



Fundação Educacional do Município de Assis  
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis  
Campus "José Santilli Sobrinho"

**RAFAELA APARECIDA FRANCISCO**

**BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE SOJA RESIDUAL: UMA  
AVALIAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DA INFLUÊNCIA DA  
EXPOSIÇÃO DO ÓLEO NO PROCESSO DE FRITURA.**

Assis  
2012

RAFAELA APARECIDA FRANCISCO

BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE SOJA RESIDUAL: UMA  
AVALIAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DA INFLUÊNCIA DA  
EXPOSIÇÃO DO ÓLEO NO PROCESSO DE FRITURA.

Trabalho de conclusão de  
curso apresentado ao Instituto  
Municipal de Ensino Superior  
de Assis, como requisito do  
Curso de Graduação

Orientador: Ms. Gilcelene Bruzon.

Área de Concentração: Química.

Assis  
2012



## FICHA CATALOGRÁFICA

FRANCISCO, Rafaela Aparecida

Biodiesel a Partir de Óleo de Soja Residual: Uma Avaliação Qualitativa e Quantitativa da Influência da Exposição do Óleo no Processo de Fritura/ Rafaela Aparecida Francisco. Fundação Educacional do Município de Assis - FEMA - Assis, 2012.

71p.

Orientador: Ms. Gilcelene Bruzon.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA.

1.Biodiesel. 2.Transesterificação. 3. Óleo de Fritura Usado. 4. Qualidade do Biodiesel.

CDD:660

Biblioteca da FEMA

# BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE SOJA RESIDUAL: UMA AVALIAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DA INFLUÊNCIA DA EXPOSIÇÃO DO ÓLEO NO PROCESSO DE FRITURA.

RAFAELA APARECIDA FRANCISCO

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Municipal  
de Ensino Superior de Assis, como  
requisito do Curso de Graduação,  
analisado pela seguinte comissão  
examinadora:

Orientador: Ms. Gilcelene Bruzon

Analisador: Ms. Patrícia Cavani Martins de Mello

Assis  
2012

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a DEUS, a minha família,  
em especial a minha mãe Rita de Cássia, ao  
meu pai Benedicto, e a minha avó Helena.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, a DEUS acima de tudo, por me iluminar e guiar sempre pelo caminho certo, e por me fortalecer nos momentos difíceis.

Aos meus pais: Rita de Cássia e Benedicto por todo amor, compreensão, ensinamentos, caráter, e força que mesmo diante das dificuldades não mediram esforços para a realização desse trabalho. Vocês sempre serão o meu orgulho, meu porto seguro.

A minha avó Helena (*in memoriam*), que infelizmente não pode estar presente nesse momento, mas que não poderia faltar o meu agradecimento à ela por todo amor, pela sua alegria, por fazer da minha infância um verdadeiro conto de fadas, e por me ensinar a mais valiosa virtude que o ser humano pode ter a humildade. Saudades Eternas.

Ao meu irmão Eder, agradeço pelas nossas diferenças, que me ajudaram muito a viver a vida, e a conviver com pessoas de ideias diferentes, mais acima de tudo agradeço pelo amor e pela paciência que supera até essas diferenças.

A professora, Gilcelene, pela dedicada orientação, pelas sugestões, e pelo constante estímulo transmitido durante o trabalho, mesmo estando grávida e até o nascimento de seu filho, até o ultimo minuto sempre estive à disposição para orientar seja solucionando dúvidas, dando sugestões, ou incentivando, demonstrando assim o amor pela sua profissão e sendo um exemplo de responsabilidade.

A todos os meus amigos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, e a todos que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

Agradeço a colaboração do laboratório TEST OIL DO BRASIL LTDA - EPP, pela realização de uma das análises.

A vida está cheia de desafios que, se aproveitados de forma criativa, transformam-se em oportunidades.

Marxwell Maltz  
(1899-1975)

## RESUMO

Com o constante apelo ambiental é necessário a busca e a utilização de novas fontes alternativas de energia limpa, nesta vertente surge o biodiesel, um biocombustível considerado de queima limpa, biodegradável, derivado de óleos vegetais e gorduras animais, sendo seu uso já testado desde 1937 por George Charles Chavane. Este trabalho tem por objetivo testar e avaliar a qualidade do biodiesel produzido a partir do óleo de soja residual e verificar a influência dos tempos de exposição do óleo na fritura. Foi testada uma amostra de óleo sem uso e 3 amostras de óleo residual, cujo tempo de exposição no processo de fritura foi de 4, 8 e 12 dias. Procedeu-se a transesterificação dessa matéria-prima por via metanólica na presença do catalizador KOH, após um período de 24 horas de repouso obteve-se o biodiesel e o glicerol como subproduto. O biodiesel passou por um processo de lavagem e posteriormente foram feitas análises para a observação de algumas características físico-químicas. Os resultados destas análises foram avaliados e comparados com os valores padrão estipulado na resolução 07/2008 da ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Comparando os resultados obtidos, concluiu-se que os períodos em que o óleo fica exposto no processo de fritura influencia diretamente na qualidade do biodiesel obtido, pois a medida que se aumenta o tempo de exposição do óleo na fritura, mais os resultados se distanciam do valor padrão. Visto que a qualidade do biodiesel obtido é muito influenciada pela qualidade da matéria-prima e visto que no presente trabalho se utilizou um resíduo como fonte de matéria-prima e este passou por uma purificação simples, é necessário um processo de purificação mais eficaz para que se obtenha um biodiesel dentro dos padrões estipulados.

**Palavras-chave:** Biodiesel; Transesterificação; Óleo de Fritura Usado; Qualidade do Biodiesel.

## ABSTRACT

With the constant environmental appeal is necessary to search and use of new alternative sources of clean energy, in this aspect appear the biodiesel, considered a clean burn biofuel, biodegradable, derived from vegetable oils and animal fats, and its use has been tested since 1936 by George Charles Chavane.

This work have the objective to test and evaluate the quality of biodiesel produced from soybean oil waste and the influence of exposure times in the frying oil. We tested a sample of oil unused and were collected four samples of this residue whose its exposure time in the process of frying, was used oil by 4 days, 8 days and 12 days. Proceeded the transesterification to this raw material from way methanolic by the presence of KOH catalyst after a period of rest of 24 hours was obtained biodiesel and glycerol as by-product, biodiesel was undergone a cleaning process and subsequently were performed analysis for observation of some physico-chemical characteristics the same. The results of these analysis were evaluated and compared with the default values set out in resolution 07/2008 of the ANP - National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels. Comparing the results, it was concluded that the periods in which the oil was exposed in the frying process influence the quality of the biodiesel obtained, because as it increases the exposure time of the oil in frying, the results are more distant from the value standard. Seen the quality of the biodiesel obtained is much influenced by the quality of the raw material and seen in this work was used a residue as source of raw material and which in this material underwent a simple purification is necessary a process purification more effective for to obtain a biodiesel within the standards.

**Keywords:** Biodiesel; Transesterification; Frying Oil Used; Biodiesel Quality.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|           |                                                                                                                      |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1  | –Ciclo do carbono.....                                                                                               | 22 |
| Figura 2  | –Capacidade de produção de biodiesel na Alemanha de 1998 a 2006 .....                                                | 23 |
| Figura 3  | –Produção de biodiesel nos Estados Unidos de 1999 a 2006.....                                                        | 24 |
| Figura 4  | –Percentual de biodiesel a ser adicionado ao diesel de petróleo..                                                    | 25 |
| Figura 5  | –Consumo de biodiesel no Brasil – em milhões de litros/ano.....                                                      | 25 |
| Figura 6  | –Mapa das usinas produtoras de biodiesel.....                                                                        | 26 |
| Figura 7  | –Ácido graxo saturado (ácido esteárico), ácido graxo insaturado (ácido linoléico).....                               | 28 |
| Figura 8  | –(A) Mono-, (B) Di- e (C) Tri-acilglicerídeos formados a partir dos ácidos graxos Capróico, Caprílico e Cáprico..... | 29 |
| Figura 9  | –Mapa das regiões e das oleaginosas usadas para a produção de biocombustível.....                                    | 30 |
| Figura 10 | –Percentual de matéria-prima utilizada na produção de biodiesel.....                                                 | 31 |
| Figura 11 | –Equação geral para uma reação de transesterificação.....                                                            | 35 |
| Figura 12 | –Transesterificação de triglicerídeos, onde R1, R2, R3, representam as cadeias carbonicas dos ácidos graxos.....     | 36 |
| Figura 13 | –Reação de esterificação, na qual R e R1 são radicais diferentes.....                                                | 38 |
| Figura 14 | –Amostra de óleos coletados devidamente identificados.....                                                           | 47 |
| Figura 15 | –Tratamento dos resíduos gordurosos coletados em Quatá.....                                                          | 48 |
| Figura 16 | –Equação (1) - Onde N é o número de gramas de umidade (perda de massa em g) e P é o número de gramas da amostra....  | 49 |



|           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 17 | –Equação (2) - Onde V = número de mL de solução de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação, F = fator da solução de hidróxido de sódio, P = número de g da amostra.....                                                                                                                                                                        | 49 |
| Figura 18 | –Equação (3) - Onde V = número de mL de solução de hidróxido de sódio 0,1M gasto na titulação, F = fator da solução de hidróxido de sódio, P = número de g da amostra.....                                                                                                                                                                         | 50 |
| Figura 19 | –Processo de transesterificação do óleo de fritura usado por 4 dias.....                                                                                                                                                                                                                                                                           | 53 |
| Figura 20 | –Decantação (separação de fases) fase clara superior biodiesel, fase escura inferior glicerol.....                                                                                                                                                                                                                                                 | 54 |
| Figura 21 | –Fluxograma do processo de produção do biodiesel.....                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 55 |
| Figura 22 | –Equação (4).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 56 |
| Figura 23 | –Equação (5) - Onde V = número de mL de solução de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação, F = fator da solução de hidróxido de sódio, P = número de g da amostra.....                                                                                                                                                                        | 57 |
| Figura 24 | –Equação (6) - Onde, B é número de mL de solução de tiossulfato de sódio 0,1 mol/L gasto na titulação do branco; A é o número de mL de solução de tiossulfato de sódio 0,1 mol/L gasto na titulação da amostra; f é o fator da solução de tiossulfato de sódio 0,1 mol/L; m é a massa da amostra em gramas; e 1,27 é centiequivalente do Iodo..... | 57 |
| Figura 25 | –Variação da intensidade da coloração amarela do biodiesel obtido.....                                                                                                                                                                                                                                                                             | 60 |

## LISTA DE TABELAS

|          |                                                                                                           |    |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 | -Composição em ácidos graxos de algumas espécies de oleaginosas.....                                      | 29 |
| Tabela 2 | - Principais tipos de resíduos gordurosos e sua disponibilidade/ qualidade para uso como combustível..... | 33 |
| Tabela 3 | -Padrões de qualidade do biodiesel.....                                                                   | 41 |
| Tabela 4 | - Análise físico-químicas do óleo de fritura.....                                                         | 59 |
| Tabela 5 | - Propriedades físico-químicas do biodiesel obtido a partir de óleo de fritura.....                       | 60 |

## SUMÁRIO

|           |                                                                                        |           |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                                                 | <b>16</b> |
| <b>2.</b> | <b>COMBUSTÍVEIS.....</b>                                                               | <b>18</b> |
| 2.1       | COMBUSTÍVEIS NÃO-RENOVÁVEIS.....                                                       | 18        |
| 2.1.1     | Carvão mineral.....                                                                    | 19        |
| 2.1.2     | Petróleo.....                                                                          | 19        |
| 2.1.3     | Gás natural.....                                                                       | 20        |
| 2.2       | COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS.....                                                           | 20        |
| 2.2.1     | Etanol.....                                                                            | 20        |
| 2.2.2     | Biodiesel.....                                                                         | 21        |
| 2.2.3     | Biogás.....                                                                            | 21        |
| <b>3</b>  | <b>O PROMISSOR MERCADO DOS COMBUSTÍVEIS<br/>DERIVADOS DE ÓLEOS E GORDURAS.....</b>     | <b>22</b> |
| 3.1       | UTILIZAÇÃO DO BIODIESEL NO MUNDO.....                                                  | 23        |
| 3.2       | UTILIZAÇÃO DO BIODIESEL NO BRASIL.....                                                 | 24        |
| <b>4</b>  | <b>BIODIESEL.....</b>                                                                  | <b>27</b> |
| 4.1       | MATÉRIAS PRIMAS PARA PRODUÇÃO DO BIODIESEL.....                                        | 27        |
| 4.1.1     | Óleos vegetais.....                                                                    | 28        |
| 4.1.2     | Gorduras animais.....                                                                  | 30        |
| 4.1.3     | Óleos residuais.....                                                                   | 32        |
| 4.2       | PROCESSOS DE OBTENÇÃO DO BIODIESEL.....                                                | 35        |
| 4.2.1     | Transesterificação.....                                                                | 35        |
| 4.2.1.1   | Transesterificação catalisada por base.....                                            | 36        |
| 4.2.1.2   | Transesterificação catalisada por ácido.....                                           | 37        |
| 4.2.2     | Esterificação.....                                                                     | 37        |
| 4.3       | QUALIDADES FUNDAMENTAIS DO BIODIESEL: FATORES<br>QUE INFLUÊNCIAM E ESPECIFICAÇÕES..... | 38        |
| 4.3.1     | Densidade.....                                                                         | 39        |
| 4.3.2     | Viscosidade.....                                                                       | 39        |

|           |                                                                           |           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.3     | Índice de acidez.....                                                     | 39        |
| 4.3.4     | Índice de iodo.....                                                       | 40        |
| 4.3.5     | Poder de solvência.....                                                   | 40        |
| 4.3.6     | Ponto de névoa e ponto de fluidez.....                                    | 40        |
| 4.3.7     | Ponto de fulgor.....                                                      | 41        |
| 5         | <b>APLICAÇÃO NO ENSINO MÉDIO.....</b>                                     | <b>43</b> |
| 5.1       | IMPORTÂNCIA DA EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA.....                   | 43        |
| 5.2       | CONSCIENTIZAÇÃO AMBIENTAL.....                                            | 44        |
| 5.3       | PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....                                            | 44        |
| 5.3.1     | Produção de sabão.....                                                    | 44        |
| 6         | <b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                                           | <b>45</b> |
| 6.1       | MATERIAIS E REAGENTES.....                                                | 45        |
| 6.2       | MÉTODOS.....                                                              | 47        |
| 6.2.1     | Coletas dos óleos residuais.....                                          | 47        |
| 6.2.2     | Tratamento da matéria-prima.....                                          | 47        |
| 6.2.2.1   | Análises físico-químicas do óleo de soja residual.....                    | 48        |
| 6.2.2.1.1 | Umidade.....                                                              | 48        |
| 6.2.2.1.2 | Índice de acidez.....                                                     | 49        |
| 6.2.2.1.3 | Ácidos graxos livres.....                                                 | 50        |
| 6.2.3     | Preparo de soluções.....                                                  | 50        |
| 6.2.3.1   | Preparação e padronização da solução de NaOH 0,1 mols/L.....              | 50        |
| 6.2.3.2   | Preparação da solução de iodo 0,1 mols/L.....                             | 51        |
| 6.2.3.3   | Preparação da solução de iodeto de potássio 15%.....                      | 51        |
| 6.2.3.4   | Preparação da solução neutra de éter etílico, álcool-etílico (2:1).....   | 51        |
| 6.2.3.5   | Preparação da solução saturada de NaCl.....                               | 51        |
| 6.2.3.6   | Preparação da solução indicadora de amido.....                            | 52        |
| 6.2.3.7   | Preparação e padronização da solução de tiosulfato de sódio 0,1 mols/.... | 52        |
| 6.2.3.8   | Preparação da solução de metóxido de potássio.....                        | 53        |
| 6.2.4     | <b>Processo de produção do biodiesel.....</b>                             | <b>53</b> |
| 6.2.4.1   | Reação de transesterificação.....                                         | 53        |
| 6.2.4.2   | Elaboração do biodiesel.....                                              | 54        |

|              |                                                                          |           |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6.2.5</b> | <b>Obtenção e análise dos padrões de qualidade.....</b>                  | <b>56</b> |
| 6.2.5.1      | Densidade.....                                                           | 56        |
| 6.2.5.2      | Viscosidade.....                                                         | 56        |
| 6.2.5.3      | Índice de acidez.....                                                    | 56        |
| 6.2.5.4      | Índice de iodo.....                                                      | 57        |
| <b>7</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                       | <b>58</b> |
| 7.1          | ANÁLISE DAS MATÉRIAS-PRIMAS.....                                         | 58        |
| 7.1.1        | Índice de acidez, teor de ácidos graxos livres e teor de<br>umidade..... | 58        |
| 7.2          | CARACTERIZAÇÃO DO BIODIESEL.....                                         | 59        |
| <b>8</b>     | <b>CONCLUSÃO.....</b>                                                    | <b>62</b> |
|              | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                  | <b>63</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo dos óleos vegetais e gorduras animais como combustíveis já é conhecido desde o final do século XIX. Em 1900, durante a Exposição de Paris, a companhia francesa Otto demonstrou o funcionamento de um pequeno motor diesel, utilizando óleo de amendoim *in natura*. A experiência bem sucedida acabou despertando um grande interesse em Rudolf Diesel (1858-1913) o próprio criador do motor utilizado na exposição. Diesel passou a fazer testes análogos nos anos subseqüentes tornando-se um legítimo defensor deste conceito. Porém devido a mudanças políticas nos ministérios, por razões de cunho econômico e fatores técnicos, o uso destes combustíveis não era tão viável quanto os combustíveis derivados do petróleo (FELICIANO; PEREIRA, 2007; KNOTHE et al., 2006).

O petróleo esteve por muitos anos no topo da matriz energética do mundo, a maior parte da energia consumida é suprida pelos seus derivados. Contudo, com o aumento do preço do petróleo, sua futura escassez e o crescente apelo ambiental pela preservação e utilização de energia limpa, os biocombustíveis como o biodiesel, vem ganhando maior espaço no mercado mundial em substituição aos combustíveis fósseis, minimizando o problema de chuvas ácidas, reduzindo a emissão de gases poluentes e de efeito estufa como o CO<sub>2</sub>, já que este pode ser consideravelmente reabsorvido pelas plantas (OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008, SANTOS; PINTO, 2009, VICHI; MANSOR, 2009, COSTA NETO et al., 2000).

Atualmente, vivemos em um mundo que nos leva a uma forma de vida não sustentável, para onde olhamos podemos ver propagandas que nos influenciam sempre a consumir além do que realmente precisamos, gerando toneladas de resíduos diários. A reciclagem é uma alternativa viável para fornecer a esses resíduos um caminho ecologicamente correto, assim a reciclagem de resíduos agrícolas e agro-industriais vem ganhando grande destaque, não simplesmente porque os resíduos representam matérias primas de baixo custo, mas, principalmente, porque os efeitos da degradação ambiental decorrente de atividades

industriais e urbanas estão atingindo níveis cada vez mais alarmantes (COSTA NETO et al., 2000).

Estudos mostram que a constante utilização do mesmo óleo vegetal, por um longo período de tempo para cocção de alimentos, pode causar efeitos nocivos à saúde devido às suas alterações físico-químicas e organolépticas, resultando assim em um grande volume de resíduo indesejado. Atualmente parte deste resíduo pode ser destinado a produção de sabão, massa de vidraceiro e ração animal, porém a maior parte é descartado diretamente no esgoto doméstico. Esta prática pode ocasionar a contaminação dos rios, solos e ar. No caso do ar, a decomposição do óleo de cozinha emite metano na atmosfera, que contribui potencialmente com o efeito estufa além de apresentar um alto teor explosivo (COSTA NETO et al., 2000, FERNANDES et al., 2008).

Desta forma, a reciclagem de óleos de fritura e a sua empregabilidade vêm conscientizando a sociedade de que o descarte correto desses resíduos além de gerar matéria-prima para a produção de biodiesel e outras aplicabilidades, também contribui com a inclusão social, desse modo o óleo descartado deixaria de poluir ambientes aquáticos e terrestres (MARTINIANO et al., 2010).

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade do biodiesel produzido a partir do óleo de soja residual e verificar a influência dos tempos de exposição do óleo na fritura.

## 2. COMBUSTÍVEIS

Quimicamente o combustível pode ser definido como uma substância que reage com o oxigênio ou outra substância comburente, liberando energia na forma de calor (OLIVEIRA; SANTOS, 1998, MOTA; ROSENBACH JR; PINTO, 2010).

Os combustíveis podem ser divididos em duas formas bem distintas: os renováveis e não-renováveis dependendo de sua matéria-prima, os renováveis compreendem os produtos originários do processo fotossintético, como biomassa em geral e dejetos agrícolas, já os não-renováveis correspondem aos combustíveis fósseis gerados há milhões de anos pela decomposição de seres vivos, como carvão mineral, petróleo e gás natural (NICHELLE JUNIOR, 2010, MOTA; ROSENBACH JR; PINTO, 2010).

### 2.1 COMBUSTÍVEIS NÃO-RENOVÁVEIS

Os combustíveis não-renováveis são aqueles em que o tempo de reposição é muito superior ao tempo de seu uso, ou seja, esses recursos são limitados e estão fadados a esgotar. Assim, a possibilidade desses recursos serem repostos em tempo hábil para uma nova utilização, é inexistente (NICHELLE JUNIOR, 2010).

Estes combustíveis são os mais utilizados representando mais de 75% da matriz energética mundial, e ao mesmo tempo são os que mais geram problemas ambientais aumentando as concentrações de dióxido de carbono na atmosfera, refletindo de forma danosa no clima global do planeta, além do problema da chuva ácida causada pelo enxofre presente em alguns desse combustíveis. E por isso, são também denominadas como energias sujas (NICHELLE JUNIOR, 2010, MOTA; ROSENBACH JR; PINTO, 2010, OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008).



### **2.1.1 Carvão mineral**

O carvão mineral é um combustível fóssil está associada à decomposição dos vegetais, foi o primeiro combustível fóssil a ser usado em larga escala desde meados do século XVIII, com o advento da Revolução Industrial, sendo o calor gerado na sua queima utilizado para produção de vapor que movimentava máquinas, locomotivas e navios. Atualmente, ainda se usa o carvão para geração de energia elétrica, sobretudo na América do Norte e Europa, já no Brasil além de gerar energia elétrica, a utilização de carvão é praticamente restrita aos processos industriais, com grande predominância do setor siderúrgico (MOTA; ROSENBACH JR; PINTO, 2010, VICHI; MANSOR, 2009).

### **2.1.2 Petróleo**

Ao longo de milhares de anos, restos de animais e vegetais mortos depositaram-se no fundo de lagos e mares e, lentamente, foram cobertos por sedimentos (pó de calcário, areia etc). Mais tarde, esses sedimentos se transformaram em rochas sedimentares (calcário e arenito), pela ação do calor e da pressão exercidas sobre essa matéria orgânica causaram reações químicas complexas, formando o petróleo (MARIA et al., 2002).

A indústria do petróleo modificou o modo de vida da sociedade moderna, trazendo bem-estar, conforto e novos materiais. A gasolina é um dos produtos derivado do petróleo de maior importância, sendo um líquido inflamável e volátil, a gasolina possibilita conforto à nossas vidas, pois permiti uma melhor e mais rápida mobilidade ao ser humano, aproximando cidades e países. Outro combustível derivado do petróleo é o óleo diesel, é um combustível empregado em motores diesel. É um líquido mais viscoso que a gasolina, esse é o principal produto derivado do petróleo consumido no Brasil, fruto da estrutura de transporte de cargas, fortemente dependente do setor rodoviário (MOTA; ROSENBACH JR; PINTO, 2010, VICHI; MANSOR, 2009, MARIA et al., 2002).

### **2.1.3 Gás natural**

O gás natural é um combustível que cresce em utilização a cada dia. A exploração está em estágio menos desenvolvido que a do petróleo, e muitos campos ainda não foram totalmente mapeados. O consumo de gás natural no Brasil se dá basicamente nos setores industrial e energético, mas a utilização no setor de transportes vem aumentando muito nos últimos anos, substituição ao óleo combustível, que é muito mais poluente (MOTA; ROSENBACH JR; PINTO, 2010, VICHÍ; MANSOR, 2009).

## **2.2 COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS**

Nos últimos anos, os recursos naturais e renováveis têm sido o foco de inúmeras pesquisas, impulsionadas pelo aumento das preocupações com o meio ambiente, muito por causa de problemas ecológicos e do aquecimento global, gerados pela utilização de combustíveis fósseis. Os combustíveis renováveis ou biocombustíveis são aqueles em que os recursos naturais utilizados são capazes de se regenerar, ou seja, são considerados inesgotáveis, o que os torna extremamente vantajosos em relação aos não-renováveis (NICHELLE JUNIOR, 2010).

Os biocombustíveis são derivados da biomassa, são fontes de biomassa os restos de madeira, colheita, plantas, alimentos, animais e algas. No Brasil, a energia proveniente da biomassa já ocupa uma parcela considerável da matriz energética, nos biocombustíveis incluem o etanol, o biodiesel e o biogás (metano) (MOTA; ROSENBACH JR; PINTO, 2010, VICHÍ; MANSOR, 2009).

### **2.2.1 Etanol**

O etanol, ou álcool etílico, é uma substância com fórmula molecular  $C_2H_6O$ , que pode ser utilizada como combustível de duas maneiras, basicamente: 1) em misturas de gasolina e etanol anidro; ou 2) como etanol puro, geralmente hidratado. O etanol hidratado puro deve ser usado em motores fabricados ou adaptados especificamente para esse fim (CARVALHO JUNIOR et al., 2008).

O Brasil ocupa posição destacada, em todo o mundo, na utilização do etanol como combustível. Os benefícios do etanol brasileiro, obtido a partir da cana-de-açúcar, são conhecidos e inegáveis. Além de poluir menos, o nosso combustível apresenta produtividade notável, que pode chegar aos 8 mil litros por hectare plantado, além disso, com o aproveitamento do bagaço da cana como energético para produzir eletricidade nas usinas de cana-de-açúcar e vendê-la à rede elétrica (KASSAB, 2009).

### **2.2.2 Biodiesel**

Biodiesel é um combustível biodegradável, proveniente de óleo vegetal ou gordura animal, este biocombustível recebe a denominação de éster alquílico, devido ao resultado da reação entre um ácido graxo (proveniente das matérias-primas), um álcool e um catalisador, o qual pode ser um ácido ou uma base (ROSA, 2010, ALVES, 2010).

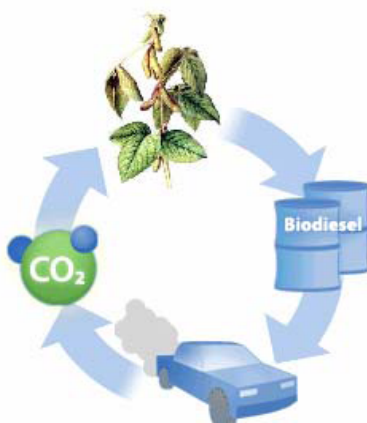
### **2.2.3 Biogás**

O biogás é uma mistura gasosa combustível com predominância do metano, resultante da degradação anaeróbia de matéria orgânica (COELHO, et al., 2006). Em todo mundo (e cada vez mais), a sociedade recicla e trata o lixo doméstico, evitando os chamados lixões, que trazem doenças e contaminam o solo. O uso de aterros sanitários cumpre dois propósitos: evita a contaminação do solo e a proliferação de doenças, e gera energia para bairros e cidades pela produção de biogás. Os restos orgânicos, sobretudo de alimentos, contido no lixo doméstico são submetidos à fermentação anaeróbica nos aterros, produzindo metano, que é queimado para produzir eletricidade (MOTA; ROSENBACH JR; PINTO, 2010).

### 3. O PROMISSOR MERCADO DOS COMBUSTÍVEIS DERIVADOS DE ÓLEOS E GORDURAS NO MUNDO E NO BRASIL.

A maior parte de toda a energia consumida no mundo hoje provem principalmente de três fontes, do petróleo, do gás natural e do carvão, combustíveis não renováveis com previsão de esgotamento em um futuro próximo, devido a sua larga utilização. Portanto, a busca por fontes alternativas de energia limpa é de suma importância (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005, OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008).

Neste contexto, os óleos vegetais transformados aparecem como uma alternativa para substituir o óleo diesel, sendo o seu uso testado já ao final do século XIX, produzindo resultados satisfatórios. Esta possibilidade da utilização do biodiesel como combustível em motores do ciclo diesel é considerada muito atrativa, pois vem apresentando um potencial promissor no mundo inteiro, sendo um mercado que cresce aceleradamente devido, em primeiro lugar, a sua enorme contribuição ao meio ambiente, com a redução dos níveis de poluição ambiental com destaque para a diminuição da emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera, principalmente nos grandes centros urbanos, pois o biocombustível permite o estabelecimento de um ciclo de carbono, onde o CO<sub>2</sub> é absorvido pela planta, de onde é extraído o óleo utilizado na produção do biodiesel e após a combustão do biodiesel, o CO<sub>2</sub> é produzido novamente, onde é reabsorvido pelas plantas, onde se forma um ciclo (figura 1) (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005, GHESTI, 2006).



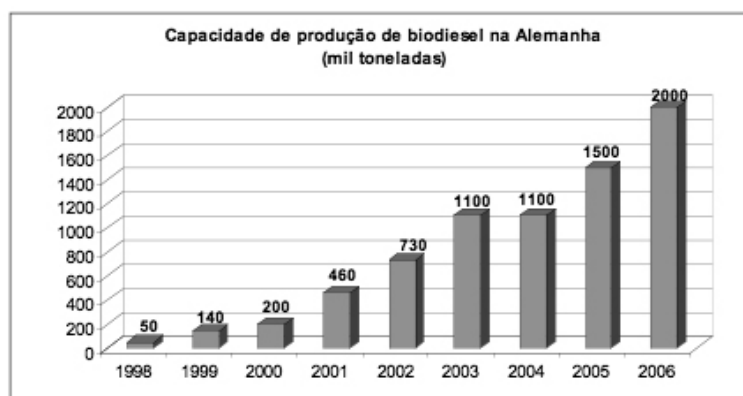
**Figura 1 - Ciclo do carbono (In: GHESTI, 2006, p. 7).**

Em segundo lugar, como fonte estratégica de energia renovável em substituição ao óleo diesel e outros derivados do petróleo, permitindo assim a redução da dependência de importação de petróleo (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005).

Em todos os países o biodiesel é comercializado como mistura BX, ou seja, são misturas de biodiesel com óleo diesel convencional, onde X se refere à quantidade de biodiesel (%v/v) adicionada ao óleo diesel (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007).

### 3.1 UTILIZAÇÃO DO BIODIESEL NO MUNDO

Vários países como França, Alemanha, Reino Unido, Estados Unidos e Japão vêm investindo significativamente na produção e viabilização comercial do biodiesel, através de unidades de produção com diferentes capacidades. No início dos anos 90, começou o processo de industrialização do biodiesel na Europa, em 2003 a produção de biodiesel já era de 1.434 milhões de toneladas em 8 países, sendo que a Alemanha liderou a produção, todos os 8 países aumentaram a produção, em particular a Alemanha (figura 2), onde se utiliza o óleo de colza para a produção do biodiesel, e este é distribuído de forma pura, isento de qualquer mistura ou aditivação (FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005, RODRIGUES, 2008).

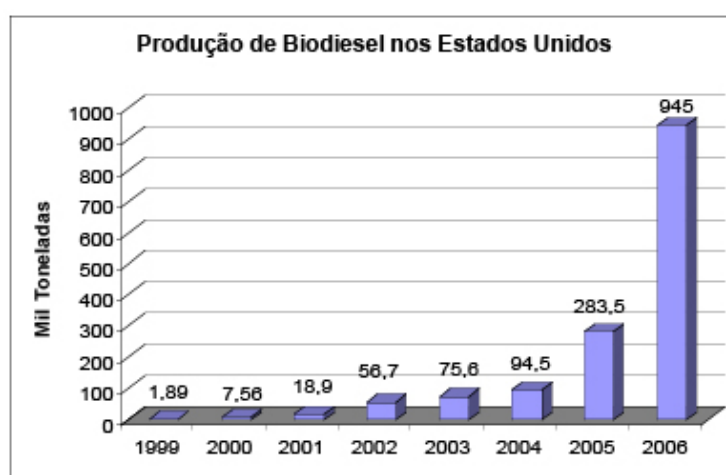


**Figura 2 - Capacidade de produção de biodiesel na Alemanha de 1998 a 2006 (In: LIMA; SOGABE; CALARGE, 2008, p. 7).**

A França é uma potencial produtora de biodiesel, porém diferentemente da Alemanha a mistura B5 é encontrada pronta nas bombas. Os óleos vegetais

utilizados como matéria prima são o de colza e de girassol (PARENTE, 2003). Segundo Cunha (2010) em 2009 a produção de biodiesel na França chegou a 1,8 milhão de toneladas.

Os Estados Unidos é outro grande produtor de biodiesel que provém em maior parte do óleo de soja, em menor proporção do óleo de colza, a mistura biodiesel B20 é o mais comum. Os EUA atingiram, em 2005, a marca de 283,5 mil toneladas, o triplo do ano de 2004 e em 2006, chegou a 945 mil toneladas, mais que o triplo do ano anterior (figura 3) (LIMA; SOGABE; CALARGE, 2008).



**Figura 3 - Produção de biodiesel nos Estados Unidos de 1999 a 2006 (In: LIMA; SOGABE; CALARGE, 2008, p. 9).**

Vários outros países têm demonstrado interesse no biodiesel, seja para produzir, para adquirir e consumir. É o caso do Japão que têm demonstrado interesse em importar biodiesel (PARENTE, 2003).

### 3.2 UTILIZAÇÃO DO BIODIESEL NO BRASIL

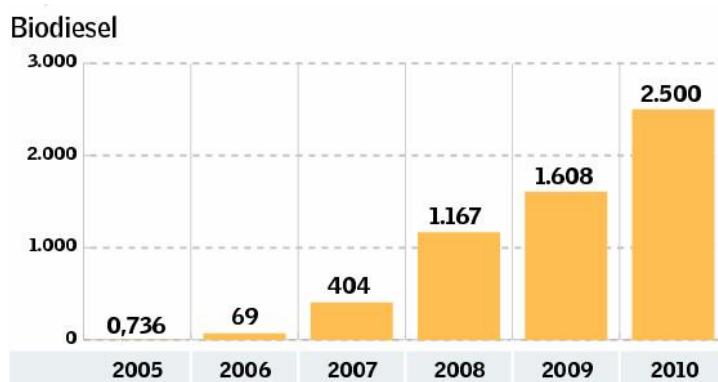
Com a crise do petróleo na década de 70, o governo brasileiro viu a necessidade de criar um programa para a substituição do diesel, o chamado Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos (Pró-óleo), que previa uma substituição de até 30% do diesel de petróleo, porém este programa foi abandonado devido à estabilização do preço do petróleo no mercado internacional em 1986 (OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008).

O programa de substituição de diesel por derivados de óleos vegetais agora denominado Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel-PROBIODIESEL, foi retomado nos últimos anos, em 2004 foi lançado o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNDB), que autoriza desde 2005 que o biodiesel passe a fazer parte da matriz energética brasileira com sua comercialização misturado ao diesel fóssil, segundo a lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005, determina a adição mínima obrigatória de 5% de biodiesel ao óleo diesel a partir de janeiro de 2013 e estabelece a utilização de um percentual mínimo obrigatório intermediário de 2% desde janeiro de 2008 (figura 4) (FARIA et al., 2007, SUAREZ; MENEGHETTI, 2007).



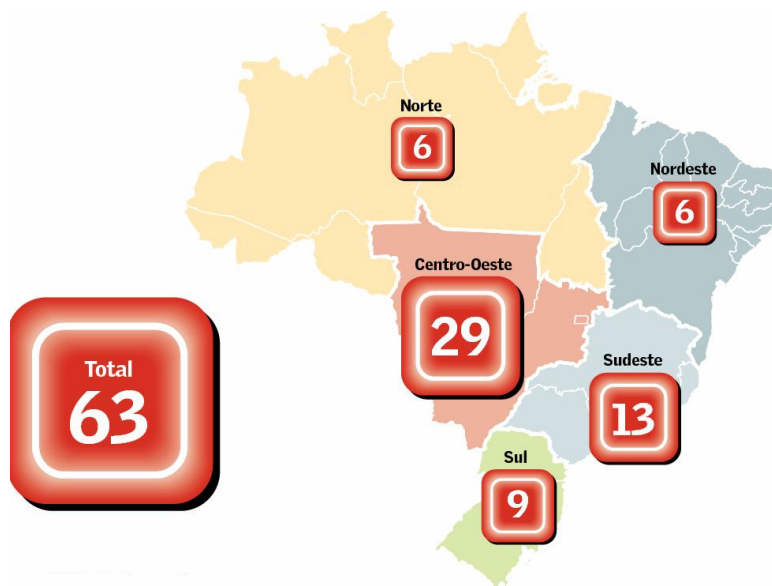
**Figura 4 - Percentual de biodiesel a ser adicionado ao diesel de petróleo (In: CASTELLANELLI, 2008, p. 41).**

Segundo Scaramuzzo (2011), em 2010 o consumo nacional do biodiesel totalizou 2,5 bilhões de litros, crescimento de 56% sobre 2009 (figura 5).



**Figura 5 – Consumo de biodiesel no Brasil – em milhões de litros/ano (In: SCARAMUZZO, 2011, p.1).**

Com investimentos de cerca de 4 bilhões de reais nos últimos anos, o país conta com 63 usinas produtoras do biocombustível (figura 6) (SCARAMUZZO, 2011).



**Figura 6 – Mapa das usinas produtoras de biodiesel (In: SCARAMUZZO, 2011, p.1).**



## 4. BIODIESEL

Como já mencionado anteriormente o biodiesel é produzido a partir de recursos biológicos renováveis tais como óleos de vegetais e gorduras animais, é biodegradável e não tóxico, tem baixa emissão de poluente, sendo assim vantajoso ecologicamente (PEREIRA, 2007).

### 4.1. MATÉRIAS-PRIMAS PARA PRODUÇÃO DO BIODIESEL

O emprego de óleos vegetais como combustível é conhecido desde os primórdios do motor a diesel. Em 1900, em uma exposição em Paris, Rudolf Diesel mostrou ao público um motor (que leva o seu nome até hoje) funcionando com óleo de amendoim, o uso desse óleo foi um pedido do governo francês que, naquela época, possuía várias colônias tropicais que produziam esse óleo. Diesel teria conduzido outros experimentos em São Petersburgo, com locomotivas movidas a óleo de mamona e a óleos animais (DIB, 2010). Em 1937 Charles George Chavanne escreveu a primeira patente sobre a utilização de óleo vegetal para a produção de biodiesel, o óleo usado por Chavanne foi o óleo de palma africana (dendê) (DABDOUB; BRONZEL; RAMPIM, 2009). Em 1940 o Instituto Francês do Petróleo realizou diversos testes utilizando também o óleo de dendê para a produção do biodiesel, obtendo resultados extremamente satisfatórios (CARVALHO JUNIOR, 2010).

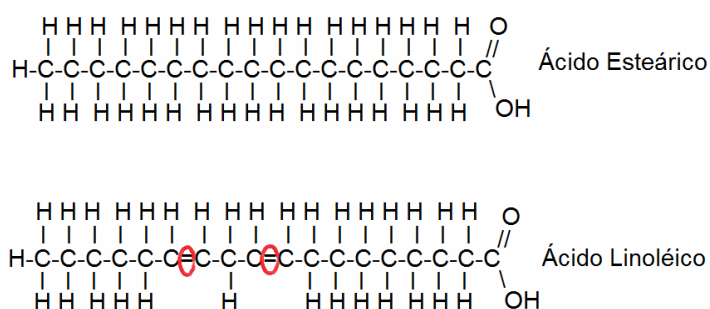
Outra oleaginosa cujo óleo é utilizado para produzir o biodiesel é o babaçu, o primeiro projeto de aproveitamento do babaçu para produção de biodiesel foi criado em 2004 pelo governo do Maranhão, o babaçu é mais explorado no Maranhão, Tocantins e Piauí (BIONDI; MONTEIRO; GLASS, 2008).

#### 4.1.1 Óleos vegetais

Todos os óleos vegetais provenientes de sementes, amêndoas ou polpas, podem ser transformados em biodiesel, assim como as gorduras os óleos vegetais são substâncias classificadas com lipídeos (OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008, PARENTE, 2003).

Os óleos vegetais são constituídos por uma mistura de diversos compostos químicos, sendo os mais importantes os ácidos graxos e seus derivados tais como mono-; di- ou tri-acilglicerídeos (triglicerídeos) (OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008).

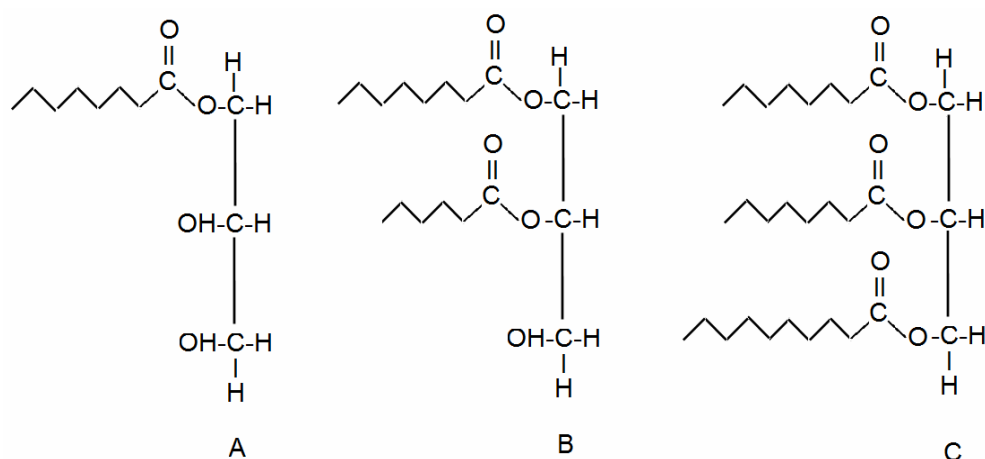
Os ácidos graxos são ácidos orgânicos lineares, que diferem no número de carbono que sua cadeia é constituída e pelo número de insaturações, duplas ou triplas ligações entre carbonos (figura 7), o número de insaturações, assim como o posicionamento dessas, refletem nos pontos de fusão dos óleos; quanto maior o número de insaturações, menor o ponto de fusão, por consequência disso, os óleos vegetais que possuem ácidos graxos com muitas insaturações são líquidos a temperatura ambiente (20°C). No entanto, cadeias que contém pouca ou nenhuma insaturação apresentam maior ponto de fusão, caracterizando-as como sólidas a temperatura ambiente como as gorduras, que são ricas em ácidos graxos saturados (OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008, ALVES, 2010).



**Figura 7 - Ácido graxo saturado (ácido esteárico), ácido graxo insaturado (ácido linoléico) (In: ALVES, 2010, p.20).**

Os derivados dos ácidos graxos são os glicerídeos que são ésteres de ácidos graxos formados pela esterificação entre os ácidos graxos e o glicerol. Esses

compostos são chamados de mono-, di- ou tri-acilglicerídeos, dependendo se uma, duas, ou três moléculas de ácido graxo se associam ao glicerol (figura 8) (OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008).



**Figura 8 - (A) Mono-, (B) Di- e (C) Tri-acilglicerídeos formados a partir dos ácidos graxos Capróico, Caprílico e Cáprico (In: OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008, p.5).**

Os óleos vegetais são constituídos principalmente de triglicerídeos (> 95 %) e pequenas quantidades de mono e diacilgliceróis (REDA; CARNEIRO, 2007).

Na tabela 1 segue a composição, em porcentagem, dos principais ácidos graxos encontrados em algumas oleaginosas.

| Ácido graxo          | Soja | Algodão | Milho | Oliva |
|----------------------|------|---------|-------|-------|
| Mirístico            | 0,1  | 1,0     | 0     | 0,1   |
| Palmítico            | 10,5 | 25,0    | 11,5  | 16,9  |
| Esteárico            | 3,2  | 2,8     | 2,2   | 3,9   |
| Oléico (Ômega 9)     | 22,3 | 17,1    | 26,6  | 63    |
| Linoléico (Ômega 6)  | 54,5 | 52,7    | 58,7  | 14,8  |
| Linolênico (Ômega 3) | 8,3  | 0       | 0,8   | 0,9   |

**Tabela 1 - Composição em ácidos graxos de algumas espécies de oleaginosas (In: ALVES, 2010, p. 22).**

O biodiesel pode ser produzido a partir de varias oleaginosas, como a soja, a mamona, o dendê, o girassol, a colza, o babaçu, entre outras, a escolha da matéria-prima varia de uma localização a outra de acordo com a disponibilidade, a viabilidade econômica, e as condições geográficas e climáticas do local (figura 9) (KNOTHE et al., 2006, PARENTE, 2003).



**Figura 9 - Mapa das regiões e das oleaginosas para a produção de biocombustível (In: CHRISTOFF, 2006, p.12).**

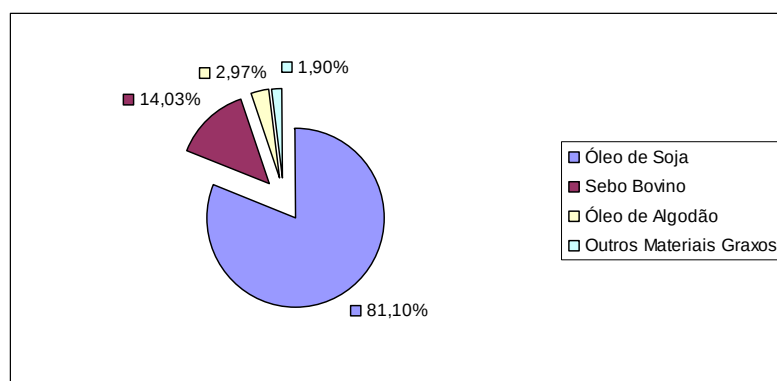
Além dos óleos vegetais também se pode utilizar gorduras animais, e óleos residuais, esses são grandes promissores para a produção de biodiesel, devido seu baixo custo e preservação ambiental (KNOTHE et al., 2006).

#### **4.1.2 Gorduras animais**

As gorduras de animais possuem estruturas químicas semelhantes as dos óleos vegetais, sendo moléculas triglicéridicas de ácidos graxos. As diferenças estão nos tipos e distribuições dos ácidos graxos combinados com o glicerol (PARENTE, 2003).

Alguns exemplos de gorduras de animais, possíveis de serem transformados em biodiesel são: o sebo bovino, os óleos de peixes, a banha de porco, entre outras matérias graxas de origem animal (PARENTE, 2003).

A gordura animal (na quase totalidade, sebo bovino) é a segunda matéria-prima mais utilizada para a produção de biodiesel no Brasil, atrás apenas do óleo de soja e bem na frente do óleo de algodão e das oleaginosas que são a aposta principal do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), como a mamona, a canola ou o girassol. Em junho de 2009, o sebo bovino respondeu por 14,03% do total produzido, enquanto o óleo de soja representou 81,10%, o óleo de algodão ficou com 2,97% e as demais matérias-primas, juntas somam apenas 1,90% da produção de biodiesel no período (figura 10) (GOMES et al., 2009).



**Figura 10 - Percentual de matéria-prima utilizada na produção de biodiesel (In: GOMES et al., 2009, p. 7).**

Apesar de ser produzida no Brasil de forma bem distribuída pelo território nacional, ser relativamente barata e ter logística estabelecida, a gordura animal apresenta uma desvantagem técnica para a produção de biodiesel, o biodiesel de sebo tende a ficar sólido em regiões de baixa temperatura. No Brasil, é uma desvantagem significativa para a região Sul do país, outra desvantagem é que o sebo bovino tem maior custo de pré-processamento do que outras matérias-primas possíveis, devido às características físico-químicas, que não são tão uniformes quanto às de outras alternativas (GOMES et al., 2009, SALVADOR, 2009).

A produção de biodiesel com foco no aproveitamento da gordura animal está concentrada em quatro Estados: São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Rondônia (GOMES et al., 2009).

#### **4.1.3 Óleos residuais**

Os óleos vegetais desempenham um papel importante na indústria alimentícia, sendo utilizados para a cocção de alimentos em processos de fritura, melhorando as características sensoriais dos alimentos como sabor, odor e textura, em contrapartida este sendo utilizado por longos períodos afetam as características sensoriais do óleo em uso e influenciam na aceitabilidade do produto frito, além de acarretar a formação de compostos com propriedades antinutricionais, entre eles, irritantes gastrointestinais e agentes mutagênicos ou carcinogênicos, resultando assim em um grande volume de resíduo indesejado (MENDONÇA et al., 2008, COSTA NETO et al., 2000, REDA; CARNEIRO, 2007).

Os processos de fritura podem ser contínuo (o óleo fica continuamente sob aquecimento) e intermitente (o óleo é aquecido para uma refeição, esfria e é reaquecido posteriormente para o preparo da refeição seguinte, como no processo caseiro), esses processos provocam a degradação do óleo por reações tanto hidrolíticas quanto oxidativas (MENDONÇA et al., 2008). Segundo Alves (2010), na degradação hidrolítica, tem-se a hidrólise de óleos e gorduras, da qual se originam os ácidos graxos livres. Esse tipo de deterioração pode ser provocado pela umidade, altas temperaturas e pode ser agravado pela quantidade de repetições as quais foram utilizadas na fritura dos óleos.

A degradação oxidação é a principal responsável pela modificação das características físico-químicas e organolépticas do óleo, algumas das quais são visíveis como o escurecimento, aumento da viscosidade, formação de espuma, fumaça e odor desagradável chamado popularmente de ranço (MENDONÇA et al., 2008, COSTA NETO et al., 2000, REDA; CARNEIRO, 2007).

Grande quantidade desse óleo de fritura gerado é destinado a produção de sabão, massa de vidraceiro e ração animal, mas boa parte de seu volume é inaproveitado

sendo seu descarte feito incorretamente em pias, vasos sanitários e até mesmo em aterros sanitários, vindo a poluindo rios, solos, e o ar, provocando também transtornos sociais como enchentes pois o óleo têm a capacidade de impermeabilizar o solo, esse resíduo também contribui para o entupimento dos encanamentos (COSTA NETO et al., 2000, FERNANDES et al., 2008, DIB, 2010).

Segundo Alves (2010) a presença do óleo residual além de acarretar problemas de origem estética e de higiene, esse resíduo ainda proporciona danos à vida marinha, pois devido a menor densidade do óleo em relação à água, o óleo fica na superfície, criando uma barreira que dificulta a entrada da luz e a oxigenação da água, o que traz danos a todos que pertencem aquele ecossistema.

Dessa forma a empregabilidade desse óleo residual para a produção de biodiesel, além de contribuir com o descarte correto desse óleo e com a preservação ambiental, essa ação também é um fator de geração de renda para os coletores, e também a sua inclusão social (MARTINIANO et al., 2010). Contudo além das características físicas e químicas como cor, aspecto visual, viscosidade, ainda devem ser levados em conta outros aspectos que podem viabilizar ou não o aproveitamento do óleo residual para a produção do biocombustível, na tabela 2 são apresentados esses aspectos com os principais tipos de resíduos gordurosos, sua disponibilidade e qualidade para seu uso como combustível alternativo. Esta tabela demonstra que a origem do resíduo irá determinar sua disponibilidade, qualidade e custo para utilização como combustível (COSTA, 2011).

| <b>Óleo e Gordura Residual</b>                                                                           | <b>Custo</b> | <b>Qualidade</b> | <b>Volume</b> | <b>Preparo</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------|---------------|----------------|
| De fritura comercial                                                                                     | 0            | +                | ++            | +              |
| De fritura residencial                                                                                   | 0            | ++               | -             | ++             |
| De fritura industrial                                                                                    | -            | +                | ++            | +              |
| De matadouros e frigoríficos                                                                             | 0            | -                | ++            | -              |
| Do tratamento de esgoto                                                                                  | +            | --               | +             | --             |
| <b>(++) muito favorável, (+) favorável, (0) satisfatório, (-) desfavorável, (--) muito desfavorável.</b> |              |                  |               |                |

**Tabela 2 - Principais tipos de resíduos gordurosos e sua disponibilidade/qualidade para uso como combustível (In: COSTA , 2011, p.4).**

Atualmente existem vários projetos voltados a reutilização do óleo usado, objetivando reduzir a contaminação provocada por esse resíduo, resultando na conscientização da população e a inserção de produtos no mercado como o sabão, o biodiesel e a ração animal, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e para a geração de empregos e renda. Em diversas regiões do Brasil é possível encontrar pontos de coleta, programas de conscientização, projetos, estações de reciclagem ou até mesmo empresas de beneficiamento de óleo vegetal usado (FREITAS, 2008, COSTA NETO et al., 2000, MENDES, 2012).

Na região de Belo Horizonte se localiza uma empresa de reciclagem de óleo vegetal usado em frituras, nomeada de Recóleo, essa empresa conta com pontos de coletas espalhados pela cidade, depois de coletado o óleo é transportado para a Recóleo, onde ele é purificado. O óleo já tratado é bombeado para os tanques de estocagem e encaminhado para a produção de ração animal e o biodiesel (FREITAS, 2008).

Já no Ceará existem estações de reciclagem do Grupo Pão de Açúcar que arrecadam óleo de cozinha usado, essa iniciativa já possibilitou a arrecadação de 5,9 mil litros de óleo usado, até dezembro de 2010. Além das doações da população as próprias lojas do Pão de Açúcar e Extra doam todo óleo de cozinha usado, depois de arrecadado esse resíduo é destinado à Cruz Vermelha Brasileira do Ceará, que através do Projeto Óleo Sustentável, transforma o óleo usado em biodiesel e sabão de barra (CRISPIM, 2011).

Na Grande São Paulo também podem ser encontrados projetos voltados ao beneficiamento de óleo usado, um desses projetos é o para a criação dos carrinhos de coleta de óleo, que foi desenvolvido pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (Abes) e pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), esse projeto se torna interessante devido seu objetivo ser a inserção de pessoas carentes no mercado de trabalho, pois, os coletores percorrem os bairros da cidade de São Paulo como o da Lapa coletando óleo de cozinha nas residências, onde eles poderão vender o óleo para empresas que o reciclam para a produção de biodiesel e sabão (MENDES, 2012).

No interior de São Paulo também é possível encontrar projetos que estimulam a reciclagem de óleo de cozinha usado, um desses projetos é o chamado WVerde que



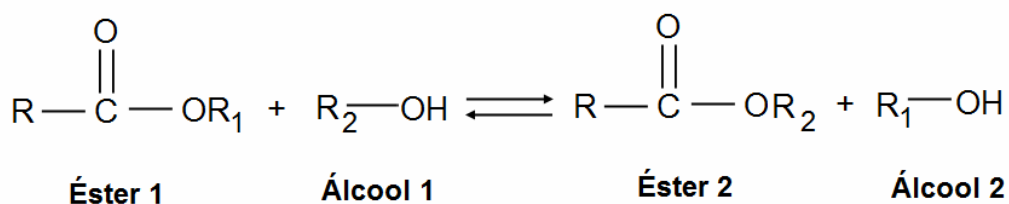
atua na região de Assis, para estimular a doação do óleo usado o projeto propõe a troca do óleo usado por detergentes e sabão líquidos. O projeto WVerde pretende estender a iniciativa para toda a região, ele já conta com dez pontos de coleta, vários voluntários que visitam as residências informando sobre a existência do projeto, seu objetivo, e a localização dos pontos de coleta. O WVerde conta também com o apoio de algumas entidades do município, supermercados, padarias, lojas, que são pontos de coleta do óleo (BERGAMASCO, 2010).

## 4.2 PROCESSOS DE OBTENÇÃO DO BIODIESEL

O biodiesel pode ser obtido por dois processos de produção: a transesterificação e a esterificação.

### 4.2.1 Transesterificação

A transesterificação é um termo geral usado para descrever a reação orgânica onde um éster é transformado em outro éster através da troca do grupo alcoxila (figura 11). Esta reação é reversível e prossegue essencialmente misturando os reagentes. A presença de um catalisador (ácido ou base) acelera consideravelmente esta conversão, como também contribui para aumentar o rendimento da mesma (CASTRO, 2009, GERIS et al., 2007).

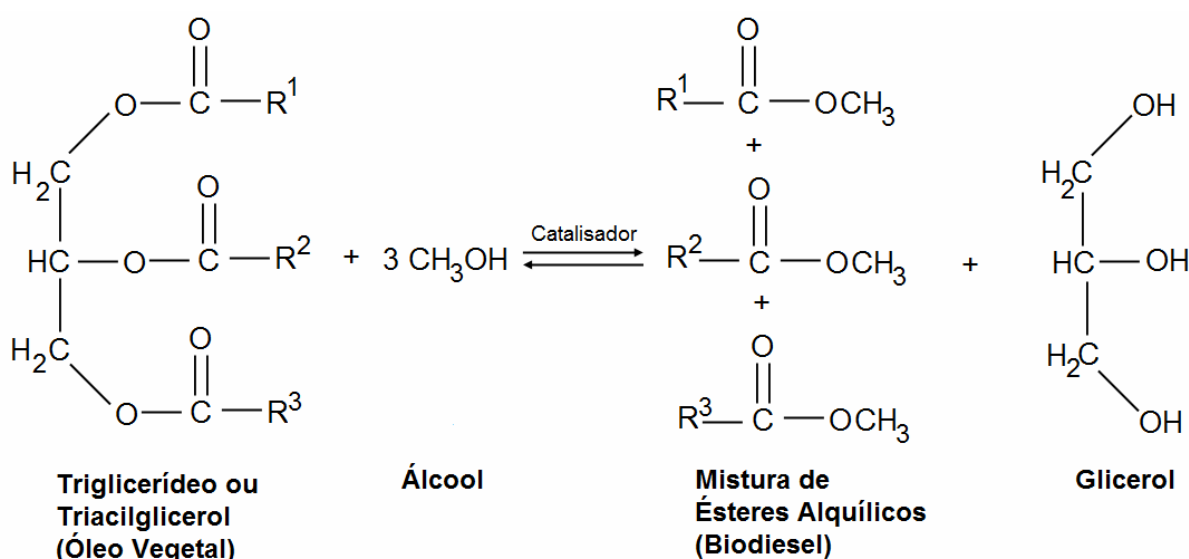


**Figura 11 - Equação geral para uma reação de transesterificação (In: GERIS et al., 2007, p.1370).**

A transesterificação é o método mais comum e utilizado em todo o mundo, na transesterificação de óleos vegetais, um triglicerídeo reage com um álcool de cadeia

curta tipicamente metanol ou etanol, na presença de uma base ou ácido forte normalmente de Bronsted, produzindo uma mistura de ésteres de ácidos graxos e glicerol como subproduto (figura 12) (GERIS et al., 2007, KNOTHE et al., 2006, RINALDI et al., 2007).

Para uma transesterificação estequiometricamente completa, uma proporção molar 3:1 de álcool por triglicerídeo é necessária, entretanto, devido ao caráter reversível da reação, se faz necessário adicionar um excesso de álcool contribuindo para aumentar o rendimento do biodiesel e permitir a sua separação do glicerol formado (GERIS, et al., 2007).



**Figura 12 - Transesterificação de triglicerídeo, onde R1, R2, R3, representam as cadeias carbonícas dos ácidos graxos (In: RINALDI et al., 2007, p.1375).**

A transesterificação pode ocorrer tanto em meio básico como em meio ácido (GERIS et al., 2007).

#### 4.2.1.1 Transesterificação catalisada por base

A transesterificação catalisada por base é a mais utilizada por apresentar um maior rendimento, menor corrosividade, e a vantagem de poder ser realizada em

temperaturas ambiente, além disso, a transesterificação catalisada por base é uma reação mais rápida, porque o ânion metóxido é nucleófilo muito mais poderoso que o metanol, o que facilita o ataque ao grupo éster do triglicerídeo, resultando na formação mais rápida do biodiesel (QUINTELLA et al., 2009, RINALDI et al., 2007).

Os principais catalisadores básicos empregados são o hidróxido de sódio (NaOH) e o hidróxido de potássio (KOH), entretanto, para que este processo seja tecnicamente viável, o óleo deve conter baixo teor de ácidos graxos livres, pois quando a quantidade de AGL for superior a 3%, este reage com o metal do catalisador produzindo sabões, que além de reduzir o rendimento da reação, dificultam também a separação do biodiesel e do glicerol devido a formação de emulsões. Outro requisito importante é que o material graxo possua baixo teor de umidade, é aconselhável que o índice de umidade do material não ultrapasse 0,10%, a presença de água pode induzir a hidrólise dos monoésteres produzidos, aumentando assim a possibilidade da formação de emulsões e de uma consequente redução no rendimento do processo (FELICIANO; PEREIRA, 2007, CORDEIRO et al., 2011, ALVES, 2010).

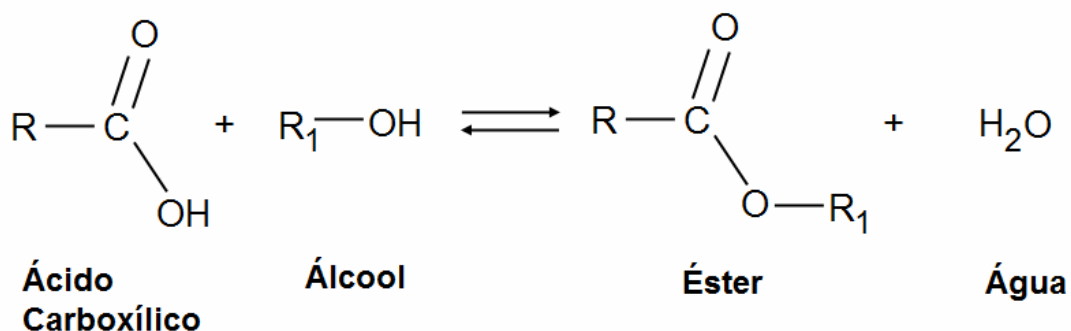
#### 4.2.1.2 Transesterificação catalisada por ácido

A transesterificação catalisada por ácido é indicada quando a matéria-prima apresenta um teor de ácido graxo livre mais elevado, porém essa catalise ácida é menos utilizada, pois as reações são lentas e requer que seja realizada em altas temperaturas, próxima da temperatura de ebulição do álcool utilizado como agente de transesterificação (CORDEIRO et al., 2011, QUINTELLA et al., 2009).

#### 4.2.2 Esterificação

O processo de esterificação consiste na reação de um ácido graxo com um mono-álcool para formar ésteres. As reações de esterificação são facilitadas através do aumento da temperatura do meio reacional e da presença de catalisadores ácidos,

como ácido sulfúrico ou ácido clorídrico. A reação geral de esterificação (figura 13) (OLIVEIRA; SUAREZ; SANTOS, 2008, BARBOZA; THOMÉ, 2010).



**Figura 13 - Reação de esterificação, na qual R e R1 são radicais diferentes (In: Alves, 2010, p. 34).**

O processo de esterificação para a produção de biodiesel, apresenta como principais vantagens, a possibilidade de produção desse combustível a partir de resíduos de baixo valor agregado e a formação apenas de água como subproduto (BARBOZA; THOMÉ, 2010).

#### 4.3 QUALIDADES FUNDAMENTAIS DO BIODIESEL: FATORES QUE INFLUENCIAM E ESPECIFICAÇÕES.

Para garantir a qualidade do biodiesel é necessário estabelecer padrões de qualidade, fixando teores limites dos contaminantes que possam vir a prejudicar a qualidade das emissões da queima, bem como o desempenho, a integridade do motor e a segurança no transporte, manuseio e estocagem, além disso, a fonte de matéria prima é um fator muito importante, pois a sua composição e características físico-químicas influenciam diretamente na qualidade do biocombustível. Para que o biodiesel seja aceito no mercado e para que seja tecnicamente viável para motores diesel é imprescindível que esteja em conformidade com determinadas especificações. Os parâmetros que constituem as especificações de controle de qualidade do biodiesel podem ser divididos em parâmetros gerais, também utilizados

na especificação do óleo diesel, e em parâmetros criados para a especificação do biodiesel – definidos pela composição química e pureza dos ésteres monoalquílicos de ácidos graxos (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009; ALVES, 2010, GARCIA, 2006).

No Brasil, as especificações dos padrões de qualidade do biodiesel são estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), através da Resolução nº 07 de 2008 (RANP 07/08) que substituiu a Resolução nº 42 de 2004, tornando os critérios de avaliação da qualidade do biodiesel brasileiro mais restritivos (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

#### **4.3.1 Densidade**

A densidade é um parâmetro importante na qualidade do biodiesel e pode ser diretamente relacionada com a pureza do produto obtido, fatores como reação incompleta, a presença de mono, di e triglicerídeos ou a presença de glicerina, devido à purificação ineficiente, promovem mudanças na densidade, desta forma, podemos associar essa propriedade física com o grau de pureza do óleo biodiesel preparado (FROEHNER; LEITHOLD; JÚNIOR, 2007).

#### **4.3.2 Viscosidade**

A propriedade fluidodinâmica de um combustível, importante no que diz respeito ao funcionamento de motores diesel, é a viscosidade, que é a medida da resistência interna ao escoamento de um líquido, a viscosidade do biodiesel aumenta com o comprimento da cadeia carbônica e com o grau de saturação (COSTA NETO et al., 2000, LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009, PARENTE, 2003).

#### **4.3.3 Índice de acidez**

A determinação da acidez pode fornecer um dado importante na avaliação do estado de conservação do óleo. A decomposição dos triglicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz (SILVA FILHO, 2010). Um biodiesel com alto índice de

acidez pode levar à formação de sabão, à depósitos e à corrosão no motor (ARICETTI et al., 2009)

#### **4.3.4 Índice de iodo**

O índice de iodo é a propriedade que está relacionada com o total de insaturações presentes no biodiesel (TUBINO et al., 2009).

#### **4.3.5 Poder de solvência**

O biodiesel, sendo constituído por uma mistura de ésteres de ácidos carboxílicos, solubiliza um grupo muito grande de substâncias orgânicas, incluindo-se as resinas que compõem as tintas (PARENTE, 2003).

#### **4.3.6 Ponto de névoa e ponto de fluidez**

Inicialmente, o abaixamento da temperatura causa formação de núcleos de cristais parafínicos, que são invisíveis a olho nu. Decréscimos ainda maiores da temperatura causam o crescimento destes cristais. A temperatura em que os cristais se tornam visíveis é definida como o ponto de névoa, porque os cristais geralmente formam suspensão enevoadas. A temperaturas abaixo do ponto de névoa cristais maiores fundem-se uns aos outros e formam grandes aglomerados que podem restringir ou impedir o fluxo livre do combustível em tubulações e filtros, essa temperatura é chamada de ponto de fluidez, ou seja, é a temperatura em que o líquido não mais escoar livremente. Estas propriedades são consideradas importantes no que diz respeito à temperatura ambientes onde o combustível deva ser armazenado e utilizado, a baixa temperatura, o biodiesel tende a solidificar-se parcialmente ou a perder sua fluidez, levando à interrupção do fluxo do combustível, ocasionando problemas na partida do motor (KNOTHE et al., 2006, PARENTE, 2003).

#### 4.3.7 Ponto de fulgor

O ponto de fulgor é a temperatura mínima onde é observada a liberação de vapores de um líquido, em quantidade suficiente para formar uma mistura inflamável com o ar. Para o biodiesel, os valores de ponto de fulgor são, consideravelmente, mais elevados que os valores encontrados para o diesel mineral. O ponto de fulgor é um parâmetro muito importante quanto à segurança no armazenamento, no manuseamento e no transporte, principalmente quando a transesterificação foi realizada com metanol que, além de altamente inflamável, apresenta elevada toxidez (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009, PARENTE, 2003).

| CARACTERÍSTICAS                               | UNIDADE            | Brasil<br>ANP 07/2008         | UE<br>EM 14214                    | EUA<br>ASTM D6751          |
|-----------------------------------------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Aspecto                                       | ---                | Límpido e isento de impurezas | ---                               | ---                        |
| Massa específica *                            | kg/m <sup>3</sup>  | 850-900 a 20 °C               | 860-900 a 15 °C                   | ---                        |
| Viscosidade cinemática a 40 °C *              | mm <sup>2</sup> /s | 3,0-6,0                       | 3,5-5,0                           | 1,9-6,0                    |
| Água e sedimentos, máx. *                     | % volume           | ---                           | ---                               | 0,05                       |
| Ponto de fulgor, mín. *                       | °C                 | 100                           | 120                               | 130                        |
| Destilação; 90% vol. recuperados, máx. *      | °C                 | ---                           | ---                               | 360                        |
| Resíduo de carbono dos, máx. *                | % massa            | Em 100% da amostra<br>0,050   | 10% residual da destilação<br>0,3 | Em 100% da amostra<br>0,05 |
| Cinzas sulfatadas, máx. *                     | % massa            | 0,020                         | 0,02                              | ---                        |
| Enxofre total, máx. *                         | mg/kg              | 50                            | 10                                | 15                         |
| Corrosividade ao cobre, 3 h a 50 °C, máx. *   | -                  | 1                             | 1                                 | 3                          |
| Número de cetanos *                           | -                  | Anotar                        | 51 (mín.)                         | 47 (mín.)                  |
| Ponto de entupimento de filtro a frio, máx. * | °C                 | 19                            | Por região                        | ---                        |
| Ponto de fluidez ( <i>pour point</i> - PP) *  | °C                 | ---                           | Por região                        | ---                        |
| Ponto de nuvem ( <i>cloud point</i> - CP) *   | °C                 | ---                           | ----                              | Registrar                  |
| Sódio + Potássio, máx                         | mg/kg              | 5                             | 5                                 | ---                        |
| Cálcio + Magnésio, máx                        | mg/kg              | 5                             | 5                                 | ---                        |

|                                                        |                         |        |           |      |
|--------------------------------------------------------|-------------------------|--------|-----------|------|
| Fósforo, máx                                           | mg/kg                   | 10     | 10        | 10   |
| Contaminação total, máx                                | mg/kg                   | 24     | 24        | ---  |
| Teor de éster , min.                                   | % massa                 | 96,5   | 96,5      | ---  |
| Índice de acidez, máx.                                 | mg KOH/g                | 0,50   | 0,5       | 0,5  |
| Glicerina livre, máx.                                  | % massa                 | 0,02   | 0,02      | 0,02 |
| Glicerina total, máx.                                  | % massa                 | 0,25   | 0,25      | 0,24 |
| Monoglicerídeos                                        | % massa                 | Anotar | 0,8 (máx) | ---  |
| Diglicerídeos                                          | % massa                 | Anotar | 0,2 (máx) | ---  |
| Triglicerídeos                                         | % massa                 | Anotar | 0,2 (máx) | ---  |
| Metanol ou Etanol, máx.                                | % massa                 | 0,20   | 0,20      | ---  |
| Índice de iodo                                         | g I <sub>2</sub> /100 g | Anotar | 120 (máx) | ---  |
| Estabilidade à oxidação a 110 °C, mín                  | h                       | 6      | 6         | ---  |
| Água, máx                                              | mg/kg                   | 500    | 500       | 500  |
| Ácido linolênico                                       | % massa                 | ---    | 12 max    | ---  |
| Metil ésteres com mais que 4 insaturações              | %massa                  | ---    | 1 max     | ---  |
| * Parâmetros típicos da normatização do diesel mineral |                         |        |           |      |

**Tabela 3 – Padrões de qualidade do biodiesel (In: LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).**



## 5. APLICAÇÃO NO ENSINO MÉDIO

Para o ensino médio, a proposta de ensino é mostrar como a partir de um resíduo o óleo utilizado em fritura, pode-se produzir produtos diferentes como o biodiesel e o sabão, empregando a matéria teórica do ensino médio vista em sala de aula, evidenciando a importância da reciclagem, da preservação e a conscientização ambiental.

### 5.1 A IMPORTÂNCIA DA EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA

Tendo em vista que o ensino de química no ensino médio está carente de aulas práticas, vê-se a necessidade de investir nesta vertente de prática educativa, a aula experimental pode ser considerada uma estratégia pedagógica dinâmica, que tem a função de gerar problematizações, discussões, questionamentos e buscas de respostas e explicações para os fenômenos observados, possibilitando a construção de uma ponte entre o conhecimento escolar e o mundo cotidiano dos alunos (SILVA; MACHADO, 2008, COSTA et al., 2009, BENITE, 2009).

A experimentação desperta um forte interesse entre os alunos em diversos níveis de escolarização. Em seus depoimentos, os alunos também costumam atribuir à experimentação um caráter motivador, lúdico, essencialmente vinculado aos sentidos, a experimentação também aumenta a capacidade de aprendizado, pois funciona como meio de envolver o aluno nos temas que estão em pauta (GIORDAN, 2003). Porém aulas que utilizam o recurso da experimentação por si só não são suficientes para fornecer conhecimentos teóricos, há a necessidade de um relacionamento interativo e interdependente onde os experimentos auxiliam a construção da teoria e a esta determina os tipos de experimentos que podem ser conduzidos (BENITE, 2009).

## 5.2 CONSCIENTIZAÇÃO AMBIENTAL

A problemática ambiental está presente no nosso meio e tem representado um desafio para a escola. Há necessidade de que a sociedade faça uma reflexão contínua de sua relação com o ambiente, e avalie suas ações, valores, atitudes e expectativas (FRISON; PINO; CERETTA, 2009).

Sabe-se que para formarmos cidadãos ecologicamente conscientes a educação ambiental tem que se intensificar nas instituições de ensino. Assim, a educação ambiental deve ser vista como um processo permanente de aprendizagem e um instrumento capaz de sensibilizar e capacitar as pessoas para a compreensão dos problemas ambientais e para o desenvolvimento da consciência ambiental. Assim sendo nesse trabalho estão descritos alguns problemas trazidos pelo descarte incorreto do óleo utilizado em fritura ao meio ambiente e lança uma alternativa para seu reaproveitamento com a produção do biodiesel e o sabão (FRISON; PINO; CERETTA, 2009, COSTA et al., 2009).

## 5.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 5.3.1 Produção de sabão

Os alunos serão divididos em grupos, onde cada grupo produzirá o sabão, eles irão precisar de: 90 mL de óleo de cozinha usado e filtrado, 16 mL de água suficiente para dissolver o hidróxido de sódio, 16 g de soda cáustica (NaOH) e chama para o aquecimento do óleo. Os alunos deverão colocar o óleo em um recipiente fundo e o aquecerão até que fique morno, por volta de 60°C. Após isso, os alunos deverão transferir a soda em escamas para um recipiente cuidadosamente, e colocar lentamente com cuidado a água, deverá se mexer até que todas as escamas da soda desapareçam. A solução da soda deverá ser adicionada ao óleo aquecido, e deverá se mexer sem parar, por aproximadamente 30 minutos, até engrossar. Essa mistura será colocada em uma forma e deverá se esperar 3 dias para desenformar. Estará pronto o sabão (GUIMARÃES, 2007).

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

### 6.1 MATERIAIS E REAGENTES

- Balão Volumétrico de 25 mL; 50 mL; 100 mL; 250 mL.
- Bastão de Vidro;
- Béquer de 50 mL, 100 mL, 250 mL;
- Bureta de 25 mL;
- Cadinho de Porcelana;
- Erlenmeyers de 125 mL, 250 mL;
- Espátulas;
- Funil;
- Funil de Decantação de 250 mL e 500 mL;
- Garras;
- Peneira;
- Pipeta de 10 mL e 20 mL;
- Pipeta de Pauster;
- Pisseta;
- Proveta de 25 mL, 50 mL, 250 mL, 500 mL;
- Rolha Esmerilhada;
- Suporte Universal;
- Tecido Jeans;
- Termômetro;
- Agitador Mecânico com Aquecimento;
- Balança Analítica;

- Dessecador;
- Estufa;
- Viscosímetro;
- Ácido Clorídrico Concentrado;
- Álcool Etílico Absoluto;
- Água Destilada;
- Amido Solúvel;
- Biftalato de Potássio;
- Cloreto de Sódio;
- Clorofórmio;
- Dicromato de Potássio;
- Éter Etílico;
- Fenolftaleína 1%;
- Hidróxido de Potássio;
- Hidróxido de Sódio;
- Iodeto de Potássio;
- Iodo;
- Metanol;
- Óleo de Soja (usado na fritura de salgados);
- Tiosulfato de Sódio.

## 6.2 MÉTODOS

### 6.2.1 Coletas dos óleos residuais

Inicialmente foram definidos dois pontos de coleta que foram os fornecedores do óleo residual, os óleos foram coletados em dois períodos de tempo diferentes de uso, sendo um de quatro dias e o outro de 8 dias em um volume máximo de 600mL por coleta, um terceiro período de 12 dias foi obtido se saturando o óleo de 8 dias, além desses três períodos também se utilizou uma amostra de óleo sem uso para a produção do biodiesel (figura 14). As amostras foram numeradas segundo o tempo de exposição do óleo na fritura e foram armazenadas em recipientes plásticos para análises posteriores.

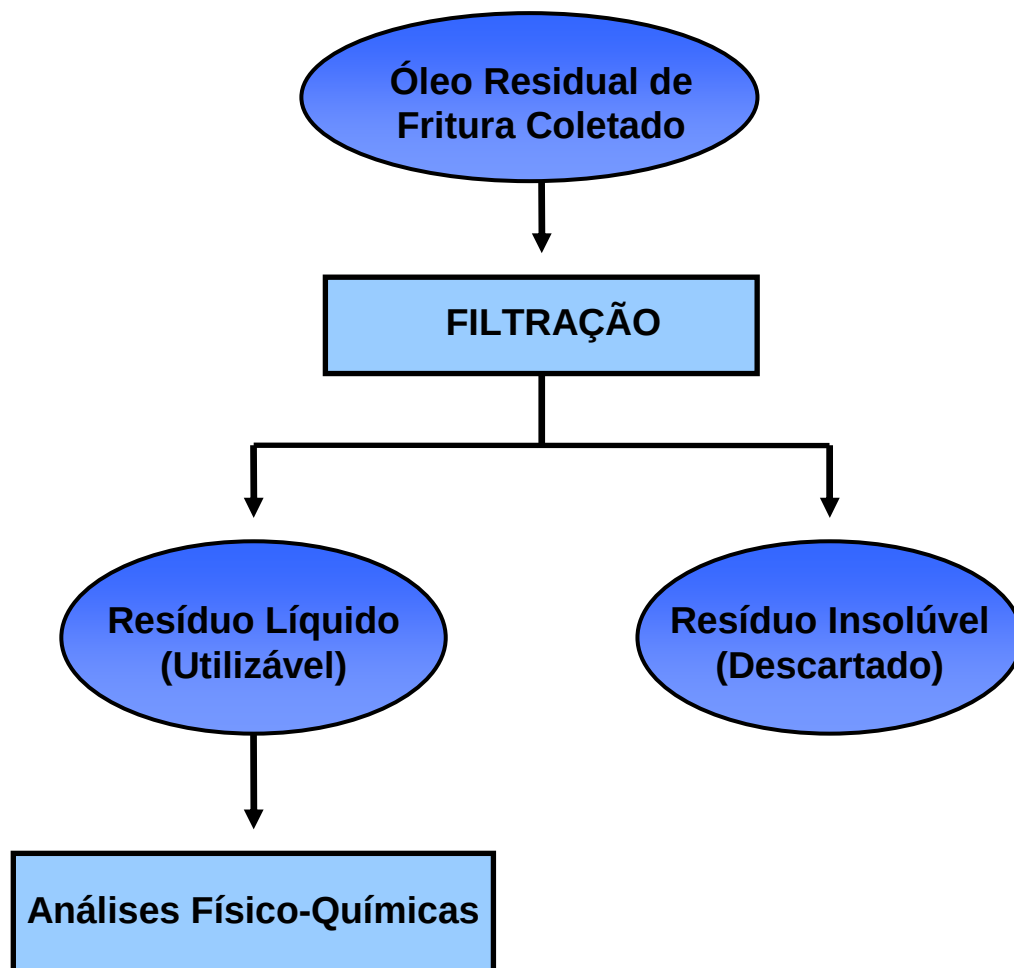


**Figura 14 – Amostra de óleos coletados devidamente identificados.**

### 6.2.2 Tratamento da matéria-prima

Os óleos residuais foram filtrados utilizando-se um sistema de filtragem, onde o óleo reciclado passa por uma peneira, após isso ele foi filtrado em um tecido grosso jeans, para reter todos os resíduos sólidos em suspensão. A princípio, não foram realizadas filtração dos óleos com materiais de custo elevado, devido a questões de viabilidade econômica, com foco para as cooperativas utilizarem esse sistema, para agregar valor ao óleo residual elevando seu lucro (DIAS, 2011).

As principais etapas envolvidas no tratamento do óleo residual estão apresentadas esquematicamente (figura 15).



**Figura 15 – Tratamento dos resíduos gordurosos coletados em Quatá.**

#### 6.2.2.1 Análises físico-químicas do óleo de soja residual

##### 6.2.2.1.1 Umidade

O teor de umidade foi determinado pesando-se de 2g a 10g da amostra em um cadinho de porcelana previamente tarado e aquecido em estufa por 3 horas a

105°C. Após este período a amostra foi resfriada em dessecador até a temperatura ambiente, e depois pesada. A operação de aquecimento e resfriamento foi repetida até peso constante. A umidade foi calculada de acordo com a equação (1) (figura16) (SILVA FILHO, 2010).

$$\text{Umidade \% (m/m)} = \frac{100 \times N}{P}$$

**Figura 16 – Equação (1) - Onde N é o número de gramas de umidade (perda de massa em g) e P é o número de gramas da amostra (In: SILVA FILHO, 2010, p. 26).**

#### 6.2.2.1.2 Índice de acidez

As amostras estavam bem homogêneas e completamente líquidas. Pesou-se 2g da amostra em frasco erlenmeyer de 125mL. Foi adicionado 25mL de solução de éter-alcool (2:1) neutra, duas gotas do indicador fenolftaleína. Titulou com solução de hidróxido de sódio 0,1M até o aparecimento da coloração rósea, a qual persistiu por 30 segundos. O índice de acidez em mg de KOH/g de óleo foi calculado segundo a equação (2) (figura 17) (SILVA FILHO, 2010).

$$\text{I.A (mg KOH/ g óleo)} = \frac{V \times F \times 5,61}{P}$$

**Figura 17 – Equação (2) - Onde V = número de mL de solução de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação, F = fator da solução de hidróxido de sódio, P = número de g da amostra (In: SILVA FILHO, 2010, p. 28).**

#### 6.2.2.1.3 Ácidos graxos livres

Esse método determina a porcentagem de ácidos graxos livres, expressa como ácido oléico, em óleos comuns, brutos e refinados. Determina a qualidade do óleo para consumo ou como carburantes (DANTAS, 2006).

Pesou-se 5g da amostra em um erlenmeyer e se adicionou 50mL de álcool etílico, previamente neutralizado com NaOH 0,1mols/L, foi utilizado 0,5mL de solução etanólica de fenolftaleína a 1% como indicador. Em seguida a solução foi aquecida sobre uma placa térmica até apresentar sinais de ebulição. Depois titulou-se com solução aquosa de NaOH 0,1mols/L, até coloração rósea persistente. O teor de ácido graxo livre foi calculado segundo a equação (3) (figura 18) (DANTAS, 2006).

$$\text{Ácidos Graxos Livres \%} = \frac{V \times F \times 2,82}{P}$$

**Figura 18 – Equação (3) - Onde V = número de mL de solução de hidróxido de sódio 0,1M gasto na titulação, F = fator da solução de hidróxido de sódio, P = número de g da amostra (In: DANTAS, 2006, p. 40).**

### 6.2.3 Preparo de soluções

#### 6.2.3.1 Preparação e padronização da solução de NaOH 0,1mols/L

Pesou-se 2,0001g de hidróxido de sódio em balança analítica, esta massa foi diluída em pouca quantidade de água destilada, posteriormente essa solução foi transferida para um balão volumétrico de 500mL, completando até o menisco.

Transferiu-se 25mL da solução de NaOH para uma bureta.

Pesou-se 2,04122g de biftalato de potássio em balança analítica, essa massa foi transferida para um béquer de 50mL, procedeu-se agitação até a completa



dissolução do sal, transferiu-se essa solução para um balão volumétrico de 100mL, completando até o menisco.

Por meio de uma pipeta volumétrica foram transferidos 20mL da solução de biftalato de potássio para um erlenmeyer de 250mL, adicionou-se 20mL de água destilada e 3 gotas do indicador fenolftaleína. Procedeu-se a titulação com a solução de NaOH até a mudança de cor do indicador. Anotou-se o volume gasto.

#### 6.2.3.2 Preparação da solução de iodo 0,1mols/L

Pesou-se em uma balança analítica 2,5500g de iodo e foram dissolvidos em 20mL de água destilada, pesou-se 7,2222g de iodeto de potássio, essa massa foi dissolvida em água destilada, foram transferidos ambos para um balão volumétrico de 250mL e completou-se até o menisco (RAMÃO, 2003).

#### 6.2.3.3 Preparação da solução de iodeto de potássio 15%

Pesou-se em balança analítica 15,0011g de iodeto de potássio, diluiu-se essa massa em pequena quantidade de água destilada, e foi transferido para um balão volumétrico de 100mL e completou-se até o menisco (RAMÃO, 2003).

#### 6.2.3.4 Preparação da solução neutra de éter-etílico, álcool-etílico (2:1)

Foram medidos 300mL de éter etílico e 150mL de álcool-etílico. Os volumes foram misturados e a solução foi armazenada em frasco âmbar (PEREIRA, 2007).

#### 6.2.3.5 Preparação da solução saturada de NaCl

Foi adicionado NaCl em 200mL de água destilada até a formação de um corpo de fundo (PEREIRA, 2007).

#### 6.2.3.6 Preparação da solução indicadora de amido

Pesou-se 1g de amido solúvel, essa massa foi diluída em pequena quantidade de água, despejou-se essa solução em um béquer com 105mL de água destilada em fervura, deixou-se ferver por 5 minutos. Após foi resfriada. (RAMÃO, 2003).

#### 6.2.3.7 Preparação e padronização da solução de tiosulfato de sódio 0,1mols/L

Pesou-se em balança analítica 2,4216g de tiosulfato de sódio, essa massa foi diluída em pouca quantidade de água destilada e foi transferida para um balão volumétrico de 100mL, e se completou até o menisco.

Pesou-se em balança analítica 0,2508g de dicromato de potássio 0,017mol/L, essa massa foi diluída em pouca quantidade de água destilada e se transferiu para um balão volumétrico de 50mL, e completou-se até o menisco.

Transferiu-se 100mL de água destilada, recém fervida e fria num erlenmeyer de 250mL, preferencialmente com rolha esmerilhada. Acrescentou-se 3g de KI, isenta de iodato, posteriormente acrescentou-se lentamente 6mL de HCl concentrado agitando o frasco circularmente, com suavidade para misturar os líquidos. Adicionou-se a essa mistura 25mL de solução de dicromato de potássio  $K_2Cr_2O_7$  padrão 0,017mol/L, misturou-se bem os líquidos e se lavou as paredes do erlenmeyer com água fervida. O frasco foi fechado e deixado em repouso no escuro durante 5 minutos, para que a reação se completasse.

Titulou-se o iodo liberado, através da reação com tiosulfato de sódio na bureta, enquanto o líquido sofria agitação vigorosa para misturar intimamente as soluções. Acrescentou-se 2mL da solução de amido 1% quando a solução adquiriu coloração verde amarelada, sinalizando assim que a maior parte do iodo foi consumida, se continuou a adição de tiosulfato gota a gota agitando constantemente para a mistura dos líquidos, até que uma gota provocou a mudança de cor do azul-esverdeado para o verde claro.

#### 6.2.3.8 Preparação da solução de metóxido de potássio

Usando a espátula, pesou-se 1g de hidróxido de potássio, em um béquer de 100mL. Pipetou-se 20mL de metanol e adicionou-se ao béquer contendo o hidróxido de potássio. Agitou-se com o bastão de vidro até a completa dissolução do sólido. A solução foi mantida na capela até à hora do uso.

### 6.2.4 Processo de produção do biodiesel

#### 6.2.4.1 Reação de transesterificação

Em um béquer de 250mL foram adicionados 100mL do óleo de soja (usado e filtrado). Esse material foi aquecido sob agitação com o auxílio de uma barra magnética, até que se atingiu a temperatura de 45°C. Em seguida, adicionou-se a solução de metóxido de potássio recentemente preparada, e a mistura reacional permaneceu 25 minutos a 45°C sob agitação, onde após 25 minutos, foi possível observar a mudança de cor do conteúdo em agitação, de amarelo para um tom escuro (figura 19) (GERIS et al., 2007, COSTA, 2009, DIB, 2010).



(a) Início

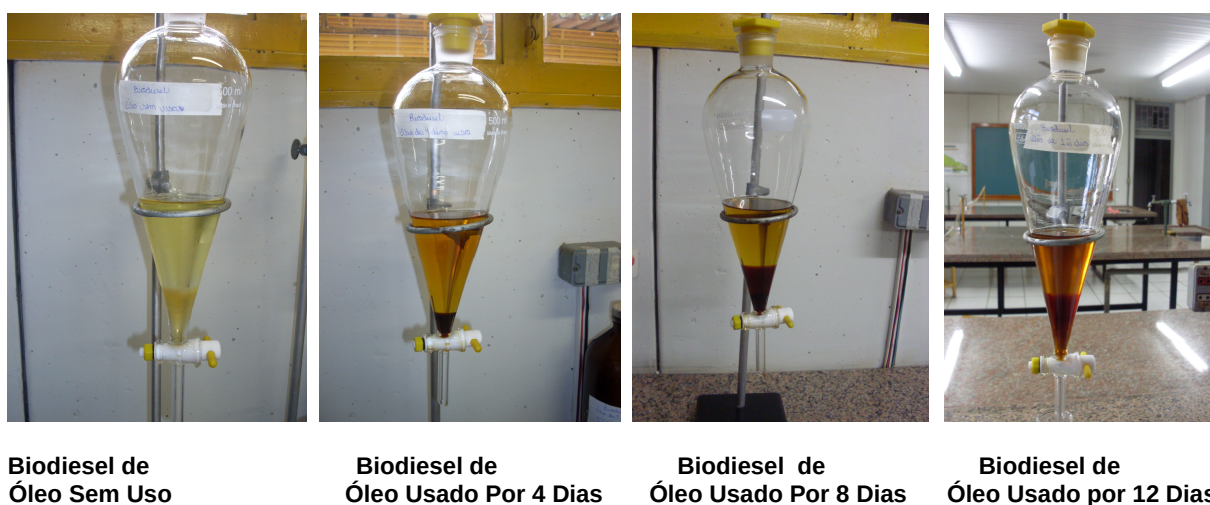


(b) Término

**Figura 19 – Processo de transesterificação do óleo de fritura usado por 4 dias.**

#### 5.2.4.2 Elaboração do biodiesel

Posteriormente, a mistura reacional foi transferida para um funil de separação para permitir a decantação e separação das fases: superior contendo biodiesel e inferior composta de glicerol, sabões, excesso de base e álcool (tempo de espera para separação das fases: 24 horas) (figura 20). A fase inferior foi recolhida em uma proveta de 50mL e o volume obtido foi anotado (GERIS et al., 2007).



**Figura 20 - Decantação (separação de fases) fase clara superior biodiesel, fase escura inferior glicerol.**

O volume de biodiesel (fase superior) foi medido utilizando uma proveta de 250mL e então foi retornado ao funil de separação para os procedimentos de lavagem: inicialmente com 50mL da solução aquosa de ácido clorídrico a 0,5% (v/v); em seguida, uma lavagem com 50mL de solução saturada de NaCl e, finalmente, com 50mL de água destilada. Nos casos em que houve a formação de emulsão, a mesma foi desfeita com auxílio de um bastão de vidro, agitando lentamente a camada emulsificada. O biodiesel foi transferido para uma proveta de 250mL para medição do volume (GERIS et al., 2007).

A figura 21 apresenta as etapas do processo de obtenção do biodiesel.

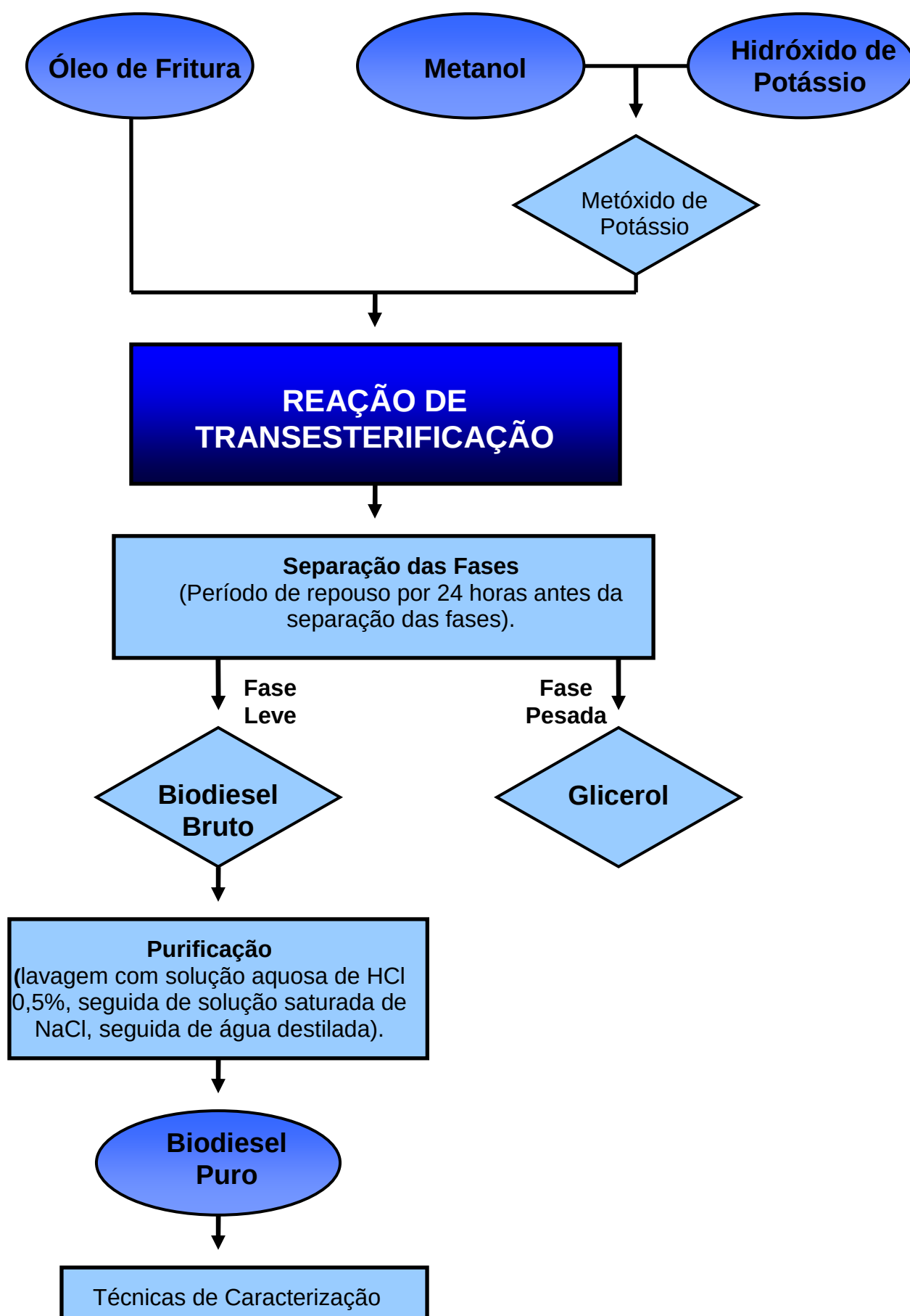


Figura 21 – Fluxograma do processo de produção do biodiesel.

## 6.2.5 Obtenção e análise dos padrões de qualidade

### 6.2.5.1 Densidade

Pesou-se um balão volumétrico de 25mL vazio em uma balança analítica, anotou-se o peso. O balão foi completado com a amostra até a marca de 25mL, tarou-se a balança e pesou-se o balão volumétrico com a amostra e se anotou o peso. A densidade foi calculada segundo a equação (4) (figura 22) (RAMÃO, 2003).

$$d = \frac{m}{V}$$

**Figura 22 – Equação (4)**

### 6.2.5.2 Viscosidade

Essa análise foi realizada pelo laboratório TEST OIL DO BRASIL LTDA - EPP.

### 6.2.5.3 Índice de acidez

As amostras estavam bem homogêneas e completamente líquidas. Pesou-se 2g da amostra em frasco erlenmeyer de 125mL. Foi adicionado 25mL de solução de éter-alcool (2:1) neutra, duas gotas do indicador fenolftaleína. E se titulou com solução de hidróxido de sódio 0,1M até o aparecimento da coloração rósea, a qual persistiu por 30 segundos. O índice de acidez em mg de KOH/g de óleo foi calculado segundo a equação (5) (figura 23) (SILVA FILHO, 2010).

$$I.A \text{ (mg KOH/ g \u00f3leo)} = \frac{V \times F \times 5,61}{P}$$

**Figura 23 – Equa\u00e7\u00e3o (5) - Onde V = n\u00famero de mL de solu\u00e7\u00e3o de hidr\u00f3xido de s\u00f3dio 0,1 M gasto na titula\u00e7\u00e3o, F = fator da solu\u00e7\u00e3o de hidr\u00f3xido de s\u00f3dio, P = n\u00famero de g da amostra (In: SILVA FILHO, 2010, p. 28).**

#### 6.2.5.4 \u00cdndice de iodo

Pesou-se em uma balan\u00e7a anal\u00edtica 0,25g da amostra em um erlenmeyer de 250mL, adicionou-se 10mL de clorof\u00f3rmio, em seguida, utilizando a bureta adicionou-se 20mL da solu\u00e7\u00e3o de iodo. Deixou-se em repouso por 30 minutos, ao abrigo da luz, agitou-se ocasionalmente. Ap\u00f3s esse tempo, adicionou-se 10mL da solu\u00e7\u00e3o de iodeto de pot\u00e1ssio 15% e 100mL de \u00e1gua destilada, titulou-se o excesso de iodo com a solu\u00e7\u00e3o de tiossulfato de s\u00f3dio 0,1mols/L. Realizou-se uma prova em branco nas mesmas condi\u00e7\u00f5es descritas acima, sem a presen\u00e7a da amostra (RAM\u00c3O, 2003). O \u00cdndice de iodo ser\u00e1 calculado segundo a equa\u00e7\u00e3o (6) (figura 24) (JESUS SANTOS, 2008).

$$I = \frac{(B - A) \times F \times 1,27}{m}$$

**Figura 24 – Equa\u00e7\u00e3o (6) - Onde, B \u00e9 n\u00famero de mL de solu\u00e7\u00e3o de tiossulfato de s\u00f3dio 0,1 mol/L gasto na titula\u00e7\u00e3o do branco; A \u00e9 o n\u00famero de mL de solu\u00e7\u00e3o de tiossulfato de s\u00f3dio 0,1 mol/L gasto na titula\u00e7\u00e3o da amostra; f \u00e9 o fator da solu\u00e7\u00e3o de tiossulfato de s\u00f3dio 0,1 mol/L; m \u00e9 a massa da amostra em gramas; e 1,27 \u00e9 centiequivalente do iodo (In: JESUS SANTOS, 2008, p. 39).**

## **7. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para se avaliar a qualidade do biodiesel, as suas propriedades precisam estar em conformidade com determinadas especificações estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), através da Resolução nº 07 de 2008.

### **7.1 ANÁLISE DAS MATÉRIAS-PRIMAS**

#### **7.1.1 Índice de acidez, teor de ácidos graxos livres e teor de umidade**

O índice de acidez, o teor de ácidos graxos livres no óleo de fritura, e a umidade são características do óleo que podem ou não viabilizar a utilização desse resíduo para a produção do biodiesel.

Os valores de índice de acidez, teor de ácido graxo livre e de teor de umidade das matérias-primas empregadas na produção de biodiesel devem ser baixos, pois os ácidos graxos livres e a água são prejudiciais ao bom desempenho do processo de transesterificação. Cordeiro et al. (2011), relata que quando a quantidade de AGL for alta, este reage com o metal do catalisador produzindo sabões, que além de reduzir o rendimento da reação, dificultam também à separação do biodiesel e do glicerol devido a formação de emulsões. Outro requisito importante é que o material graxo possua baixo teor de umidade, a presença de água pode induzir a hidrólise dos monoésteres produzidos, aumentando assim a possibilidade da formação de emulsões e de uma consequente redução no rendimento do processo. Uma vez que a transesterificação é influenciada pelas propriedades do óleo de fritura usado, antes de iniciar a síntese do biodiesel foram realizadas algumas análises químicas do óleo de fritura, conforme os resultados apresentados na Tabela 4.



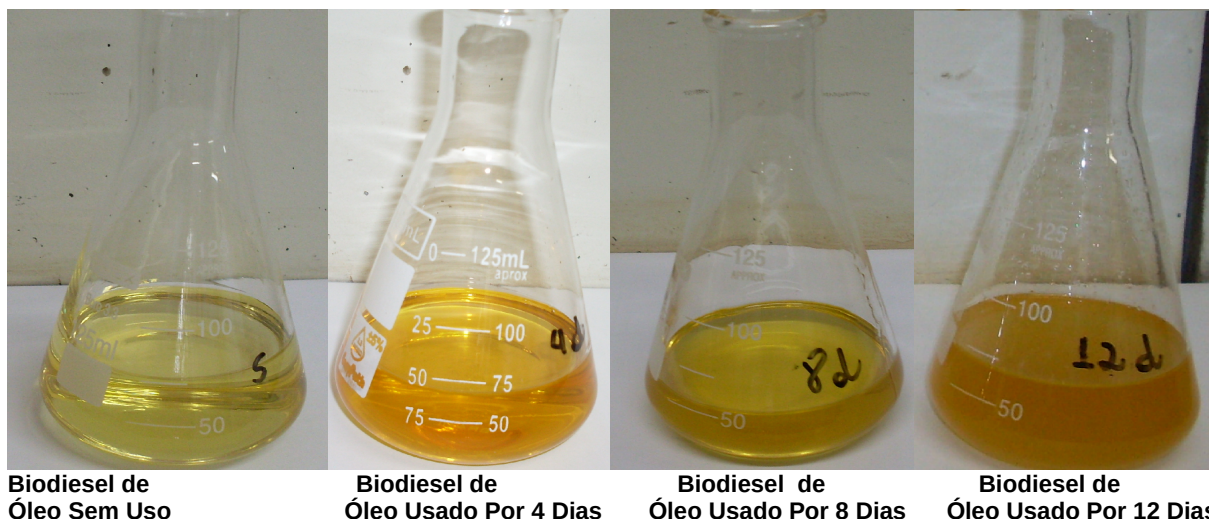
| <b>Períodos de Exposição do Óleo na fritura</b> | <b>Índice de Acidez</b> | <b>Umidade</b> | <b>Teor de Ácidos Graxos Livres</b> |
|-------------------------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------------------|
| Óleo Sem Uso                                    | 0,84                    | 0,02%          | 0,22%                               |
| Óleo Usado por 4 Dias                           | 1,12                    | 0,08%          | 0,33%                               |
| Óleo Usado por 8 Dias                           | 1,41                    | 0,085%         | 0,44%                               |
| Óleo Usado por 12 Dias                          | 1,58                    | 0,12%          | 0,57%                               |

**Tabela 4 – Análise físico-químicas do óleo de fritura.**

A literatura indica que as condições ideais da matéria-prima para a produção de biodiesel, são valores abaixo de 0,10% de umidade e 3% de ácidos graxos livres. Os resultados da Tabela 4 mostram que o óleo de fritura usado está dentro desses limites, a não ser o óleo usado por 12 dias que obteve uma umidade de 0,12%. A partir destes resultados, constatamos que o óleo de fritura apresentou as características necessárias para ser utilizado nos estudos para produção de biodiesel.

## 7.2 CARACTERIZAÇÃO DO BIODIESEL

Para a aceitação do biodiesel como combustível alternativo ao diesel é imprescindível que esse produto esteja dentro das especificações, de forma a assegurar a sua qualidade e eventual inclusão no mercado. Segundo GERIS et al. (2007), o biodiesel deve ter um aspecto límpido e uma coloração amarela, no presente trabalho obteve-se um biodiesel isento de impurezas, porém com uma variação em sua coloração, isso ocorreu devido ao fato dos tempos diferentes de exposição do óleo no processo de fritura, a tonalidade da cor amarela do biodiesel se intensifica com o aumento do tempo de exposição do óleo no processo de fritura (figura 25).



**Figura 25 – Variação da intensidade da coloração amarela do biodiesel obtido.**

A qualidade das amostras de biodiesel foi avaliada por meio de alguns parâmetros de caracterização ilustrados na Tabela 5. As análises físico-químicas do biodiesel metílico derivado do óleo de fritura neste trabalho foram comparadas com a resolução nº 07 de 2008 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

| Características             | Unidade            | Biodiesel Com Seus Respectivos Tempos de Exposição do Óleo no Processo de Fritura |                                    |                                    |                                     | Padrão ANP 07/2008 |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
|                             |                    | Biodiesel de Óleo Sem Uso                                                         | Biodiesel de Óleo Usado por 4 Dias | Biodiesel de Óleo Usado por 8 Dias | Biodiesel de Óleo Usado por 12 Dias |                    |
| Densidade                   | Kg/m <sup>3</sup>  | 875                                                                               | 894                                | 880                                | 894,08                              | 850-900            |
| Índice de Acidez            | mgKOH/g            | 0,43                                                                              | 0,50                               | 0,71                               | 1,43                                | 0,50               |
| Índice de Iodo              | g/100g             | 102,10                                                                            | 101,45                             | 97,68                              | 81,50                               | Anotar             |
| Viscosidade Cinemática 40°C | Mm <sup>2</sup> /s | 6,880                                                                             | 11,47                              | 8,864                              | 9,596                               | 3,0-6,0            |

**Tabela 5 – Propriedades físico-químicas do biodiesel obtido a partir de óleo de fritura.**

Segundo Knothe et al., 2006, altos índices de acidez podem causar corrosão no tanque de armazenamento, bem como nos motores. As especificações da ANP, do estabelecem um limite de 0,5 mgKOH/g de índice de acidez no biodiesel. Na tabela 5 podemos observar que o índice de acidez do biodiesel obtido a partir do óleo sem uso, e do óleo usado por 4 dias se encontra dentro desse padrão porém o biodiesel obtido a partir do óleo usado por 8 dias e 12 dias se encontra fora desse padrão, quanto mais usado o óleo mais alto é seu índice de acidez.

Para as análises do índice de iodo os resultados se encontram na faixa de 102,10 a 81,50g de iodo/100g de óleo, esses valores estão em concordância com a literatura. Quanto aos resultados obtidos percebe-se que os biocombustíveis que apresentam alto índice de acidez, possuem baixos índices de iodo. Segundo Da Silva; Amaral; De Souza, (2011), isso se explica pelo fato de que no processo de fritura, quanto mais tempo o óleo é submetido ao aquecimento, maior é sua acidez e menor se torna o número de insaturações da molécula, pois maior é a sua degradação, o que diminui o índice de iodo.

Os resultados das análises de densidade variaram de 894,08 a 875Kg/m<sup>3</sup> e se encontram dentro do padrão estipulado.

As análises de viscosidade realizadas para as amostras de biodiesel obtido a partir do óleo usado por 4 dias, 8 dias e 12 dias mostraram resultados maiores que no biodiesel de óleo sem uso, porque o óleo usado nas sínteses continha mais saturações em decorrência de seu maior uso, tornando-se assim mais viscoso.

## **8. CONCLUSÃO**

O tempo de exposição do óleo no processo de fritura influencia na qualidade do biodiesel, pois a partir de uma avaliação criteriosa dos valores obtidos nas análises das diferentes amostras do biodiesel, concluiu-se que esses valores se distanciam do padrão, ou seja, diminui a qualidade, à medida que se aumenta progressivamente o tempo de exposição do óleo na fritura.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Graziene Cristina da Silva. **Utilização dos óleos de fritura para a produção de biodiesel**. 2010. 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Biocombustíveis) - Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, São Paulo, Araçatuba, 2010.

ARICETTI, Juliana Aparecida; TUBINO, Matthieu; MACIEL, Antonio José da Silva; LOPES, Osvaldo. Determinação do Índice de Acidez de Biodiesel Utilizando um Método Potenciométrico Alternativo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32, 2009. Fortaleza, Ceará, Brasil. **Anais da 32ª Reunião da Sociedade Brasileira de Química (SBQ)**, maio/junho, 2009. p.1.

BARBOZA, Luís Gabriel Antão; THOMÉ, Henrique Vitorio. Reaproveitamento de Óleo Residual de Fritura para Obtenção do Biodiesel. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 3, n. 3, set/dez, 2010. p. 323-340.

BENITE, Anna Maria Canavarro; BENITE, Cláudio Roberto Machado. O Laboratório Didático no Ensino de Química: Uma Experiência no Ensino Público Brasileiro. **Revista Iberoamericana de Educación**, n. 48/2, janeiro, 2009, p.1-10.

BERGAMASCO, Cássio. **Projeto ambiental estimula reciclagem de óleo de cozinha**. Biocoleta – Notícias. Disponível em: <[http://www.biocoleta.com/joomla2/index.php?option=com\\_content&view=article&id=59:projeto-ambiental-estimula-reciclagem-de-oleo-de-cozinha&catid=1:latest-news&Itemid=85](http://www.biocoleta.com/joomla2/index.php?option=com_content&view=article&id=59:projeto-ambiental-estimula-reciclagem-de-oleo-de-cozinha&catid=1:latest-news&Itemid=85)>. Acesso em: 18 mar. 2012.

BIONDI, Antonio; MONTEIRO, Mauricio; GLASS, Verena. **Palmáceas: Dendê e babaçu**. **Ong Repórter Brasil**, setembro, 2008, p. 7-24.

CARVALHO JUNIOR, Armando Mariante; RAMUNDO, Júlio Cesar Maciel; CAVALCANTI, Carlos Eduardo de Siqueira; FILHO, Paulo de Sá Campello Faveret; PFEFER, Nelson Isaac; ROSA, Sergio Eduardo Silveira da; MILANEZ, Artur Yabe; GALVÃO, Antonio Carlos; POPPE, Marcelo Khaled. **Bioetanol de cana-de-açúcar : energia para o desenvolvimento sustentável / organização BNDES e CGEE**, 1. ed. Rio de Janeiro : BNDES, 2008.

CARVALHO JUNIOR, Rui Miguel de. **Desenvolvimento e Análise Energética do Processo de Obtenção do Biodiesel de Microalga por Metanólise in situ**. 2010. 85p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia – Universidade Federal do Paraná, Paraná, Curitiba, 2010.

CASTELLANELLI, Carlo Alessandro. **Estudo da Viabilidade de Produção do Biodiesel, Obtido Através do Óleo de Fritura Usado, na Cidade de Santa Maria – RS**. 2008. 111p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008.

CASTRO, Bruno César Santos de. **Otimização das Condições da Reação de Transesterificação e Caracterização dos Rejeitos dos Óleos de Fritura e de Peixe para Obtenção de Biodiesel**. 2009. 119p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Química, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímico – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CHRISTOFF, Paulo. **Produção de Biodiesel a Partir do Óleo Residual de Fritura Comercial. Estudo de Caso: Guaratuba, Litoral Paranaense**. 2006. 66p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Engenharia do Paraná – IEP- Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, Paraná, Curitiba, 2006.

COELHO, Suani Teixeira; VELÁZQUEZ, Sílvia Maria Stortini González; MARTINS, Osvaldo Stella, ABREU, Fernando Castro de. A conversão da fonte renovável biogás em energia. In: CBPE – CONGRESSO BRASILEIRO DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 5, 2006, Brasília, Brasil. **Anais do V Congresso Brasileiro do Planejamento Energético**, maio/junho, 2006, p. 1-11.

CORDEIRO, Claudiney Soares; SILVA, Fabiano Rosa da; WYPYCH, Fernando; RAMOS, Luiz Pereira. Catalisadores Heterogêneos para a Produção de Monoésteres Graxos (Biodiesel). **Química Nova**, v. 34, n. 3, 2011. p. 477-486.

COSTA, Fernanda Pinheiro. Viabilidade da Utilização de Óleo de Fritura para Fabricação de Biodiesel e Demais Produtos. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7, 2011, Brasil. **Anais do VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, agosto, 2011. p. 1-11.

COSTA, Natanaelma Silva da; ANDRADE, Luciano Francisco; ANDRADE, Rodrigo Ronelli Duarte de; OLIVEIRA, Ademir Guilherme da; WANDERLEY, Isabelle da Costa; QUIRINO, Max Rocha. Aproveitamento do Óleo de Fritura para Obtenção Biodiesel em Aula Prática de Química Orgânica. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO A DOCÊNCIA, 11, 2009, Paraíba, Brasil. **Anais do XII Encontro de Iniciação a Docência**, dezembro, 2009. p. 1-8.

COSTA NETO, Pedro R.; ROSSI, Luciano F. S.; ZAGONEL, Giuliano F.; RAMOS, Luiz P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v. 23, n. 4, 2000. p. 531-537.

CRISPIM, Maristela. **Grupo Pão de Açúcar arrecada 5,9 mil litros de óleo de cozinha no Ceará**. Diário do Nordeste – Gestão Ambiental. Disponível em: <<http://blogs.diariodonordeste.com.br/gestaoambiental/consumo-consciente/grupo-pao-de-acucar-arrecada-59-mil-litros-de-oleo-de-cozinha-usado-no-ceara/>>. Acesso em: 18 mar. 2012.

CUNHA, Moizes Lobo da. **Análise dos Impactos de uma Usina de Biodiesel à Luz dos Objetos e das Diretrizes do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel**. 2010. 95p. Monografia (Pós-Graduação) - Centro de Formação, Treinamento e Aperfeiçoamento da Câmara dos Deputados/Cefor, Brasília, 2010.

DABDOUB, Miguel J.; BRONZEL, João L.; RAMPIM, Márcia A. Biodiesel: Visão Crítica do Status Atual e Perspectivas na Academia e na Indústria. **Química Nova**, v. 32, n. 3, 2009, p. 776-792.

DANTAS, Manoel Barbosa. **Obtenção, Caracterização e Estudo Termoanalítico de Biodiesel de Milho (*Zea mays* L.)**. 2006. 116p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 2006.

DA SILVA, Francine Souza; AMARAL, Etiele Jandt; DE SOUSA, Eloisa Elena Hasse. Síntese de Biodiesel a Partir do Óleo de Soja Residual. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20, 2011. Pelotas, Brasil. **Anais do XX Congresso de Iniciação Científica**, 2011. p. 4.

DIAS, Valéria. **Poli e MIT criam sistema para filtrar óleo de cozinha usado**. Agência USP de Notícias. Disponível em <<http://www.usp.br/agen/?p=59967>>. Acesso em: 22 set. 2011.

DIB, Fernando Henrique. **Produção de Biodiesel a Partir de Óleo Residual Reciclado e Realização de Testes Comparativos com Outros Tipos de Biodiesel e Proporções de Mistura em um Moto-Gerador**. 2010. 114 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, São Paulo, Ilha Solteira, 2010.

FARIA, Rita C. M.; REZENDE, Michelle J. C.; REZENDE, Claudia M.; PINTO, Ângelo C. Desenvolvimento e Validação de Metodologia de Análise de Misturas Biodiesel: Diesel Utilizando Cromatografia Gasosa-Espectrometria de Massas. **Química Nova**, v. 30, n. 8, 2007. p. 1900-1905.

FELICIANO, Wanderley Filho; PEREIRA, José Junior. Introdução ao Biodiesel. **Informativo CRQ-IV**, n. 84, março/abril, 2007. p. 14-15.

FERNANDES, Roberto Klecius Mendonça; PINTO, Janete Maria Barreto; MEDEIROS, Otoniel Marcelino de; PEREIRA, Cinthia de Araújo. Biodiesel a partir de óleo residual de fritura: Alternativa energética e desenvolvimento sócio-ambiental. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28, 2008, Rio de Janeiro, Brasil. **Anais do XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, outubro, 2008. p. 1-10.

FERRARI, Roseli Aparecida; OLIVEIRA, Vanessa da Silva; SCABIO, Ardalla. Biodiesel de Soja – Taxa de Conversão em Ésteres Etílicos, Caracterização Físico-Química e Consumo em Gerador de Energia. **Química Nova**, v. 28, n. 1, 2005. p. 19-23.

FREITAS, Nivia Sueli de; MENICUCCI Roberto Góes; COELHO Ricardo Motta Pinto. Coleta e reciclagem de óleo de fritura: saiba como contribuir com o meio ambiente e ainda ganhar em troca. **Recóleo – Coleta e Reciclagem de Óleo Vegetal**, v.1, 2008, p. 1-12.

FRISON, Marli Dallagnol; PINO, José Cláudio Del; CERETTA, Jaqueline Paim. Algumas Questões Ambientais Permeando a Construção de Propostas de Inovação Curricular Para o Ensino de Química. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 23, julho a dezembro, 2009. p. 440-457.

FROEHNER, Sandro; LEITHOLD, Juliana; JÚNIOR, Luiz Fernando Lima. Transesterificação de Óleos Vegetais: Caracterização por Cromatografia em Camada Delgada e Densidade. **Química Nova**, v. 30, n. 8, 2007, p. 2016-2019.

GARCIA, Camila Martins. **Transesterificação de óleos vegetais**. 2006. 120p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Campinas, 2006.

GERIS, Regina; SANTOS, Nádia Alessandra Carmo dos; AMARAL, Bruno Andrade; MAIA, Isabelle de Souza; CASTRO, Vinicius Dourado; CARVALHO, José Roque



Mota. Biodiesel de Soja – Reação de Transesterificação para Aulas Práticas de Química Orgânica. **Química Nova**, v. 30, n. 5, 2007. p. 1369-1373.

GHESTI, Grace Ferreira. **Estudo de Catalisadores para Obtenção de Biodiesel por Transesterificação e Determinação do Rendimento por Espectroscopia Raman**. 2006. 119p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química – Laboratório de Catálise – Universidade de Brasília, Distrito Federal, Brasília, 2006.

GOMES, Marcel; BIONGI, Antonio; BRIANEZI, Thaís; GLASS, Verena. Gordura Animal. **Ong Repórter Brasil**, setembro, 2009, p. 7-28.

GIORDAN, Marcelo. Ensino de Ciências – Experimentação por Simulação. **Experimentação por Simulação**, n. 8, junho, 2003, p. 1-12.

GUIMARÃES, Cristiane de Carvalho. **Passando a Química a Limpo – Uma Abordagem de Detergentes e Sabões no Ensino Médio**. 2007. 57p. Monografia (Licenciatura em Química) – Departamento de Química – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

JESUS SANTOS, Joselene Ribeiro de. **BIODIESEL DE BABAÇU: Avaliação Térmica, Oxidativa e Misturas Binárias**. 2008. 103p. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Exatas e da Natureza – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 2008.

KASSAB, Gilberto. Etanol é Qualidade de Vida. **Revista Oficial Ethanol Summit**, 2009, p. 8-9.

KNOTHE, Gerhard; GERPEN, Jon Van; KRAHL, Jurgen; RAMOS, Luiz Pereira. **Manual de Biodiesel**. 1. ed. Tradução de Luiz Pereira Ramos. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2006.

LIMA, Dario Oliveira; SOGABE, Vergílio Prado; CALARGE, Tânia Cristina Costa. Uma Análise Sobre o Mercado Mundial do Biodiesel. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46, 2008. Rio Branco, Acre, Brasil. **Anais do XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, julho, 2008. p. 1-22.

LÔBO, Ivon Pinheiro; FERREIRA, Sérgio Luis Costa; CRUZ, Rosenira Serpa da. Biodiesel: Parâmetros de Qualidade e Métodos Analíticos. **Química Nova**, v. 32, n. 6, 2009. p. 1596-1608.

MARIA, Luiz Claudio de Santa; AMORIM, Marcia C. Veiga; AGUIAR, Mônica R. Marques Palermo de; SANTOS, Zilma A. Mendonça; CASTRO, Paula Salgado C.B. Gomes de; BALTHAZAR, Renata G. Petróleo um Tema para o Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, n. 15, maio, 2002, p. 19-23.

MARTINIANO, Antonio Jr.; ALVES, Manuela Xavier B.; DRUMMOND, Ana Rita F.; PEREIRA, Francisco Sávio G.; MELO, Givaldo Oliveira; MELO, José Anacleto; ALMEIDA, Leydjane M. Biodiesel de óleo de fritura: Inclusão social e menos poluição em região metropolitanas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4 E SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1, 2010. João Pessoa, Brasil. **Anais do IV Congresso Brasileiro de Mamona**, 2010. p. 24-29.

MENDES, Gio. **Carrinhos vão coletar óleo de cozinha usado**. Jornal da Tarde – Meio Ambiente. Disponível em: < <http://blogs.estadao.com.br/jt-cidades/carrinhos-vao-coletar-oleo-de-cozinha-usado/>>. Acesso em: 16 mar. 2012.

MENDONÇA, Marcio Antônio; BORGIO, Luiz Antônio; ARAÚJO, Wilma Maria Coelho; NOVAES, Maria Rita Carvalho Garbi. Alterações Físico-Químicas em Óleos de Soja Submetidos ao Processo de Fritura em Unidades de Produção de Refeição no Distrito Federal. **Com. Ciências Saúde**, v. 19, n. 2, 2008. p. 115-122.

MENEGHETTI, Simoni M. Plentz; SUAREZ, Paulo A. Z.; MENEGHETTI, Mario R. Transformação de Triglicerídeos em Combustíveis, Matérias Poliméricas e Insumos Químicos: Algumas Aplicações da Catálise na Oleoquímica. **Química Nova**, v. 30, n. 3, 2007. p. 667-676.

MOTA, Claudio J. A.; ROSENBACH JR., Nilton; PINTO, Bianca Peres. **Química e energia: transformando moléculas em desenvolvimento**, 2. ed. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2010.

MOTA, Cláudio J. A.; SILVA, Carolina X. A. da; GONÇALVES, Valter L. C. Gliceroquímica: Novos Produtos e Processos a Partir da Glicerina de Produção de Biodiesel. **Química Nova**, v. 32, n. 3, 2009, p. 639-648.

NICHELE JUNIOR, Paulo. **Análise de Eficientização Energética e uso de Fontes de Energia Renováveis em uma Granja de Recriação de Aves**. 2010. 61p.

Monografia - Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade Federal do Paraná, Paraná, Curitiba, 2010.

OLIVEIRA, Flavia C. C.; SUAREZ, Paulo A. Z; SANTOS, Wildson L. P. Biodiesel: Possibilidades e Desafios. **Química Nova na Escola**, n. 28, maio, 2008. p. 3-8.

OLIVEIRA, Renato José de; SANTOS, Joana Mara. A energia e a Química. **Química Nova na Escola**, n. 8, 1998. p. 19-21.

PARENTE, Expedito José de Sá. Biodiesel: **Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado**. 1. ed. Fortaleza: Unigráfica, 2003.

PEREIRA, Flávia Elaine de Andrade. **Biodiesel Produzido a partir do Óleo de Sementes de *Mabea fitulifera* Mart.** 2007. 87p. Dissertação (Pós-Graduação) – Agroquímica – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Viçosa, 2007.

PINHEIRO, Fabiana Costa. Viabilidade da Utilização de Óleo de Fritura para Fabricação de Biodiesel e demais Produtos. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7, 2011, Brasil. **Anais do VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, 2011, p. 1-11.

QUINTELLA, Cristina M.; TEIXEIRA, Leonardo S. G.; KORN, Maria Graças A.; COSTA NETO, Pedro R.; TORRES, Ednildo A.; CASTRO, Marilu P.; JESUS, Carlos A. C. Cadeia do Biodiesel da Bancada à Indústria: Uma Visão Geral com Prospecção de Tarefas e Oportunidades para P&D&I. **Química Nova**, v. 32, n. 3, 2009. p. 793-808.

RAMÃO, Eloisa Michele. **Produção e Caracterização do Biodiesel**. 2006. 33p. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Química Industrial – Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA/Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA, São Paulo, Assis, 2003.

REDA, Seme Youssef; CARNEIRO, Paulo I. Borba. Óleos e Gorduras: Aplicações e Implicações. **Revista Analytica**, n. 27, Fevereiro/Março, 2007. p. 60-67.

RINALDI, Roberto; GARCIA, Camila; MARCINIUK, Letícia Ledo; ROSSI, Adriana Vitorino; SCHUCHARDT, Ulf. Síntese de Biodiesel: Uma Proposta Contextualizada de Experimento para Laboratório de Química Geral. **Química Nova**, v. 30, n. 5, 2007. p. 1374-1380

RODRIGUES, Vaniomar. **Desenvolvimento de Nova Tecnologia para a Produção de Biodiesel em Meio Ácido com Indução por Micro-Ondas**. 2008. 101p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física – Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

ROSA, Ana Cristina Tereza da. **Biodiesel e Inclusão Social. A questão da geração de renda para a agricultura familiar a partir da produção sustentável de oleaginosas**. 2010. 62p. Monografia - Departamento de Ciências Econômicas - Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2010.

SALVADOR, Ana Augusta; RIBAS, Camila; MASO, Livia; PALHAREZ, Sarita. **Biodiesel: Aspectos Gerais e Produção Enzimática**. 2009. 27p. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SANTOS, Ana Paula B.; PINTO, Ângelo C. Biodiesel: Uma Alternativa de Combustível Limpo. **Química Nova na Escola**, v. 31, n.1, fevereiro, 2009. p. 58-62.

SCARAMUZZO, Mônica. **Consumo de biodiesel cresce no país**. Valor Econômico. Disponível em: < <http://www.valor.com.br/arquivo/869461/consumo-de-biodiesel-cresce-no-pais> >. Acesso em: 17 mar. 2012.

SILVA, Roberto Ribeiro da; MACHADO, Patrícia Fernandes Lootens. Experimentação no Ensino Médio de Química: A Necessária Busca da Consciência Ético-Ambiental no Uso e Descarte de Produtos Químicos – Um Estudo de Caso. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 2, 2008. p. 233-249.

SILVA FILHO, João Batista da. **Produção de Biodiesel Etílico de Óleos e Gorduras Residuais (OGR) em Reator Químico de Baixo Custo**. 2010. 57p. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Mecânica e de Materiais – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Manaus, 2010.

SUAREZ, Paulo A. Z.; MENEGHETTI, Simoni M. Plentz. 70º Aniversário do Biodiesel em 2007: Evolução Histórica e Situação Atual no Brasil. **Química Nova**, v. 30, n. 8, 2007. p. 2068-2071.

TORRES, Bayardo Baptista; ANDRADE, Leandro Helgueira de, BAZITO, Reinaldo Camino; FREIRE, Renato Sanches. **I Escola de Verão em Química Verde**. 1. ed. São Paulo : IQ-USP, 2007.

TUBINO, Matthieu; ARICETTI, Juliana Aparecida; MACIEL, Antonio José da Silva; LOPES, Osvaldo. Método Rápido e de Baixo Custo para a Determinação do Índice de Iodo de Biodiesel. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32, 2009. Fortaleza, Ceará, Brasil. **Anais da 32ª Reunião da Sociedade Brasileira de Química (SBQ)**, maio/junho, 2009. p.1.

VELOSO, Carolina Barbosa. **Produção de Ésteres de Cadeia Longa Via Catálise Heterogênea**. 2009. 35p. Monografia – Engenharia Química – Universidade Federal do Ceará, Ceará, Fortaleza, 2009.

VICHI, Flavio Maron; MANSOR, Maria Teresa Castilho. Energia, Meio Ambiente e Economia: O Brasil no Contexto Mundial. **Química Nova**, v. 32, n. 3, 2009. p. 757-767.