processo de obtenção do biodiesel novamente, para cada rejeito de metanol existente (Empresa A, B e C).

O produto final obtido com cada uma das amostras de metanol utilizadas (anidro e rejeitos) seguiu para análise físico-química.

[1] DIAS, Larissa. Comunicação Pessoal. Anápolis, Departamento de Garantia da Qualidade – Empresa C, 2007.

7.2. DETERMINAÇÃO DE UMIDADE

Para a determinação da umidade das amostras, foi utilizado o Método Karl Fischer para a quantificação de água.

O equipamento utilizado foi um aparelho de Karl Fischer da marca METROHM, modelo 703 Ti Stand, com número de série 42144.

A análise foi realizada nas amostras de metanol anidro e de óleo de soja, nos rejeitos de metanol das empresas A, B e C, e nos produtos finais obtidos respectivamente com o metanol anidro, e os rejeitos das empresas A, B e C.

7.2.1. PROCEDIMENTO

Pesou-se aproximadamente 10,0 g da amostra a ser analisada.

Transferiu-se para o reservatório de titulação do equipamento de Karl Fischer, e procedeu-se a análise, determinando-se o ponto final de equivalência eletrometricamente (VOGEL, 2002).

7.3. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ

O índice de acidez é expresso em miligramas de hidróxido de potássio que são necessários para a neutralização de ácidos graxos livres presentes em 1 grama da amostra (FARMACOPÉIA BRASILEIRA, 1988).

A técnica requer a solubilização da amostra em solvente orgânico e a neutralização dos ácidos graxos livres presentes, obtendo-se o volume, em mililitros de solução de hidróxido de sódio necessário para a neutralização. Esse volume pode ser diretamente utilizado como a quantidade, em miligramas, de hidróxido de potássio que são consumidos para neutralizar os ácidos graxos livres contidos em 1 grama de amostra (FARMACOPÉIA BRASILEIRA, 1988).

O teste foi aplicado ao óleo de soja refinado e aos produtos finais obtidos com o metanol anidro e com os rejeitos de metanol das empresas A, B e C.

7.3.1. PROCEDIMENTO

Pesou-se exatamente 10 gramas da amostra e transferiu-se para erlenmeyer de 125 mL. Dissolveu-se em 50 mL de uma mistura de igual volume de etanol PA, marca Synth e éter etílico PA, marca Synth.

Adicionou-se 1 mL de fenolftaleína SI e titulou-se com solução de hidróxido de sódio 0,1 mol L^{-1} padronizada, até a persistência de cor rósea pálida por no mínimo 30 segundos, sob agitação. Realizou-se um ensaio em branco, omitindo a amostra, para as correções necessárias (FARMACOPÉIA BRASILEIRA, 1988).

Calculou-se o volume da solução de hidróxido de sódio 0,1 mol L^{-1} necessários para neutralizar os ácidos graxos livres presentes na amostra, através da equação 2 (FARMACOPÉIA BRASILEIRA, 1988).

$$\mathbf{Ia = (Va - Vb) \times Fc} \qquad \text{equação (2)}$$

onde:

Ia : Índice de acidez da amostra;
Va : Volume de solução de hidróxido de sódio 0,1 mol L^{-1} consumidos na titulação da amostra;
Vb : Volume de solução de hidróxido de sódio 0,1 mol L^{-1} consumidos na titulação do branco, e
Fc : Fator de correção da solução de hidróxido de sódio mol L^{-1}.

7.4. VISCOSIDADE

A viscosidade foi determinada em Viscosímetro BROOKFIELD, Modelo DV-E Viscosimeter LVDVE 115, com número de série E7041. Foram utilizados os seguintes parâmetros para a realização do teste:

- Temperatura: 40°C;
- Sensor de Cisalhamento (*Spindle*): n° 62, e
- Rotação: 100 rpm.

A análise foi realizada nos produtos finais obtidos pelo processo de transesterificação realizado com o metanol anidro e com os rejeitos de metanol das empresas A, B e C.

Obteve-se a viscosidade dinâmica das amostras, em centiPoise (cP), sendo essa convertida para viscosidade cinemática, em centiStokes (cSt), através equação 3 (FARMACOPÉIA BRASILEIRA, 1988).

$$\textbf{Viscosidade Cinemática (em cSt)} = \frac{\textbf{Viscosidade Dinâmica (em cP)}}{\textbf{Densidade (40 °C)}} \qquad \text{equação (3)}$$

7.5. DENSIDADE

A densidade foi determinada pelo método do picnômetro, segundo orientação da FARMACOPÉIA BRASILEIRA, 1988.

A análise foi realizada com as amostras à temperatura de 20°C, nos produtos finais do processo de transesterificação realizado com o metanol anidro e com os rejeitos de metanol das empresas A, B e C.

O procedimento consistiu em determinar, separadamente, a massa do picnômetro vazio, do picnômetro contendo água e do picnômetro contendo a amostra.

A densidade, a 20°C, foi obtida pela equação 4.

$$\textbf{Densidade (20°C)} = \frac{\textbf{M(picn + amostra) - M(picn vazio)}}{\textbf{M(picn + água) - M(picn vazio)}} \qquad \text{equação (4)}$$

onde:

M(picn + amostra): Massa do picnômetro com amostra, em gramas;
M(picn + água): Massa do picnômetro com água, em gramas, e
M(picn vazio): Massa do picnômetro, em gramas.

7.6. ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO

Foram obtidos os espectros de absorção na região do infravermelho, do óleo de soja puro utilizado no processo, e dos produtos finais obtidos da reação de transesterificação com metanol anidro e com os rejeitos de metanol das empresas A, B e C.

Foi utilizado um espectrofotômetro infravermelho da marca BOMEN, Modelo MICHELSON, com número de série MB Series, na faixa compreendida entre 4000 cm^{-1} e 400 cm^{-1}.

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1. UMIDADE

A análise de umidade indicou a quantidade de água presente em relação à amostra. Foram analisadas amostras de óleo de soja refinado, de metanol anidro, dos rejeitos de metanol das empresas A, B e C, e de cada biodiesel obtido do processo.

A tabela 2 apresenta a umidade encontrada nos reagentes utilizados para a obtenção do biodiesel.

Tabela 2. Umidade dos reagentes utilizados no processo na obtenção do biodiesel.

Substância	Umidade (%)
Óleo de Soja Refinado	0,03
Metanol Anidro	0,03
Rejeito de metanol - Empresa A	0,51
Rejeito de metanol - Empresa B	0,49
Rejeito de metanol - Empresa C	0,54

De acordo com a tabela 2, as amostras de óleo de soja refinado e de metanol anidro, apresentaram baixo conteúdo de água. As amostras dos rejeitos de metanol das empresas A, B e C, tiveram praticamente, o mesmo de teor de água, sendo esse mais elevado que o obtido para o metanol anidro e para o óleo de soja refinado.

MA & HANNA (1999) destacam que a umidade presente no óleo utilizado para a obtenção do biodiesel deve ser inferior a 0,5%, para que não haja a formação de sabão durante o processo, o que pode provocar uma redução na eficiência da reação. Conforme a tabela 2, esse valor é atendido pelo óleo de soja utilizado no processo.

HOLANDA (2004) ressalta que para os outros reagentes utilizados no processo de obtenção do biodiesel, a umidade presente deve ser consideravelmente pequena. Pela tabela 2, a umidade do metanol anidro foi extremamente pequena quando comparada à umidade dos rejeitos de metanol das empresas A, B e C. Essa presença de umidade elevada nesses reagentes poderia resultar na formação de sabões durante o processo de transesterificação, o que provocaria uma menor eficiência da reação, formação de gel e uma complicação para a separação dos produtos (MA & HANNA, 1999). Entretanto não foi observada a formação de gel, e a separação dos produtos (ésteres e glicerina) ocorreu naturalmente por decantação, sem nenhuma complicação ou dificuldade, indicando que a umidade presente nos rejeitos de metanol, não interferiu na reação de transesterificação.

A tabela 3 apresenta a porcentagem de umidade encontrada em cada biodiesel obtido no processo, proveniente do metanol anidro e dos rejeitos de metanol das empresas A, B e C.

Tabela 3. Umidade das amostras de biodiesel obtidas no processo.

Substância	Umidade (%)
Biodiesel (metanol anidro)	0,04
Biodiesel (rejeito de metanol – empresa A)	0,04
Biodiesel (rejeito de metanol – empresa B)	0,02
Biodiesel (rejeito de metanol – empresa C)	0,03

De acordo com a tabela 3, a umidade presente nas amostras de biodiesel foram consideravelmente pequenas.

Segundo DANTAS (2006), a porcentagem máxima de umidade permitida pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), para amostras de biodiesel, corresponde a 0,5%. Dessa forma, cada biodiesel obtido, seja através do metanol anidro, seja através dos rejeitos de metanol das empresas A, B e C, apresentaram valor muito abaixo do permitido pela legislação, atendendo à especificação desse parâmetro.

8.2. ÍNDICE DE ACIDEZ

Foram submetidas a essa análise, as amostras de óleo de soja refinado utilizado na reação de transesterificação e do biodiesel obtido com o metanol anidro e com os rejeitos das empresas A, B e C.

Os resultados são apresentados pela tabela 4.

Tabela 4. Índice de Acidez dos reagentes e produtos do processo de obtenção do biodiesel.

Substância	Índice de Acidez (mg KOH g^{-1})
Óleo de Soja Refinado	0,4
Biodiesel (metanol anidro)	0,3
Biodiesel (rejeito de metanol – empresa A)	0,3
Biodiesel (rejeito de metanol – empresa B)	0,3
Biodiesel (rejeito de metanol – empresa B)	0,3

Segundo HOLANDA (2004), o índice de acidez máximo para o biodiesel, permitido no Brasil, conforme a Agência Nacional do Petróleo (ANP) corresponde a 0,80 mg KOH g^{-1}. Conforme a tabela 4, os valores encontrados para o biodiesel produzido através do metanol anidro, e dos rejeitos de metanol das empresas A, B e C, atenderam a essa especificação.

DANTAS (2006) declara que índices de acidez elevados podem apresentar risco de ação corrosiva sobre componentes metálicos do motor, bem como promover a hidrólise e a oxidação do biodiesel. Entretanto, como os valores encontrados estão abaixo do valor máximo permitido, não existe grande perigo em relação a esse parâmetro.

8.3. VISCOSIDADE

A tabela 5 apresenta as viscosidades cinemáticas, em centiStokes, a 40°C, do biodiesel obtido com o metanol anidro e com os rejeitos de metanol das empresas A, B e C,

Tabela 5. Viscosidades cinemáticas das amostras de biodiesel, a 40 °C, obtidas no processo.

Substância	Viscosidade Cinemática (cSt a 40 °C)
Biodiesel (metanol anidro)	6,18
Biodiesel (rejeito de metanol – empresa A)	6,16
Biodiesel (rejeito de metanol – empresa B)	6,18
Biodiesel (rejeito de metanol – empresa B)	6,17

De acordo com a tabela 5, observa-se que as viscosidades do biodiesel produzido através do metanol anidro e dos rejeitos de metanol foram praticamente idênticas, não havendo diferenças significativas entre os valores.

Segundo HOLANDA (2004), a especificação para a viscosidade do óleo diesel, sob as mesmas condições de análise, é aproximadamente igual a 2,98.

Verifica-se assim que o biodiesel apresenta maior viscosidade que o óleo diesel convencional, justificando a sua maior atividade lubrificante no motor.

8.4. DENSIDADE

Foi determinada a densidade, a 20°C, das amostras do biodiesel obtido através do metanol anidro, e dos rejeitos das empresas A, B e C. Os valores encontrados são apresentados pela tabela 6.

Tabela 6. Densidades, a 20 °C, das amostras de biodiesel obtidas no processo.

Substância	Densidade (g cm^{-3})
Biodiesel (metanol anidro)	0,8821
Biodiesel (rejeito de metanol – empresa A)	0,8841
Biodiesel (rejeito de metanol – empresa B)	0,8828
Biodiesel (rejeito de metanol – empresa B)	0,8837

HOLANDA (2004) declara que a especificação para a densidade do biodiesel puro, conforme a Agência Nacional do Petróleo (ANP) corresponde à faixa entre 0,850 g cm^{-3} e 0,900 g cm^{-3}. De acordo com a tabela 6, as densidades das amostras avaliadas estão dentro da faixa exigida pela ANP, atendendo, portanto, a especificação desse órgão. Ressalta-se que os resultados encontrados para o biodiesel produzido a partir do metanol anidro e para o biodiesel obtido a partir dos rejeitos de metanol das empresas A, B e C, não apresentaram diferença significativa entre seus valores.

8.5. ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO

A figura 1 apresenta o espectro de absorção no infravermelho obtido a partir de amostra do óleo de soja refinado.

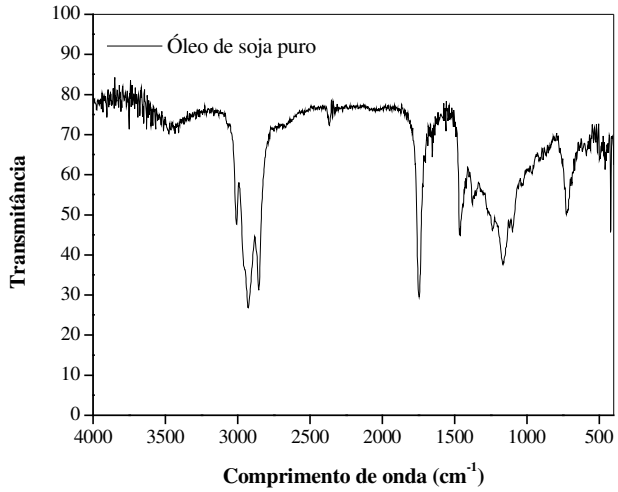

Figura 1: Espectro de absorção no infravermelho do óleo de soja refinado.

Observa-se através da figura 1 que o espectro obtido não exibe banda de absorção próxima a 1650 cm^{-1}, que é característica do grupo carbonila presente em ácidos orgânicos (VOGEL, 2002). Dessa forma, o óleo de soja utilizado no processo não apresentou quantidade significativa de ácidos orgânicos livres em sua composição.

Observou-se uma banda de absorção em aproximadamente 715 cm^{-1}, característica da seqüência de cadeias alifáticas que compõem os ácidos graxos presentes na estrutura do glicerídeo que constitui o óleo de soja (DANTAS, 2006).

Uma banda de absorção foi observada próxima a 1160 cm^{-1}, que representa ligação entre C – O – C (VOGEL, 2002; DANTAS, 2006).
O espectro apresentado na figura 1 mostrou também uma banda de absorção forte próxima 1745 cm^{-1} que segundo DANTAS (2006), corresponde ao grupo carbonila, e uma banda de absorção média a aproximadamente 1460 cm^{-1}, relativo ao grupo - CH_2 – (DANTAS, 2006).

Próximo a 3000 cm^{-1}, uma forte banda de absorção foi obtida. Essa banda, segundo VOGEL (2002) é característica do grupo C – H em cadeias alifáticas.

A figura 2 apresenta os espectros de infravermelho obtidos para o biodiesel produzido a partir do metanol anidro.

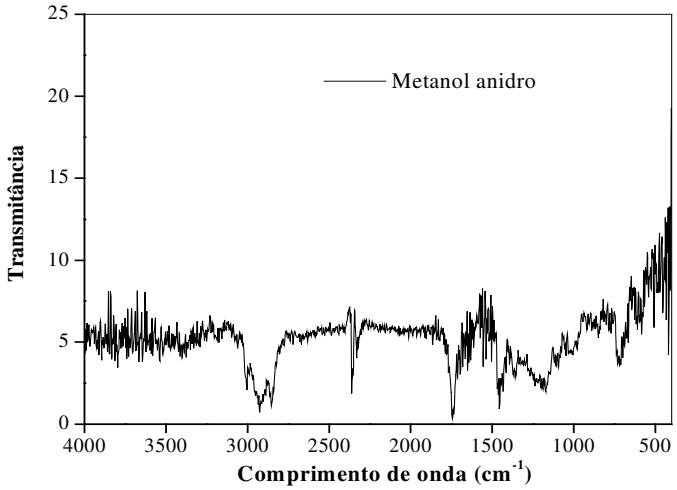

Figura 2: Espectro de absorção no infravermelho do biodiesel obtido através do metanol anidro.

A figura 3 apresenta os espectros de infravermelho obtidos para o biodiesel produzido a partir do rejeito de metanol da empresa A.

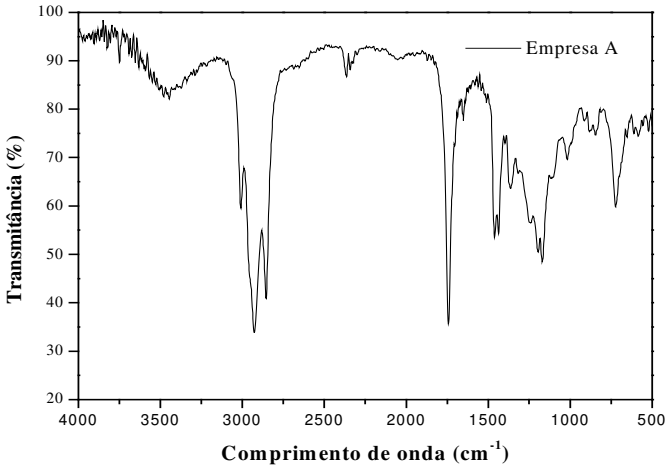

Figura 3: Espectro de absorção no infravermelho do biodiesel obtido através do rejeito de metanol da empresa A.

A figura 4 apresenta os espectros de infravermelho obtidos para o biodiesel produzido a partir do rejeito de metanol da empresa B.

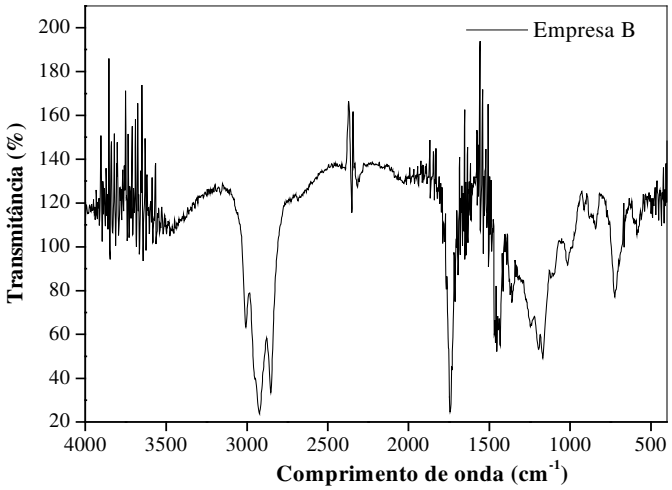

Figura 4: Espectro de absorção no infravermelho do biodiesel obtido através do rejeito de metanol da empresa B.

A figura 5 apresenta os espectros de infravermelho obtidos para o biodiesel produzido a partir do rejeito de metanol da empresa C.

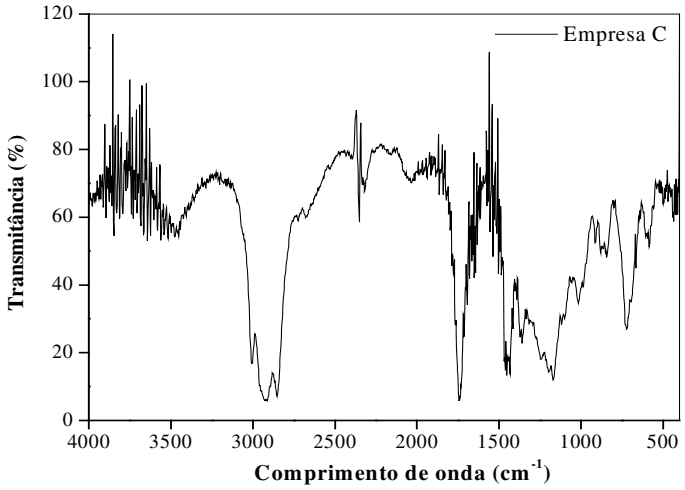

Figura 5: Espectro de absorção no infravermelho do biodiesel obtido através do rejeito de metanol da empresa C.

De acordo com as figuras 2, 3, 4 e 5, observou-se em todos os espectros, uma banda de absorção a aproximadamente 715 cm^{-1}, característica de cadeias alifáticas de ácidos graxos (DANTAS, 2006). Próximo a 1450 cm^{-1}, verificou-se uma forte banda de absorção, indicando a presença de grupos -CH_3 (VOGEL, 2002).

Uma banda de absorção forte a aproximadamente 1745 cm^{-1} indica a presença do grupo carbonila (DANTAS, 2006). A verificação de diminuição brusca da intensidade da banda de absorção média próxima a 1160 cm^{-1}, relativa ao grupo C – O - C, diferencia o óleo de soja utilizado, do produto final obtido, indicando que a reação

foi bem sucedida (VOGEL, 2002). Foram verificadas bandas de absorção próximas a 1737 cm^{-1}, 1180 cm^{-1} e a 1300 cm^{-1}, características de amostras de biodiesel (DANTAS, 2006).

Todos os espectros obtidos foram similares aos apresentados por DANTAS (2006), obtidos através de biodiesel contendo 96,80% de ésteres metílicos em sua composição, indicando uma forte evidência da formação de biodiesel a partir dos rejeitos de metanol utilizados. Ressalta-se que os espectros do biodiesel proveniente do metanol anidro e dos rejeitos de metanol das empresas A, B e C, se apresentaram similares quanto às bandas de absorção existentes.

9. CONCLUSÃO

O biodiesel produzido através de rejeitos de metanol de laboratórios de controle de qualidade de indústrias farmacêuticas demonstrou ser um processo viável tecnicamente. O produto obtido a partir dos rejeitos apresentou as mesmas características que o biodiesel obtido de forma idêntica, a partir de metanol puro, praticamente isento de água.

Durante a obtenção do biodiesel a partir das amostras avaliadas, não foram observadas diferenças significativas em cada etapa. O aspecto e o comportamento de todas as misturas durante o processo, foram muito parecidos, indicando a formação de biodiesel como produto final.

A umidade obtida para os rejeitos de metanol das indústrias farmacêuticas, apresentou resultado superior que a obtida para o metanol anidro utilizado no processo. A utilização de um processo de desidratação desses rejeitos pode ser útil, visto que o excesso de água nos reagentes utilizados no processo pode gerar problemas, como a formação de sabão durante a reação de transesterificação, o que tornaria difícil a separação dos produtos finais. Porém, durante a etapa de decantação dos produtos formados pela reação, não houve dificuldade para separar a glicerina, que decantou naturalmente, sem a necessidade de processos adicionais, como a centrifugação. Dessa forma, a maior quantidade de água presente nos rejeitos de metanol obtido junto às indústrias farmacêuticas, não teve nenhuma influência no processo e na qualidade dos produtos finais.

A porcentagem de água presente nos produtos finais ficou dentro da especificação apresentada, tanto para o biodiesel obtido do metanol anidro, quanto para o obtido dos rejeitos de metanol. Dessa forma, obteve-se a mesma qualidade nos produtos finais, no que se refere a esse parâmetro.

Os valores encontrados para índice de acidez, viscosidade e densidade do biodiesel obtido do metanol anidro e dos rejeitos de metanol, foram satisfatórios, não apresentando diferenças significativas entre os resultados, indicando a igualdade no nível de qualidade dos produtos finais obtidos. Ressalta-se que todos os resultados encontrados para esses parâmetros, ficaram dentro das especificações apresentadas.

A espectroscopia de absorção no infravermelho mostrou uma similaridade no que se refere às bandas de absorção presentes nos espectros obtidos para o biodiesel produzido através de metanol anidro e o biodiesel obtido dos rejeitos de metanol das indústrias farmacêuticas. Essa similaridade é uma evidência segura de que se obteve biodiesel dos rejeitos de metanol das empresas A, B e C.

Todas as observações e testes realizados nas amostras obtidas indicam a formação de biodiesel, tanto do produto obtido do metanol anidro, quanto do obtido dos rejeitos industriais de metanol. Faz-se necessária, porém, a determinação da eficiência do processo utilizado através da determinação quantitativa do biodiesel produzido, bem como de testes confirmativos da obtenção de biodiesel durante o processo. Contudo, o trabalho apresentou resultados bastante satisfatórios e promissores, indicando a viabilidade técnica da utilização rejeitos de metanol gerados por indústrias farmacêuticas, como uma nova alternativa de matéria prima para a produção de biodiesel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BONOMI, Antonio, et al.. Biocombustíveis – A Solução Brasileira para uma Matriz Energética Sustentável. Revista Brasileira de Engenharia Química, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.ipt.br/atividades/servicos/chat/files/biocombustiveis-mar2007.pdf>, Data: 29 de abril de 2007.
2. DANTAS, Hérmesson Jales. Estudo Termoanalítico, Cinético e Reológico de Biodiesel Derivado do Óleo de Algodão. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, 2006. Páginas 1-9, 29-49.
3. FARMACOPÉIA BRASILEIRA, Determinação de Índice de Acidez. 4ª Edição, São Paulo, Atheneu, 1988. Parte 1, Capítulo n° V.3.3.7.
4. FREITAS, Carlos; PENTEADO, Maurício. Biodiesel: Energia do Futuro. Letra Boreal, São Paulo, 1ª Edição, 2006. Páginas, 13,17-24, 29-31, 37-44, 48, 57-61, 63-68.
5. GIL, Eric de Souza, et al .. Aspectos Técnicos e Legais do Gerenciamento de Resíduos Químico-Farmacêuticos. Goiânia, Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas – RBCF, 2007.
6. HOLANDA, Ariosto. Biodiesel e Inclusão Social. Cadernos de Altos Estudos Nº 01. Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, Brasília, 2004. Páginas, 14-18, 24, 33
7. MA, Fangrui; HANNA, Milford A., Biodiesel Production: a review. Bioresource Technology, Lincoln (NE, USA), 1999. Páginas 1-2,7-13.
8. PARENTE, Expedito José de Sá. Biodiesel: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado. Tecbio, Fortaleza (CE), 2003. Disponível em: < <http://www.tecbio.com.br/artigos/Livro-Biodiesel.pdf>,Data: 18 de abril de 2007.
9. PARENTE, Expedito; BRANCO, Paulo de Tarso. Análise Comparativa entre Etanol e Metanol Visando sua Utilização como Coadjuvante Químico na Produção do Biodiesel. Cadernos de Altos Estudos – Biodiesel e Inclusão Social, Brasília, Câmara dos Deputados, 2004. Videoconferência. 8.3
10. PITANGUY, João G. Maldini. Pesquisa exclusiva aprova qualidade do diesel no Brasil. Revista Elo, Ano 2005, Disponível em: <http://www.sotreq.com.br/artigostecnicos/qualidade_diesel.pdf>. Data: 26 de abril de 2007.
11. PORTAL SEPIN. Indústria Farmoquímica. Goiânia, Superintendência de Estatística Pesquisa e Informação, 2004. Disponível em: <http://www.seplan.go.gov.br/sepin/pub/GoDados/2004/dados/04-pharmaceuticals-and_chemicals.htm>. Data: 02 de maio de 2007.
12. PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DE BIODIESEL (PNPB). Portal do Biodiesel. Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br/ >.Data: 21 de novembro de 2006.
13. SOLOMONS, Graham; FRYHLE, Craig. Química Orgânica. 7ª Edição, Rio de Janeiro, LTC, 2001. Vol. 1. Página 405.
14. VETEC. Catálogo de Reagentes Analíticos. Rio de Janeiro, Vetec Química Fina, 2005.
15. VOGEL. Arthur I.. Análise Química Quantitativa. 6ª Edição, Rio de Janeiro, LTC, 2002. Página 254, 365, 387, 443.