



# **Obtenção e Caracterização de Biodiesel a Partir de Resíduo de Gordura de Frango**

**Patricia Xavier dos Santos**

## **Projeto Final em Engenharia de Bioprocessos**

**Orientadoras:**

**Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carla Reis de Araujo**

**Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cheila Gonçalves Mothé**

**Rio de Janeiro**

**Julho de 2017**

# **Obtenção e Caracterização de Biodiesel a Partir de Resíduo de Gordura de Frango**

***Patricia Xavier dos Santos***

Projeto Final em Engenharia de Bioprocessos submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro de Bioprocessos.

Aprovado por:

---

Michelle Gonçalves Mothé, DSc.

---

Jaqueline Souza de Freitas, DSc.

---

Alberto Chenú Deorsola, DSc.

Orientado por:

---

Carla Reis de Araujo, DSc.

---

Cheila Gonçalves Mothé, DSc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Julho de 2017

Santos, Patricia Xavier dos.

Obtenção e Caracterização de Biodiesel a Partir de Resíduo de Gordura de Frango / Patricia Xavier dos Santos. UFRJ/EQ, Rio de Janeiro, 2016.

xii, 72p.; il.

Projeto Final – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2017.

Orientadores: Carla Reis de Araujo e Cheila Gonçalves Mothé

1. Biodiesel 2. Resíduo 3. Gordura de Frango 4. Catalisadores.  
4. Análise Térmica 5. Projeto Final(UFRJ/EQ) 6. Carla Reis de Araujo 7. Cheila Gonçalves Mothé I. Obtenção e Caracterização de Biodiesel a Partir de Resíduo de Gordura de Frango.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a oportunidade de estudar na Escola de Química da UFRJ. Por ter me guiado e me iluminado ao longo dos últimos anos, me dando forças para enfrentar as dificuldades e seguir até o fim.

Agradeço imensamente aos meus pais, Haroldo e Olga Letícia, pela compreensão, apoio e amor incondicional. Certamente, esta jornada da minha vida foi dedicada a vocês, que sempre acreditaram no meu potencial.

Também agradeço aos meus avós que, com palavras de sabedoria, me incentivaram a estudar e alcançar meus sonhos. Meu avô que hoje já não está fisicamente entre nós, sei que está me acompanhando onde quer que esteja.

Agradeço as professoras doutoras Carla Reis de Araujo e Cheila Gonçalves Mothé que me orientaram e me acompanharam desde o início da graduação.

Aos professores da Escola de Química, que me ensinaram a vencer e ter dedicação para alcançar os melhores resultados.

## RESUMO

**SANTOS, Patricia Xavier dos. Obtenção e Caracterização de Biodiesel a Partir do Resíduo de Gordura de Frango.** Rio de Janeiro, 2017. Projeto Final – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

As fontes de energia comumente usadas podem gerar grandes impactos sociais e ambientais. Com a perspectiva de reduzir esses impactos, cientistas e pesquisadores encontraram no biodiesel uma alternativa de energia. O biodiesel é um biocombustível obtido de fontes renováveis de matéria-prima, a partir da reação de transesterificação entre triglicerídeo e álcool de cadeia curta. O subproduto gerado na reação é a glicerina que pode ser aproveitada como matéria-prima para diversas indústrias. A produção do biodiesel a partir da gordura de frango, óleo de fritura e óleo de soja comercial são rotas viáveis para esta alternativa de combustível. O comportamento térmico das amostras de biodiesel obtidas a partir de gordura de frango, óleo de fritura e óleo de soja comercial foi avaliado pelas técnicas de Termogravimetria (TG), Termogravimetria Derivada (DTG) e Análise Térmica Diferencial (DTA). As curvas de termogravimetria do biodiesel obtido a partir de gordura de frango com NaOH e KOH apresentaram um estágio de decomposição, enquanto as curvas de biodiesel obtido a partir de óleo de fritura e óleo de soja mostraram dois estágios de decomposição. Na curva DTG foram confirmados os estágios de decomposição nas temperaturas de 256°C (biodiesel de gordura de frango/KOH), de 261°C (biodiesel de gordura de frango/NaOH). Para o biodiesel de óleo de soja foram observadas nas curvas DTG as temperaturas de 245°C e 390°C e para o biodiesel de óleo de fritura 240°C e 415°C. Nas curvas DTA foi observado um evento endotérmico para amostras de biodiesel. O estudo do comportamento reológico das amostras de biodiesel obtido a partir de gordura de frango revelaram um comportamento newtoniano, conforme o esperado. O objetivo do presente trabalho foi sintetizar e caracterizar biodiesel a partir de resíduo de gordura de frango com catalisadores KOH e NaOH, biodiesel de óleo de fritura e biodiesel de óleo de soja.

**Palavras-Chave:** *biocombustíveis, gordura de frango, óleo de soja, óleo de fritura, análise térmica, reologia*

## Índice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Capítulo 1: Introdução</b> .....                 | <b>1</b>  |
| <b>Capítulo 2: Objetivos</b> .....                  | <b>5</b>  |
| <b>Capítulo 3: Justificativa</b> .....              | <b>7</b>  |
| <b>Capítulo 4: Revisão Bibliográfica</b> .....      | <b>9</b>  |
| 4.1 – Biodiesel .....                               | 9         |
| 4.2 – Breve Histórico .....                         | 10        |
| 4.3 – Matérias –Primas .....                        | 11        |
| 4.4- Transesterificação.....                        | 14        |
| 4.5- Processo Industrial .....                      | 18        |
| 4.6 - Perspectivas Econômicas .....                 | 22        |
| 4.7 – Perspectivas Ambientais .....                 | 25        |
| <b>Capítulo 5: Técnicas de Caracterização</b> ..... | <b>28</b> |
| 5.1 – Análise Térmica .....                         | 28        |
| 5.1.1 Termogravimetria (TG) .....                   | 30        |
| 5.1.2 - Termogravimetria Derivada (DTG) .....       | 32        |
| 5.1.3 - Análise Térmica Diferencial (DTA).....      | 33        |
| 5.2 – Reologia .....                                | 35        |
| 5.3 – Viscosidade Cinemática .....                  | 38        |
| <b>Capítulo 6: Materiais e Métodos</b> .....        | <b>41</b> |
| 6.1 – Materiais .....                               | 41        |
| 6.2 –Equipamentos .....                             | 41        |
| 6.3 – Métodos .....                                 | 42        |
| 6.3.1 – Síntese do Biodiesel.....                   | 42        |
| 6.3.2 – Análise Térmica .....                       | 46        |
| 6.3.3 – Reologia .....                              | 47        |
| 6.3.4 – Viscosidade Cinemática.....                 | 47        |
| <b>Capítulo 7: Resultados e Discussão</b> .....     | <b>49</b> |
| 7.1 – Análise térmica .....                         | 49        |
| 7.2 – Reologia.....                                 | 61        |
| 7.3 – Viscosidade Cinemática .....                  | 64        |
| <b>Capítulo 8: Conclusão</b> .....                  | <b>66</b> |
| <b>Referências Bibliográficas</b> .....             | <b>68</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 1: Reação de transesterificação para produção de biodiesel.....</b>                                       | <b>15</b> |
| <b>Figura 2: Processo de aproveitamento da Glicerina residual.....</b>  | <b>18</b> |
| <b>Figura 3: Diagrama de blocos da Cadeia Produtiva do Processamento das Matérias-primas. ....</b>                  | <b>20</b> |
| <b>Figura 4: Diagrama de Blocos da Produção do Biodiesel. ....</b>  | <b>21</b> |
| <b>Figura 5: Ilustração da comparação das curvas típicas DTG e TG. ....</b>   | <b>33</b> |
| <b>Figura 6: Ilustração da curva típica DTA.....</b>  | <b>34</b> |
| <b>Figura 7: Fluidos Newtonianos e Não-Newtonianos.....</b>   | <b>36</b> |
| <b>Figura 8: Fluido escoando entre duas placas paralelas.....</b>   | <b>37</b> |
| <b>Figura 9: Aparelhagem da reação de transesterificação.....</b>   | <b>43</b> |
| <b>Figura 10: Procedimento experimental de.....</b>   | <b>44</b> |
| <b>Figura 11: Amostras de Biodiesel de Óleo de Fritura .....</b>  | <b>45</b> |
| <b>Figura 12: Amostras de Biodiesel de Gordura de Frango com KOH e Biodiesel de Gordura de Frango com NaOH.....</b> | <b>46</b> |
| <b>Figura 13: Curvas TG, DTG e DTA para óleo de soja comercial.....</b>   | <b>49</b> |
| <b>Figura 14: Curvas TG, DTG e DTA para resíduo de gordura de frango.....</b>                                       | <b>50</b> |
| <b>Figura 15: Curvas de TG do óleo de soja e do resíduo de .....</b>  | <b>51</b> |
| <b>Figura 16: Curvas de DTG do óleo de soja e do resíduo de .....</b>   | <b>52</b> |
| <b>Figura 17: Curvas de DTA do óleo de soja e do resíduo de gordura de frango.....</b>                              | <b>53</b> |
| <b>Figura 18: Curvas TG, DTG e DTA para biodiesel de soja. ....</b>   | <b>54</b> |
| <b>Figura 19: Curvas TG, DTG e DTA para biodiesel de fritura.....</b>   | <b>55</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 20: Curvas TG, DTG e DTA para biodiesel com KOH e metanol. ....</b>   | <b>56</b> |
| <b>Figura 21: Curva TG, DTG e DTA para biodiesel com NaOH e metanol. ....</b>   | <b>57</b> |
| <b>Figura 22: Curvas de TG do biodiesel de soja, biodiesel de fritura, biodiesel de frango com catalisadores KOH e NaOH.....</b>  | <b>58</b> |
| <b>Figura 23: Curvas de DTG do biodiesel de soja, biodiesel de fritura, biodiesel de frango com catalisadores KOH e NaOH.....</b> | <b>59</b> |
| <b>Figura 24: Curvas de DTA do biodiesel de soja, biodiesel de fritura, biodiesel de frango com catalisadores KOH e NaOH.....</b> | <b>60</b> |
| <b>Figura 25: Curvas de viscosidade a 25°C para biodiesel a partir de.....</b>  | <b>61</b> |
| <b>Figura 26: Curvas de viscosidade a 40°C para biodiesel a partir de.....</b>  | <b>62</b> |
| <b>Figura 27: Curvas de Fluxo a 25°C para biodiesel a partir de .....</b>   | <b>63</b> |
| <b>Figura 28: Curva de Fluxo a 40°C para biodiesel a partir de .....</b>  | <b>63</b> |



## ÍNDICE DE TABELAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tabela 1: Composição de ácidos graxos em alguns óleos e gorduras.....</b>  | <b>13</b> |
| <b>Tabela 2: Estudos diversos realizados entre 2007 e 2015 referentes ao teor de biodiesel, tipo de veículo ou equipamento e matéria-prima utilizada. .</b> | <b>24</b> |
| <b>Tabela 3: Dados da reação de transesterificação do biodiesel.....</b>  | <b>43</b> |
| <b>Tabela 4: Viscosidade cinemática e densidade para as amostras de biodiesel de gordura de frango com NaOH e KOH.....</b>                                  | <b>64</b> |

## **LISTA DE SIGLAS**

**ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal**

**ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas**

**ANP - Agência Nacional de Petróleo**

**DTG – Termogravimetria Derivada**

**DTA – Análise Térmica Diferencial**

**EUA – Estados Unidos da América**

**KOH – Hidróxido de Potássio**

**NaOH – Hidróxido de Sódio**

**NBR – Norma Brasileira**

**MAPA – Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**SO<sub>2</sub> – Dióxido de Enxofre**

**TG – Termogravimetria**

**USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos**

# Capítulo 1

## Capítulo 1: Introdução

Diante dos impactos ambientais e sociais gerados pelo uso de fontes energéticas derivadas do petróleo, pesquisadores viram a necessidade de buscar alternativas sustentáveis para o consumo de energia eólica, solar e biomassa no mundo. O emprego de óleos vegetais e gorduras animais na produção de biocombustíveis pode ser o biodiesel que é economicamente mais vantajoso pois pode promover um reaproveitamento de rejeitos que seriam descartados em rios e mares, sendo uma medida de redução do impacto ambiental. A produção do biodiesel traz muitos benefícios nos aspectos econômico e ambiental, como: menor custo na produção, reaproveitamento de resíduos e menor emissão de gases poluentes (PIRES et al., 2004).

O biodiesel pode ser obtido por dois principais processos químicos, tais como a hidroesterificação e a transesterificação. No processo de hidroesterificação ocorrem duas reações. Os triglicerídeos são inicialmente hidrolisados e em seguida sofrem reação de esterificação. Apesar do bom rendimento, trata-se de um processo que apresenta custos mais elevados. Dentre estes citados, a transesterificação é o processo mais utilizado atualmente devido a sua viabilidade econômica, envolve a reação entre um triglicerídeo e um álcool de cadeia curta (PARENTE et al., 2003).

A glicerina é um subproduto obtido da reação de obtenção do biodiesel e pode ser reaproveitada como matéria-prima nas indústrias de tintas, adesivos ou produtos farmacêuticos. Os catalisadores empregados são importantes para aumentar a velocidade da reação e para obtenção de um maior rendimento.

Em relação aos catalisadores básicos destacam-se o hidróxido de sódio, que apresenta menor custo e o hidróxido de potássio. A escolha do catalisador e do álcool, razão molar óleo/álcool, temperatura, pureza dos reagentes e quantidade de ácidos graxos livres são fatores que influenciam significativamente na reação de transesterificação (MEIRELLES, 2003).

Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), o Brasil é considerado um dos maiores produtores de frango. De acordo com dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), em 2015 atingiu a segunda posição no ranking mundial com 13,136 milhões de toneladas de frango produzidas no país, ficando atrás dos EUA e passando a China, que obteve 13,09 milhões. Esse volume foi 3,5% maior que no ano de 2014, em que a produção chegou a 12,691 milhões. A gordura do frango produzida no Brasil equivale 12 a 20% da produção desta carne. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEINA ANIMAL, 2016).

A produção de frango no Brasil em 2015 foi maior que a produção de carne suína que atingiu 3,643 milhões. Esta produção foi maior também que a carne bovina que foi de 10 milhões. Assim, observa-se que a produção de biodiesel a partir do resíduo da gordura de frango não comestível é uma rota sintética viável para esta alternativa de combustível (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEINA ANIMAL, 2016).

O uso de energias renováveis vem crescendo no Brasil nos últimos anos. Em 2015, 40,6% da matriz energética brasileira foi composta por energias de fontes renováveis como: eólica, solar e biomassa. Além disso, o crescimento da produção do biodiesel no Brasil foi 22% maior em 2015,

representando 65 mil barris por dia, se comparado com o ano anterior, de acordo com o Boletim Mensal de Energia, no Portal Brasil, do Ministério Minas e Energia (GOVERNO FEDERAL, 2016).

Segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP), a mistura do biodiesel ao diesel fóssil começou a ser aplicada em 2004 em caráter experimental. Entre 2005 e 2007, essa composição foi feita de forma voluntária nos veículos circulares com um teor de 2% de biodiesel na mistura. A perspectiva, segundo a Lei 13.623/2016, é que a presença de biodiesel no diesel seja de 10% até março de 2019 (ANP, 2016).

Com essa perspectiva, este trabalho teve por objetivo a obtenção do biodiesel a partir de resíduo de gordura de frango com metanol e utilizando os catalisadores, KOH e NaOH. As propriedades térmicas dos biocombustíveis obtidos foram avaliadas pela Análise Térmica (Termogravimetria, Termogravimetria Derivada e Análise Térmica Diferencial) e reológicas.

# Capítulo 2

## Capítulo 2: Objetivos

### Objetivo Geral:

Sintetizar e caracterizar biodiesel a partir de resíduo de gordura de frango com catalisadores KOH e NaOH, biodiesel de óleo de fritura e biodiesel de óleo de soja.

### Objetivos Específicos:

- Caracterizar as amostras de biodiesel obtido pelas técnicas de análise térmica: Termogravimetria(TG), Termogravimetria Derivada(DTG) e Análise Térmica Diferencial(DTA);
- Avaliar o comportamento reológico das amostras de biodiesel de gordura de frango obtidas através das curvas de fluxo e de viscosidade;
- Determinar os valores de viscosidade cinemática e densidade a fim de especificar as amostras de biodiesel de gordura de frango obtidas.



# Capítulo 3

## Capítulo 3: Justificativa

O biodiesel é um combustível obtido a partir de fontes renováveis, o que pode reduzir o uso de combustíveis fósseis, que são responsáveis por grande parte da emissão de gases poluentes na atmosfera. Este biocombustível permite o aproveitamento de resíduos da indústria agropecuária, que normalmente seriam descartados em rios, lagoas e mares. Portanto, seu uso traz grandes vantagens ambientais para a sociedade.

Dentre as carnes produzidas no Brasil, podemos destacar a indústria de frango, que gera uma grande quantidade de resíduos não comestíveis. A gordura do frango que seria descartada pode ser utilizada para a produção do biodiesel, evitando o descarte irregular e a poluição ambiental.

Algumas vantagens econômicas podem ser destacadas, como: redução da dependência de importações de petróleo e diesel, desenvolvimento do setor primário no país garantindo mais empregos na área rural devido ao uso de óleos vegetais como fonte energética (CASTRO, 2009). A produção do biodiesel pode promover o desenvolvimento de novas indústrias e investimento em biorrefinarias, criando novas matrizes energéticas em todo o país.

Devido a vasta dimensão territorial do Brasil é importante o investimento e o desenvolvimento de produtos vindos da biomassa para fins alimentícios, energéticos e químicos (PARENTE et al., 2003). Além disso, o reaproveitamento de resíduos da indústria de frango promove o desenvolvimento sustentável. Portanto, existe um grande potencial brasileiro para o uso de biocombustíveis como o biodiesel a partir da gordura de frango.

# Capítulo 4

## Capítulo 4: Revisão Bibliográfica

### 4.1 – Biodiesel

O biodiesel é definido como um biocombustível derivado de fonte renovável de matéria-prima que pode ser usado em motores a combustão interna ou, conforme o regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil (Lei Nº 11.097 de Janeiro de 2005). Essa legislação definiu ainda a incorporação deste biocombustível ao diesel numa proporção de 2% a 5% entre os anos de 2005 a 2007. Recentemente, entrou em vigor em território nacional a Lei Nº 13.263 de Março de 2016, que determina que entre o ano atual e 2019 o percentual do biodiesel ao combustível fóssil varie de 8% a 10%. Sendo 8% em até 12 meses após a data da promulgação desta Lei; 9% em até 24 meses e 10% em até 36 meses, após a mesma data. Foi autorizada também a partir desta última data, a adição de até 15%. As misturas recebem denominações como B8 (8% de biodiesel e 92% de diesel), B9 (9% de biodiesel e 91% de diesel) e B10 (10% de biodiesel e 90% de diesel). Atualmente, o percentual de biodiesel misturado ao diesel é de 8%, segundo o Governo Federal (BIODIESELBR, 2016).

De forma mais ampla, o biodiesel pode ser descrito como um combustível renovável, composto de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivado de óleos vegetais ou gordura animal que misturado ao diesel em diferentes concentrações pode ser usado em motores ciclo-diesel. É considerado não tóxico, biodegradável e livre de enxofre e material carcinogênico. Devido ao fato de não possuir mais átomos de oxigênio em sua

molécula, quando comparado ao diesel, sua queima ocorre de forma mais limpa e menos poluente (DEMIRBAS,2008).

#### **4.2 – Breve Histórico**

A história do biodiesel começou no início do século 20, quando Rudolf Diesel fez um experimento no qual usou óleo de amendoim como matéria-prima para o funcionamento dos motores durante uma Exposição Mundial de Paris. Nesse evento, demonstrou o funcionamento de um pequeno motor diesel com o óleo de amendoim, concluindo o que o desempenho era semelhante ao óleo diesel, sem qualquer modificação. Mais tarde, o cientista afirmou que seus motores também funcionariam com sucesso usando outros óleos, como óleo de mamona ou soja. Paralelo aos estudos de Rudolf Diesel, o cientista belga George Chavanne descobriu o processo de transesterificação em 1937, que permitiu a obtenção do atual biodiesel. No ano seguinte, o biodiesel já estava sendo implantado nos ônibus circulares entre as cidades de Bruxelas e Louvain (BIODIESELBR,2016).

Durante a Segunda Guerra Mundial, foram impostas muitas restrições ao petróleo, o que fez com que pesquisas surgissem para substituí-lo por óleos de origem vegetal. Alguns países como o Brasil, proibiram a exportação do óleo de algodão, já que este poderia substituir as importações de diesel. No entanto, por questões políticas e econômicas, apenas na década de 70, com a crise do petróleo, foi disseminada a busca por alternativas ao combustível fóssil. Uma maior consciência ambiental e os altos preços do barril de petróleo na década de 90 contribuíram para o incentivo a pesquisa, ao desenvolvimento de tecnologia e novas rotas energéticas. Nos anos 2000, níveis alarmantes de

poluição atmosférica, trouxeram a tona temas como aquecimento global e o aumento do buraco da camada de ozônio, devido a grande concentração de gases tóxicos liberados na atmosfera. Por isso, o conceito de “desenvolvimento sustentável” e “tecnologia limpa” tornaram os biocombustíveis mais populares (PARENTE,2003).

Dessa forma, as fontes de energia renovável assumiram um papel fundamental na matriz energética mundial. Em janeiro de 2005, o biodiesel entrou para a matriz energética brasileira (CASTRO, 2005). Em 2013, a participação de energias não renováveis na matriz energética brasileira chegou a 40,4%, segundo o Governo Federal (RESENHA ENERGÉTICA BRASILEIRA, 2015).

#### **4.3 – Matérias –Primas**

O biodiesel pode ser obtido a partir de óleos e gorduras, de origem vegetal ou animal. Os óleos e gorduras são substâncias insolúveis em água e compostas majoritariamente por ésteres de triglicerídeo ou triacilglicerol, ácidos graxos livres e mono ou diglicerídeos, estes atuam como emulsionantes. O grau de insaturação, o ponto de fusão e o índice de saponificação são propriedades que podem determinar as características físicas das substâncias. Um lipídeo que contém ácidos graxos saturados será sólido em temperatura ambiente, enquanto um alto grau de insaturação será líquido mesmo em temperaturas muito baixas. O desempenho do biocombustível pode ser avaliado pela influência do ponto de fusão nos ésteres de ácido graxo principalmente em países e regiões de temperaturas baixas, evitando seu

resfriamento. Através do índice de saponificação é possível determinar o peso molecular para realizar cálculo de reações (KRAUSE, 2008).

Os óleos e gorduras podem ser usados como matéria-prima para a produção de biodiesel, assim como óleos e gorduras provenientes de resíduos industriais, domésticos ou comerciais (PARENTE, 2003). Dentre as gorduras animais, pode-se destacar a bovina, a suína e a gordura de frango (KHALIL, 2006).

A gordura de origem animal é caracterizada pela grande quantidade de ácidos graxos livres, principalmente quando obtida de rejeito, devido aos mais variados tipos de gorduras presentes. O processo de produção de biodiesel a partir de sebo animal pode ser mais complexo porque existe um alto teor de ácidos graxos saturados, que solidificam facilmente à baixas temperaturas, interferindo diretamente no índice de acidez do produto obtido. A Tabela 1 apresenta a composição de óleos e gorduras mais comumente utilizados para a produção de biodiesel, considerando seus ácidos graxos. É possível observar um alto teor de ácidos graxos saturados (principalmente C16:0 e C18:0) nas gorduras animais, justificando sua solidificação em baixas temperaturas. No entanto, a gordura de frango se destaca com um alto grau de insaturação nos carbonos C18:1 e C18:2, indicando que ela permanece em estado líquido mesmo à temperatura ambiente e possui em sua composição baixos valores de ácido esteárico (C18:0), o que a torna bastante semelhante ao óleo de soja e favorece à produção do biodiesel (KRAUSE,2008).

**Tabela 1: Composição de ácidos graxos em alguns óleos e gorduras**

| Tipos de óleos e gorduras | Composição de ácidos graxos(% m/m)(*) |         |       |       |       |         |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|---------------------------------------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           | C12:0                                 | C14:0   | C14:1 | C16:0 | C16:1 | C18:0   | C18:1 | C18:2 | C18:3 | C20:0 | C22:0 | C24:0 |
| Girassol                  | x                                     | x       | x     | 5,5-8 | x     | 2,5-6,5 | 14-34 | 55-73 | <0,4  | <0,5  | 0,5-1 | <0,5  |
| Coco                      | 41-46                                 | 18-21   | x     | 9-12  | x     | 2-4     | 5-9   | 0,5-3 | x     | x     | x     | x     |
| Milho                     | x                                     | x       | x     | 09-11 | x     | 01-03   | 25-35 | 40-60 | <1    | <0,5  | <0,5  | <0,5  |
| Palma                     | x                                     | 1-2     | x     | 41-46 | x     | 4-6,5   | 37-42 | 8-12  | <0,5  | <0,5  | x     | x     |
| Soja                      | x                                     | <0,5    | x     | 8-12  | x     | 3-5     | 18-25 | 49-57 | 6-11  | <0,5  | x     | x     |
| Óleo de peixe             | x                                     | 2-4     | 0,5-2 | 20-30 | 5-7   | 10-15   | 40-50 | 2-4   | <0,5  | x     | x     | x     |
| Gordura de frango         | x                                     | 0,5-0,7 | x     | 19-24 | 3-5   | 5-6,5   | 30-40 | 20-35 | 1-3   | x     | x     | x     |
| Gordura suína             | <0,5                                  | <1,5    | x     | 24-30 | x     | 12-18   | 36-52 | 10-12 | <1    | <0,5  | x     | x     |
| Gordura bovina            | x                                     | 2-4     | x     | 23-29 | x     | 20-35   | 26-45 | 2-6   | <1    | <0,5  | x     | x     |

(\*)Designação dos ácidos graxos: ácido láurico (C12:0), ácido mirístico (C14:0), ácido palmístico (C16:0), esteárico (C18:0), ácido oleico (C18:1), ácido linoleico (C18:2), ácido linolênico (C18:3), ácido araquídico (C20:0), ácido behênico (C22:0) e ácido lignocérico (C24:0)

FONTE: Adaptado de KRAUSE, 2008 e ALPTEKIN *at el.*, 2014

Dentre os óleos de origem vegetal, destaca-se o de soja para obtenção do biodiesel. Outras fontes também utilizadas são os óleos de girassol e babaçu (CUNHA,2008).

Os resíduos de gordura animal são vantajosos já que possuem um baixo custo e podem ser obtidos em grande quantidade como rejeito da indústria alimentícia. Podem ser processados usando digestores em batelada ou contínuos, centrífugas, extração por prensagem ou pelo método de extração por solventes orgânicos. A gordura de frango é obtido através do processamento com aquecimento das partes não comestíveis das aves abatidas, seguido de prensagem, decantação e filtragem da gordura (CUNHA,2008).

O bom gerenciamento do resíduo animal após o abate nos frigoríficos é fundamental para obtenção de um sebo de qualidade. Nos processos mais modernos ocorre a separação da gordura da proteína sólida e da água nos



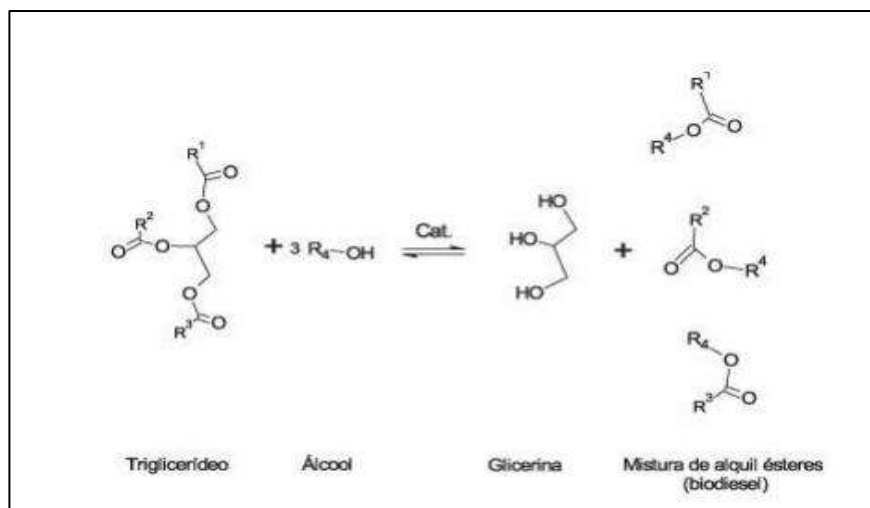
materiais crus. Também são empregadas boas práticas de estocagem, manuseio e carregamento para garantir que não haja degradação da qualidade antes da utilização da gordura para a produção de biodiesel(CUNHA,2008).

Considerando a questão ambiental, a utilização de matérias-primas de origem animal é uma alternativa viável para o reaproveitamento da alta geração de resíduos de abatedouros e frigoríficos da indústria da carne, garantindo menor impacto ao meio ambiente (BONOMETO,2009).

#### **4.4- Transesterificação**

O biodiesel pode ser obtido através de alguns processos, tais como: craqueamento térmico, hidroesterificação e transesterificação(CASTRO, 2009).

A reação de transesterificação (Figura 1) é o processo mais utilizado e vantajoso para obtenção do biodiesel no Brasil e no Mundo. A reação ocorre com a substituição de uma carboxila de uma molécula de triglicerol por uma hidroxila de um álcool. No entanto, o processo é feito com presença do álcool. Os mais utilizados no processo são os de cadeia curta como: metanol e etanol (CHING,2007).



**Figura 1: Reação de transesterificação para produção de biodiesel.**

FONTE: Adaptado de MIYASHIRO C.S. *et al.*, 2013

A reação de transesterificação reduz significativamente a viscosidade do produto, sem afetar suas propriedades térmicas. O produto final desta reação apresenta ótimo poder combustível, muito diferente da gordura animal pura ou do óleos vegetais (CUNHA,2008). Além disso, esse processo também reduz a massa molecular em relação aos triglicerídeos e aumenta sua volatilidade, tornando-o mais apropriado para o uso nos motores veiculares (CASTRO,2009).

A presença de catalisador acelera de forma significativa a reação e aumenta o seu rendimento. Os catalisadores mais usados para síntese de biodiesel podem ser ácidos ou alcalinos. Os catalisadores ácidos comumente usados são: ácido sulfúrico, sulfônico e clorídrico. Em geral são aplicados no caso de matérias-primas com maior presença de ácidos graxos livres, como óleo de fritura. Nesse caso, o processo pode apresentar um rendimento alto, não sendo necessário realizar a reação em temperaturas muito elevadas e o

tempo de reação é longo, podendo ser realizado em mais 3 horas. Na reação de transesterificação também podem ser usados catalisadores alcalinos para obtenção de biodiesel. Devido ao maior rendimento, são utilizadas preferencialmente, bases fortes como hidróxido de sódio e potássio (CASTRO,2009).

A reação de transesterificação também pode ser realizada a partir de catalisadores heterogêneos, que simplificam as etapas de separação e purificação dos produtos da reação. Além disso, a utilização desses catalisadores evita a ocorrência da reação de saponificação do triglicerídeo, sendo esta uma vantagem. Porém, os catalisadores heterogêneos ainda são desfavoráveis já que o desempenho da reação é menor se comparado aos catalisadores alcalinos (CASTRO,2009).

A transesterificação alcalina é bastante utilizada comercialmente, já que seu processo é rápido, eficiente e de menor custo. A matéria-prima escolhida para o processo deve ser de baixa acidez, com o objetivo de reduzir a presença da reação de saponificação, o que gera sabão e diminui o rendimento na produção de biodiesel. O hidróxido de sódio conduz a reação de saponificação mais facilmente que o hidróxido de potássio. Neste caso, a separação das fases no produto final é mais difícil e o rendimento é mais baixo (CUNHA,2008).

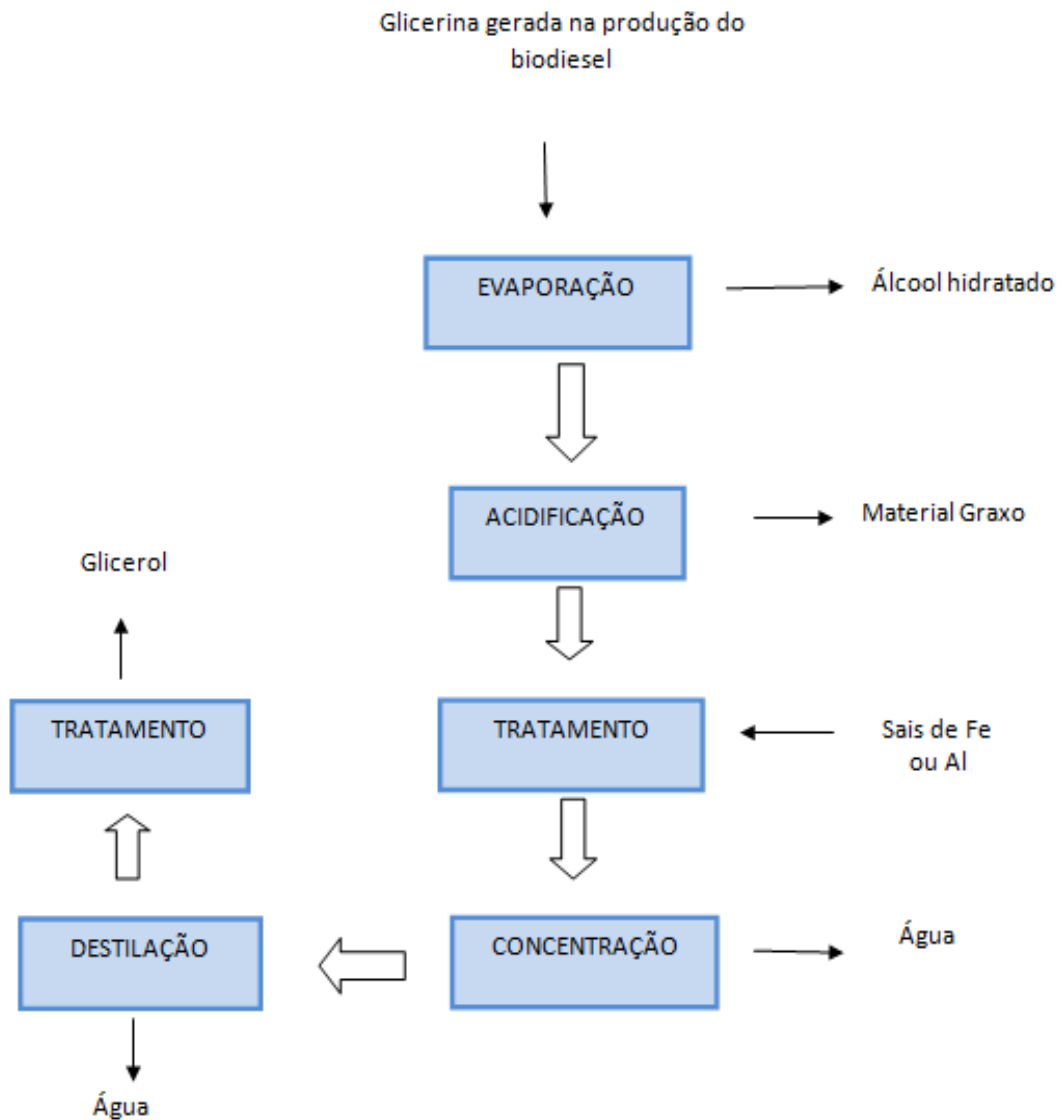
Devido a maior reatividade, maior velocidade da reação, menor custo final na produção e maior rendimento, o metanol é mais usado do que o etanol (BIODIESELBR, 2008). O metanol é uma substância que por possuir uma cadeia menor, apresenta maior polaridade o que facilita a separação entre os

ésteres e a glicerina ao final do processo. Além disso, a reação consome 45% menos metanol (na rota metílica) do que etanol (na rota etílica) (PARENTE, 2003).

No entanto, considerando a questão ambiental, o uso do etanol é mais vantajoso devido ao fato de ser menos tóxico do que o metanol. É importante observar que a reação feita pela rota etílica deve ser realizada com uma matéria prima que apresente baixo conteúdo de água para facilitar a separação de fases. Uma alternativa é usar o etanol anidro, que possui um maior custo (KRAUSE, 2008).

A produção de biodiesel via transesterificação gera subprodutos que podem ser fatores determinantes da viabilidade econômica deste biocombustível. Os principais subprodutos gerados a partir de matéria-prima vegetal, são: a glicerina, farelo e torta obtidos pela prensagem de oleaginosas. Já para matéria-prima oriunda de óleo e gordura animal, o subproduto gerado é a glicerina, dentre outros (KRAUSE, 2008). De um modo geral, a glicerina é o resíduo que melhor pode ser reaproveitado, já que serve de matéria-prima para a indústria de tinta, têxtil e produtos farmacêuticos (ARRUDA, 2006).

Na Figura 2, observa-se o diagrama de blocos do processo de aproveitamento da glicerina gerada pela reação de transesterificação. A recuperação deste subproduto é feita, primeiramente pela evaporação, obtendo-se o álcool hidratado residual usado no processo. Em seguida, o material graxo é removido através da acidificação. São adicionados sais de ferro ou alumínio e do concentrado obtido é feita a destilação e o tratamento para obtenção do glicerol.



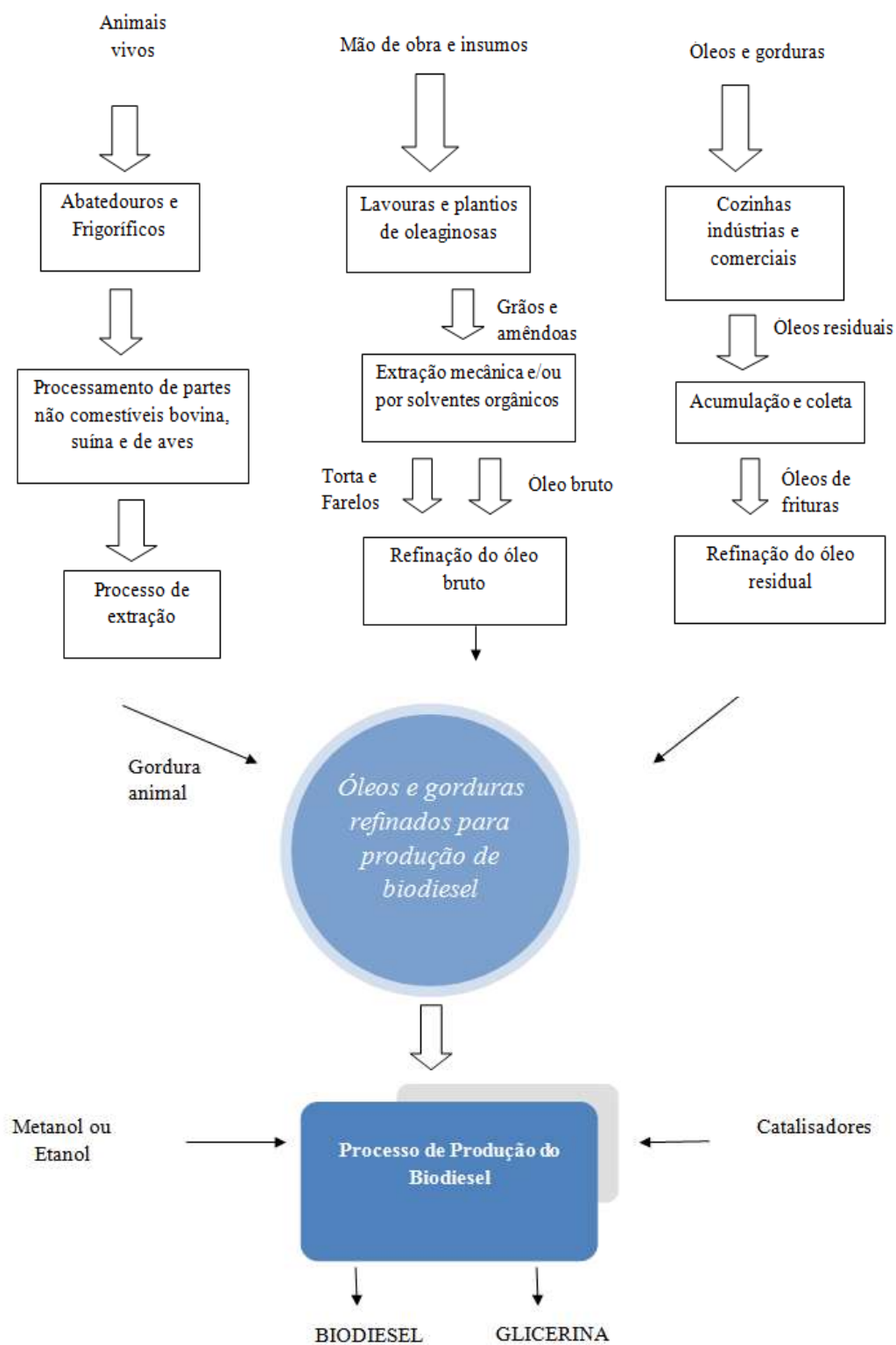
**Figura 2: Processo de aproveitamento da Glicerina residual.**

FONTE: adaptado de CASTRO, 2009

#### 4.5- Processo Industrial

A produção do biodiesel pode ser feita a partir do reaproveitamento de resíduos provenientes de cozinhas industriais, abatedouros e frigoríficos e do plantio de oleaginosas.

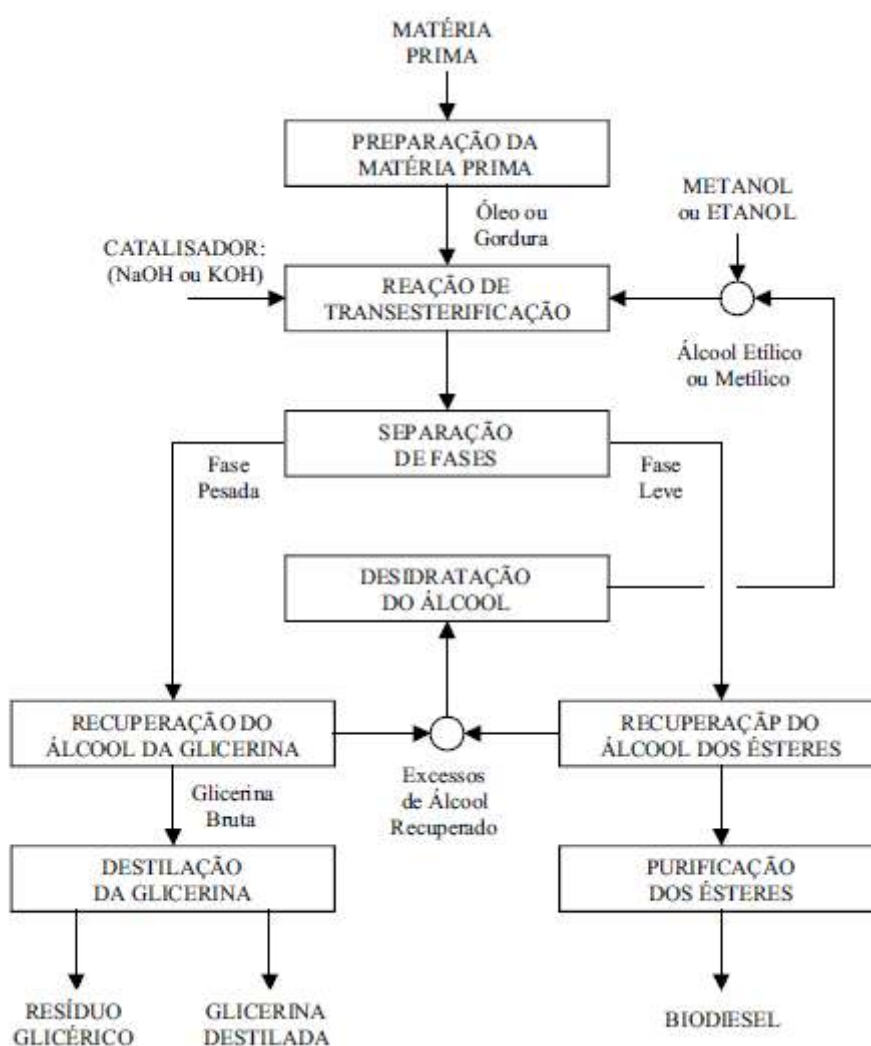
Dependendo da origem do óleo ou gordura que servirá de matéria-prima para a indústria de biocombustíveis, poderão ser realizadas diferentes etapas de tratamento. A gordura animal vinda de abatedouros e frigoríficos passa por um processamento das partes não comestíveis do boi, frango ou porco, sendo este o rejeito da indústria alimentícia. Em seguida, esses resíduos passam por um processo de extração de gordura. Assim, tem-se a gordura que será usada para a produção de biodiesel. Na matéria-prima de origem vegetal, através da mão de obra e insumos nas lavouras e plantios de oleaginosas, os grãos, sementes e amêndoas são transferidos para um extrator, onde ocorre a extração mecânica ou por solventes orgânicos. Nesta etapa são obtidos o óleo bruto e a torta e/ou farelo, como subproduto. O óleo bruto é enviado para o refino. Além desses processos, a matéria-prima para a síntese do biocombustível pode ser obtida de cozinhas industriais e comerciais, onde há grande quantidade de óleos de fritura, que não são reaproveitados. Esse óleo é coletado e armazenados em toneis e, em seguida, transferido para o processo de refino. Dessa forma, o óleo refinado nos três processamentos pode ser usado para a obtenção do biodiesel (Figura 3) onde é apresentado o diagrama de blocos contendo as etapas, para cada matéria-prima, até a obtenção do óleo ou gordura refinada que serve de insumo para a obtenção do biodiesel (PARENTE, 2003).



**Figura 3: Diagrama de blocos da Cadeia Produtiva do Processamento das Matérias-primas.**

FONTE: Adaptado de PARENTE, 2003

Após a preparação das matérias-primas, os óleos são transferidos para um reator onde é realizada a reação de transesterificação. Nele serão adicionados o catalisador básico (NaOH ou KOH) e o álcool metílico ou etílico, previamente escolhidos de acordo com a matéria-prima, rendimento e tempo de reação. A Figura 4 apresenta o diagrama de blocos descrevendo este processo a partir das etapas operacionais que ocorrem na indústria.



**Figura 4: Diagrama de Blocos da Produção do Biodiesel.**

FONTE: PARENTE, 2003



Ao fim da reação, ocorre a separação das fases: A mais pesada, contém glicerina, óleo que não reagiu, sabão, ésteres, excesso de álcool e água, enquanto a fase leve, de menor densidade, tem o biodiesel bruto. Na fase de maior densidade é feita a recuperação do álcool, obtendo-se a glicerina bruta, e depois a sua destilação. Na fase de menor densidade é feita a recuperação do álcool dos ésteres e a purificação deles, garantindo a obtenção do biodiesel. Na etapa de recuperação, o excesso de álcool é desidratado e reutilizado na reação de transesterificação (SANTOS JUNIOR & SANTOS, 2008).

#### **4.6 - Perspectivas Econômicas**

De acordo com o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento(MAPA), a lei 13.033/2014 determinou que a frota veicular no Brasil poderia circular com uma mistura binária de 7% de biodiesel no diesel. Essa lei vigora no país desde 1º de novembro de 2014. Estima-se que em 2015 tenham sido produzidos 3,97 bilhões de litros de biodiesel no Brasil, com diversos teores de mistura. Há perspectivas que a concentração de biodiesel no diesel possa alcançar, no futuro, percentuais de 20% (B20), 30% (B30), 50% (B50) e até mesmo, 100% (B100) (ANUARIO ESTATISTICO DE AGROENERGIA,2014).

Atualmente, existem pequenas diferenças nas especificações do biodiesel produzidos no Brasil, no Canadá, nos EUA e em países da União Europeia. De acordo com a especificação brasileira determinada pela Resolução ANP nº 45/2014, o teor de água adotado no Brasil é de 200mg/kg, enquanto em outros países esse valor limite é 400mg/kg. No Canadá, a

especificação para o biodiesel é mais rígida para presença de resíduos de metais alcalinos e fósforo. Na União Europeia, existem análises específicas quanto ao “teor de ácido linoleico” e “teor de ésteres poliinsaturados” que restringem o uso da matéria-prima e do processo, estando relacionados a estabilidade oxidativa do biodiesel. É válido ressaltar que no Brasil não são utilizadas matérias primas com altas concentrações desses ésteres, evitando problemas de compatibilidade com o mercado europeu. Os países de clima muito frio, possuem especificações quanto ao ponto de entupimento de filtro a frio, ponto de fluidez e ponto de névoa. Comparando as especificações brasileira e americana, uma pequena diferença é encontrada apenas quanto à estabilidade oxidativa e ao teor de água doméstica. Os demais parâmetros são semelhantes no Brasil e nos outros países, garantindo um nível elevado de qualidade para o biodiesel produzido no território nacional (USOS DO BIODIESEL NO BRASIL E NO MUNDO, 2015).

Nos Estados Unidos, foi feito um estudo para estimar alguns parâmetros, como: Consumo de combustível, custo de manutenção, durabilidade e desgastes nos componentes e no óleo lubrificante em duas frotas em 2008. Foram analisados sete veículos urbanos movidos apenas a diesel com baixo teor de enxofre e oito veículos circulando com uma mistura de 20% biodiesel no diesel(B20). Em um ano, ambas as frotas de ônibus rodaram em torno de 1,1 milhão de quilômetros. Foi concluído que os veículos das duas frotas obtiveram a mesma capacidade dentro dos parâmetros estimados (BARNETT et al, 2008).

No Brasil, a empresa Fetranspor realizou um estudo com uma frota 14 ônibus movidos a B20 e 11 veículos movidos a diesel B, na cidade do Rio de

Janeiro. Chegando ao resultado de 1,1 milhões de quilômetros rodados em 12 meses, avaliando os mesmos parâmetros, segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Em 2014, a ANP analisou resultados de vários estudos que relacionavam variáveis de consumo de combustível, emissões de gases, durabilidade, desgaste de componentes, potência e desempenho do motor em frotas urbanas de passageiros, locomotivas e até equipamentos industriais com misturas de B20, B30, B50 e B100. Os teste foram realizados por algumas empresas e companhias de transportes, apresentadas na Tabela 2 abaixo.

**Tabela 2: Estudos diversos realizados entre 2007 e 2015 referentes ao teor de biodiesel, tipo de veículo ou equipamento e matéria-prima utilizada.**

| Estudos realizados entre 2007 e 2015 | BX(%)        | Veículos/Equipamentos | Matéria-prima                |
|--------------------------------------|--------------|-----------------------|------------------------------|
| Rhodes, 2007                         | 20           | Caminhão              | Soja                         |
| Schiavone, 2007                      | 20           | Caminhão              | Soja/Outros                  |
| Steinmetz, 2007                      | 20           | Outros                | Soja/Gordura Animal          |
| Erthan et al., 2008                  | 10/20/30/100 | Outros                | Soja/Colza/Gordura Animal    |
| Faraj, 2009                          | 20           | Caminhão              | Soja/Girassol/Gordura Animal |
| Valtra, 2009                         | 50/100       | Trator                | Soja/ Gordura Animal         |
| Durbin et al., 2010                  | 20           | Outros                | Soja/Gordura Animal          |
| Kousoulidou et al., 2010             | 10           | leve                  | Colza/Palma                  |
| Moscherosch et al., 2010             | 100          | leve                  | Soja                         |
| B100 Energy, 2011                    | 20           | ônibus                | Gordura Animal               |
| Fetranspor, 2011                     | 20           | ônibus                | Soja                         |
| Kulkarni et al., 2011                | 20/50/100    | Equip. irrigação      | Gordura animal/Milho         |
| Osborne et al., 2011                 | 20/100       | Locomotiva            | Soja                         |
| ANP, 2014                            | 20/25/100    | Ônibus/Caminhão       | Diversos                     |
| Bari, 2014                           | 20           | ônibus                | Canola                       |
| Broatch et al., 2014                 | 50/100       | leve                  | Soja/Colza                   |
| Petrobras, 2014                      | 20           | leve                  | NI                           |
| Tinprabath et al., 2015              | 20/50/100    | outros                | Colza                        |

FONTE: adaptado de USOS DO BODIESEL NO BRASIL E NO MUNDO, 2015, 1ª edição, 2015

Esses estudos realizados em diferentes países da Europa, Estados Unidos, Canadá e Brasil mostraram que o biodiesel tem aplicação viável em diversos veículos e equipamentos industriais, através da utilização de matérias primas de origem animal ou vegetal e misturado ao diesel fóssil com percentuais que variam de 10 a 100%, trazendo um bom desempenho para as companhias de transportes avaliadas (USOS DO BIODIESEL NO BRASIL E NO MUNDO, 2015).

#### **4.7 – Perspectivas Ambientais**

Grande parte da poluição atmosférica responsável pelo efeito estufa e aquecimento global, são provenientes da emissão de gases tóxicos. O uso de biocombustíveis reduz a emissão de gás carbônico, enxofre e material particulado, principalmente nos centros urbanos onde o trânsito de veículos é maior. A ausência de enxofre no biodiesel traz uma grande vantagem já que não emite gases compostos por  $\text{SO}_2$  responsáveis pela chuva ácida. No entanto a emissão de gases nitrogenados pode ser maior do que em combustíveis fósseis, dependendo da origem da matéria prima (CASTRO,2009).

A produção de biodiesel através da rota etílica favorece a redução de gás carbônico na atmosfera. A plantação de cana-de-açúcar para obtenção do etanol absorve uma parte dos poluentes emitidos devido ao processo de fotossíntese (CASTRO,2009).

A produção de biodiesel de origem animal também favorece ao reaproveitamento de rejeitos da indústria alimentícia, que normalmente seriam descartados sem tratamento em rios e mares. Tanto o material não-comestível de aves, bovinos e suínos dos abatedouros, quanto o óleo de fritura das grandes cozinhas comerciais e industriais causam um grande impacto no meio ambiente e demoram muitos anos para serem degradados na natureza. O biodiesel a partir dessas matérias primas é uma solução para reduzir a forma de poluição, dando uma finalidade aos rejeitos da indústria ( KHALIL, 2006).

Dessa forma, a produção de biodiesel é alternativa viável que reduz o impacto no meio ambiente a partir do reaproveitamento de resíduos e da menor emissão de poluentes na atmosfera.

# Capítulo 5

## **Capítulo 5: Técnicas de Caracterização**

Os métodos de caracterização utilizados neste trabalho foram para identificar o comportamento térmico e reológico do biocombustível obtido. Foram realizados nesse trabalho as seguintes técnicas: Análise Térmica composta por: Termogravimetria (TG), Termogravimetria Derivada (DTG), Análise Térmica Diferencial (DTA) e Reologia. O biodiesel para ser aprovado é necessário estar de acordo com as especificações determinadas no Brasil.

### **5.1 – Análise Térmica**

Conceitua-se Análise Térmica como um conjunto de técnicas, que permitem medir mudanças de uma propriedade física ou química de uma substância ou material em função da temperatura ou tempo, enquanto a substância é submetida a uma programação controlada de temperatura (MOTHÉ & AZEVEDO, 2009).

A Análise Térmica tem mais de onze décadas de história. Durante esta longa caminhada, várias técnicas foram inventadas e a análise térmica tem sido utilizada para muitas aplicações.

Em 1887, Le Chatelier realizou o primeiro experimento de análise térmica onde obteve uma curva de aquecimento para argilas. Nesta mesma época, Tammann desenvolveu um experimento semelhante. Em 1899, foi inventada a primeira técnica de análise térmica: a Análise Térmica Diferencial (DTA). Neste estudo, foi introduzido ao experimento um material inerte (material de referência) e foram obtidas medidas diferenciais de temperatura entre a amostra e o material de referência, para uma curva de aquecimento.

Em 1915, o físico japonês Honda inventou a segunda técnica de análise térmica: a Termogravimetria (TG), de onde eram obtidas informações de mudanças de massa para curvas de aquecimento. Vale ressaltar que, em 1925, a termogravimetria foi utilizada pelos engenheiros Kujirai e Akahira, para estudos cinéticos, a respeito da deterioração de materiais isolantes elétricos, com o objetivo da determinação de seu período de vida útil. A terceira técnica de análise térmica, inventada antes da Segunda Guerra Mundial, foi a Dilatometria Térmica. Após a Segunda Guerra Mundial, houve um grande desenvolvimento em relação aos equipamentos de análise térmica. Equipamentos mais modernos começaram a ser comercializados no final da década de 50. A automação fez com que a análise térmica prosperasse muito nas décadas de 60 e 70. Esta época marca o uso da técnica de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), para avaliação do comportamento térmico de polímeros em relação à sua morfologia. No ano de 1965, tem-se a realização da Primeira Conferência de Análise Térmica, realizada em Aberdeen, na Escócia (OZAWA, 2000).

As áreas de aplicação da análise térmica incluem os seguintes estudos: decomposição térmica; determinação de umidade, de voláteis, de resíduos e de teor de cinzas; oxidação térmica; cinética de reação de cura e cristalização; diagrama de fases; determinação de calor específico; determinação de transição vítrea, de fusão, de tempo de armazenamento (shelf-life), dentre outros. Estas técnicas vêm sendo utilizadas em diversas áreas como: indústria alimentícia, catálise, cerâmica, engenharia civil, farmacêutica, inorgânica, orgânica, petroquímica, polímeros, vidros e outras. Apresenta, como vantagens, o uso de pequena quantidade de amostra para os ensaios,



variedade de resultados em um único gráfico e não requer preparo prévio da amostra para a corrida a ser realizada. Pode ser empregada também para obtenção de parâmetros cinéticos através de modelos matemáticos adequados ao tipo de estudo realizado (MOTHÉ & AZEVEDO, 2009).

As técnicas termoanalíticas mais usadas são:

- ◆ Termogravimetria (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)
- ◆ Análise Térmica Diferencial (DTA)
- ◆ Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)
- ◆ Análise Mecânica Térmica (TMA)
- ◆ Análise Mecânica Dinâmica (DMA)

### **5.1.1 Termogravimetria (TG)**

Termogravimetria (TG) é uma técnica de análise térmica usada para medir variações de massa (perda ou ganho) sofridas pela amostra, resultante de uma transformação física (sublimação, evaporação, condensação) ou química (degradação, decomposição, oxidação), em função da temperatura ou tempo. A amostra pode ser aquecida ou resfriada a uma velocidade selecionada, ou pode ser mantida a uma temperatura fixa (MOTHÉ & AZEVEDO, 2009).

A Termogravimetria pode ser conduzida de três maneiras (WENDLANDT, 1986; MOTHÉ & AZEVEDO, 2009):

- Termogravimetria isotérmica, na qual a massa da amostra é registrada em função do tempo a uma temperatura constante.
- Termogravimetria semi-isotérmica, a amostra é aquecida à massa constante, a cada série de aumento de temperatura.

- Termogravimetria dinâmica, a amostra é aquecida em um ambiente onde a temperatura é mudada de uma maneira predeterminada, preferencialmente a uma velocidade linear.

A estabilidade térmica é definida como a capacidade da substância em manter suas propriedades, durante o processamento térmico, o mais próximo de suas características iniciais (MOTHÉ & AZEVEDO, 2009).

Como em qualquer técnica experimental, existem, na termogravimetria, fatores que afetam a natureza e precisão nos resultados experimentais (MOTHÉ & AZEVEDO, 2009).

#### Fatores de natureza instrumental

- ◆ Atmosfera do forno
- ◆ Composição do conteúdo da amostra
- ◆ Razão de aquecimento
- ◆ Geometria do forno e do porta amostra
- ◆ Sensibilidade do mecanismo de registro

#### Fatores relacionados às características da amostra

- ◆ Quantidade de amostra
- ◆ Tamanho de partícula
- ◆ Calor de reação
- ◆ Natureza da amostra

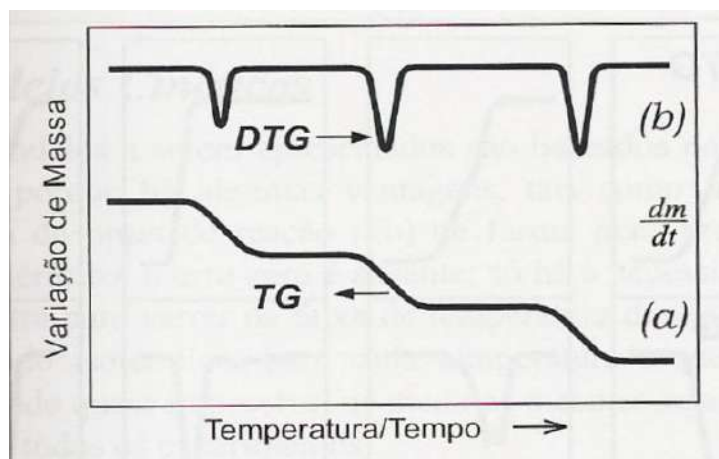
### 5.1.2 - Termogravimetria Derivada (DTG)

Esta técnica fornece a derivada primeira da curva termogravimétrica, em função do tempo ou da temperatura:

$$\frac{dm}{dt} = f(T \text{ ou } t)$$

Para uma melhor avaliação e visualização das curvas TG, foram desenvolvidos instrumentos capazes de registrarem automaticamente a derivada das curvas de termogravimetria, auxiliando a esclarecer cada passo, uma vez que as mesmas apresentam picos relacionados à cada etapa de variação de massa, permitindo uma melhor precisão no intervalo de temperatura (MOTHÉ & AZEVEDO, 2009).

Os picos mostrados nas curvas DTG indicam a temperatura onde a velocidade de decomposição é máxima. É possível também, com auxílio das curvas DTG, determinar variações de massa em reações que se sobrepõem, o que seria muito difícil observar apenas com as curvas TG. A Figura 5, compara curvas TG e DTG.



**Figura 5: Ilustração da comparação das curvas típicas DTG e TG.**

Fonte: MOTHE & AZEVEDO, 2009

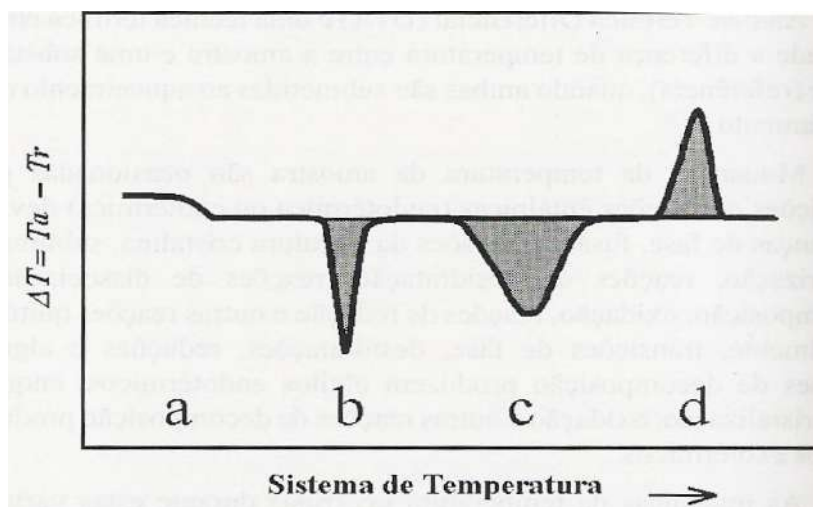
### 5.1.3 - Análise Térmica Diferencial (DTA)

A Análise Térmica Diferencial registra os efeitos térmicos das transformações com ou sem variação de massa, pela diferença de temperatura entre a amostra que está sendo analisada e uma amostra de referência. O registro é a curva térmica diferencial ou DTA (WENDLANDT, 1986).

A amostra é colocada no equipamento e aquecida a uma razão de aquecimento uniforme. A temperatura da amostra é monitorada por meio de um termopar e comparada com a temperatura da referência inerte, a qual está submetida ao mesmo programa linear de aquecimento. A referência pode ser alumina em pó ou simplesmente a cápsula vazia. À medida que a temperatura é elevada a uma razão de aquecimento constante, a temperatura da amostra e da referência irão se manter iguais até que ocorra alguma alteração física ou química na amostra. Se a variação for exotérmica, a amostra irá liberar calor e a temperatura da amostra será maior que a temperatura da referência, por

um curto período de tempo. No caso de variação endotérmica, a temperatura da amostra será temporariamente menor que a temperatura da referência (LUCAS, SOARES & MONTEIRO, 2001).

Uma curva típica de DTA, mostrada na Figura 6, apresenta diferentes tipos de deflexões e picos, sendo apresentadas as transições: (a) transição de segunda ordem, representada pela mudança de linha base, (b) pico endotérmico causado pela fusão ou transição da fusão, (c) pico endotérmico devido às reações de decomposição e dissociação e (d) pico exotérmico causado pela mudança de fase cristalina (MOTHE & AZEVEDO, 2009).



**Figura 6: Ilustração da curva típica DTA.**

Fonte: MOTHE & AZEVEDO, 2009

A técnica de DTA também é usada na determinação de parâmetros cinéticos, como energia de ativação e ordem de reação, que é a aplicação direta do método de Kissinger (KISSINGER, 1957).

## **5.2 – Reologia**

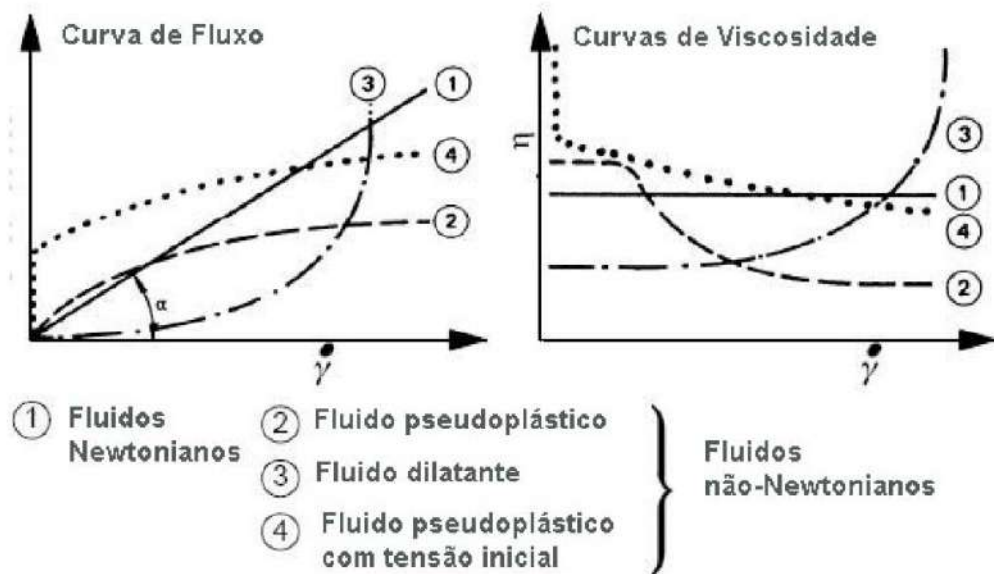
A reologia é a ciência que estuda o comportamento do fluxo, que pode ser caracterizado como uma deformação de um corpo sob ação de forças mecânicas. Ele pode ser aplicado em materiais líquidos, principalmente, ou sólidos (SCHRAMM, 2006).

As propriedades reológicas do material irão depender de sua massa molar, da forma que a molécula adquire em solução, da concentração, das ligações inter-moleculares formadas, da temperatura em que o experimento é realizado e da intensidade da força aplicada sob o material. Dessa forma, serão definidas as características de deformação e escoamento da amostra (LOPES, 2010).

A resposta do material à uma deformação aplicada pode ter dois comportamentos extremos, tidos como ideais: um sólido elástico e um líquido viscoso. O primeiro tem sua força elástica descrita pela Lei de Hooke, relacionada à elasticidade, que determina que existe uma força gerada a partir do deslocamento de uma massa multiplicado pela constante da mola ligada ao material. Já o líquido viscoso obedece a lei de Newton, em que a força é dada pela massa do corpo multiplicada pela sua aceleração. Dependendo da tensão e do tempo em que a força é aplicada o material pode se comportar como líquido ou sólido, sendo definidos a partir de parâmetros reológicos em tração ou compressão (BRAGA, 2006).

De acordo com LOPES (2010), os sólidos ideais deformam-se elasticamente e após a remoção da tensão aplicada a energia é recuperada completamente, enquanto os fluidos ideais, como os líquidos, deforma-se de forma irreversível e sua energia é dissipada completamente, não podendo ser recuperada.

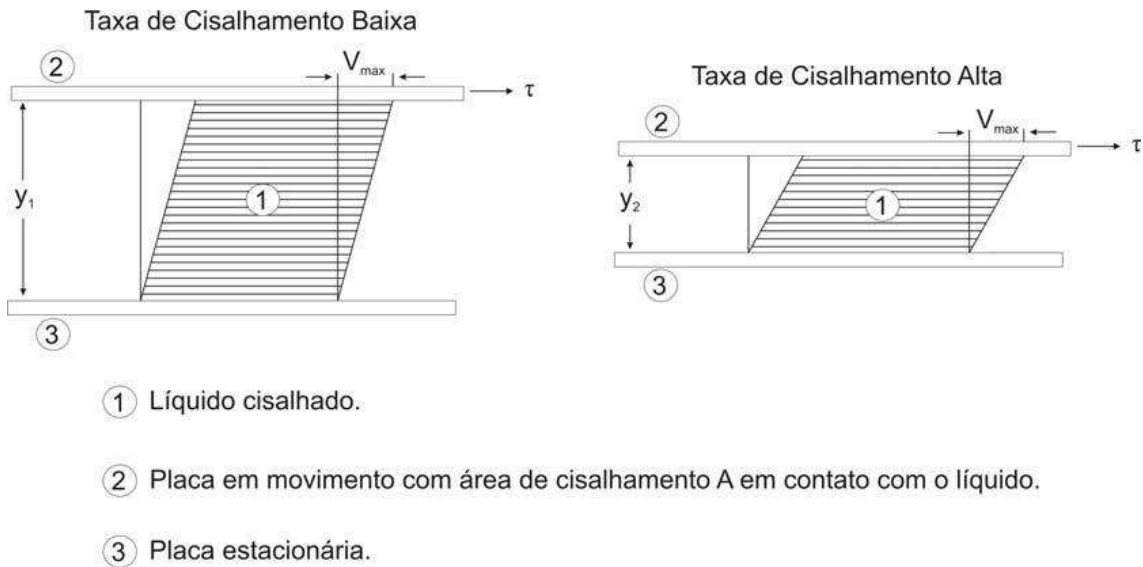
Os fluidos ainda podem ser classificados de duas maneiras, de acordo com suas propriedades de escoamento. Eles podem se comportar como Newtonianos e Não-Newtonianos. O primeiro não possui variação no valor de viscosidade à uma taxa de cisalhamento constante, enquanto o outro, a viscosidade depende da taxa de cisalhamento (LOPES, 2010). Eles estão representados na Figura 7 a seguir, juntamente com suas curvas de fluxo e viscosidade.



**Figura 7: Fluidos Newtonianos e Não-Newtonianos.**

FONTE: Adaptado de SCHRAMM, 2006

A Figura 8 representa o escoamento de fluidos colocados entre duas placas paralelas sob uma deformação contínua, demonstrando a viscosidade de um líquido de acordo com sua taxa de cisalhamento.



**Figura 8: Fluido escoando entre duas placas paralelas.**

FONTE: Adaptado de SCHARAMM, 2006

A viscosidade é uma propriedade física que pode ser definida como a resistência ao escoamento de um líquido submetido ao fluxo induzido pelo cisalhamento. A deformação contínua no fluido é aplicada quando uma força(F) é feita tangencialmente sobre uma área(A), sendo nomeada de tensão de cisalhamento. Considerando um recipiente com um fluido interno, essa tensão é observada entre a parede daquele reservatório e a superfície externa do líquido que escoar, também em todas as camadas do líquido. Sua expressão é dada por:  $\tau = F/A$  (CASTRO, 2009).



A taxa de cisalhamento ou deformação é proporcional a tensão de cisalhamento, sendo definida pela relação entre a diferença de velocidade das duas camadas de fluidos e a distância entre eles. Ela pode ser expressa por:  $\gamma = (\Delta v / \Delta y)$  (CASTRO, 2009).

### 5.3 – Viscosidade Cinemática

A viscosidade cinemática é uma propriedade importante na especificação do biodiesel devido a sua influência no funcionamento do motor, como o sistema de injeção e bombeio de combustível. Principalmente em temperaturas muito baixas, o aumento viscosidade irá atuar na fluidez do material, criando uma resistência ao escoamento do combustível. Os óleos vegetais e animais puros possuem viscosidade até 15 vezes maior do que do óleo diesel, após terem sofrido a reação de transesterificação esse fator passa a ser o dobro do diesel. Por isso, óleos puros não devem ser usados como combustíveis (KNOTHE *et al.*, 2006).

A viscosidade cinemática é um propriedade física que pode ser usada para avaliar as características dos ácidos graxos presentes na matéria prima obtida para a produção de biodiesel. Considerando que quanto maior a cadeia da molécula ou o grau de saturação maior será a sua viscosidade (CUNHA, 2008).

O ensaio, baseado na norma ABNT NBR 10441, consiste na medição do tempo de escoamento de um determinado volume de líquido que flui sob a ação da força da gravidade, através de um viscosímetro capilar de vidro

calibrado. O ensaio foi realizado a temperatura de 40°C e dois sensores em pontos distintos determinaram o tempo de escoamento da amostra.

O cálculo da viscosidade cinemática é dado pela seguinte fórmula:

$$V = C \times t$$

Onde:

V é a viscosidade cinemática determinada em mm<sup>2</sup>/s;

C é a constante de calibração do tubo viscosimétrico, em mm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>;

t é a medida do tempo de fluxo em segundos.

# Capítulo 6

## Capítulo 6: Materiais e Métodos

### 6.1 – Materiais

Os materiais utilizados para elaboração deste Projeto Final estão relacionados a seguir:

- Ácido sulfúrico (Vetec);
- Água Destilada;
- Etanol (Vetec);
- Metanol(Vetec);
- Hidróxido de potássio (Vetec);
- Hidróxido de sódio(Vetec);
- Gordura de Frango;
- Óleo de soja comercial;
- Óleo de fritura;

As amostra de gordura de frango e óleo de fritura foram obtidas em estabelecimento comercial e armazenadas em recipiente plástico. O óleo de soja usado foi adquirido em comércio local.

### 6.2 –Equipamentos

Além dos aparelhos e vidrarias comuns aos laboratórios, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Analisador termogravimétrico modelo SDT Q600, da marca TA Instruments;
- Reômetro cone e placa, marca BROOKFIELD e modelo LV-DVIII;
- Banho de água termostatizado, BROOKFIELD TC-501 acoplado;
- Viscosímetro modelo Stabinger SVM3000 marca Anton Paar.

## **6.3 – Métodos**

### **6.3.1 – Síntese do Biodiesel**

Foram realizadas algumas reações de transesterificação até a obtenção do biodiesel conforme as especificações da ANP.

A fonte de triglicerídeo foi de resíduo de gordura de frango, o óleo de fritura e o óleo de soja obtidos em estabelecimentos alimentícios. Foram utilizados o hidróxido de sódio e o hidróxido de potássio como catalisadores da reação e o metanol como agente transesterificante. Na reação, foram utilizados 30g de gordura de frango e 20g de óleo de fritura e óleo de soja como matéria prima e 20g de metanol. O tempo de reação foi de 30 minutos para a reação da gordura de frango e óleo de soja com hidróxido de potássio/metanol. Para a gordura de frango com hidróxido de sódio/metanol e óleo de fritura com hidróxido de potássio/metanol esse tempo foi de 60 minutos, todas na temperatura de 50°C. Além disso, foi adicionado 0,5g de cada um dos catalisadores. Ao final da reação foram adicionados 50mL de água destilada para a separação de fases de forma gradual no funil de separação, onde a mistura reacional permaneceu por 48h. Em seguida, a lavagem foi realizada com 10mL ácido sulfúrico em água para neutralizar o biodiesel obtido. A Tabela 3 apresenta os dados utilizados na síntese para produção das amostras de biodiesel.

**Tabela 3: Dados da reação de transesterificação do biodiesel.**

| matéria-prima     | massa | temperatura | catalisador | tempo de reação | metanol |
|-------------------|-------|-------------|-------------|-----------------|---------|
| Gordura de Frango | 30g   | 50°C        | KOH         | 30min           | 20g     |
|                   |       |             | NaOH        | 60min           |         |
| Óleo de fritura   | 20g   | 50°C        | KOH         | 60min           | 20g     |
| Óleo de soja      | 20g   | 50°C        | KOH         | 30min           | 20g     |

Na Figura 9 mostra a foto tirada durante a reação de transesterificação, com a aparelhagem montada dentro da capela, no laboratório.



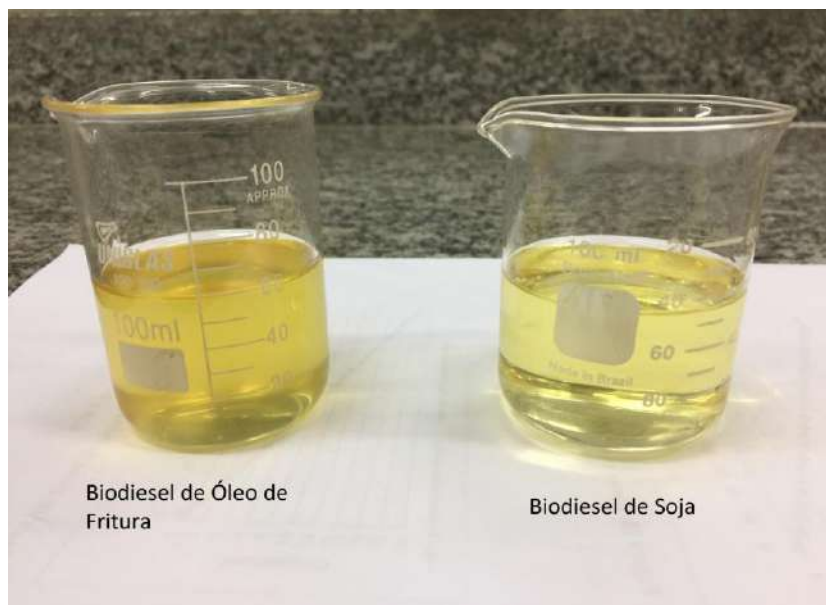
**Figura 9: Aparelhagem da reação de transesterificação.**

A Figura 10 apresenta a etapa de separação de fases, após a reação. No funil, a fase superior - menos densa - representa o biodiesel e a fase inferior - mais densa - o glicerol e resíduos de material que não reagiu.



**Figura 10: Procedimento experimental de separação de fases.**

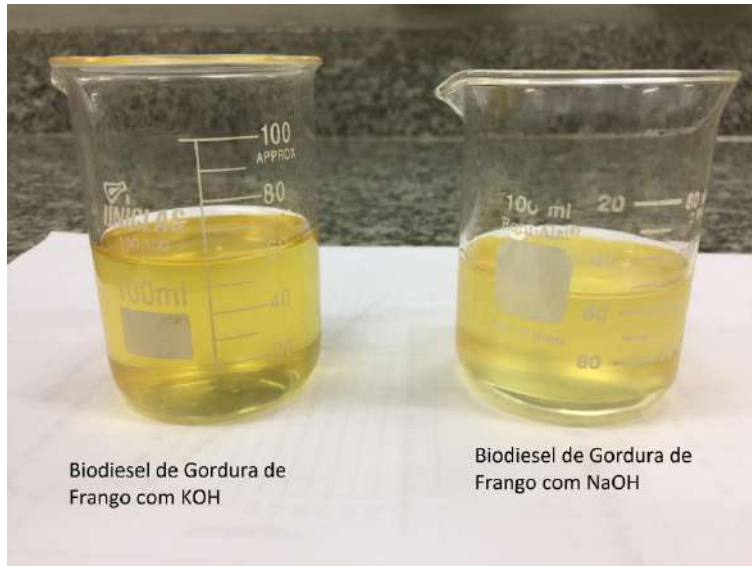
A Figura 11 apresenta as fotos das amostras finais do Biodiesel de Óleo de Fritura e do Biodiesel de Soja após o processo de síntese.



**Figura 11: Amostras de Biodiesel de Óleo de Fritura e Biodiesel de soja.**

A Figura 12 apresenta as amostras finais do Biodiesel de Gordura de Frango com KOH e do Biodiesel de Gordura de Frango com NaOH após a síntese.





**Figura 12: Amostras de Biodiesel de Gordura de Frango com KOH e Biodiesel de Gordura de Frango com NaOH.**

### 6.3.2 – Análise Térmica

As técnicas de TG/DTG e DTA foram utilizadas com a finalidade de avaliação da estabilidade e decomposição térmica das amostras de óleo de soja comercial, óleo de fritura, gordura de frango, biodiesel de óleo de soja, biodiesel de óleo de fritura, biodiesel de gordura de frango (utilizando NaOH e KOH como catalisadores).

Para a realização da Análise Térmica (Termogravimetria, Termogravimetria Derivada e Análise Térmica Diferencial) foi utilizado um analisador termogravimétrico modelo SDTQ600, da marca TA Instruments, mostrado na Figura 11. As condições de análise foram:

- Razão de Aquecimento: 10 °C/min
- Tipo de Atmosfera: inerte (nitrogênio)

- Faixa de Temperatura: de 25 a 600°C
- Massa das Amostras: em torno de 10 mg

### **6.3.3 – Reologia**

Para análise do comportamento reológico foram utilizados um reômetro cone e placa, marca BROOKFIELD e modelo LV-DVIII acoplado a um banho de água termostaticado, de mesma marca e modelo TC-501. Os seguintes parâmetros foram utilizados:

- Temperaturas de 25°C e 40°C
- *Spindle* CP40
- Faixa de cisalhamento de 0 a 500 s<sup>-1</sup>
- Volume de 0,5mL de amostra

### **6.3.4 – Viscosidade Cinemática**

A viscosidade cinemática foi determinada a partir de um viscosímetro modelo Stabinger SVM3000 marca Anton Paar. Foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Temperaturas de 20°C e 40°C
- Faixa de viscosidade de 2,05mPa e 4,56mPa
- Volume de 5mL de amostra

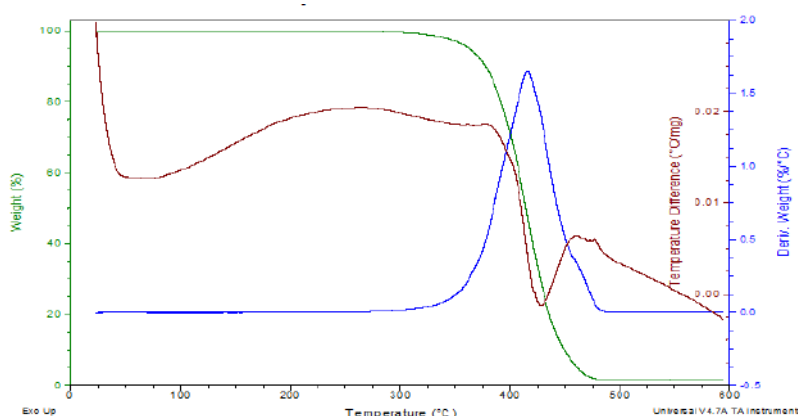
# Capítulo 7

## Capítulo 7: Resultados e Discussão

### 7.1 – Análise térmica

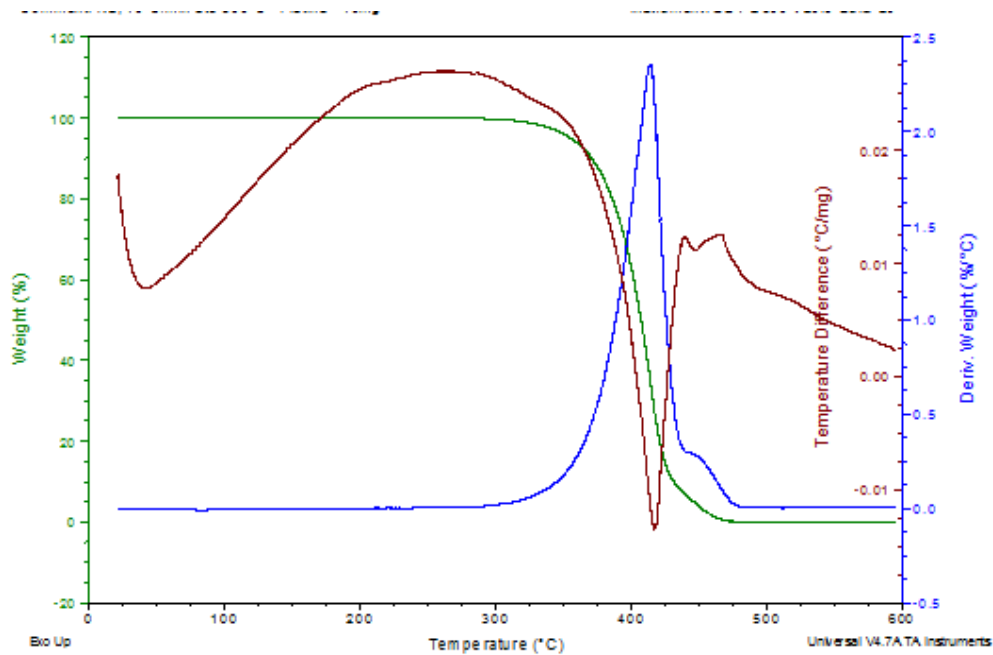
As técnicas de TG/DTG e DTA foram utilizadas com a finalidade de avaliação da estabilidade e decomposição térmica das amostras de óleo de soja comercial, óleo de fritura, gordura de frango, biodiesel de óleo de soja, biodiesel de fritura, biodiesel de gordura de frango obtido com catalisadores, KOH e NaOH.

A Figura 13 mostra as curvas de TG (verde), DTG (azul) e DTA (vermelho) para o óleo de soja comercial. A curva TG apresentou um estágio de decomposição na temperatura inicial em torno de 325°C referente a decomposição do óleo de soja. Foi observado um percentual menor que 2% de resíduo na temperatura de 600°C. A curva DTG apresentou um principal estágio de decomposição na temperatura máxima de 425°C, sendo observado também um ombro suave na faixa de 465°C a 475°C. A curva DTA apresentou evento endotérmico na temperatura de 430°C.



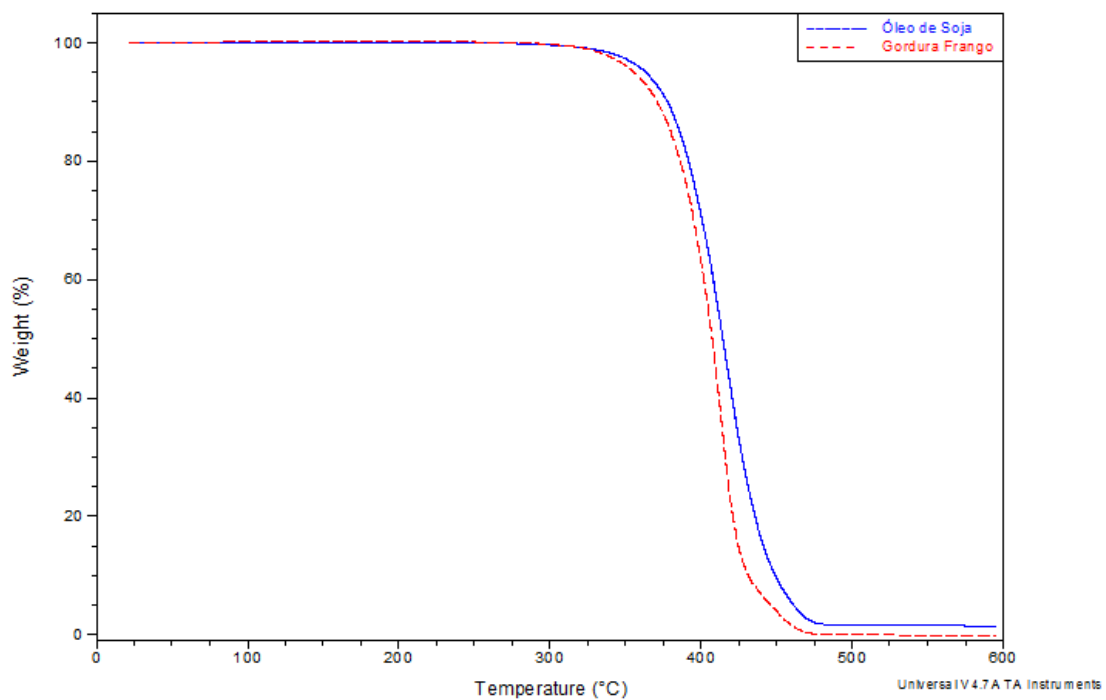
**Figura 13: Curvas TG, DTG e DTA para óleo de soja comercial.**

A Figura 14 apresenta as curvas de TG, DTG e DTA para o resíduo de gordura de frango. A curva TG apresentou um estágio de decomposição na temperatura inicial de 325°C. Não foi observado resíduo na temperatura de 600°C. A curva DTG apresentou principal estágio de decomposição na temperatura máxima de 415°C, sendo observado também um ombro suave na faixa de 440°C a 470°C. Na curva DTA foi observado dois eventos endotérmicos nas temperaturas de 415°C e 465°C referente ao processos de decomposição do resíduo de gordura de frango.



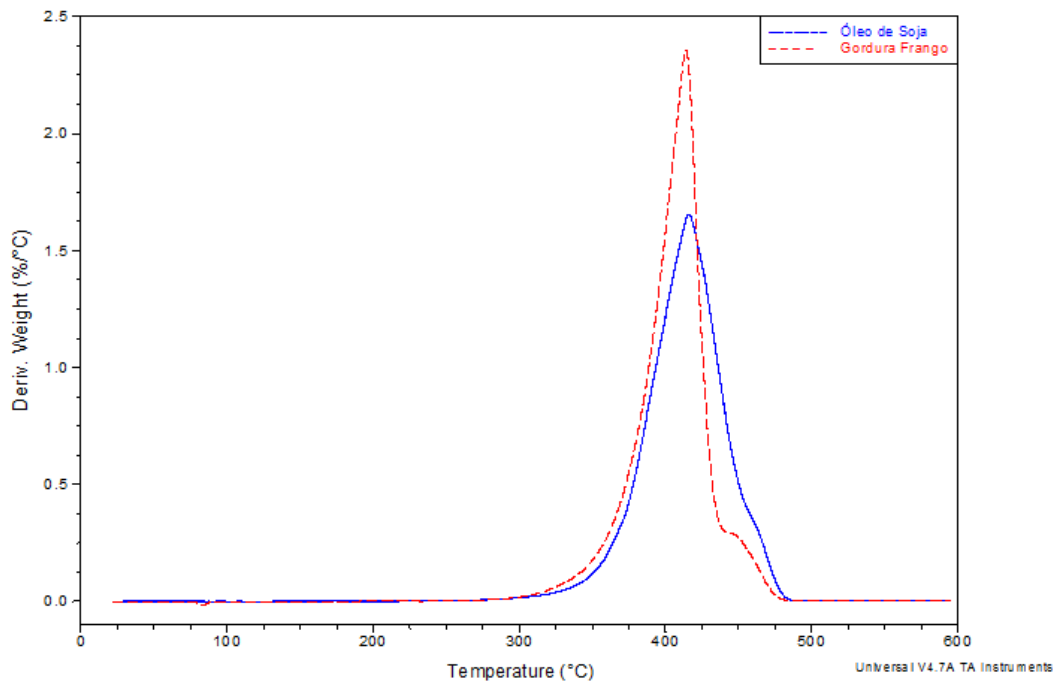
**Figura 14: Curvas TG, DTG e DTA para resíduo de gordura de frango.**

A Figura 15 mostra uma comparação das curvas de termogravimetria para as amostras de óleo de soja e gordura de frango. Ambas as amostras apresentaram um estágio de decomposição, sendo o óleo de soja mais estável que a gordura de frango. A amostra de óleo de soja apresentou 2% de resíduo em 600°C, enquanto a gordura de frango não apresentou resíduo na temperatura de 600°C.



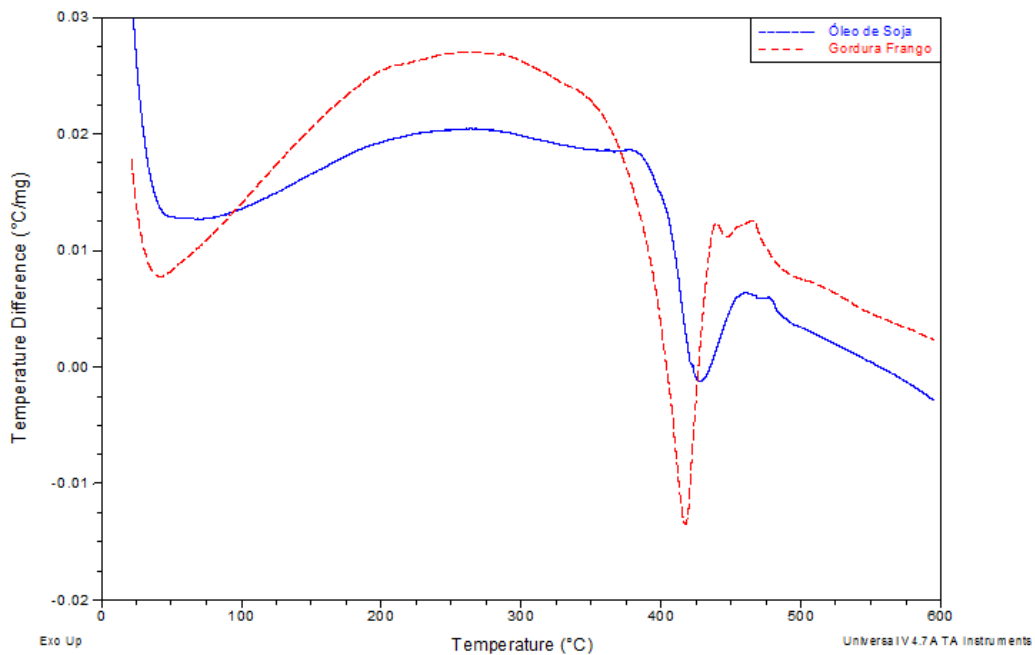
**Figura 15: Curvas de TG do óleo de soja e do resíduo de gordura de frango.**

A Figura 16 representa as sobreposições das curvas de DTG para as amostras de óleo de soja e gordura de frango. É possível confirmar o estágio de decomposição principal para ambas as amostras nas temperaturas de 415°C (gordura de frango) e 419°C (óleo de soja). Um ombro suave foi observado na faixa de 440°C a 470°C para gordura de frango e 450°C a 475°C para o óleo de soja.



**Figura 16: Curvas de DTG do óleo de soja e do resíduo de gordura de frango.**

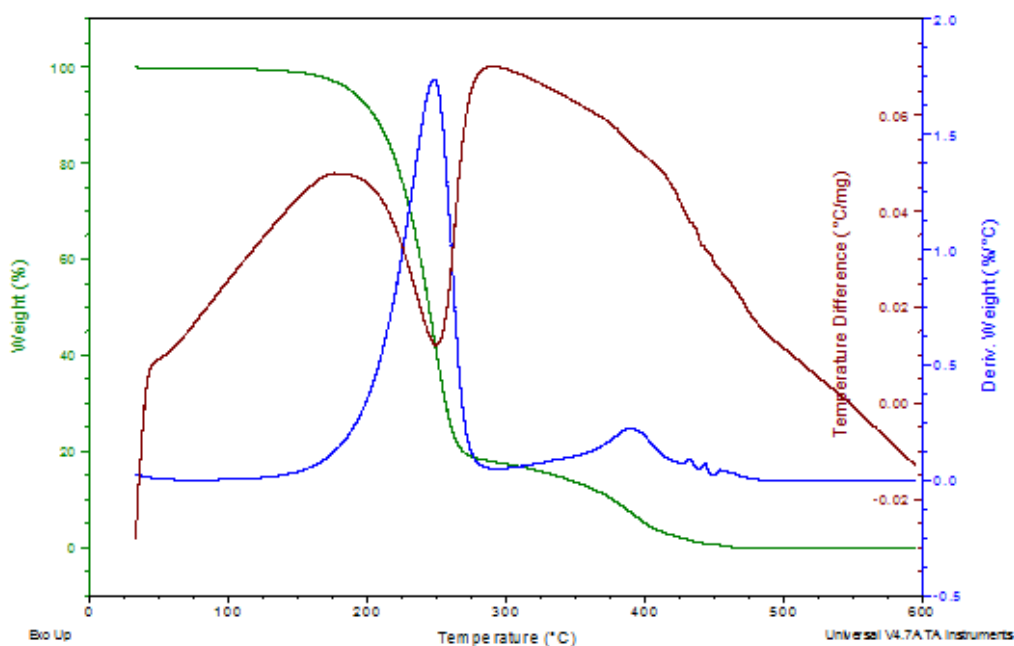
A Figura 17 apresenta a sobreposição das curvas de DTA para as amostras de óleo de soja e resíduo da gordura de frango. Foi possível identificar dois eventos endotérmicos nas temperaturas de 415°C e 450°C para amostra de gordura de frango. Já amostra de óleo de soja apresentou eventos endotérmicos nas temperaturas de 430° e 470°C.



**Figura 17: Curvas de DTA do óleo de soja e do resíduo de gordura de frango.**

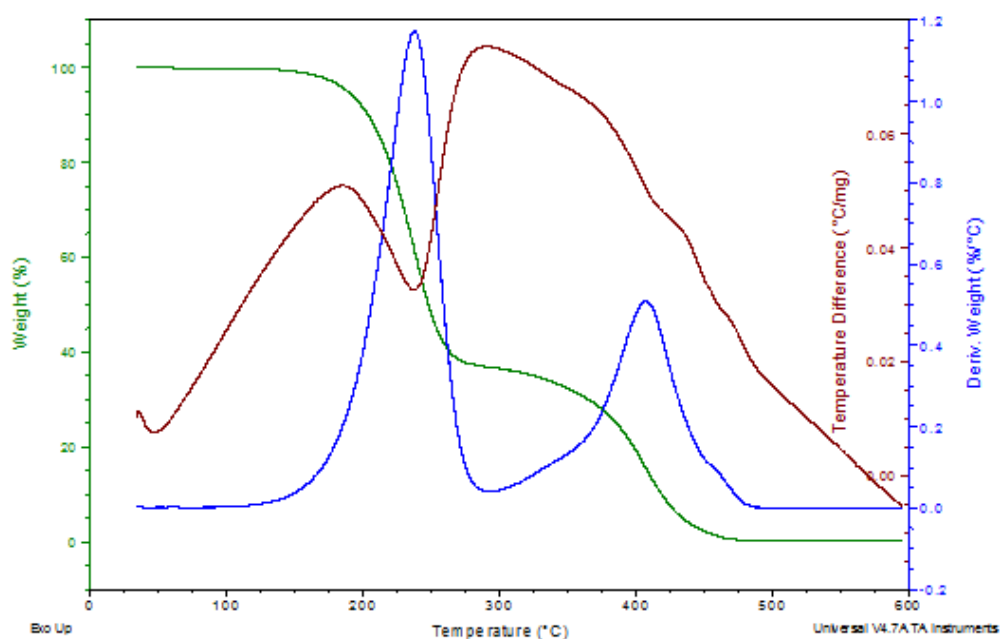


A Figura 18 mostra as curvas de TG, DTG e DTA para o biodiesel obtido a partir do óleo de soja. A curva TG apresentou dois estágios de decomposição o primeiro na faixa de 170°C a 275°C com perda mássica de 78% sugerindo a decomposição do biodiesel. O segundo estágio de decomposição ocorreu na faixa de temperatura de 320°C a 420°C, com perda de massa de aproximadamente 22% referente ao óleo que não reagiu. Não foi observado resíduo na temperatura de 600°C. Na curva DTG foi confirmado os dois estágios de decomposição nas temperaturas de 245°C e 390°C. Na curva DTA foi observado um evento endotérmico na temperatura em 245°C referente a decomposição do biodiesel.



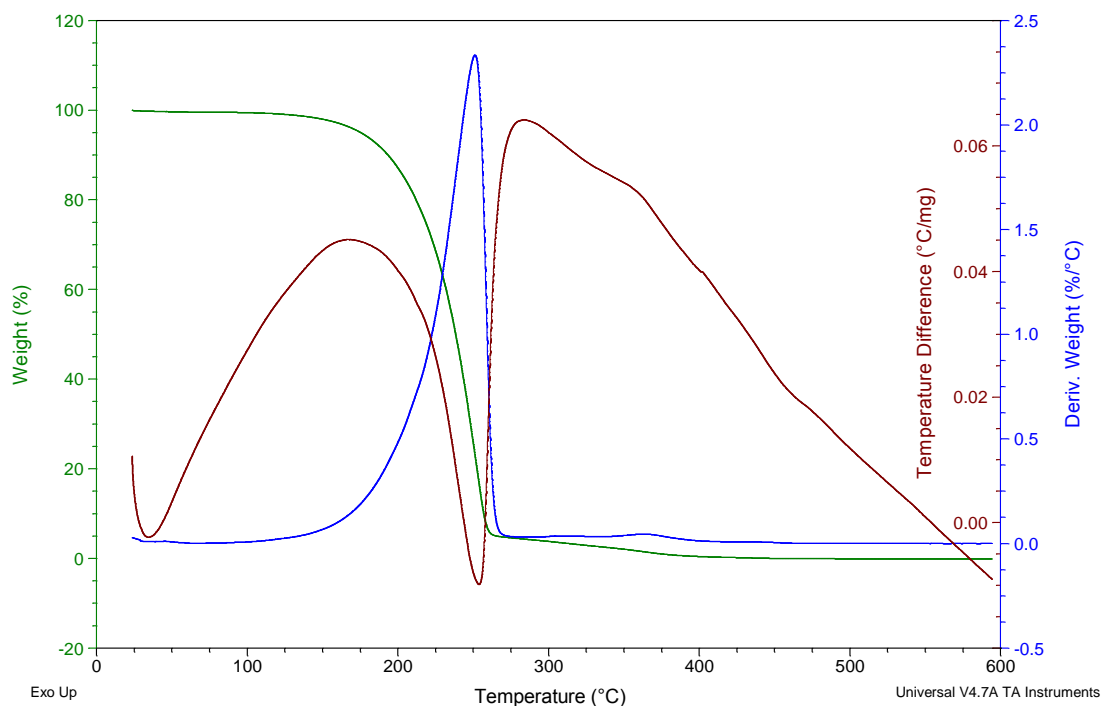
**Figura 18: Curvas TG, DTG e DTA para biodiesel de soja.**

A Figura 19 mostra as curvas de TG, DTG e DTA para o biodiesel obtido através do óleo de fritura. A curva TG apresentou dois estágios de decomposição. O primeiro ocorreu na faixa de temperatura de 160°C a 270°C com perda mássica de aproximadamente 60%, indicando a decomposição do biodiesel. O segundo foi observado na faixa de 295°C a 445°C com perda de massa de 40%. Não foi observado resíduo na temperatura de 600°C. Na curva DTG foi confirmado os dois estágio de decomposição nas temperaturas máximas de 240°C e 415°C. Na curva DTA foi observado um evento endotérmico na temperatura em 225°C referente a decomposição do biodiesel.



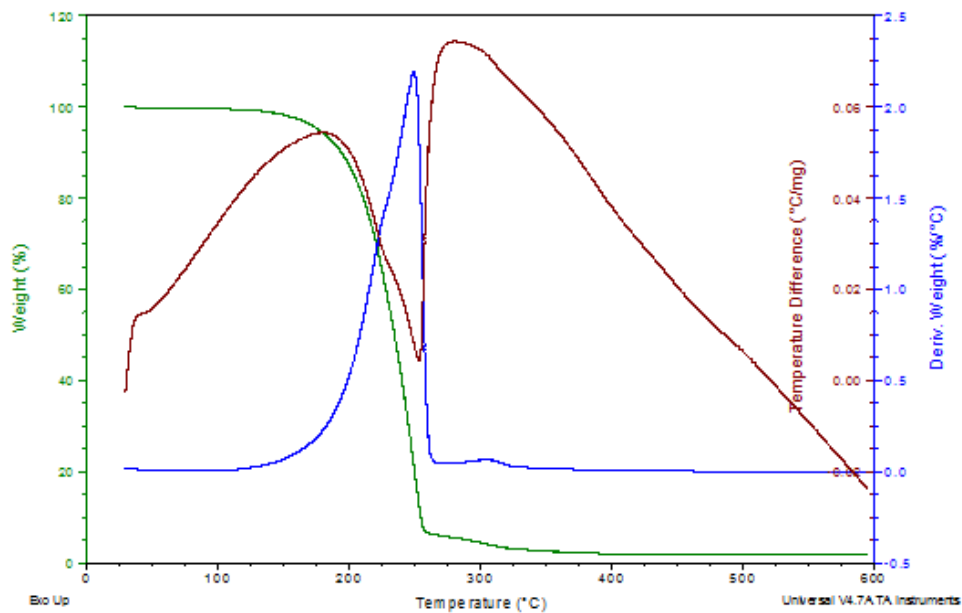
**Figura 19: Curvas TG, DTG e DTA para biodiesel de fritura.**

A Figura 20 apresenta as curvas de TG, DTG e DTA para o biodiesel obtido a partir de resíduo de óleo de frango com hidróxido de potássio e metanol. A curva TG apresentou um estágio de decomposição com temperatura inicial de 165°C, com perda mássica de 97,5%, indicando a decomposição do biodiesel. Foi observado resíduo de 2,5% na temperatura de 600°C. Na curva DTG foi confirmado um único estágio de decomposição, mostrando o alto rendimento da reação com velocidade máxima de perda de massa em 256° C. Na curva DTA foi observado um evento endotérmico na temperatura em 256°C referente a decomposição do biodiesel.



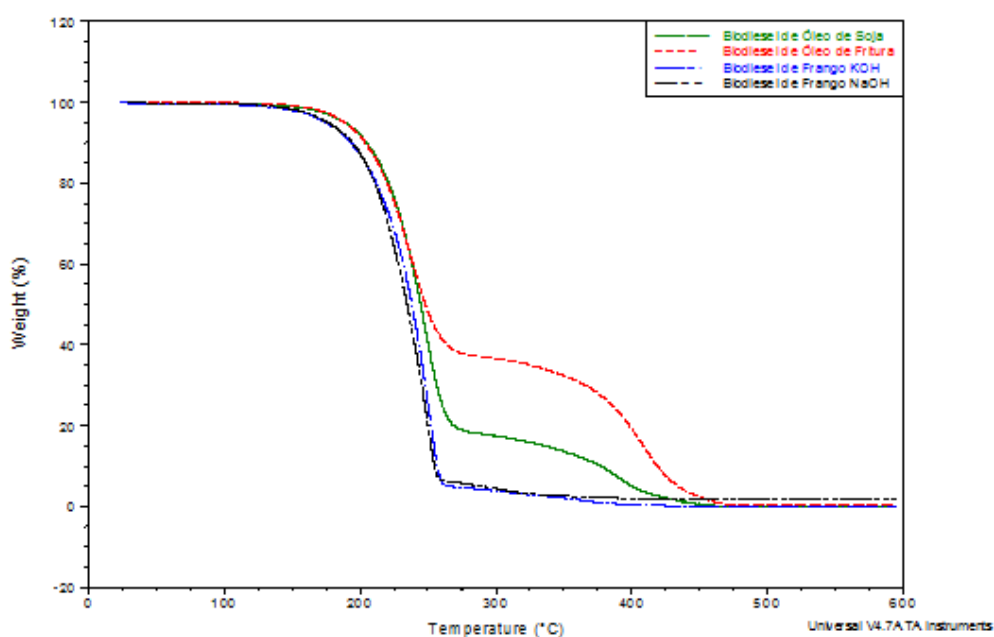
**Figura 20: Curvas TG, DTG e DTA para biodiesel com KOH e metanol.**

A Figura 21 mostra as curvas de TG, DTG e DTA para o biodiesel de óleo de frango com hidróxido de sódio e metanol. Foi identificado na curva TG um estágio de decomposição com temperatura inicial de 160°C. Na temperatura de 600°C, não há presença de resíduo no biodiesel. Na curva DTG foi confirmado um único estágio de decomposição, onde houve velocidade máxima de perda de massa em 261°C. Na curva DTA, foi observado um evento endotérmico na temperatura em 261°C.



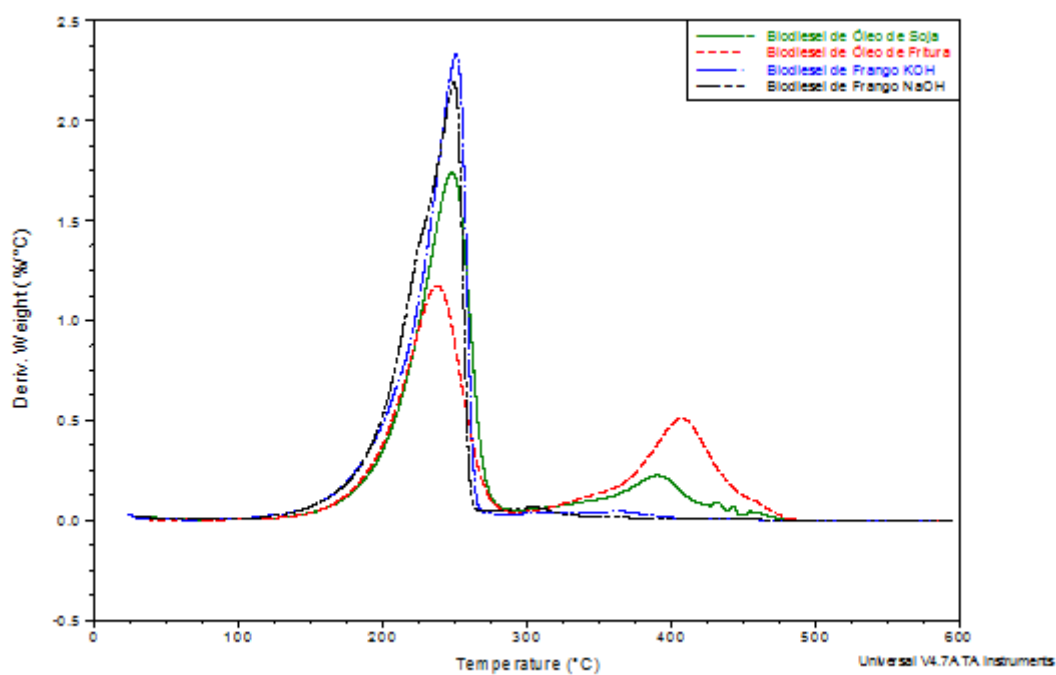
**Figura 21: Curva TG, DTG e DTA para biodiesel com NaOH e metanol.**

A Figura 22 apresenta as sobreposições das curvas de TG para as amostras de biodiesel obtidas a partir de óleo de soja, óleo de fritura e gordura de frango, produzidos com os catalisadores de KOH e NaOH, respectivamente. As curvas de TG referentes as amostras de biodiesel de gordura de frango apresentaram um único estágios de decomposição, para amostras sintetizadas com os catalisadores KOH e NaOH. As amostras de biodiesel de óleo de soja e óleo de fritura apresentaram dois estágios de decomposição. O biodiesel obtido de óleo de fritura apresentou maior estabilidade térmica. Em todas as amostras não houve resíduo à 600°C.



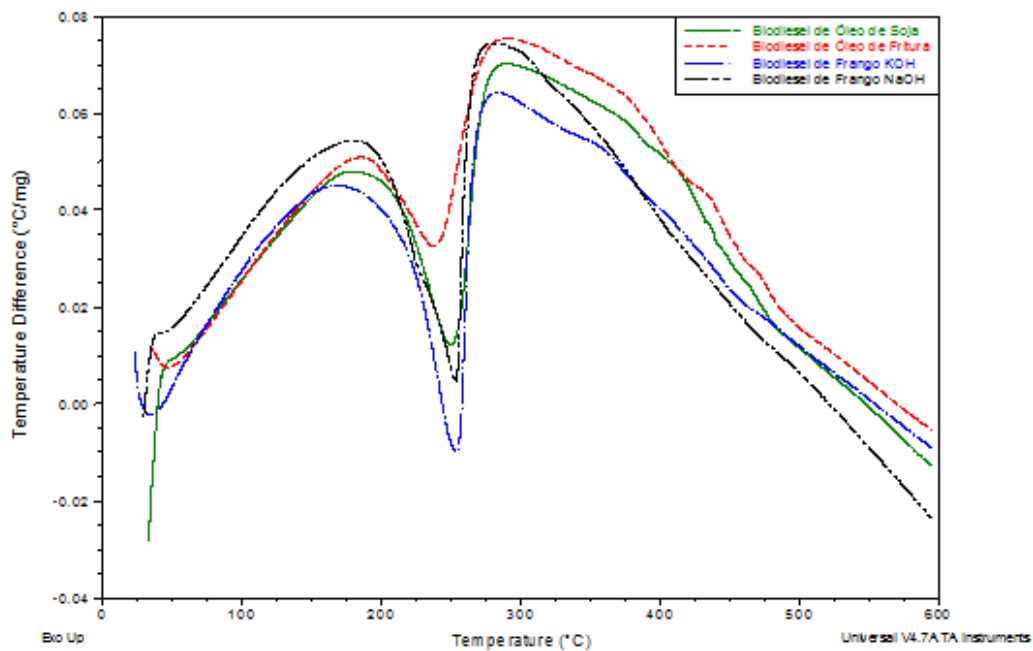
**Figura 22: Curvas de TG do biodiesel de soja, biodiesel de fritura, biodiesel de frango com catalisadores KOH e NaOH.**

A Figura 23 ilustra as curvas de DTG das amostras de biodiesel obtidos a partir de óleo de soja, óleo de fritura e gordura de frango. As amostras de biodiesel obtidas a partir de óleo de soja e óleo de fritura apresentaram dois estágios de decomposição, nas temperaturas de 245°C e 390°C (biodiesel de óleo de soja) e 240°C e 415°C (biodiesel de fritura). As amostras de biodiesel obtidas a partir de gordura de frango e com o uso de catalisadores KOH e NaOH apresentaram um único estágio de decomposição, nas temperaturas de 256°C (biodiesel de gordura de frango/KOH) e 261°C (biodiesel de gordura de frango/NaOH).



**Figura 23: Curvas de DTG do biodiesel de soja, biodiesel de fritura, biodiesel de frango com catalisadores KOH e NaOH.**

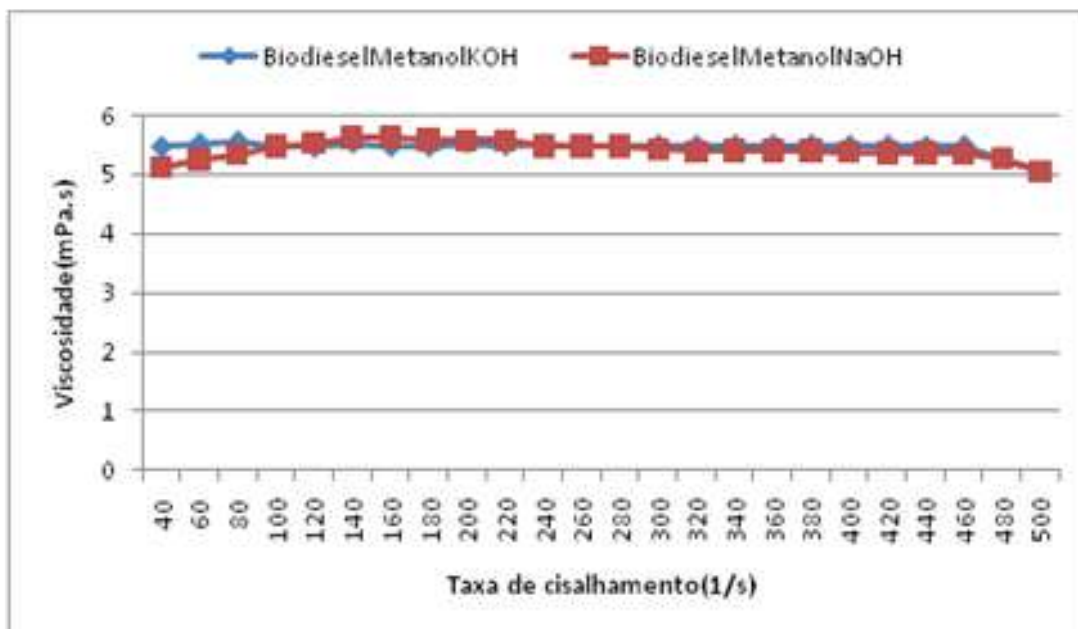
A Figura 24 mostra a sobreposição das curvas DTA para as amostras de biodiesel obtidas a partir de diferentes matérias-primas. As amostras de biodiesel de óleo de soja, biodiesel de fritura, biodiesel de gordura de frango com KOH e biodiesel de gordura de frango com NaOH apresentaram um evento endotérmico nas temperaturas de 245°C, 225°C, 256°C e 261°C respectivamente.



**Figura 24: Curvas de DTA do biodiesel de soja, biodiesel de fritura, biodiesel de frango com catalisadores KOH e NaOH.**

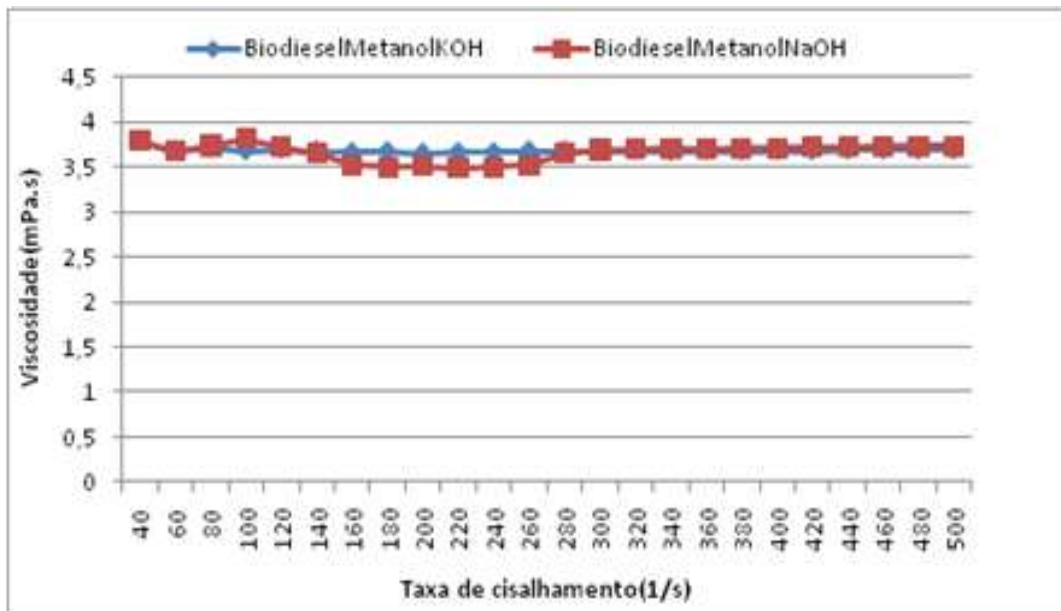
## 7.2 – Reologia

A reologia foi utilizada como ferramenta para determinar e comparar o comportamento reológico das amostras de biodiesel de resíduo de óleo de frango com metanol/KOH e metanol/NaOH. As Figuras 25 e 26 apresentam as curvas de viscosidade x taxa de cisalhamento nas temperaturas de 25 °C e 40 °C, respectivamente. A viscosidade para as duas amostras apresentou-se constante com o aumento das taxa de cisalhamento em ambas as temperaturas. O biodiesel a partir de metanol/KOH e metanol/NaOH apresentaram valores médios de viscosidade de 5,46 mPa.s e 5,41 mPa.s à 25 °C, respectivamente. As reações com metanol/KOH e metanol/NaOH à 40 °C indicaram valores médios de viscosidade de 3,68 mPa.s e 3,66 mPa.s, respectivamente.



**Figura 25: Curvas de viscosidade a 25°C para biodiesel a partir de KOH e NaOH.**





**Figura 26: Curvas de viscosidade a 40°C para biodiesel a partir de KOH e NaOH.**

Nas Figuras 27 e 28 é possível observar as curvas de fluxo para as amostras de biodiesel de frango à 25 °C e à 40 °C, respectivamente. As curvas apresentam uma tensão que aumenta de forma contínua e linear com o aumento da taxa de cisalhamento, sugerindo um comportamento newtoniano (MOTHÉ & CORREIA, 2005)

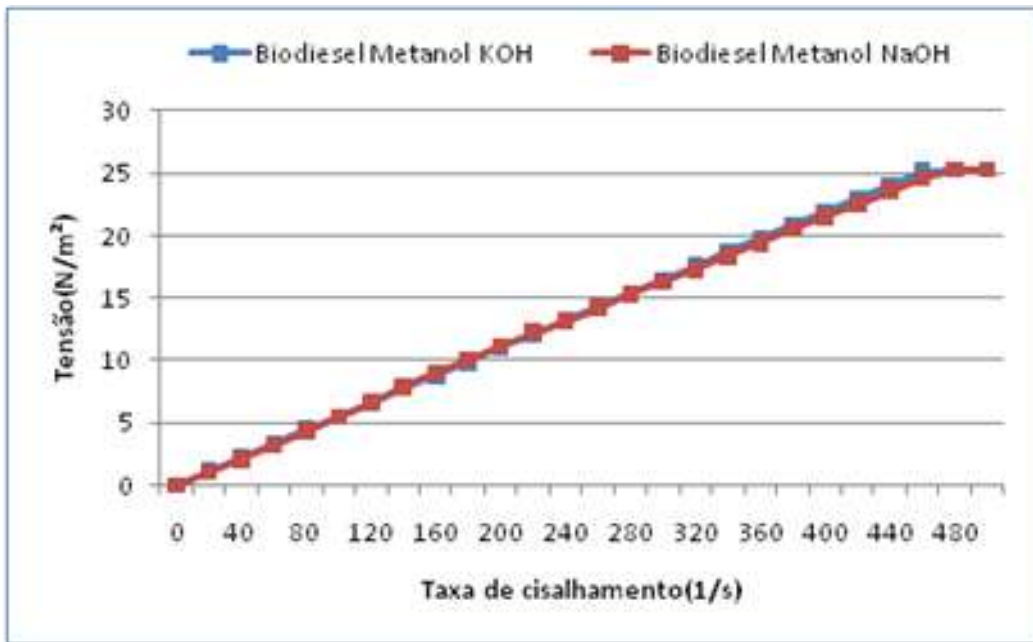


Figura 27: Curvas de Fluxo a 25°C para biodiesel a partir de KOH e NaOH.

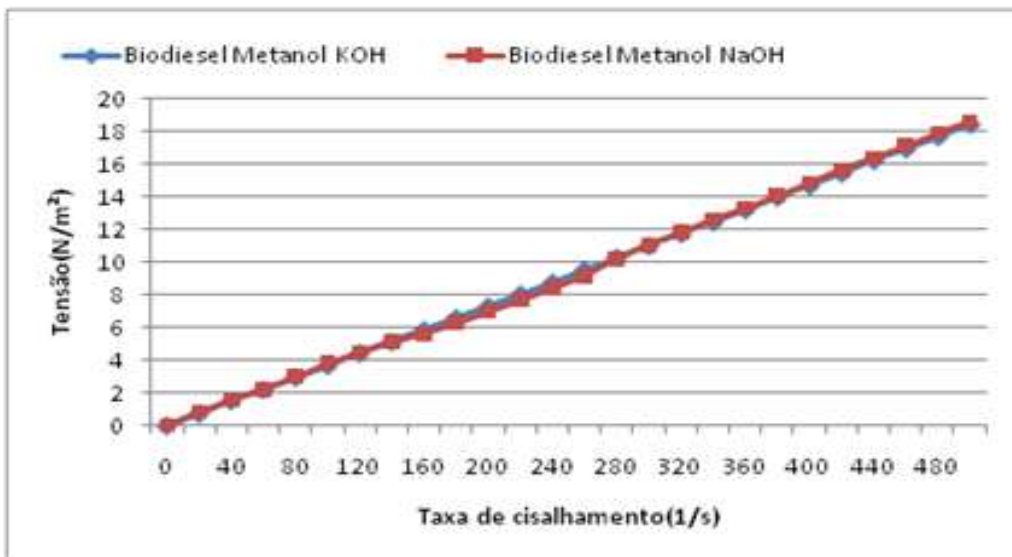


Figura 28: Curva de Fluxo a 40°C para biodiesel a partir de KOH e NaOH.

### 7.3 – Viscosidade Cinemática

Os valores de viscosidade cinemática para a amostra de biodiesel a partir da gordura com KOH e a amostra de biodiesel a partir da gordura de frango com NaOH obtidos estão de acordo com as especificações da ANP, como pode ser observado na Tabela 4.

**Tabela 4: Viscosidade cinemática e densidade para as amostras de biodiesel de gordura de frango com NaOH e KOH.**

| <b>Amostras</b>                     | <b>Viscosidade cinemática(mm<sup>2</sup>/s)</b> | <b>Densidade(g/m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------------------------------|---|-----------------------------------|
| Biodiesel de gordura de frango/KOH  | 4,558   | 0,8819                            |
| Biodiesel de gordura de frango/NaOH | 4,519   | 0,8834                            |
| <b>Especificações/ANP</b>           | <b>3,0 a 6,0</b>                                | <b>0,820 a 0,880</b>              |

# Capítulo 8

## Capítulo 8: Conclusão

Os resultados obtidos mostraram que a gordura de frango, o óleo de soja e o óleo de fritura podem ser uma boa fonte de matéria-prima para obtenção de biodiesel.

- A análise térmica, a partir das curvas de TG, DTG e DTA, é um método importante para determinar o comportamento térmico das amostras de óleo ou gordura e de biodiesel, apresentando uma pureza favorável para a reação de transesterificação.
- As curvas de TG das amostras de biodiesel de gordura de frango sintetizadas com catalisadores KOH e NaOH apresentaram um único estágio de decomposição. As amostras de biodiesel de óleo de soja e óleo de fritura apresentaram dois estágios de decomposição.
- As curvas de DTA das amostras de biodiesel de óleo de soja, biodiesel de fritura, biodiesel de gordura de frango com KOH e biodiesel de gordura de frango com NaOH apresentaram um evento endotérmico nas temperaturas de 245°C, 225°C, 256°C e 261°C respectivamente.
- As curvas de DTG das amostras de biodiesel obtidas a partir de óleo de soja e óleo de fritura apresentaram dois estágios de decomposição, nas temperaturas de 245°C e 390°C (biodiesel de óleo de soja) e 240°C e 415°C (biodiesel de fritura). As amostras de biodiesel obtidas a partir de gordura de frango e com o uso de catalisadores KOH e NaOH apresentaram um único estágio de decomposição, nas temperaturas de 256°C (biodiesel de gordura de frango/KOH) e 261°C (biodiesel de gordura de frango/NaOH).

- As curvas de fluxo, indicaram um aumento contínuo e linear da tensão x taxa de cisalhamento para as amostras nas temperaturas de 25°C e 40°C, confirmando um comportamento newtoniano.
- O método de especificação utilizado foi a viscosidade cinemática, que apresentou valores de 4,588 m<sup>m2</sup>/s e 4,519 m<sup>m2</sup>/s, que estão de acordo com os limites estabelecidos pela ANP

## Referências Bibliográficas

- ABNT – norma NBR 6023:2002 Informação e documentação - Referências – Elaboração, página 1 a 24, em vigor desde 2002.
- Alptekin,E; Canakci,M;Sanli,H; **Biodiesel production from vegetable oil and waste animal fats in a pilot plant**; Kocaeli University,Turkey, 2014.
- ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução n.7, de 19 de março de 2008. Brasília: Diário Oficial da União, 2008. p.37-38.
- **Anuário Estatístico da Agroenergia 2014**; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Secretaria de Produção e Agroenergia; Embrapa Informação Tecnológica, Brasília; 2015. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/pasta-anuario-estatistico-da-agroenergia/anuario-estatistico-da-agroenergia> Acessado em novembro de 2016.
- Arruda, P. V.; Rodrigues, R. C. L. B.; Almeida Felipe, M. G.; **Glicerol: um Subproduto com Grande Capacidade Industrial e Metabólica**; Revista Analytica, nº 26, dezembro2006/janeiro2007.
- Barnett, J; Lambert, S; Fry, I. **The Hazards of Indicators: Insights from the Environmental Vulnerability Index**; Annals of the Association of American Geographers, University of Melbourne, Tuvalu, Australia, 2008.
- Bonometo, R.P. **Análise Energética do Processo Experimental de Produção de Biodiesel a partir de Óleo de Frango**; Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, São Paulo, 2009.
- Braga, A. L. M. **Formação, estrutura e propriedades reológicas de sistemas biopoliméricos**; Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2006.
- Castro, B. C. S. **Otimização das Condições da Reação de Transesterificação e Caracterização dos Rejeitos dos Óleos de Fritura e de Peixe para Obtenção de Biodiesel**; Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- Ching, W. H.; Rodrigues, C. W. (Coord.); **Cartilha biodiesel**. SEBRAE, 2007. 61p.
- Cunha, M. E. **Caracterização de Biodiesel Produzido com Misturas Binárias de Sebo Bovino, Óleo de Frango e Óleo de Soja**; Instituto de

Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2008.

- Demirbas, A. **Energy Conversion and Management**, 2008.
- Kissinger, H. E. **Reaction Kinetics in Differential Thermal Analysis**. Analytical Chemistry, 29 (11), 1702-1706, 1957.
- Khalil, C. N. **As tecnologias de produção de biodiesel**. In: BRASIL, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Instituto Euvaldo Lodi – IEL/Núcleo Central: O futuro da indústria: biodiesel: coletânea de artigos. Brasília, 2006.
- Knothe, G.; Gerpen, J.V.; Krahl, J.; Tradução: Ramos, L.P.; **Manual do Biodiesel**; Editora Edgard Blücher, São Paulo, 1ª edição, 2006.
- Krause, L. C. **Desenvolvimento do Processo de Produção de Biodiesel de Origem Animal**; Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2008.
- Lopes, M. S. **Caracterizações Especiais de Combustíveis Fóssil e Renovável**; Faculdade de Engenharia Química; Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2010.
- Lucas, E.F.; Soares, B.G.; Monteiro, E. **Caracterização de Polímeros – Determinação do Peso Molecular e Análise Térmica**, e-papers serviços editoriais, 2001.
- Meirelles, F. de S.; **Biodiesel**; Brasília, 2003.
- Mothé, C.G; Correia, D. Z; **Estudo da Estabilidade Térmica de Óleos Vegetais**; II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Varginha, Minas Gerais, 2005.
- Mothé, C.G; Azevedo, A.D.; **Análise Térmica de Materiais**, I Editora, São Paulo, 2ª edição, 2009.
- Miyashiro, C.S; Oliveira, C; Campos, E; Teleken, J.G; **Produção de Biodiesel a partir da reação de transesterificação de óleos residuais**, Revista brasileira de energias renováveis, v. 1, p 63-76, 2013.
- Ozawa, T. **Estimation of activation energy by isoconversion methods**. Thermochimica Acta, 203, 159-165, 1992.



- **Panorama do Agronegócio Brasileiro**; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Secretaria de Produção e Agroenergia; Embrapa Informação Tecnológica, Brasília; 2017. Disponível em [http://www.agricultura.gov.br/assuntos/relacoes-internacionais/arquivos-das-publicacoes/laminas\\_0-ilovepdf-compressed.pdf/view](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/relacoes-internacionais/arquivos-das-publicacoes/laminas_0-ilovepdf-compressed.pdf/view) Acessado em Fevereiro de 2017.
- Parente, E. J. de S.; Santos Junior, J.N; Pareira, J. B.; Parente Junior, E.J de S.; **Biodiesel: Uma aventura tecnologica num país engraçado**; Tecbio, Fortaleza, Ceará, 2003.
- Pires, M. M.; Alves, J. M.; Neto, J. A. A.; Almeida, C. M.; Sousa, G. S.; Cruz, R. S.;Monteiro, R.; Lopes, B. S.; Robra, S.; **Biodiesel de Mamona: uma Avaliação Econômica**; 1º Congresso Brasileiro de Mamona – Energia e Sustentabilidade, Campina Grande, Paraíba, 2004.
- **Resenha Energética Brasileira**; Ministério de Minas e Energia, Exercício de 2014, edição de junho de 2015.
- Santos Júnior, J. R.; Santos, J. A. V.; **Obtenção do Glicerol do Co-produto de Produção do Biodiesel**; Informativo CFQ, Ano XXXVI, Brasília – DF, janeiro a março de 2008.
- Schramm, G. **Reologia e Reometria – Fundamentos Teóricos e Práticos**. São Paulo: Editora Artliber Ltda., 2006.
- **Usos de Biodiesel no Brasil e no Mundo**; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento(MAPA); 1ª edição, Brasília, 2015.
- Wendlandt, W.W. **Thermal Analysis**. John Wiley & Sons, vol 19, USA, 1986.
- [www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br) acessado em novembro de 2016
- [www.biodiesel.com.br](http://www.biodiesel.com.br) acessado em novembro de 2016
- [www.biodieselbr.com](http://www.biodieselbr.com) acessado em novembro de 2016
- [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br) acessado em novembro de 2016
- [www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/10/producao-de-biodiesel-cresce-em-2015-com-media-de-65-mil-barris-diarios-de-janeiro-a-julho](http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/10/producao-de-biodiesel-cresce-em-2015-com-media-de-65-mil-barris-diarios-de-janeiro-a-julho) acessado em novembro de 2016

- <http://abpa-br.com.br/noticia/avicultura-e-suinocultura-do-brasil-producao-e-exportacao-previsoes-para-2015-e-2016-1478> acessado em novembro de 2016
- <http://www.brasil.gov.br/governo/2016/03/aumento-do-biodiesel-no-diesel-ajudara-brasil-a-cumprir-metas-ambientais-afirma-dilma> acessado em novembro 2016
- <https://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/suarez/metanol-ou-etanol-consideracoes-20-02-08.htm> acessado em julho de 2017