

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE  
FRANGO NAS COOPERATIVAS DO OESTE DO PARANÁ**

**Cascavel –Paraná - Brasil**

**Agosto 2005**

**LUIS FERNANDO SOUZA GOMES**

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE  
FRANGO NAS COOPERATIVAS DO OESTE DO PARANÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof. Drº. Samuel Nelson Melegari  
de Souza

Co-Orientador: Prof. Drº. Reinaldo Aparecido  
Bariccatti

**Cascavel –Paraná - Brasil**

**Agosto 2005**



LUÍS FERNANDO SOUZA GOMES

“Potencial de Produção de Biodiesel a partir do Óleo de Frango nas Cooperativas do Oeste do Paraná”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza  
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Profª. Drª. Jane de Jesus da Silveira Moreira  
FAG – Cascavel - PR

Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira  
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Reinaldo Prandini Ricieri  
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Suedêmio de Lima Silva  
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Cascavel, 02 de agosto de 2005.

*Se você está procurando uma grande oportunidade,  
descubra um grande problema.*

*Martinho Lutero*

## **Dedicatória**

*Dedico este trabalho a minha mãe, Marina;  
Minha esposa, Sueli e meu filho Eduardo, os quais me  
ajudaram, incentivaram e compreenderam o que eu queria.*

## AGRADECIMENTOS

Aos professores do programa de mestrado em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Cascavel, os quais contribuíram de forma significativa para a realização deste trabalho e com a ampliação dos meus conhecimentos, os quais levarei por toda minha vida.

Ao meu orientador Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza, por sua orientação na elaboração deste trabalho e entusiasmo para que as coisas aconteçam no uso de novas fontes alternativas de energia.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti, também por sua orientação juntamente com seu trabalho.

Em especial, à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, por ter possibilitado, além da minha graduação, também o meu aprimoramento, o qual me possibilitará melhores oportunidades na vida.

Aos colegas de curso pela amizade, companheirismo e auxílio durante a realização deste trabalho.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 MODELO ENERGÉTICO.....	4
2.1.1 Energia Térmica.....	4
2.1.2 Política Energética Sustentável.....	6
2.1.3 Aspectos Normativos.....	8
2.1.4 Projetos e Potencialidades das Fontes Alternativas.....	9
2.2 POTENCIAL DO BIODIESEL NO BRASIL.....	12
2.2.1 Projeto de Lei 3368/2004.....	12
2.2.2 Lei 11.097, de 13.1.2005.....	15
2.2.3 O Biodiesel.....	15
2.2.3.1 Processos de transesterificação.....	16
2.2.3.2 Especificação preliminar do Biodiesel B100.....	18
2.2.4 O Potencial Brasileiro de Óleos e Gorduras.....	20
2.2.4.1 O potencial da avicultura na região sul.....	21
2.3 ANÁLISE POR INFRAVERMELHO (IV).....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO DE FRANGO.....	27
3.1.1 Grau de Acidez (GA).....	27
3.1.2 Índice de Peróxidos (IP).....	28
3.1.3 umidade do Óleo de Frango ( ).....	29
3.1.4 Análise por Infravermelho (IV).....	30
3.1.5 Massa Específica.....	30
3.1.6 Ponto de Fulgor.....	31
3.1.7 Teor de Sedimentos.....	31
3.1.8 Teor de Enxofre.....	32
3.1.9 Viscosidade Cinemática.....	32
3.1.10 Poder Calorífico Superior (PCS).....	33
3.2 TRANSESTERIFICAÇÃO.....	33

<u>3.2.1 Processo de Transesterificação em Bateladas.....</u>	<u>33</u>
<u>3.2.2 Processo de Transesterificação Contínua.....</u>	<u>38</u>
<u>3.2.3 Etapas da Transesterificação em Laboratório.....</u>	<u>38</u>
<u>3.3 RENDIMENTO DO PROCESSO EM BIODIESEL.....</u>	<u>43</u>
<u>3.4 POTENCIAL DE ABATE DE AVES INSTALADO NAS</u> <u>COOPERATIVAS DO OESTE DO PARANÁ.....</u>	<u>45</u>
<u>3.4.1 Resíduos de Origem Animal.....</u>	<u>46</u>
<u>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	<u>47</u>
<u>4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO DE FRANGO.....</u>	<u>47</u>
<u>4.2 TRANSESTERIFICAÇÃO EM ESCALA LABORATORIAL.....</u>	<u>50</u>
<u>4.3 RENDIMENTO DO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO.....</u>	<u>52</u>
<u>4.4 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ÓLEO DE FRANGO NAS</u> <u>COOPERATIVAS DO OESTE DO PARANÁ.....</u>	<u>53</u>
<u>5 CONCLUSÕES.....</u>	<u>56</u>
<u>6 RECOMENDAÇÕES.....</u>	<u>57</u>
<u>REFERÊNCIAS.....</u>	<u>60</u>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre especificações para o diesel no Brasil e o biodiesel no Brasil e em outros países.....	19@~
Tabela 2 - Principais fontes produtoras de biodiesel no Brasil.....	20@~
Tabela 3 - Principais produtores mundiais de carne de frango (mil ton).....	22@~
Tabela 4 - Produção brasileira de carne de frango por região em 2001.....	22@~
Tabela 5 - Abate de frangos no Brasil em 2001 com Serviço de Inspeção Federal (SIF).....	22@~
Tabela 6 - Composição % em ácidos graxos em depósitos de gordura subcutânea .....	24@~
Tabela 7 - Características químicas do óleo de soja e do azeite de dendê.....	24@~
Tabela 8 - Comparação entre as rotas metílicas e etílicas.....	36@~
Tabela 9 - Abatedouros de aves pertencentes a cooperativas no oeste no Paraná .....	45@~
Tabela 10 - Parâmetros das amostras.....	47@~
Tabela 11 - Determinações físico-químicas realizadas pela TECPAR – divisão de biocombustíveis.....	48@~
Tabela 12 - Partes descartadas no abate e processamento de aves.....	53@~
Tabela 13 - Potencial de produção de biodiesel, com rendimento de 95 %, a partir do óleo de frango produzido pelas cooperativas do oeste do Paraná.....	53@~

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de transesterificação em bateladas.....	35@~
Figura 2 - Fluxograma do processo de transesterificação continua.....	41@~
Figura 3 - Equipamento para preparação do catalisador e do biodiesel.....	42@~
Figura 4 - Balão de decantação contendo biodiesel e glicerol.....	44@~
Figura 5 - Espectro de IV do óleo de vísceras de frango.....	49@~
Figura 6 - Espectro de IV do óleo de efluentes.....	50@~
Figura 7 - Espectro de IV do óleo de soja comercial.....	50@~
Figura 8 - Espectro de IV do biodiesel produzido com óleo de vísceras de frango sem o processo de lavagem .....	51@~
Figura 9 - Espectro de IV do biodiesel produzido com óleo de vísceras de frango após duas lavagens.....	52@~

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
GA	Grau de Acidez
GEE	Gases do Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
IEA	International Energy Agency
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IV	Infra Vermelho
KBr	Brometo de potássio
kg/ano	Quilograma por ano
kg/dia	Quilograma por dia
kg/hectare	Quilograma por hectare
kg/hectare/ano	Quilograma por hectare por ano
km <sup>2</sup>	Quilometro quadrado
KOH	Hidróxido de potássio
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora

kWh/ano	Quilowatt hora por ano
m <sup>3</sup> /dia	Metro cúbico por dia
mg/l	Miligrama por litro
min	Minuto
ml	Mililitro
mm	Milímetro
MW	Megawatt
MWh	Megawatt hora
NaOH	Hidróxido de sódio
NO <sub>2</sub>	Óxido de nitrogênio
NO <sub>x</sub>	Óxidos de nitrogênio
Ø	Diâmetro
OCEPAR	Organização das Cooperativas do Estado do Paraná
PCH's	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PNA	Programa Nacional do Álcool
PPT	Programa Prioritário de Termelétricas
PRODEENE	Programa Prioritário de Desenvolvimento da Energia Eólica do Nordeste
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
R\$/ton	Reais por tonelada
rpm	Rotações por minuto
SIF	Serviço de Inspeção Federal
SO <sub>x</sub>	Óxidos de enxofre
TECPAR	Instituto de Tecnologia do Paraná
ton	Tonelada
US\$	Dólar americano
λ	Comprimento de onda
$\bar{\nu}$	Número de onda
$\nu$	Frequência
€	Euro

## RESUMO

Os impactos provocados pelo homem ao meio ambiente, neste início de século XXI, aumentaram muito, causando vários problemas. Grande parte destes problemas está relacionado com a utilização de energia, principalmente nos países industrializados. Outro fato é a diminuição das reservas de energia utilizadas, como o petróleo, tornando-se uma necessidade mundial o desenvolvimento de novas fontes de energia menos poluentes e renováveis. Neste cenário o Brasil ocupa um local de destaque, devido a sua grande extensão territorial, clima e várias alternativas energéticas, podendo utilizar o sol, ventos ou biomassa. No uso da biomassa o Brasil desenvolveu tecnologias utilizadas em todo o mundo, como produção de álcool combustível e biodiesel, em função das crises energéticas que ocorreram. O biodiesel é um combustível alternativo, produzido a partir de fonte renovável e que pode substituir o óleo diesel, diminuindo os impactos ao meio ambiente. No país existem várias espécies de oleaginosas com potencial para produção de biodiesel. Também na cadeia produtiva de carne de frango é gerado um resíduo, óleo de frango, com potencial para produção de biodiesel. No ano de 2001 o Brasil foi o segundo maior produtor de carne de frango do mundo, respondendo por 14,23% da produção mundial. A região sul respondeu por 55,81% desta produção, sendo o estado do Paraná responsável por 27% do total. Nos abatedouros de aves são descartados em torno de 30% de resíduos, e destes são extraídos 11,3% de óleo de frango com características similares aos óleos vegetais. Neste trabalho foram determinados o grau de acidez, o índice de peróxidos e a umidade do óleo de frango, os quais influenciam no rendimento do processo de transesterificação. Foi utilizada a técnica de IV para a determinação da formação de ésteres de álcoois primários. Foram determinados: massa específica, ponto de fulgor, teor de sedimentos, teor de enxofre, viscosidade cinemática e poder calorífico superior do óleo de frango, os quais caracterizam este como um possível combustível. Foi levantado o potencial de produção de óleo de frango nas cooperativas da região oeste do estado do Paraná, 74.292,00 kg/dia, que após processo de transesterificação com rendimento de 95%, poderia produzir 73.959,13 kg/dia de biodiesel, o qual abasteceria 37,1%, com B2, do mercado paranaense de diesel. Alternativa seria abastecer todo o mercado da região oeste do estado do Paraná com B5, ou abastecer um terço do setor agropecuário desta mesma região com B100 ou o total com B30.

**Palavras chave:** óleo de frango, biodiesel, diesel.

## ABSTRACT

The impacts caused by the man to the environment, at the beginning of century XXI, increased a lot, causing several problems. Great part of these problems is related to energy utilization, mostly in the industrialized countries. Another fact is the decreasing of energy reserves used, such petroleum, becoming a world necessity to develop new energy sources less polluter and renewable. In this scenery Brazil occupies a highlight location, due to its big territorial extension, climate and several energetic alternatives, could use the sun, winds or biomass. In the biomass use Brazil developed technologies used all over the world, as combustibile alcohol and biodiesel productions, in function of the energetic crises that occurred. The biodiesel is an alternative fuel, produced from renewable source and which can replace diesel oil, decreasing the impacts to the environment. In the country exists several species of oleaginous with potential for biodiesel production. Also in the chicken meat productive chain a residue is produced, chicken oil, with potential for biodiesel production. In the year of 2001 Brazil was the second larger world chicken meat producer, answering for 14,23% of the world production. The south region answered for 55,81% of this production, being Paraná's state responsible for 27% from the total. In the chicken slaughterhouses about 30% of residues are discarded, and of these 11,3% of chicken oil is extracted with similar characteristics of vegetable oils. In this paper the acidity degree, chicken oil peroxides and humidity index were determined, which ones influence in transesterification process revenue. Not only was used the technique of IV to determination of primary alcohols esters formation. Were determined specific mass, splendor point, sediments content, sulfur content, cinematic viscosity and superior calorific power of the chicken oil, which ones characterize this as a possible fuel. It was researched the chicken oil production potential in the cooperatives of the west region of Paraná state, 74.292,00 kg/day, that after prosecute of transesterification with revenue of 95%, it could produce 73.959,13 kg/day of biodiesel, which could supply 37,1%, with B2, diesel Paranaense's market. An alternative would be supply the whole market of the west region of Paraná state with B5, or supply a third of the agricultural sector of this same region with B100 or the total with B30.

**Key words:** chicken oil, biodiesel, diesel.



## 1 INTRODUÇÃO

Após a revolução industrial, no final do século XVIII, e durante o século XX, os impactos das atividades humanas no meio ambiente tornaram-se muito significativos. A comunidade científica tem divulgado que o aumento da população e do consumo pessoal, principalmente nos países desenvolvidos, originou problemas ambientais cuja solução é o grande desafio deste início do século XXI para pesquisadores de todo o mundo.

Grande parte dos problemas ambientais está relacionado com a exploração e utilização de energia. Poluição, chuva ácida, destruição da camada de ozônio, aquecimento da terra por causa da intensificação do efeito estufa, destruição da fauna e da flora são alguns dos efeitos dos processos atualmente disponíveis para a geração de energia.

Conforme a Agência Internacional de Energia (IEA, 2003), 75% da energia gerada em todo o mundo é consumida por apenas 25% da população mundial, principalmente nos países industrializados. Prevendo que a população dos países em desenvolvimento irá aumentar e até que melhore seus padrões de consumo a questão será: como atender a demanda por energia e minimizar os impactos ambientais decorrentes de sua produção.

A gravidade dos impactos ambientais vai depender em grande parte da fonte de energia usada. O emprego de fontes não renováveis, como o petróleo, o gás natural, o carvão mineral e o potencial nuclear, estão associados a maiores riscos ambientais, tanto locais (poluição do ar) como globais (efeito estufa). As fontes de energia renováveis, como: a água, o sol, os ventos e a biomassa, são consideradas as formas de geração mais limpas que existem, embora também possam afetar o meio ambiente, dependendo das suas formas de utilização.

No campo da produção de energia da biomassa, o Brasil é um país absolutamente privilegiado (CENBIO, 2003). Por dispor da incidência da energia solar durante todo o ano, em quase toda a sua extensão territorial, pode se propor a implantar um amplo programa de geração de energia de variadas fontes alternativas como: biodiesel gerado a partir de gorduras e óleos de origem vegetal ou animal, álcool de cana-de-açúcar, restos de produção, energia eólica e PCH's (VASCONCELLOS, 2002).

Para enfrentar o aumento da demanda por energia no futuro, é preciso encarar o uso da energia sob a ótica do consumo sustentável, ou seja, aquele que atende às necessidades da geração atual, sem prejuízo para gerações futuras. Isso significa eliminar desperdícios e buscar fontes alternativas mais eficientes e seguras para o homem e o meio ambiente. Como boa parte da tecnologia de produção contemporânea está baseada em derivados de petróleo, não é difícil observar as vantagens competitivas do Brasil, com sua imensa capacidade de produção de energia a partir de fontes perenes: sol, ventos, biomassa.

Uma das alternativas para o Brasil é a produção de biodiesel a partir de gorduras e óleos vegetais ou animais, o que já existe em vários países da Europa, com oferta aos consumidores em postos de abastecimento na forma pura, denominada de B100, ou em misturas denominadas BX, em que o X indica o percentual de biodiesel incorporado ao óleo diesel (TECBIO, 2002).

No Brasil, desde a década de 70, há pesquisas realizadas pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT) com óleos vegetais para fins combustíveis. No início da década de 80 foi divulgada, pelo núcleo de fontes não convencionais de energia da Universidade Federal do Ceará, a descoberta de um combustível produzido a partir de fonte vegetal renovável, gorduras e óleos vegetais ou animais, sucessor do óleo diesel mineral, denominado na época de PRODIESEL, tendo como autor do processo o professor e pesquisador Expedito José de Sá Parente. Desde o início, várias matérias primas foram empregadas na produção do diesel vegetal, em que se incluem os óleos de soja, babaçu, amendoim, algodão, colza, girassol, dendê, dentre vários outros. Fato curioso na época foi o uso de óleo de peixe proveniente da Bélgica, enviado pela *De Smet*, na época, a

maior empresa especializada na fabricação de equipamentos para a extração de óleos vegetais. Como a matéria prima era originaria de peixes, foi produzido assim, de forma inédita, óleo diesel animal, o qual fez funcionar um motor a diesel, à semelhança dos óleos diesel de origem vegetal (PARENTE, 2003).

Segundo dados da ABEF (2002), o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de carne de frango e o estado do Paraná o maior responsável por essa produção. Surgiu então a idéia de aproveitar as gorduras provenientes dessa cadeia produtiva, óleo não comestível de vísceras de frangos e óleo extraído da borra do tratamento de efluentes das instalações frigoríficas, para uso como combustíveis.

O objetivo principal deste trabalho foi a determinação do potencial de produção de biodiesel a partir do óleo de frango produzido nas cooperativas da região oeste do estado do Paraná.

Outros objetivos específicos foram:

- a) Caracterização físico-química do óleo de frango para adequação aos processos de transesterificação;
- b) Transesterificação em escala laboratorial;
- c) Determinação do rendimento do processo em biodiesel;
- d) Potencial de produção do óleo de frango.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MODELO ENERGÉTICO

#### Energia Térmica

A energia térmica ou calorífica é o resultado da combustão de diversos materiais, como carvão mineral, petróleo e gás natural, fontes não renováveis, e biomassa (lenha, bagaço de cana, etc.), que é uma fonte renovável. A energia térmica pode ser convertida em energia mecânica por meio de equipamentos como a máquina a vapor, os motores de combustão interna ou turbinas a gás. Alguns combustíveis que podem movimentar as termelétricas são: gás natural, petróleo, carvão mineral, biomassa, etc. (TORREIRA, 1995). As reservas de gás natural formaram-se há milhões de anos a partir da sedimentação do plâncton, sua combustão libera óxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ) e também dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), embora este último em quantidades menores que o petróleo e o carvão.

As termelétricas também podem operar a partir da queima de petróleo, combustível que se formou ao longo de milhões de anos pela transformação química de fósseis animais e vegetais. Quando queimados, os derivados do petróleo (gasolina e óleo diesel) produzem gases contaminantes, como monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que poluem a atmosfera e contribuem para o aquecimento da Terra, a formação de chuva ácida, entre outros efeitos nocivos.

Outro combustível muito utilizado em termelétricas é o carvão mineral, que também se formou, ao longo de milhões de anos, a partir da decomposição de plantas e animais. É o pior combustível não renovável, pois sua combustão emite grandes quantidades de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e enxofre ( $\text{SO}_x$ ), que provocam a formação da chuva ácida, além de agravar doenças pulmonares, cardiovasculares e renais nas populações próximas. A queima do carvão também libera  $\text{CO}_2$ , que contribui para o efeito estufa.

Segundo dados da IEA (2003), o carvão era a segunda principal fonte de energia mundial até 1997. Os mesmos dados apontam a China, os Estados Unidos e a Índia como os maiores produtores mundiais de carvão. Motivos ambientais e econômicos, que relacionam a queima desse combustível com a acidificação das chuvas e outros efeitos da poluição atmosférica, contribuíram para uma redução de 5% no consumo durante a década de 90.

A biomassa é a matéria de origem orgânica, animal ou vegetal, que pode ser usada como combustível em usinas termelétricas, com a vantagem de ser uma fonte renovável. Um exemplo de biomassa é a lenha. Pode-se dizer que a lenha é renovável somente quando o ritmo de extração está em equilíbrio com o de reflorestamento. Caso contrário, ela perde seu caráter renovável, colocando em risco a sobrevivência das florestas (CENBIO, 2003).

A produção de biomassa pode ocorrer pelo aproveitamento de lixo residencial e comercial ou resíduo de processos industriais como: serragem, bagaço de cana e cascas de árvores ou de arroz. A biomassa representa um grande potencial energético para o Brasil, que é tradicionalmente um grande produtor de cana-de-açúcar, matéria-prima que pode ser integralmente aproveitada.

Em 1974, o Brasil, grande produtor de biomassa, implementou o Programa Nacional do Alcool (PNA) para abastecer com etanol, de forma extensiva, veículos movidos à gasolina. A motivação original do direcionamento do álcool para fins carburantes no Brasil foi a crise internacional do mercado do açúcar, que coincidentemente ocorreu quando o cenário era de escassez de petróleo e, já se sabia, de experiências antigas da qualidade do etanol como

combustível para motores de combustão interna à ignição (Ciclo Otto) (PARENTE, 2003).

O álcool é uma alternativa que contribui para redução do consumo de combustíveis fósseis e é mais limpo que a gasolina e o diesel, principalmente quanto às emissões de CO e hidrocarbonetos. Atualmente, no Brasil, até mesmo os automóveis movidos à gasolina poluem menos, pois o combustível usado corresponde a uma mistura de 75% de gasolina e 25% de álcool, o que ajuda a reduzir a emissão de poluentes (ALVES FILHO, 2003).

Outros subprodutos da cana são: o bagaço e a palha, resultantes da produção de açúcar e álcool e que podem ser aproveitados nas usinas termelétricas para geração de energia. É um potencial enorme, pois a quantidade de bagaço produzida em cada safra representa 30% do volume da cana moída. Isso permite que as usinas de cana se tornem auto-suficientes em termos necessidade de energia, podendo mesmo vender a eletricidade excedente (BRASIL, 2003a).

### Política Energética Sustentável

As políticas para as fontes de energia sustentáveis na Alemanha, por exemplo, foram desenvolvidas num contexto em que o atendimento seguro de energia é praticamente garantido à população, mesmo numa sociedade com altos padrões de consumo, mas com uma crescente conscientização dos problemas ambientais já ocorridos, impulsionada pelo processo de negociação do Protocolo de Kyoto e de resistência à energia nuclear. Parte integrante da estratégia alemã de sustentabilidade é a meta voluntária de redução das emissões de CO<sub>2</sub> em 25% até o ano de 2005, em relação ao ano de 1990. O governo alemão almeja a duplicação da participação das fontes renováveis no consumo de energia primária e na geração de eletricidade até ao ano de 2010. Até o ano de 2050, 50% da demanda deverá ser obtida a partir de fontes renováveis (ORTIZ, 2002).

No Brasil, a produção de energia elétrica está baseada, em cerca de 90%, na hidrelétrica. O restante provém principalmente de usinas térmicas, que operam com carvão, diesel e gás natural e de usinas nucleares. O uso da biomassa ocupa um lugar de importância, não tanto no seu aproveitamento na geração de energia elétrica, mas sob a forma de combustível alternativo ao petróleo. Entretanto, representa ainda uma pequena parcela quando comparado ao uso dos combustíveis fósseis no sistema de transporte no país, que prioriza o sistema rodoviário e o uso de derivados de petróleo (BRASIL, 2003a).

Nesse cenário, o maior desafio do setor energético brasileiro consiste na ampliação do acesso à energia, de modo a garantir o abastecimento de 20 milhões de pessoas que vivem, principalmente, no meio rural e em condições de pobreza.

Apesar da fonte hidrelétrica ter sido considerada limpa por muito tempo, hoje seus impactos sociais e ambientais, inclusive no que tange às emissões de gases do efeito estufa, são reconhecidos. As usinas hidrelétricas construídas no Brasil resultaram em mais de 34.000 km<sup>2</sup> de terras inundadas para a formação dos respectivos reservatórios e na expulsão de milhares de famílias residentes nas regiões diretamente atingidas. Os reais impactos decorrentes da perda de terras agricultáveis, de qualidade e disponibilidade de água doce, de biodiversidade e de recursos pesqueiros são difíceis de serem mensurados.

Num contexto em definição no Brasil, apresenta-se ainda uma dependência das grandes centrais geradoras de energia, controladas pelo setor privado ou estatal, em sistemas desverticalizados ou não, com uma clara tendência de liberalização do mercado de energia e com a possibilidade de operação de produtores independentes. Portanto, verificam-se um período de transição, a necessidade de uma urgente reorientação da política energética brasileira, a discussão do modelo econômico e regulatório a ser adotado e o estabelecimento de metas para o aumento da participação das fontes alternativas renováveis de energia e de eficiência energética, as quais devem ter seu potencial prioritariamente aproveitado no caminho da construção de um futuro sustentável (BRASIL, 2003b).

## Aspectos Normativos

Em decorrência das metas estabelecidas pela União Européia para a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e como resultado da pressão histórica da sociedade civil da Alemanha, esse país desenvolveu um importante processo político que resultou no avanço da legislação para as energias renováveis e para o compromisso de desativação das usinas nucleares até o ano de 2020. A lei das energias renováveis não estabelece qualquer subvenção pelo estado, mas cria mecanismos como, por exemplo, as compensações bastante elevadas pela alimentação da rede e a obrigatoriedade de compra de energia por parte das concessionárias, que geram condições estáveis para que as metas para 2010 e 2050 sejam alcançadas. Dessa forma, o desenvolvimento das energias renováveis foi bastante acelerado naquele país. O Decreto da Biomassa, de 2001, também esclareceu as disposições para geração de energia a partir de biomassa no setor do biogás, criando condições necessárias para a realização de investimentos (ORTIZ, 2002).

No Brasil, a preocupação com o desenvolvimento de leis e regulamentos para a promoção de eficiência energética e para a ampliação de fontes alternativas de energia fortaleceu-se a partir da crise ocorrida no setor, no ano de 2001. Uma série de medidas e programas têm sido apresentados pelo Ministério de Minas e Energia (MME). A ANEEL, desde sua criação em 1997, estabelece normas e regulamentos para orientar os agentes no setor. Existem diversos projetos de lei, na câmara e no senado, em tramitação ou recentemente aprovados que devem beneficiar as iniciativas de investimentos no setor energético. Entre eles estão: a Lei 4673/2001, que cria o Programa Prioritário de Desenvolvimento da Energia Eólica do Nordeste (PRODEENE); a Lei 10.295/2001, que determina que o Poder Executivo estabelecerá níveis máximos de consumo de energia de máquinas e aparelhos consumidores de energia; a Lei 10.438/2002, que institui o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA); entre outras. Entretanto, a falta de um marco normativo inicial de caráter

orientador e as constantes mudanças e anúncios de novas normas e medidas provisórias, têm criado um ambiente de incerteza para os investidores e têm inibido a ampliação dos negócios em fontes alternativas de energia. Um exemplo é a recente mudança do valor normativo para a venda de energia às distribuidoras, antes fixado pela ANEEL para cada fonte de geração de forma diferenciada, e, atualmente, unificado a um valor que favorece a energia hidrelétrica em detrimento das fontes renováveis alternativas, como a biomassa, eólica e solar, que têm custo de implementação mais caro, mas que podem acrescentar um potencial à capacidade instalada, no curto prazo, com menores impactos ambientais e, portanto, com benefícios a serem computados no longo prazo (BRASIL, 2003b).

#### Projetos e Potencialidades das Fontes Alternativas

Na Alemanha, a quantidade de energia gerada de forma distribuída que é injetada na rede triplicou num período de 4 anos, em especial a partir da aprovação da Lei das Energias Renováveis. Uma série de programas de incentivo à energia renovável têm sido implementados, tal como o programa dos 100.000 telhados, que favorece a introdução da tecnologia dos painéis solares no mercado, acelerando o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica e a formação de uma eficiente indústria nessa área. Atualmente, 1/3 da eletricidade eólica do mundo é gerada na Alemanha. Até o ano de 2005, a parcela de energia eólica no total de eletricidade consumida na Alemanha deve atingir os 25%, devido às instalações *off-shore*, cujas bases legais foram elaboradas. Até 2006, pretende-se obter 15% da energia consumida na Alemanha a partir de instalações eólicas em *off-shore*, tomando por base o ano de 1998, no intuito de diminuir a dependência de importação de energia e os impactos sobre o meio ambiente. De forma semelhante, a partir do Decreto da Biomassa, de 2001, também o número das usinas de biogás foi duplicado. Boa parte dessas instalações é operada por

agricultores ou associações, que ganharam uma nova oportunidade de rendimentos, totalmente independente da política agrária da União Europeia (ORTIZ, 2002).

No Brasil, as fontes alternativas de energia elétrica e combustível têm um enorme potencial para substituir as fontes convencionais, mesmo sem grandes avanços em tecnologia. As fontes alternativas trazem impactos ambientais e sociais muito menores que as fontes convencionais e são melhores geradoras de emprego. Os custos são competitivos com as fontes tradicionais em alguns casos, principalmente quando se consideram os custos sociais e ambientais atualmente não internalizados (PARENTE, 2003).

O potencial brasileiro para a energia eólica foi estimado no Atlas Eólico lançado pela ANEEL e o MME em 143.000 MW, o dobro da capacidade atual instalada no país. Há também comprovada complementaridade sazonal entre as fontes eólica e hidráulica no Brasil, potencializando uma maior confiabilidade e estabilidade sazonal do sistema elétrico brasileiro quanto ao atendimento da demanda, pelo aproveitamento otimizado da sinergia dos recursos naturais (eólico e hidrelétrico). Além da possibilidade de venda de energia para o sistema interligado, pequenas geradoras eólicas servem para bombear água e abastecer domicílios e centros comunitários no meio rural e em comunidades isoladas. No curto prazo, a barreira para o desenvolvimento da energia eólica no Brasil é o baixo valor normativo fixado pela ANEEL para a compra de energia pelas empresas distribuidoras (BRASIL, 2003a).

O Brasil tem um vasto potencial para desenvolvimento da energia de biomassa para eletricidade e para combustíveis. Fontes possíveis de biomassa incluem bagaço e palha de cana de açúcar, casca de arroz, restos de madeira de serrarias, óleos e gorduras vegetais ou animais, além do biogás produzido nos aterros de lixo urbano. Uma preocupação já constatada é a tendência de cultivos das fontes agrícolas de biomassa em regime de monoculturas e com o uso intensivo de agrotóxicos. A sustentabilidade do aproveitamento da biomassa na matriz energética brasileira passa, portanto, por medidas ambientalmente adequadas e socialmente justas no setor agrícola.

A energia solar fotovoltaica ainda é considerada cara no Brasil, em termos estritamente econômicos. Não obstante, painéis fotovoltaicos têm sido utilizados para trazer energia elétrica para comunidades fora da rede interligada, compensando os custos de construção de redes e das perdas decorrentes da transmissão a longas distâncias. O programa do Governo Federal PRODEEM tinha como meta a instalação de painéis solares em 100.000 residências, escolas e centros comunitários em regiões isoladas, mas não foi alcançada e, em alguns casos, as instalações foram desativadas. Muitos sistemas solares térmicos foram instalados durante o período de racionamento e essa forma de aquecimento de água, principalmente na substituição dos chuveiros elétricos, tem ainda um potencial enorme de alcance de redução do pico de demanda de energia no país e um custo acessível para a maioria da população, especialmente considerando-se a recuperação do investimento com a economia gerada na conta de eletricidade (BRASIL, 2003b).

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's), definidas pela ANEEL como tendo aquelas que têm até 30 MW de capacidade instalada e reservatório de até 3 km<sup>2</sup>, apresentam um potencial entre 7.000 e 14.000 MW no Brasil. Foi constatada, entretanto, a importância de considerar a implantação das PCH's em consultas com a comunidade, analisando-se os impactos cumulativos dos empreendimentos no nível de bacia, para evitar impactos multiplicadores de diversos represamentos (BRASIL, 2003b).

## 2.2 POTENCIAL DO BIODIESEL NO BRASIL

### Projeto de Lei 3368/2004

Num momento em que o todo o país dá mostras de sua preocupação com a inclusão social, com a melhoria da qualidade de vida de seus cidadãos e com a conservação do meio ambiente, é necessário adaptar as atividades econômicas brasileiras a essa nova realidade.

Os combustíveis ditos convencionais, de origem fóssil, contribuem significativamente para o aumento da poluição do meio ambiente. Os derivados de petróleo e o carvão mineral alimentam grandes setores da economia atual, como a própria geração de energia, a produção industrial e o transporte, totalizando, aproximadamente, 90% da energia comercial utilizada no mundo (IEA, 2003).

O óleo diesel é o derivado de petróleo mais consumido no Brasil e, considerando o perfil de produção das refinarias brasileiras, uma fração crescente desse produto vem sendo importada (BRASIL, 2003a). Tendo-se em conta o potencial agrícola brasileiro e os condicionantes ambientais mundiais, torna-se oportuno discutir a produção de fontes alternativas de energia, ecologicamente sustentáveis, para esse derivado de petróleo.

No Brasil, o biodiesel, apesar da grande solução que pode representar como aditivo para o óleo diesel, ainda não passa de uma esperançosa promessa. Em países como Alemanha, França e Estados Unidos, o biodiesel já é uma realidade (ALVES FILHO, 2003).

Biodiesel é uma denominação genérica de combustíveis para motores de combustão interna com ignição por compressão (ciclo diesel), derivados de fontes renováveis, como óleos de dendê, soja, palma, mamona, etc. O Brasil foi

pioneiro em pesquisas sobre biodiesel com os trabalhos do professor Expedito José de Sá Parente, da Universidade Federal do Ceará. O professor Parente é autor da patente PI – 8007957. A primeira patente, em termos mundiais, do biodiesel, já de domínio público (PARENTE, 2003).

SAMPAIO (2003), comparando as emissões de gases entre o biodiesel e o diesel de petróleo, em motor perkins, encontrou resultados satisfatórios a favor do biodiesel: redução de até 58,9% de CO, até 8,6% de CO<sub>2</sub>, 32% de NO<sub>x</sub> e 57,7% de redução de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>). A presença desses agentes na atmosfera é responsável pela ocorrência das chuvas ácidas, sendo que alguns óxidos, como o CO e CO<sub>2</sub>, classificados como GEE e também contribuem para o aumento da temperatura da terra.

O biodiesel pode ser usado em qualquer motor de ciclo diesel, com pouca ou nenhuma necessidade de adaptação, dependendo do percentual da mistura. O biodiesel pode ser considerado um excelente aditivo alternativo para o óleo diesel, pois ele pode desempenhar o papel que o enxofre desempenha no aumento da lubricidade do óleo diesel, podendo viabilizar a utilização de óleos diesel com baixíssimo teor de enxofre. As propriedades lubrificantes do óleo diesel são importantes para os equipamentos de injeção do combustível, tais como injetores e bombas. Combustíveis de baixa lubricidade aumentam o desgaste e reduzem a vida útil dos componentes dos motores. Esse problema será ainda maior quando as especificações estabelecerem reduções adicionais do teor de enxofre do óleo diesel. Testes comprovam que a adição de 2% de biodiesel ao óleo diesel será suficiente para atingir a lubricidade hoje existente. Acrescente-se a isso que se mais biodiesel for adicionado, não haverá nenhuma consequência adversa para os motores.

O projeto de lei 3368/2004, estabelece a obrigatoriedade da adição de 2% de biodiesel ao óleo diesel. Dispõe, ainda, que haverá total isenção de tributos federais no caso do biodiesel ser fabricado a partir de oleaginosas cultivadas por unidades familiares, que cultivem plantas com capacidade de produzir até 100 toneladas por ano de óleo vegetal, agrupados em cooperativas ou associações de

pequenos agricultores para produção de biodiesel, com capacidade de produção de até 50.000 L/dia.

A proposta é criar uma reserva de mercado, pois as empresas distribuidoras de combustível deverão comprar 50% do biodiesel, para atender o percentual de mistura com o óleo diesel exigido pelo referido projeto, de pequenos produtores das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Ressalte-se que a Constituição Brasileira de 1988 permite, até mesmo, a concessão de incentivos fiscais diferenciados e destinados a promover o equilíbrio do desenvolvimento socioeconômico entre as diferentes regiões do país. (BRASIL, 2005).

A Lei 9.847, de 1999, estabelece, em seu artigo 1º, que a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis será realizada pela ANP ou mediante convênios por ela celebrados e que esse abastecimento abrange as atividades de distribuição, revenda e comercialização. Acrescente-se que o artigo 8º dessa lei, que dispõe sobre a finalidade da ANP, restringe-se às atividades econômicas integrantes da indústria do petróleo. Depreende-se, então, que as atividades de regulação, contratação e fiscalização da produção de biocombustíveis estão por exigir uma lei específica (BRASIL, 2004).

O projeto de lei proposto necessitará de uma nova norma regulamentar da ANP para regular as atividades referentes ao biodiesel e às cooperativas de pequenos agricultores. Para a criação, regulação e fiscalização desse novo ente, a cooperativa de pequenos agricultores, a ANP, definirá com rigor e precisão as medidas a serem adotadas para garantir um fornecimento de qualidade por parte dessas cooperativas.

Esse projeto significa a criação de empregos e renda para milhares de excluídos das regiões mais carentes do país, a sustentabilidade da agricultura familiar e do pequeno agronegócio local para fins energéticos, além da melhoria do meio ambiente.

Lei 11.097, de 13.1.2005

Este ato administrativo, a Lei 11.097, de 13 de janeiro de 2005, consolida o projeto de lei anterior, introduzindo o biodiesel na matriz energética brasileira e altera as leis 9.478, de 6 de agosto de 1997 e 9.847, de 26 de outubro de 1999.

A Lei de 2005 dá nova redação à Lei 9.478, de 6 de agosto de 1997, reforçando seu caráter econômico, social e ambiental, sendo este o tripé de sustentação das novas indústrias. Estabelece um percentual de 5% em volume, de biodiesel a ser adicionado ao diesel, como percentual mínimo a ser atingido num prazo de 8 anos, sendo que em 3 anos deve-se atingir um percentual mínimo obrigatório de 2% em volume.

## O Biodiesel

Rudolf Diesel desenvolveu, em 1895, um motor à combustão interna com a intenção de utilizar diversas variedades de óleos vegetais e demonstrou sua invenção na mostra mundial de Paris, em 1900, usando o óleo de amendoim como combustível. Quando Diesel morreu, o motor por ele inventado foi readaptado pela indústria do petróleo que criou um óleo sujo e grosso, mais barato que os outros combustíveis e o denominou de óleo diesel. O óleo diesel é constituído de hidrocarbonetos com número médio de carbonos em torno de 14.

Os óleos e gorduras vegetais ou animais são triglicerídeos, produtos naturais da reação do propanotriol (glicerol) com ácidos graxos, cujas cadeias têm números de carbonos que variam de 12 a 22 e tem peso molecular 3 vezes maior que o diesel. A transesterificação provoca a quebra das moléculas dos triglicerídeos, em presença de álcool e catalisador, gerando mistura de ésteres dos ácidos graxos correspondentes, liberando o glicerol, substância que forma goma e provocaria a carbonização do motor, como subproduto da reação, sendo o peso

molecular e também as propriedades físico-químicas desses monoésteres próximas as do diesel.

Segundo PARENTE (2003), o que tem sido denominado de biodiesel, é um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto, sucedâneo ao óleo diesel, constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, respectivamente.

A grande vantagem do biodiesel é o seu uso direto em motores ciclo diesel com pouca ou sem nenhuma adaptação. Muitas das montadoras mantêm a garantia para motores que usem misturas com até 5% de biodiesel, pois nessa porcentagem é considerado um aditivo, melhorando inclusive o poder de lubrificação que o óleo diesel deve apresentar e que lhe é conferido pelo enxofre.

### 2.2.1 Processos de transesterificação

Os ésteres são provenientes da reação de condensação de um ácido carboxílico e um álcool, chamada de reação de esterificação (SOLOMONS; FRYHLE, 2002). Os óleos e gorduras vegetais ou animais são triglicerídeos, ou seja, são tri-ésteres de ácidos graxos de cadeias saturadas e/ou insaturadas, contendo de 12 a 22 átomos de carbono em sua cadeia, e em que o álcool é o propanotriol (glicerol).

A reação de transesterificação consiste na substituição do propanotriol por um álcool primário de cadeia curta, geralmente o metanol ou etanol, esta é uma reação de equilíbrio e a transformação ocorre essencialmente pela mistura dos reagentes. Entretanto, a presença de um catalisador, que pode ser um ácido forte, uma base forte ou catalisadores heterogêneos tais como resinas de troca iônica, aumenta a velocidade da reação para a formação dos ésteres. Esse processo é a seqüência de três reações consecutivas e reversíveis, na qual diglicerídeo e monoglicerídeo são formados como intermediários. A relação estequiométrica requer 1 mol de triglicerídeo e 3 mols de álcool. Entretanto, um

excesso de álcool é usado para aumentar o rendimento em ésteres, deslocando o equilíbrio da reação. Outros fatores que influenciam na reação são: temperatura, pureza dos reagentes e grau de acidez das gorduras. (REIS et al., 2002).

Geralmente a reação de transesterificação é catalisada por ácidos ou bases, o ácido mais utilizado é o ácido sulfúrico, devido ao seu baixo custo, entre as bases destacam-se os hidróxidos de sódio e o de potássio, tendo o hidróxido de sódio um menor custo que o de potássio, mas que apresenta o inconveniente químico de reações secundárias de saponificação, quando em excesso (CARVALHO et al., 2004).

Alguns fatores influenciam diretamente a reação de transesterificação, em termos de rendimento e consumo de reagentes. Para a realização desse trabalho com óleos, a determinação das variáveis intimamente relacionadas com a natureza e a qualidade do material é fundamental. Para isso, é necessário o procedimento de análise dos índices que expressam as propriedades físicas e/ou químicas dos óleos e não as percentagens dos seus constituintes. O grau de acidez revela o estado de conservação do óleo, cuja decomposição dos triglicerídeos é acelerada por aquecimento e pela presença de luz. O índice de peróxido indica o grau de oxidação do óleo; o número de peróxido não constitui um índice infalível das características de conservação, porém indica até que ponto a oxidação progrediu (MORETO; FETT, 1998). De acordo com NAWAR (1993), o índice de peróxido é aplicável para o seguimento de formação de peróxido ao longo das primeiras etapas de oxidação; a exatidão é questionável, já que os resultados variam segundo o procedimento empregado e a variação de temperatura. No processo de oxidação, os peróxidos podem participar das reações de decomposição e formação de novos radicais livres, necessitando de um catalisador, que pode ser a energia luminosa ou a presença de metais (MORETO; FETT, 1998). A umidade presente na matéria-prima é outro importante índice a ser conhecido pela sua grande facilidade em favorecer a reação de hidrólise, a qual quebra as ligações do éster glicerídeo, ocorrendo a formação de ácidos graxos livres, monoglicerídeos, diglicerídeos e glicerol, promovendo o aumento da acidez (DOURADO, 2000). SAMPAIO (2003), em

sua pesquisa, observou que a presença de água em quantidades indesejáveis favorece a saponificação, consumindo o catalisador e reduzindo a eficiência da reação de transesterificação alcalina.

CRUZ, ALMEIDA NETO e SAMPAIO (2001), relatando resultados obtidos sobre a conversão em biodiesel nas reações de transesterificação, no laboratório da UESC, verificou que a conversão em éster metílico estava sendo de apenas 87%. Esse valor indica um alto teor de triglicerídios não reagidos, confirmado pelos valores elevados de resíduo de carbono (cinzas), temperatura de destilação e viscosidade quando comparados ao diesel tipo C, segundo as especificações da ANP. Continuando os estudos de otimização das reações de transesterificação, os resultados obtidos por CRUZ, ALMEIDA NETO e SAMPAIO (2002), revelaram que um ajuste nos fatores utilizados para os cálculos das quantidades de catalisador e metanol, foi suficiente para elevação dos níveis de conversão para 90 a 96%.

### 2.2.2 Especificação preliminar do Biodiesel B100

A Portaria 255 da ANP, de 15 de setembro de 2003, estabelece a especificação preliminar do biodiesel puro a ser adicionado ao óleo diesel automotivo, para testes em frotas ou processos industriais, seguindo a Portaria 240 também da ANP, de 25 de agosto de 2003, a qual regulamenta o uso de combustíveis não homologados no país.

Pela análise da Tabela 1, verifica-se que no Brasil tentou-se fazer uma especificação única para o biodiesel B100, muito semelhante a outras já existentes em alguns países, esquecendo-se que entre eles existem características pouco comuns, principalmente quanto à temperatura, pois o Brasil, sendo um país tropical, tende a ter temperaturas elevadas durante o ano inteiro. Outro fator importante é que na Europa se produz biodiesel a partir de óleos de uma única espécie, a colza. No Brasil, devido a sua diversidade de espécies com potencial para produção de óleos, em alguns casos, como o do óleo de mamona, seria

impossível atingir valores de viscosidade conforme os especificados, mesmo sendo seus ésteres etílicos ou metílicos de ótima qualidade (ALVES, 2004).

**Tabela 1 -** Comparação entre especificações para o diesel no Brasil e o biodiesel no Brasil e em outros países

Propriedade	Unidade	Portaria ANP 310/01 (diesel)	Resolución 129/01 (Argentina)	ASTMD 6751/02 (EUA)	EM 14214/01 (Europa)	ANP 255/03 (Brasil)
Ponto de fulgor	°C	38	100	130	101	100
Água e sedimentos	%vol.	0,050	0,050	0,050	500mg/Kg	0,050
Viscosidade a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2,5-5,5	3,5-5,5	1,9-6,0	3,5-5,5	2,5-5,5
Cinzas sulfatadas, max.	%(m/m)	0,02	-	0,02	0,02	0,02
Enxofre, max.	mg/kg	0,20	10,0	500	10,0	10,0
Corrosividade ao cobre (1 a 5)	-	1	-	3	1	1
Número de Cetano, min.	-	42	46	47	51	45
Resíduo de carbono, max.	%(m/m)	0,25	-	0,05	0,30	0,05
Índice de acidez, max.	mgKOH/g	-	0,50	0,80	0,50	0,80
Glicerina livre, max.	%(m/m)	-	0,02	0,02	0,02	0,02
Glicerina total, max.	%(m/m)	-	0,24	0,24	0,25	0,25
Massa específica a 20°C	kg/m <sup>3</sup>	820-865	875-900 a 15°C	-	860-900 a 15°C	850-900
Fósforo, max.	%(m/m)	-	-	0,001	0,001	0,001
Destilação (90%), max.	°C	360 (85%)	-	360	-	360 (95%)
Metanol (ou Etanol, Brasil), max.	%(m/m)	-	-	-	0,20	0,10
Na + K, max.	mg/kg	-	-	-	5,0	10,0
Ca + Mg, max.	mg/kg	-	-	-	5,0	10,0
Índice de iodo, max.	-	-	-	-	120	Anotar
Monoglicerídeo, max.	%(m/m)	-	-	-	0,80	0,80
Diglicerídeo, max.	%(m/m)	-	-	-	0,20	0,20
Triglicerídeo, max.	%(m/m)	-	-	-	0,20	0,20
Estabilidade à oxid. a 110°C, min	h	-	-	a definir	6	Anotar

Fonte: TECBIO, 2005.

## O Potencial Brasileiro de Óleos e Gorduras

Durante a década de 1980, como consequência dos dois choques internacionais do petróleo e com o intuito de substituir as importações, foram realizados no Brasil vários estudos para identificar o potencial das oleaginosas para produção de biodiesel. As conclusões do PRÓ-ÓLEO, como ficou conhecido esse grupo de trabalho, apontaram para a viabilidade técnico-financeira do aproveitamento ser função do barril de petróleo atingir determinado patamar mínimo, o qual foi vivenciado por algum tempo, mas foi afastado com o contra choque de 1986, dando lugar a outras alternativas, como o aumento da exploração de petróleo no Brasil.

Segundo ALVES (2004), o Brasil apresenta uma significativa vantagem competitiva na produção de combustível renovável, visto que todo território nacional dispõe das condições mínimas necessárias para o cultivo de oleaginosas. A Tabela 2 mostra que, no Brasil, pode ser utilizado o óleo de mamona, girassol, amendoim, gergelim, canola, dendê, soja, algodão e babaçu, a partir de seus teores percentuais de óleo, suas produtividades e os seus rendimentos.

**Tabela 2 -** Principais fontes produtoras de biodiesel no Brasil

Culturas	Teor de óleo (%)	Produtividade (kg/ha/ano)	Produtividade de óleo (kg/ha/ano)
Mamona	49	1.500	750
Girassol	42	1.600	672
Amendoim	39	1.800	702
Gergelim	39	1.000	390
Canola	38	1.800	684
Dendê	20	10.000	2.000
Soja	18	2.200	396
Algodão	15	1.800	270
Babaçu	4	15.000	600

Fonte: ALVES (2004).

Alguns desses índices agrônômicos podem ser melhorados, tanto no que diz respeito à produtividade quanto ao teor de óleo de cada espécie, através de seleções das espécies mais produtivas e do seu melhoramento genético.

### 2.2.1 O potencial da avicultura na região sul

A partir de 1980, observaram-se muitas mudanças no setor produtivo avícola. Entre os segmentos da indústria agroalimentar, a carne de frango foi a que mais sofreu alterações tecnológicas em nível mundial. No campo do melhoramento genético das aves, o setor apresentou ganhos significativos nas taxas de conversão, redução do ciclo produtivo e maior rendimento das carcaças. Em relação ao processo de abate, a indústria incorporou um maior grau de automatização (COSTA, 1999).

No Brasil, principalmente na região sul, são criadas as raças Ross, Cobb, Hubbard, Arbor Acres e Isa Vedete, as quais não apresentam grandes diferenças em relação a ganho de peso, consumo de ração ou conversão alimentar, se avaliados para uma mesma idade, independente de sexo, e mesmas condições climáticas (FLEMMING; JANZEN; ENDO, 1999)

O fator que mais influência é a idade do frango, pois existe um limite para a conversão alimentar, com o abate entre 25 e 45 dias de idade, conforme o mercado ou produto a ser produzido. Sendo observada na região sul uma preferência pela linhagem Cobb.

Segundo dados da ABEF (2002), o Brasil no ano de 2001 ocupou o segundo lugar entre os principais produtores mundiais de frango, tendo obtido um bom desempenho em termos de produção. Atrás apenas dos EUA, que tiveram uma participação de 31,52% na produção mundial, o Brasil participou com 14,23% e a China, com 11,78%. Esses três principais produtores mundiais de carne de frango têm uma participação de 57,53% do total de 44.141 mil ton produzidas em 2001, conforme apresentado na Tabela 3.

A produção brasileira de carne de frango está concentrada nas regiões sul e sudeste que, juntas, representam 82,36% da produção brasileira (Tabela 4), tendo o estado do Paraná uma posição de destaque nessa produção (Tabela 5).

Na cadeia produtiva de aves existem várias biomassas com potencial para utilização energética, sendo que para este trabalho serão utilizadas as

biomassas oriundas do processamento de subprodutos, em especial os óleos que podem ser aproveitados como combustíveis.

**Tabela 3 -** Principais produtores mundiais de carne de frango (mil ton)

Países	2001	%
EUA	13.913	31,52
Brasil	6.280	14,23
China	5.200	11,78
México	1.986	4,50
França	1.436	3,25
Reino Unido	1.297	2,94
Tailândia	1.205	2,73
Japão	1.080	2,45
Espanha	1.048	2,37
Outros	10.696	24,23
Total	44.141	100,00

Fonte: FNP (2002).

**Tabela 4 -** Produção brasileira de carne de frango por região em 2001

Região	%
Sul	55,81
Sudeste	26,55
Nordeste	8,34
Centro-Oeste	7,97
Norte	1,33

Fonte: FNP (2002).

**Tabela 5 -** Abate de frangos no Brasil em 2001 com Serviço de Inspeção Federal (SIF)

Estados	Quantidade de aves abatidas
Paraná	671.998.690
Santa Catarina	642.931.458
Rio grande do Sul	548.395.560
São Paulo	426.318.711
Minas Gerais	205.631.274
Total	2.495.275.693

Fonte: ABEF (2002).

Na agroindústria, especialmente em abatedouros e frigoríficos de aves, a característica principal dos efluentes gerados é uma carga orgânica alta, composta em sua maior parte por gorduras de origem animal, oriundas do processo industrial, principalmente do processamento de subprodutos. Os

subprodutos (vísceras, ossos, sangue, penas e partes condenadas) são convertidos em farinhas que servirão como insumos na formulação de rações. O excesso de gordura, principalmente das vísceras, é extraído e parte é incorporada à ração. O excedente é comercializado para fábricas de sabão, pneus, etc. Essas gorduras são processadas, geralmente, em centrífugas que as separam em três fases, primeiramente em duas fases, sólidos e líquidos. Posteriormente, o líquido é separado também em outras duas fases, gordura e água (emulsão de gordura e água). Esse óleo apresenta grau de acidez em torno de 1,2%, umidade em torno de 0,2% e 0% de peróxidos, índices favoráveis ao processo de transesterificação.

O lodo flotado do tratamento de efluentes é processado, gerando uma gordura de menor valor econômico, devido às suas características (alto grau de acidez), não sendo possível ser incorporada na ração animal, também é comercializada para fábricas de sabão, pneus, etc. O lodo flotado também é centrifugado, gerando sólidos, líquido (gordura) e água (emulsão de gordura e água). Os efluentes gerados têm uma concentração de óleos e graxas em torno de 1.000 mg/L de efluente. Considerando-se que no abate de aves são consumidos em torno de 30 L de água por ave abatida, conforme portaria N° 210 de 10 de novembro de 1998 do Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento (MAPA), então para o abate de 100.000 aves/dia seriam gerados 3.000 m<sup>3</sup>/dia de efluentes, dos quais poderiam ser extraídos 3.000 kg/dia de óleo. Tendo o abatedouro uma produção durante 22 dias/mês por ano, seriam produzidos 792.000 kg/ano de óleo com um preço de 40,00 a 600,00 R\$/ton. Comparado-se com a área plantada de soja, com uma produtividade 2.999 kg/hectare com um teor de óleo de 18%, tendo então 539 kg/hectare/ano de óleo vegetal, para produção da mesma quantidade de óleo seriam necessárias 1.469 hectares.

As gorduras animais são geralmente classificadas como sebos. Gorduras que se apresentam em estado sólido em temperatura ambiente, devido a sua composição percentual ser elevada em ácidos graxos saturados, principalmente o esteárico – C18, conforme Tabela 6. Uma exceção são as gorduras de frangos, classificadas como óleo de frango, devido também a sua composição percentual, neste caso com valores baixos de ácido esteárico – C18, ficando próximas a óleos

como o de soja, conforme Tabela 7, apresentando-se em estado líquido à temperatura ambiente, facilitando a reação de transesterificação.

**Tabela 6 -** Composição % em ácidos graxos em depósitos de gordura subcutânea

Componente	Frango	Suíno	Bovino	Ovino
Láurico	-	Traços	0,1	0,1
Mirístico	0,1	1,3	4,5	3,2
Palmítico – C16	25,6	28,3	27,4	28,0
Esteárico – C18	0,7	11,9	21,1	24,8
Saturados Totais	42,7	41,5	53,7	57,7
Palmitoleico – C16:1 ( $\omega$ 7)	7,0	2,7	2,0	1,3
Oléico – C18:1 ( $\omega$ 9)	20,4	47,5	41,6	36,4
Linoleico – C18:2 ( $\omega$ 6)	-	0,2	0,5	0,5
Linolênico – C18:3 ( $\omega$ 3)	21,3	6,0	1,8	3,5
Insaturados Totais	67,3	58,5	46,3	42,3

Fonte: FORREST et al. (1979).

**Tabela 7 -** Características químicas do óleo de soja e do azeite de dendê

Componente	Óleo de soja	Azeite de dendê
Palmítico – C16	12,7	44,6
Esteárico – C18	3,9	4,7
Oléico – C18:1 ( $\omega$ 9)	23,6	40,4
Linoleico – C18:2 ( $\omega$ 6)	55,3	9,9
Linolênico – C18:3 ( $\omega$ 3)	4,5	0,4

Fonte: SAMBANTHAMURTHI; SUNDRAM; TAN (2000).

### 2.3 ANÁLISE POR INFRAVERMELHO (IV)

Segundo SILVERSTEIN (1998), os compostos orgânicos absorvem energia eletromagnética na região do infravermelho (IV) do espectro. A radiação infravermelha não tem energia suficiente para provocar excitação dos elétrons, mas faz com que os átomos vibrem com maior rapidez e com maior amplitude em torno das ligações covalentes que os unem. As vibrações são quantizadas e,

quando ocorrem, os compostos absorvem energia IV em certas regiões do espectro.

Os espectrômetros de infravermelho são equipamentos utilizados para medir a quantidade de luz absorvida em cada comprimento de onda na região do IV. Nesses instrumentos um feixe de luz é dividido em dois; uma das metades do feixe passa através de uma célula transparente que contém a amostra em análise, e que pode ser sólida, líquida ou gasosa. A outra metade passa através de outra célula vazia. O instrumento opera de modo que é possível fazer uma comparação entre a intensidade dos dois feixes, em cada comprimento de onda da região. Se a amostra absorver luz num determinado comprimento de onda, a intensidade do feixe da amostra será menor do que a do feixe de referência. O espectrômetro plota os resultados na forma de um gráfico que mostra a absorção em função da frequência ou do comprimento de onda.

A localização do pico de absorção no IV pode ser especificada em unidades relacionadas com a frequência, pelo número de onda ( $\bar{\nu}$ ), conforme equação abaixo, medido em  $cm^{-1}$  ou pelo comprimento de onda ( $\lambda$ ) medido em micrômetros ( $\mu m$ ). O número de ondas é o número de ciclos da onda em cada centímetro de trajetória do feixe de luz e o comprimento de onda é a distância entre duas cristas sucessivas da onda (SOLOMONS; FRIHLE, 2002).

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} \quad (01)$$

Nas vibrações, as ligações covalentes se comportam como se fossem pequeninas molas unindo os átomos. Quando os átomos vibram, só podem oscilar em certas frequências, e têm certos níveis de energia vibracional, níveis quantizados. A excitação de uma molécula de um nível de energia vibracional para outro só ocorre quando o composto absorve radiação IV com uma energia particular, com um determinado comprimento de onda, pois  $\Delta E = h\nu$ .

As moléculas podem vibrar de muitos modos. Dois átomos unidos por uma ligação covalente podem efetuar vibração de estiramento, quando os átomos se aproximam e se afastam como se estivessem presos por uma mola. Três

átomos podem efetuar diferentes vibrações de estiramento e de deformação: estiramento simétrico, estiramento assimétrico, deformação no plano (cisalhamento) e deformação fora do plano (torção).

A frequência de uma vibração de estiramento no espectro de IV pode relacionar-se com dois fatores: as massas dos átomos ligados e a rigidez relativa da ligação. Sendo assim, os átomos mais leves vibram com frequências maiores do que os átomos mais pesados. As ligações triplas são mais rígidas e vibram com frequência mais alta que as ligações duplas.

Para que uma vibração ocorra com absorção de energia do IV o momento de dipolo da molécula deve se alterar quando a vibração se efetua, portanto nem todas as vibrações provocam absorção de energia.

A Figura 1 mostra o espectro IV de biodiesel produzido a partir de sebo, o qual apresenta uma banda em torno de  $1.020\text{ cm}^{-1}$  característica de C-O de ésteres de álcoois primários (CARVALHO, et al 2004). Sendo, esta técnica uma maneira de se verificar qualitativamente a produção de biodiesel.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO DE FRANGO

As análises físico-químicas, grau de acidez, índice de peróxido e umidade, para caracterização do óleo de frango, foram realizadas nos laboratórios de pesquisa da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *campus* de Toledo. As análises de infravermelho para caracterização do óleo de frango e do biodiesel produzido foram realizadas no laboratório de análises instrumental também da UNIOESTE, *campus* de Toledo. Outras análises físico-químicas como: massa específica, ponto de fulgor teor de sedimentos, teor de enxofre, viscosidade cinemática e poder calorífico superior, foram realizadas no Laboratório da Divisão de Biocombustíveis do TECPAR, em Curitiba.

##### Grau de Acidez (GA)

Para determinação do grau de acidez foi utilizado o método padrão do Laboratório Nacional de Referência Agropecuária. Definido como a quantidade de hidróxido de sódio, em mililitros, necessária para neutralizar os ácidos livres presentes em um grama de gordura ou ácidos graxos, até o ponto de equivalência, na presença do indicador fenolfetaleína. O método é aplicável a gorduras vegetais ou animais, brutas ou refinadas e ácidos graxos de borra. (BRASIL, 1981).

A amostra foi dissolvida em solvente adequado e os ácidos presentes titulados com hidróxido de sódio. Foi pesado em torno de 5 g da amostra, em erlenmeyer de 150 ml; Adicionou-se à amostra 40 ml de solução de álcool-éter neutralizada e algumas gotas de fenolfetaleína. Após a adição do indicador, procedeu-se a titulação com agitação constante, utilizando solução padrão de hidróxido de sódio, até o aparecimento de coloração rósea persistente.

Para calcular o grau de acidez (GA) em acidez em soluto alcalino normal % foi usada a seguinte equação:

$$\text{GA} = \frac{V \cdot N \cdot f}{P} \cdot 100 \quad (02)$$

Em que:

GA = grau de acidez em soluto alcalino normal percentual;

V = volume de NaOH 0,1 N, em ml, gastos na titulação;

f = fator de solução de NaOH;

N = normalidade da solução de NaOH 0,1 N;

P = peso da amostra em grama.

### Índice de Peróxidos (IP)

Para determinação do índice de peróxidos foi utilizado o método padrão do laboratório nacional de referência agropecuária, conforme BRASIL (1981). É um dos parâmetros utilizados para avaliar o grau de oxidação, aplicável a todos os óleos e gorduras como também a ácidos graxos. A amostra sofre reação com iodeto de potássio em uma mistura de clorofórmio e ácido acético glacial. O iodo formado pelos peróxidos é determinado por titulação.

Foi pesada 5 g da amostra num erlenmeyer. Adicionando-se 30 ml da mistura ácido acético/clorofórmio, misturando-se até dissolução completa. Acrescentou-se 0,5 ml da solução saturada de iodeto de potássio e foi fechado o

Erlenmeyer, deixado a solução em repouso por 1 minuto. Ao final desse tempo adicionou-se 30 ml de água destilada. O iodo liberado foi titulado com solução de tiosulfato de sódio 0,01 N, até que a coloração amarela diminuiu, adicionou-se 0,5 ml de solução de amido a 1% como indicador e continuou titulando, agitando vigorosamente, até desaparecer a coloração azul.

O índice de peróxidos em miliequivalente de peróxidos/kg de amostra foi calculado a partir da seguinte equação:

$$(03)$$

Em que:

IP = índice de peróxidos em miliequivalente de peróxidos por quilograma de amostra;

V = volume de tiosulfato de sódio 0,01 N, em ml, gastos na amostra, menos o volume gasto no branco;

n = normalidade da solução de tiosulfato de sódio 0,01 N;

f = fator da solução de tiosulfato de sódio 0,01 N;

p = peso da amostra em gramas.

Umidade do Óleo de Frango ( $\%U_{105^{\circ}C}$ )

Para determinação da umidade do óleo de frango foi utilizado o método padrão do laboratório nacional de referência agropecuária, conforme BRASIL, (1981). Umidade corresponde à perda de peso sofrida pelo produto quando aquecido em condições nas quais a água e as substâncias voláteis são removidas.

Pesou-se em balança analítica 5 g da amostra homogeneizada em cápsula de fundo chato de metal, previamente aquecida por uma hora em estufa a 105 °C, resfriada em dessecador e pesada. Levou-se a estufa a 105 °C por 3 horas.

Esfriou-se em dessecador e foi pesada. Foram repetidas as operações de aquecimento e resfriamento até peso constante.

O percentual de umidade a 105 ° C foi calculado pela seguinte equação:

$$(04)$$

Em que:

%U<sub>105 °C</sub> = percentual de umidade a 105 °C;

p = perda de peso em gramas;

p' = peso da amostra em gramas.

#### Análise por Infravermelho (IV)

Para a análise de IV, foi utilizado um espectrofotômetro infravermelho marca Perkin-Elmer, modelo 720 e uma janela de KBr (brometo de potássio).

Na janela de KBr, previamente preparada, foi espalhado o filme líquido, óleo de frango e biodiesel, a serem analisados. Em seguida foi colocado no aparelho, o qual plotou os espectros. Os espectros IV de ésteres de álcoois primários (biodiesel), conforme Capítulo 2.3., apresentam uma banda característica no comprimento de onda em torno de 1.010 cm<sup>-1</sup>, que caracteriza sua formação.

#### Massa Específica

A massa específica foi determinada a 20 °C de acordo com o método do densímetro, conforme o estabelecido pela NBR 7148-2001, para petróleo e produtos de petróleo.

Deixou-se a amostra atingir a temperatura prescrita. Em seguida, foi transferida para uma proveta aproximadamente à mesma temperatura e mergulhado o densímetro conveniente na amostra, também à temperatura similar, deixando-o flutuar. Após alcançar a temperatura de equilíbrio, foi realizada a leitura da escala e anotada a temperatura da amostra. Quando necessário pode-se fazer a correção da densidade por meio de tabela e, se necessário, a proveta contendo a amostra é colocada em um banho termostático para evitar variações excessivas de temperatura durante o ensaio. Neste experimento, a unidade utilizada pelo densímetro foi  $\text{kg/m}^3$ .

### Ponto de Fulgor

O ponto de fulgor foi determinado em vaso aberto Cleveland, conforme o estabelecido pela NBR 11.341-2000 para produtos de petróleo.

Aproximadamente 70 ml da amostra foram adicionadas à cuba de ensaio. A temperatura da amostra foi aumentada rapidamente no início e depois a uma taxa lenta e constante, até próximo ao ponto de fulgor. Em intervalos especificados, a chama de ensaio foi passada sobre a cuba. O ponto de fulgor é a menor temperatura na qual a aplicação da chama de ensaio causa a ignição dos vapores da amostra que se encontram acima da superfície. A temperatura foi medida em °C.

### Teor de Sedimentos

O teor de sedimentos foi determinado pelo método da centrifugação, conforme o estabelecido pela NBR 14.647-2001 para produtos de petróleo.

Volumes iguais de óleo e tolueno saturados com água foram colocados em cada um de dois tubos cônicos para centrifugação. Após centrifugação, foi lido o volume de água e sedimentos. Sendo determinado em % de volume.

#### Teor de Enxofre

O teor de enxofre foi determinado através do método da espectrometria de fluorescência de raios X, conforme o estabelecido pela NBR 14.533-2000 para produtos de petróleo.

A amostra foi colocada no feixe emitido por uma fonte de raios X. A radiação com característica X, resultante da excitação, é medida e a contagem acumulada é comparada com as contagens resultantes de amostras de calibração anteriormente preparadas, a fim de se obter o teor de enxofre em porcentagem em massa, dois grupos de amostras de calibração são necessários para cobrir a faixa do teor de 0,015% a 5,0% em massa de enxofre: 0,015% a 0,1% e 0,1% a 5,0%.

#### Viscosidade Cinemática

A viscosidade cinemática a 60 °C foi determinada conforme o estabelecido pela NBR 10.441-2002 para produtos de petróleo.

Determinou-se o tempo, em segundos, para um volume fixo de líquido escoar por gravidade através do capilar de um viscosímetro calibrado, a uma temperatura rigorosamente controlada. A viscosidade cinemática é o produto do tempo de escoamento pela constante de calibração do viscosímetro e é dada em mm<sup>2</sup>/s ou cSt.

## Poder Calorífico Superior (PCS)

O poder calorífico superior foi determinado conforme o estabelecido pela NBR 8.633-1984.

O método baseia-se na queima de uma amostra de massa conhecida em uma bomba metálica, contendo oxigênio e submersa em um determinado volume de água. Todo o conjunto deve ser mantido em uma câmara termicamente isolada. O número de unidades de calor liberadas é calculado pela exata observação da elevação de temperatura, resultante da combustão da amostra. Este valor é dado em J/g ou cal/g.

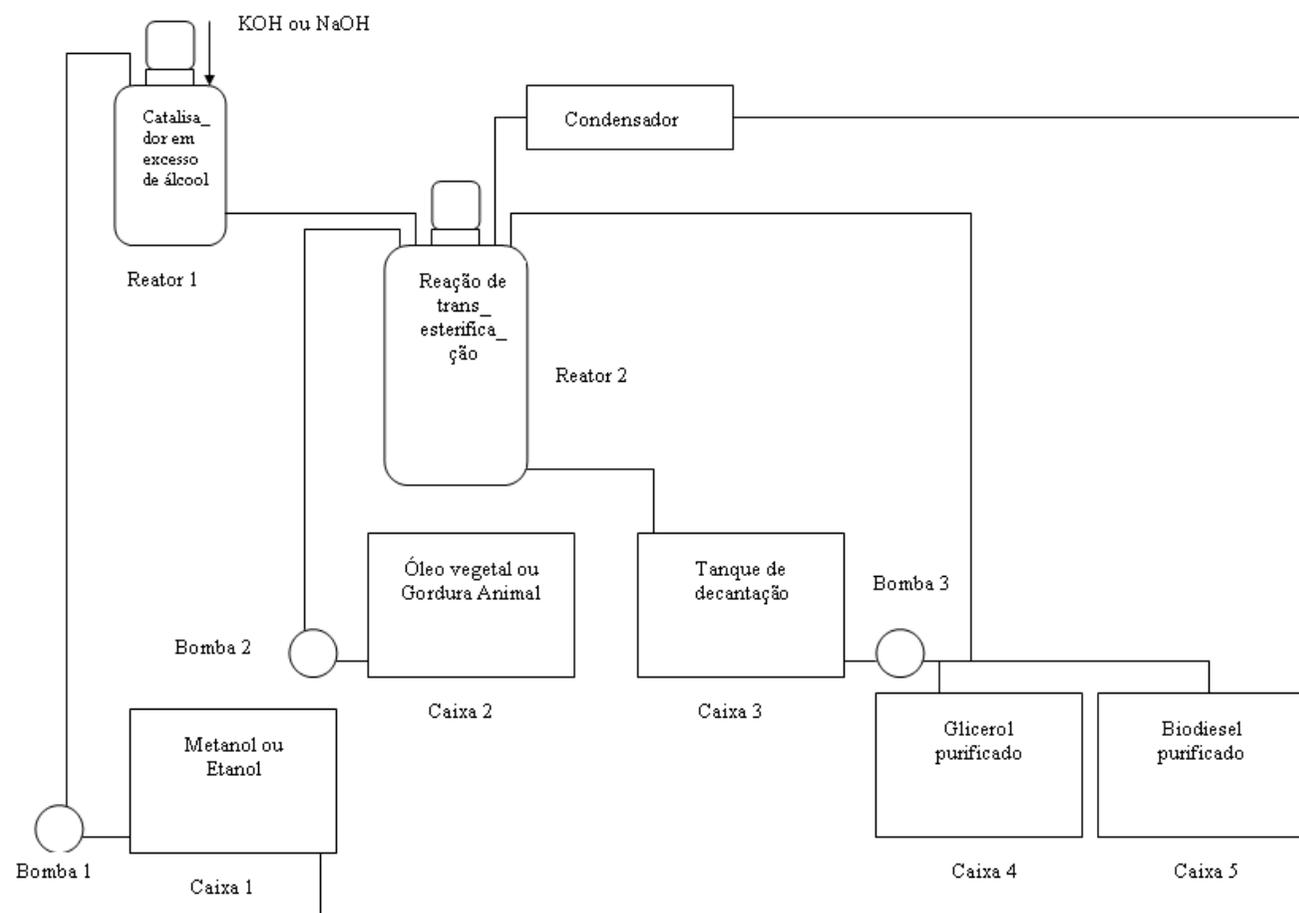
## 3.2 TRANSESTERIFICAÇÃO

O processo de transesterificação do óleo de frango foi realizado no laboratório de pesquisa da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, *campus* de Toledo.

### Processo de Transesterificação em Bateladas

Descrição do processo de transesterificação em bateladas com capacidade de 1000 L/batelada de biodiesel, conforme Figura 1:

Caixa 1: depósito de metanol ou etanol.



**Figura 1** - Fluxograma do processo de transesterificação em bateladas

Fonte: Elaboração própria.

Considerando-se os aspectos técnicos e econômicos, a reação pela rota metílica é a mais viável, podendo-se recuperar 100% do volume de álcool utilizado em excesso por evaporação e posterior condensação, conforme Tabela 1, pois este não apresenta ponto azeotrópico, embora tenha o inconveniente de ser tóxico.

No Brasil, a vantagem da rota etílica é a oferta desse álcool e de ele não ser tóxico.

O volume de álcool fica em torno de 18 a 35% em volume, sendo este excesso favorável à produção de biodiesel, deslocando assim o equilíbrio químico.

- Bomba 1: fará o recalque do volume de álcool para dentro do reator 1, onde acontecerá a mistura com o catalisador.

- Catalisador: básico (KOH ou NaOH) ou ácido (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

A maior parte dos trabalhos mostra as vantagens dos processos com catálise básica, observando o maior rendimento e a seletividade além de menores problemas relacionados à corrosão dos equipamentos. O hidróxido de potássio (KOH), apesar de mais caro que o hidróxido de sódio (NaOH), vem sendo utilizado com vantagens na fase de separação do óleo transesterificado do glicerol. A Tabela 8 mostra um comparativo entre as rotas metílica e etílica, considerando a quantidade de álcool consumida, o preço do álcool, excesso de álcool recomendado, a temperatura e o tempo do processo.

**Tabela 8 -** Comparação entre as rotas metílicas e etílicas

Quantidades e condições usuais médias aproximadas	Rotas de processo	
	Metílica	Etílica
Quantidade consumida de álcool por 1.000L de biodiesel	90 kg	130 kg
Preço médio do álcool US\$/1.000L	190	360
Excesso recomendado de álcool, recuperável por destilação após reação	100%	65%
Temperatura recomendada de reação	60°C	85°C
Tempo de reação	45 min	90 min

Fonte: PARENTE (2003).

- Reator 1: dimensões Ø 750 mm, altura 1140 mm, volume útil 0,5 m<sup>3</sup>, fabricação em chapa preta de aço carbono 1020 e espessura de ¼”, com camisa externa para injeção de vapor para aquecimento, temperatura em torno de 60 °C, controlada por PT 100 e controlador de temperatura que irá acionar uma válvula solenóide *on/off* para entrada de vapor, drenagem de condensado composta de válvula de esfera, filtro Y e purgador, agitação mecânica de 600 rpm promovida por motor elétrico e redutor de velocidade. Nesse reator é promovida a reação do etanol ou metanol com o KOH ou o NaOH, resultando o etóxido ou metóxido de potássio ou de sódio que, posteriormente, será transferido para o reator 2.

- Caixa 2: depósito de óleo vegetal ou gordura animal, que deve ter sua acidez controlada para não ultrapassar 4%, pois ela influenciará o consumo de álcool e catalisador.

- Bomba 2: fará o recalque do volume de óleo vegetal ou gordura animal para dentro do reator 2, onde ocorrerá a reação com o metóxido ou etóxido de potássio ou de sódio.

- Reator 2: dimensões Ø 1000 mm, altura 1500 mm, volume útil 1,18 m<sup>3</sup>, fabricação em chapa preta de aço carbono 1020 e espessura de ¼”, com camisa externa para injeção de vapor para aquecimento, temperatura em torno de 60 °C, num primeiro estágio e superior a esta no estágio de evaporação e recuperação do excesso de álcool, controladas por PT 100 e controlador de temperatura que irá acionar uma válvula solenóide *on/off* para entrada de vapor, drenagem de condensado composta de válvula de esfera, filtro Y e purgador, agitação mecânica de 1600 rpm promovida por motor elétrico e redutor de velocidade. Nesse reator é promovida a reação de transesterificação do óleo vegetal ou gordura animal utilizando o etóxido ou metóxido de potássio ou de sódio em excesso de álcool.

- Caixa 3: decantador que terá duas funções. 1º separar o biodiesel do glicerol, provenientes da reação de transesterificação; 2º separar o biodiesel dos resíduos (água, álcool, impurezas), após processo de purificação do biodiesel.

- Bomba 3: fará o recalque do volume de glicerol não purificado para dentro do reator 2, onde ocorrerá a evaporação do excesso de álcool do glicerol e

também fará o recalque do volume de biodiesel não purificado para dentro do reator 2, onde acontecerá a evaporação do excesso de álcool do biodiesel.

- Caixa 4: depósito de glicerol.
- Caixa 5: depósito de biodiesel purificado.
- Condensador: recuperar o excesso de álcool que irá evaporar durante o processo de transesterificação e o álcool que será destilado dos resíduos oriundos dos processos de purificação, tanto do biodiesel quanto do glicerol.

### Processo de Transesterificação Contínua

O processo de transesterificação contínua é semelhante ao processo em bateladas, conforme mostrado na Figura 2, o que não ocorre são as paradas no processo. A rota utilizada, álcool e catalisador, também são as mesmas.

O custo de uma planta para processamento de 120 ton de óleo por dia, segundo orçamento feito pela Westfalia, ficaria em € 1.800.000,00; A amortização dessa planta para um período contábil de 10 anos, sendo sua vida útil maior, ficaria em € 4,17 por ton processada.

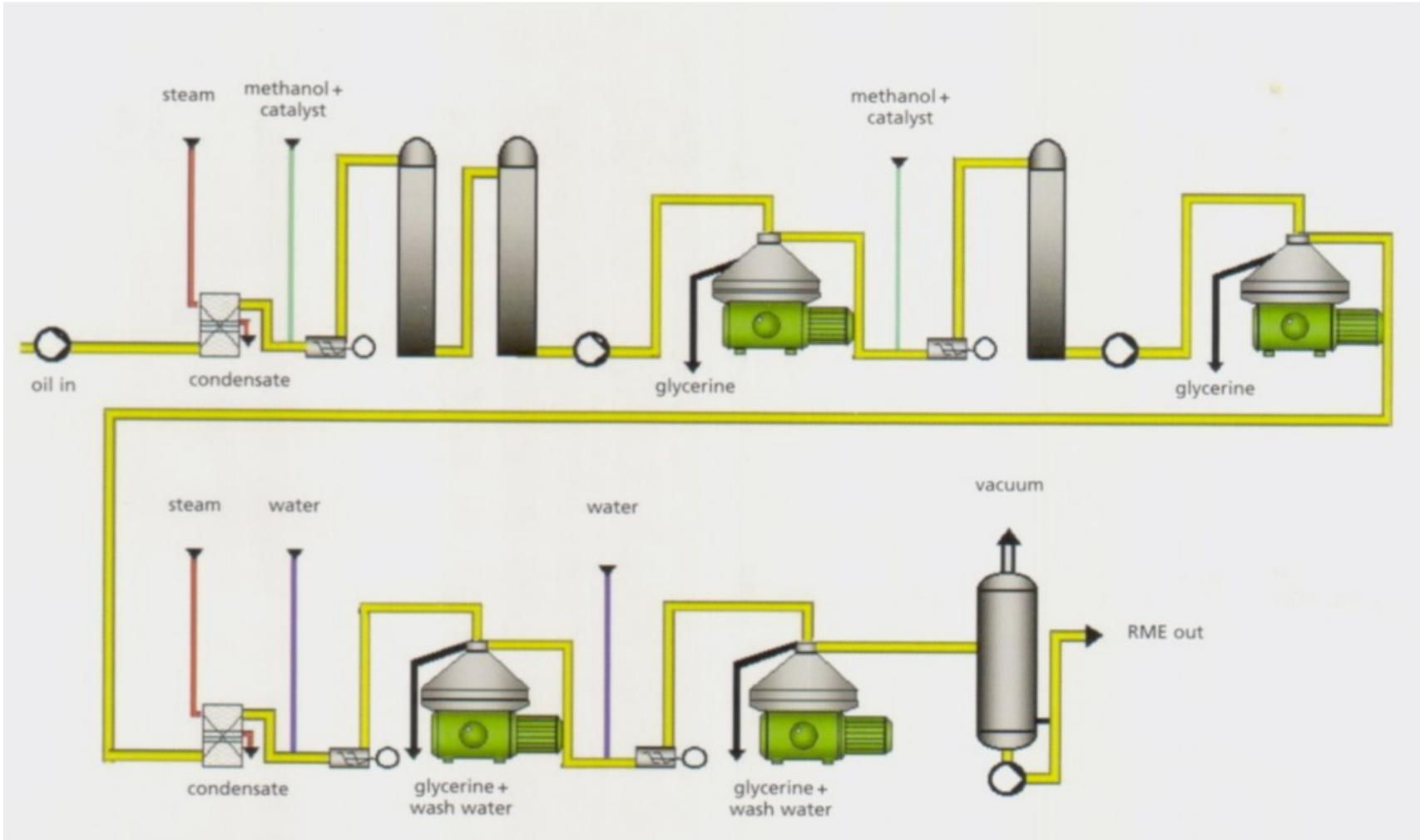
### Etapas da Transesterificação em Laboratório

A seqüência do processo de transesterificação em laboratório é a mesma do processo em bateladas (Capítulo 3.2.1), neste caso, em escala reduzida, respeitando as relações e condições reacionais.

Foram preparadas amostras de óleos de frangos contendo 100 mL, medidos com o auxílio de uma proveta graduada, variando-se o volume dos reagentes, álcool e catalisador.

Primeiramente foram mensuradas as quantidades dos reagentes. O volume de metanol foi medido com o auxílio de uma proveta graduada e a massa

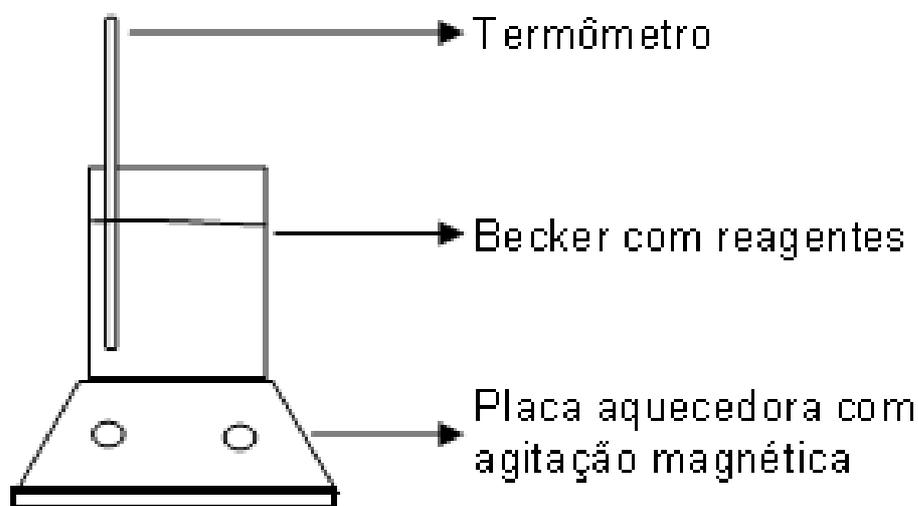
de KOH foi determinada com o uso de uma balança analítica de precisão. Em seguida ambos foram transferidos para um becker e levados a uma chapa aquecedora provida de sistema de agitação magnética (Figura 3).



**Figura 2** - Fluxograma do processo de transesterificação contínua.

Fonte: WESTFALIA, 2004.

O conjunto foi aquecido a uma temperatura não superior a 60 °C até completa dissolução do catalisador, formando assim o metóxido de potássio. Foi adicionada a amostra de óleo a ser transesterificada, mantendo-se o aquecimento com temperatura não superior a 60 °C e constante agitação, por um período de 60 minutos, até completa reação. Essa fase de preparação dos reagentes com aquecimento e reações de transesterificação, foram realizadas em uma capela com sistema de exaustão dos gases, pois eles são tóxicos.



**Figura 3 -** Equipamento para preparação do catalisador e do biodiesel

Fonte: Elaboração própria.

Após o término da reação, o conteúdo do becker foi transferido para um funil de decantação (Figura 4), no qual ocorreu a separação do biodiesel e do glicerol por decantação. Após separarem-se as duas fases, procedeu-se a evaporação do excesso de metanol, para determinação dos rendimentos.

### 3.3 RENDIMENTO DO PROCESSO EM BIODIESEL

Todo o aparato, balão de decantação e reagentes, foi pesado em balança analítica com precisão de quatro casas após a virgula, antes do processo de transesterificação.

Depois de realizado o processo de transesterificação e separadas as fases: biodiesel e glicerol, o biodiesel foi aquecido novamente a uma temperatura de 70 °C para evaporação total do excesso de metanol utilizado. Foi resfriado e novamente pesado, até peso constante.



**Figura 4 -** Balão de decantação contendo biodiesel e glicerol

Fonte: Elaboração própria.

Foi estabelecida uma relação direta entre o peso de óleo de frango utilizado no processo de transesterificação e o peso resultante de biodiesel, após evaporação do excesso de álcool utilizado, resultando assim o rendimento do processo.

### 3.4 POTENCIAL DE ABATE DE AVES INSTALADO NAS COOPERATIVAS DO OESTE DO PARANÁ

A região oeste do estado do Paraná apresenta uma área de 19.828,48 km<sup>2</sup>; situa-se à margem esquerda do Rio Iguaçu, separando-a da microrregião sudoeste e da Província Argentina de Misiones, a sudoeste e sudeste, respectivamente; a oeste faz fronteira com o Paraguai, através do Rio Paraná; ao norte, com as regiões Norte Novíssimo de Umuarama e Campo Mourão, através do Rio Piquiri; e a leste com a microrregião Campos de Guarapuava (PERIN et al, 2001).

O desenvolvimento das cooperativas no Paraná fez parte de uma estratégia que reconhecia a sua importância enquanto instrumento capaz de acelerar a modernização da agricultura e a penetração maciça de capitais no campo. Desse modo as cooperativas tornaram-se um canal eficiente da produção e elemento legitimador das transformações estimuladas pela política agrícola (MERTZ, 2000). Com o processo de diversificação, iniciado na década de 80, ficou evidente a necessidade das cooperativas tradicionais integrarem-se as novas atividades, entre elas a industrialização de proteína animal. Nessa região paranaense, segundos dados da OCEPAR, existem cinco abatedouros de aves pertencentes a cooperativas (Tabela 9).

**Tabela 9** - Abatedouros de aves pertencentes a cooperativas no oeste no Paraná

Cooperativa	Nome Fantasia	Cidade
Coopavel Cooperativa Agroindustrial	Coopavel	Cascavel
Cooperativa Agrícola Consolata	Coopacol	Cafelândia
Cooperativa Agrícola Mista Rondon	Copagril	Marechal Cândido Rondon
Cooperativa Agroindustrial Lar	Lar	Matelândia

Foi realizado o levantamento, junto aos órgãos competentes ou mesmo à OCEPAR, do potencial de abate instalado em cada uma das cooperativas.

### Resíduos de Origem Animal

Nos abatedouros de aves são descartadas partes não comestíveis e resíduos gerados no processamento das aves.

A avaliação do percentual médio desses resíduos foi determinada utilizando-se um tratamento completamente casualizado, no qual foram selecionados dentro de cada lote um número de 60 frangos, os quais foram pesados vivos. Em seguida procedeu-se a degola e novamente pesados, após escorrer o excesso de sangue. Sendo então escaldados para posterior depenagem e nova pesagem. Após depenagem, procedeu-se a retirada das patas e sua pesagem, seguida da evisceração, retirada das vísceras comestíveis e não comestíveis e cabeças. Nessa etapa ocorreu uma nova pesagem para determinar o peso da carcaça propriamente dita, livre de sangue, penas, patas, vísceras e cabeça. Em seguida os frangos foram resfriados e desossados, ou seja, a sua separação em partes e posterior desossa, resultando novos resíduos no processo e novas pesagens. Esse tratamento foi repetido durante quatro dias, com duas amostras por dia. Os frangos avaliados foram da linhagem cobb, sexo misto e com 45 dias de idade.

Dos resíduos gerados foi determinado o teor de gordura, conforme método padrão do laboratório nacional de referência agropecuária (BRASIL, 1981).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO DE FRANGO

Após as análises das amostras de óleo, tanto vegetal como animal, pode-se determinar os valores que poderiam influenciar o processo de transesterificação, mostrados na Tabela 10.

**Tabela 10** - Parâmetros das amostras

Amostra	GA (soluto alcalino normal %)	IP (meq peróxido /kg)	%U <sub>105°C</sub> (%)
Óleo de soja	0,074	0,0	0,000
Óleo de vísceras de frango	1,220	0,0	0,127
Óleo de efluentes	19,030	0,0	1,120

Fonte: elaboração própria.

Devido ao alto valor determinado para o índice de acidez da amostra de óleo de efluentes, foi descartado do trabalho de produção de biodiesel por meio da transesterificação, utilizando a rota metílica com catalisador alcalino, pois esse valor, juntamente com o percentual de umidade da amostra, favoreceria reações secundárias de formação de sabões e, conseqüentemente, o consumo do catalisador. Essa amostra se prestaria a ser utilizada em diluições com outras matérias primas, óleos ou gorduras, com um grau de acidez livre menor, para que fosse equilibrado a valores aceitáveis para uso com esta rota e catalisador ou

fazer uso da mesma rota, só que com catalisador ácido, ou processos de interesterificação e após transesterificação.

Outros parâmetros das matérias primas foram avaliados junto ao laboratório da TECPAR, divisão de biocombustíveis, conforme Tabela 11.

**Tabela 11** - Determinações físico-químicas realizadas pela TECPAR – divisão de biocombustíveis

Ensaio	Óleo de vísceras	Óleo de efluentes
Massa específica, Kg/m <sup>3</sup>	911,1	911,4
Ponto de fulgor, °C	288	-
Teor de sedimentos, % em volume	1,2	9,0
Teor de enxofre, % em massa	0,002	0,02
Viscosidade cinemática a 60°C, mm <sup>2</sup> /s (cSt)	19,1	23,4
Poder calorífico superior, J/g (cal/g)	38.800 (9.270)	36.990 (8.833)

Fonte: Elaboração própria.

Mostrando assim, seu potencial para uso como combustível, com baixo teor de enxofre e com poder calorífico semelhante ao dos óleos pesados como o próprio BPF. O estudo de viscosidade auxilia na escolha do equipamento, queimador a ser utilizado. Também foi determinado o teor de cinzas do biodiesel produzido a partir de óleo de vísceras de frango, calcinando-se 50 ml de amostra pesada num cadinho e levados a mufla aquecida a 400 °C até estabilização do peso, resultando em 0 % de cinzas.

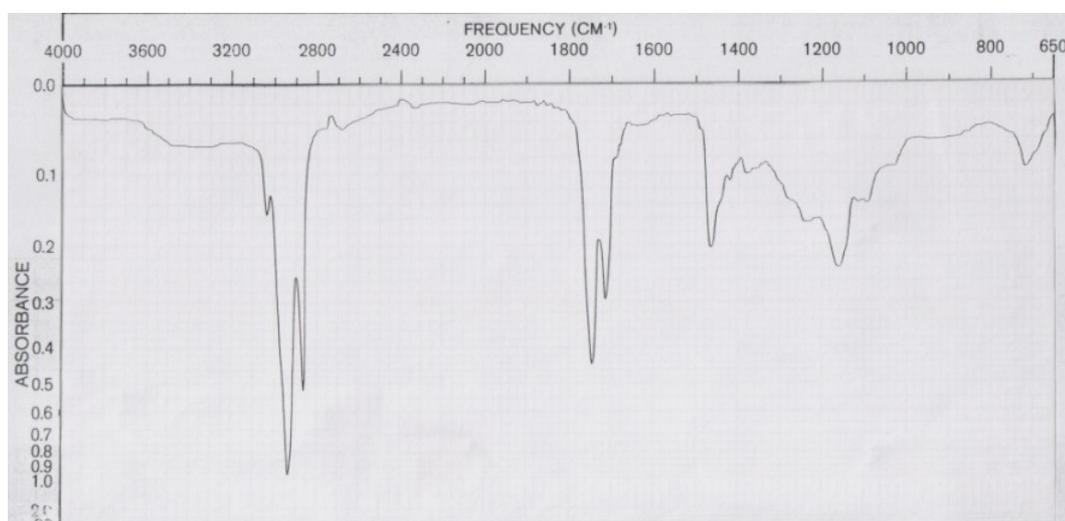
Utilizando-se da técnica de análise por IV, conseguiu-se consolidar a produção dos ésteres metílicos por meio do processo proposto em laboratório, utilizando como matéria prima uma gordura de origem animal, óleo de frango.

Nos três espectros, figuras 5, 6 e 7, observam-se somente as bandas características dos ácidos carboxílicos, neste caso, de triacilglicerídeos, sendo bandas de estiramento de C=O de ácidos carboxílicos em intervalo de frequência de 1.735-1.750 cm<sup>-1</sup>, de intensidade forte; nas frequências em torno de 3.000 cm<sup>-1</sup> observar-se bandas de estiramento de C-H de grupos CH<sub>3</sub>- e de -CH<sub>2</sub>-, de intensidades média a forte.



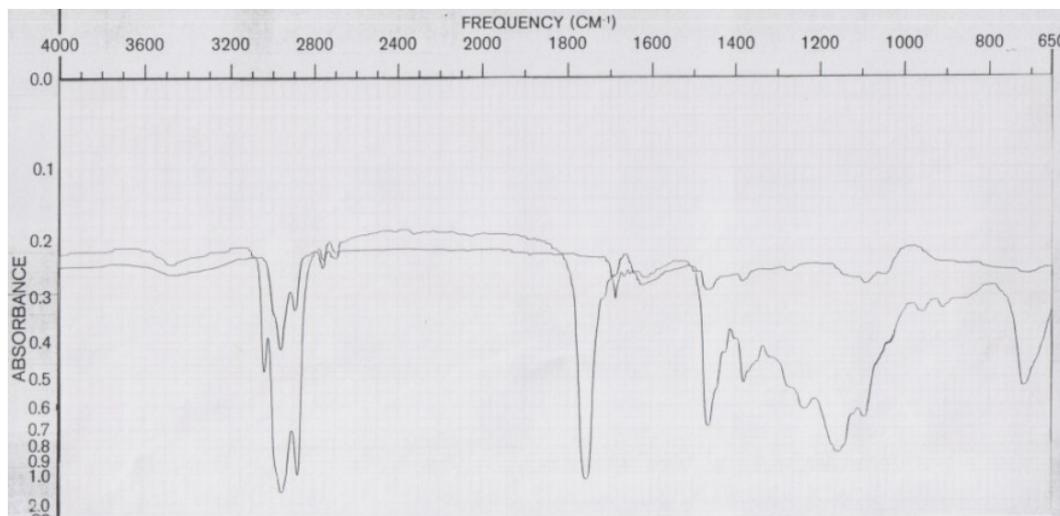
**Figura 5 -** Espectro de IV do óleo de vísceras de frango

Fonte: elaboração própria.



**Figura 6 -** Espectro de IV do óleo de efluentes

Fonte: elaboração própria.



**Figura 7 -** Espectro de IV do óleo de soja comercial

Fonte: elaboração própria.

## 4.2 TRANSESTERIFICAÇÃO EM ESCALA LABORATORIAL

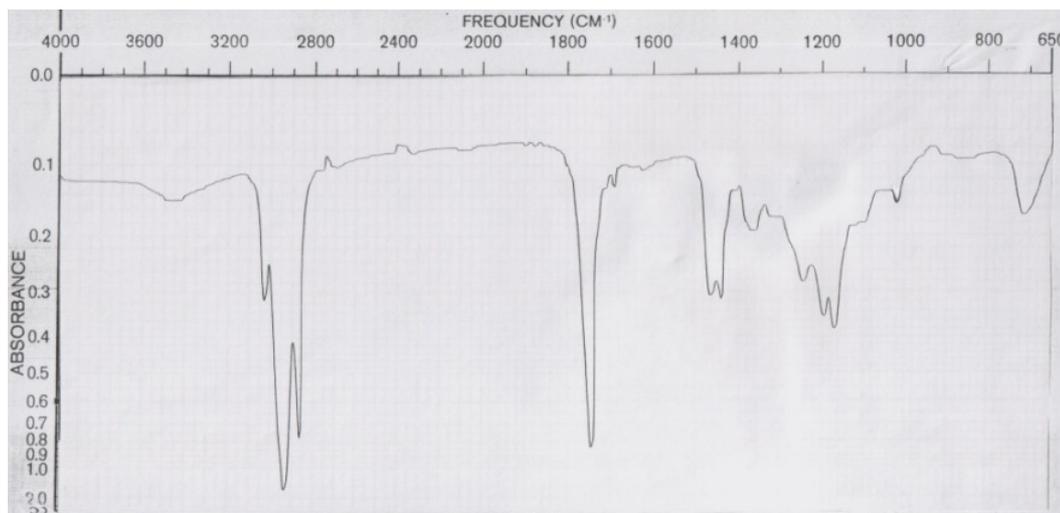
Depois de realizado o processo de transesterificação em laboratório, conforme metodologia proposta, avaliou-se qualitativamente a efetivação da reação de transesterificação e a conversão dos triglicerídeos em ésteres de álcool primário.

Na Figura 8, é apresentado o espectro de IV do biodiesel produzido com óleo de vísceras de frango sem o processo de lavagem e na Figura 9, o espectro de IV do biodiesel produzido com óleo de vísceras de frango após duas lavagens, pode-se observar, além das bandas já existentes, uma nova banda na faixa de frequência de 1.010-1.030  $\text{cm}^{-1}$ , característico de C-O de ésteres de álcoois primários. Nota-se também a ausência de uma banda larga, entre 2.500 - 3.300  $\text{cm}^{-1}$ , característico da interação das moléculas de água com outros compostos orgânicos.



**Figura 8** - Espectro de IV do biodiesel produzido com óleo de vísceras de frango sem o processo de lavagem

Fonte: elaboração própria.



**Figura 9 -** Espectro de IV do biodiesel produzido com óleo de vísceras de frango após duas lavagens

Fonte: elaboração própria.

#### 4.3 RENDIMENTO DO PROCESSO DE TRANSESTERIFICAÇÃO

Descontando-se o 1% de água que foi obtido após duas lavagens e centrifugações, utilizando-se uma centrífuga marca Hermle, modelo Z200A com uma velocidade 4.000 rpm durante 10 min, o rendimento do processo, após separações e pesagens, resultou em 95 % de conversão dos triglicerídeos em ésteres metílicos.

#### 4.4 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE ÓLEO DE FRANGO NAS COOPERATIVAS DO OESTE DO PARANÁ

No abate de aves são descartadas as seguintes partes, conforme Tabela 12: sangue, penas, vísceras não comestíveis, ossos, resíduos e rejeitos, gerando uma quebra de 30,0 % do peso da ave em resíduos, sendo extraído deste percentual de resíduos 11,3% de gordura. Portanto, em um abatedouro de aves com capacidade de abate de 100.000 aves/dia, com peso médio de 2,00 kg, seriam gerados 60.000 kg/dia de subprodutos, dos quais seriam extraídos 6.780 kg/dia de óleo, tendo este abatedouro uma produção durante 22 dias/mês, por ano seriam 1.789.920 kg/ano de óleo, que se comparados com a área plantada de soja, com uma produtividade 2.999 kg/hectare com um teor de óleo de 18% tendo então 539 kg/hectare/ano de óleo vegetal, para produzir a mesma quantidade de óleo seriam necessárias 3.320 hectares.

**Tabela 12** - Partes descartadas no abate e processamento de aves

Parte	Percentual
Sangue	2,368
Penas	6,335
Vísceras não comestíveis	7,290
Quebra (ossos, resíduos e rejeitos)	14,007

Fonte: Elaboração própria.

Conforme método proposto para realização dos levantamentos do potencial instalado nas cooperativas do oeste do estado do Paraná, chegou-se a Tabela 13, a qual representa estes valores.

**Tabela 13** - Potencial de produção de biodiesel, com rendimento de 95 %, a partir do óleo de frango produzido pelas cooperativas do oeste do Paraná

Cooperativa	Capacidade de abate	Potencial teórico de	Potencial teórico de
-------------	---------------------	----------------------	----------------------

	instalado (aves/dia)	produção de óleo de vísceras de frango (kg/dia)	produção biodiesel (kg/dia)
Lar	280.000	18.984,00	18.165,00
Copagril	140.000	9.492,00	9.082,89
C.Vale	300.000	20.340,00	19.463,35
Coopavel	140.000	9.492,00	9.082,89
Copacol	280.000	18.984,00	18.165,00
Total diário	1.140.000	77.292,00	73.959,13
Total anual	300.960.000	20.405.088,00	19.525.209,00

Fonte: elaboração própria

As cooperativas do oeste do estado do Paraná operam em plantas modernas de abate de aves, geralmente com capacidade de abate de 10.000 aves/h em cada linha, sendo que algumas possuem duas linhas instaladas. O total de aves abatidas nas cooperativas do oeste do Paraná é de 1.140.000 aves/dia ou 300.960.000 aves/ano, gerando uma produção de 77.292,00 kg/dia de óleo de vísceras de frango ou 20.405.088,00 kg/ano.

Todas as cooperativas citadas acima (Tabela 13) encontram-se num raio em torno de 70 km, o que justifica a instalação de uma planta industrial para processamento desta matéria prima, que poderia abastecer as máquinas agrícolas dos próprios cooperados, com B100, eliminando assim problemas relacionados à revenda e ao transporte do biodiesel até as empresas que fariam a mistura B2 ou B5.

Segundo o Balanço Energético do estado do Paraná do ano de 2003, o estado consumiu neste ano um total de 2.916.000 tEP, o que corresponde a 2.749.646 ton de diesel, sendo necessário então uma produção anual de 54.992,93 ton de biodiesel para ser adicionada ao diesel mineral na proporção de 2% (B2), conforme exigência legal, representando esta planta uma quantidade significativa de 37,1% do total de biodiesel necessário (COPEL, 2004).

Sendo que a região de Cascavel, como mapeada pela COPEL, refere-se à região oeste do estado do Paraná e que consumiu 19% (522.432,74 ton de diesel) do total registrado no balanço energético, esta mesma planta seria auto suficiente para abastecer a região com biodiesel, a ser adicionado ao diesel mineral como aditivo, inclusive na proporção de 5% (B5). Uma outra alternativa, seria o

abastecimento do setor agropecuário, o qual consumiu 12,04% do total de diesel mineral utilizado no estado neste mesmo período, e se transferido este percentual para a região oeste, esta planta poderia abastecer um terço deste consumo com biodiesel 100% (B100) ou o total do diesel utilizado na forma de aditivo na proporção de 30% (B30) (COPEL, 2004).

Partindo-se do valor total produzido anualmente por essas cooperativas, somente do óleo de vísceras de aves e fazendo novamente um comparativo com a área plantada com soja, para a mesma produção de energia seriam necessários 37.848 hectares.

## 5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos nesta pesquisa é possível concluir que, mesmo que as matérias primas avaliadas apresentem-se com parâmetros fora dos limites recomendados, ainda se prestariam para a produção de biodiesel, pois poderiam ser incluídas outras etapas a fim de adequá-las aos processos de transesterificação, mudanças na rota utilizada ou participarem em misturas com outras matérias primas.

O rendimento, de 95%, foi satisfatório para a rota utilizada, conforme referências em outros trabalhos, sendo possível que as cooperativas verificadas produzam 73.959,13 kg/dia de biodiesel ou 19.525.209,00 kg/ano.

A partir desses dados, é possível operar uma planta para produção de biodiesel, com a qual poderiam contribuir de forma significativa na produção do biocombustível. Essa planta poderia atender com 37,1% da quantidade total de biodiesel necessária no estado como aditivo legal no percentual de 2% (B2). Outra alternativa seria tornar a região oeste do estado auto-suficiente, inclusive com a adição de 5% ou, ainda, abastecer o total de máquinas agrícolas da região com B30 ou um terço das máquinas com B100.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Este trabalho não tem caráter conclusivo, pois toda parte legal ainda está em trâmite e muitas outras variáveis físico-químicas devem ser analisadas, tanto das matérias primas quanto dos produtos acabados. Constitui então uma proposta de uso para mais uma matéria prima com potencial para geração de energia, menos poluente e de baixo custo.

Outro fator importante é a retirada dessa matéria prima da cadeia produtiva de proteína animal, neste caso a produção de frangos, com a formulação de rações, eliminando o risco de re-contaminações e o surgimento de novas doenças. Utilizando para a formulação de rações os óleos comestíveis que seriam utilizados para fins energéticos ou como já existem fábricas de ração que utilizam o grão de soja inteiro separado da casca, que passa por um processo de desativação térmica da enzima que seria prejudicial aos animais, utilizando o seu teor de gordura integralmente, que se encontra entre 18 e 20%, não necessitando adicionar gordura vegetal ou animal para o seu enriquecimento.

Estes estudos podem abrir precedentes históricos, desenvolvendo um novo ramo da indústria, a óleo-química e colocando o Brasil em lugar de destaque na área, por suas condições privilegiadas, como: extensão territorial, fronteiras agrícolas, diversidade de oleaginosas com potencial, clima favorável e incidência solar durante o ano inteiro. Desse modo, alavancar o desenvolvimento tecnológico na área, assim como ocorreu com a petroquímica, desenvolvendo-se equipamentos e rotas tecnológicas para esses processos.

Outro ponto importante é a isenção ou redução da carga tributária incidente sobre o biodiesel, tornando-o mais atraente e motivando o seu uso, iniciando, dessa forma, parte da reforma tributária a qual deve abranger outros produtos. Também as questões sociais e ambientais, pois tal tipo de indústria vai

gerar um grande número de empregos diretos e indiretos, tanto no campo, para o cultivo das oleaginosas, como nas fábricas propriamente ditas. Os resíduos gerados nessas indústrias também podem ser aproveitados como energéticos: rações, adubos e materiais de limpeza.

A diminuição das emissões atmosféricas, o desenvolvimento de produtos biodegradáveis e recicláveis gerados a partir de fontes renováveis, colocando o país em sintonia com as questões ambientais mundiais, como o protocolo de kyoto e os mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL).

Outros trabalhos demonstram que as reações de transesterificações ocorrem muito mais rapidamente do que se acreditava, desde que mantidos outros fatores como: temperatura, excesso de catalisador e álcool, melhorando o balanço energético de tal processo.

Mesmo que falte ainda a parte regulatória, especificações como: tal tipo de combustível pode ser utilizado de forma provisória como não especificado, sendo realizados testes que irão auxiliar inclusive nas especificações para os diferentes tipos de matéria primas utilizadas.

O governo já prevê o desenvolvimento de motores mais robustos, principalmente para máquinas agrícolas, as quais consomem 15 % do diesel mineral comercializado no país, nas quais possam ser utilizados o B100 ou até mesmo o óleo puro. Evitando assim os processos de transesterificação, misturas e especificações, mantendo-se as preocupações relacionadas ao meio ambiente.

Outros trabalhos devem ser realizados para determinar custos de produção com o uso de diversas matérias primas e seus respectivos rendimentos, qualidade e logística para seu processamento e distribuição.

A continuidade deste trabalho pode ocorrer pela produção em escala piloto e avaliação de desempenho, pelo uso em veículos ou motores estacionários, observando-se a compatibilidade química entre vedações e o combustível e suas misturas, análise das emissões geradas e resíduos formados dentro dos motores e componentes auxiliares. Análise da estabilidade do biodiesel e suas misturas, tanto com diesel mineral como com gasolina ou álcool, revisão da legislação proposta, evitando dessa forma distorções de leis e

favorecimentos de determinados grupos, o que poderia levar o projeto a um modelo de exclusão social.

## REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, J. **Matriz energética brasileira**. Da crise à grande esperança. Rio de Janeiro: Mauad, 2003. 188 p.

ALVES, M. O. **Possibilidades da mamona como fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel no nordeste brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2004. 42 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E EXPORTADORES DE FRANGOS - ABEF. **O desempenho da avicultura em 2001**. Disponível em: <<http://www.abef.com.br>>. Acesso em: 12 jul. 2002.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil. 1988**. Disponível em: <[http://legis.senado.gov.br/con1988/CON1988\\_31.12.2003/CON1988.htm](http://legis.senado.gov.br/con1988/CON1988_31.12.2003/CON1988.htm)>. Acesso em: 25 de mar. de 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária – Laboratório Nacional de Referência Agropecuária - LANARA. **Métodos analíticos oficiais para controle de produtos de origem animal e seus ingredientes**. II – Métodos físicos e químicos. Brasília-DF: MAPA, 1981.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. **Publicações**. Disponível em; <<http://www.mme.gov.br/publicacoes>>. Acesso em 15 fev. 2003a.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Biblioteca virtual**. Disponível em <<http://www.anell.gov.br>>. Acesso em 02 fev. 2003b.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. **Anuário estatístico 2003**. Disponível em <[http://www.ano.gov.br/doc/anuario\\_estat/T1.1.xls](http://www.ano.gov.br/doc/anuario_estat/T1.1.xls)>. Acesso em: 15 jul. 2004.

CARVALHO, E. G. C.; OTZ, E. P.; OLIVEIRA, L. W.; BORGES, E. P.; GONZALES, W. A. Transesterificação do óleo de soja via catalise ácida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CATÁLISE, 12, 2003, Angra dos Reis. **Anais Eletrônicos...** Angra dos Reis: SBcat, 2003. Disponível em: <<http://www.sbc.org.br/sbc/publicacoes.php>>. Acesso em 23 mar. 2004.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA – CENBIO. **Banco de Dados de Biomassa no Brasil, 2003**. Disponível em: <<http://infoener.iee.usp.br/cenbio/biomassa.htm>>. Acesso em 02 fev. 2003.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA – COPEL. **Balço Energético do Paraná - 2003**. Disponível em: <<http://www.copel.com/pagcopel.nsf>>. Acesso em 15 out. 2004.

COSTA, T. V. A. M. **Integração regional e seus efeitos sobre as exportações brasileiras de carne avícola**. Porto Alegre, 1999. f. 147. Dissertação (Mestrado em Economia Rural). Faculdade de Ciências Econômicas - UFRS.

CRUZ, R. S.; ALMEIDA NETO, J. A.; SAMPAIO, L. A. G. **Aproveitamento de óleos e gorduras vegetais in natura e residuais em combustíveis tipo diesel**. Ilhéus: UESC, 2001.

\_\_\_\_\_. **Aproveitamento de óleos e gorduras vegetais in natura e residuais em combustíveis tipo diesel.** Ilhéus: UESC. 2002.

DOURADO, T. M. Implicações da reutilização de gorduras de frituras quanto a alguns aspectos físicos e químicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 17, 2000. **Resumos...** Fortaleza. SBCTA, 2000. Livro de resumos, vol. 2, cap. 5, p. 5.

FLEMMING, J. S.; JANZEN, S. A.; ENDO, M. A. Teste com linhagens comerciais de frango de corte – Avaliação dos parâmetros zootécnicos. **Revista Veterinária Scientia**, UFPR, Curitiba. p 57-59. 1999.

FNP - CONSULTORIA E COMÉRCIO. **Anuário da pecuária brasileira. ANUALPEC.** São Paulo: FNP: Consultoria e Comércio/ Agros, 2002. 400 p.

FORREST, J. C.; ABERLE, E. D.; HEDRICK, H. B.; JUDGE, M. D.; MERKEL, R. A. **Fundamentos de ciencia de la carne.** Zaragoza: Acribia, 1979. 373 p.

WESTFALIA. **Biodiesel.** Disponível em <<http://www.westfalia.com/biodiesel>>. Acesso em 10 jul. 2004.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Estatistics.** Disponível em: <<http://www.iea.org/Textbase/stats/index.asp>>. Acesso em 12 jul. 2003.

MITTELBACH, M.; POKITS, B.; SILBERHOLZ, A. Production and properties of fatty acid methyl esters from used frying oil. **Liquid fuels renewable sources.** Plasville. 1992.

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais.** Na indústria de alimentos. São Paulo: Varela, 1998. 150 p.

NAWAR, W. W. **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1993. p. 157-274.

NOGUEIRA, A. H. N.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia**: Fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 199 p.

ORTIZ, Lúcia Schild. **Fontes Alternativas de energia e eficiência energética – opção para uma política energética sustentável no Brasil**. Núcleo Amigos da Terra Brasil. Coalizão Rios Vivos. Disponível em: <<http://www.riosvivos.org.br/arquivos/1380579432.pdf>>. Acesso em 02 fev. 2003.

PARENTE, E. J. de S. **Biodiesel**: Uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: Tecbio, 2003. 68 p.

PERIN, E.; VIEIRA, J. A. N.; LOVATO, L. F.; MACHADO, M. L. S.; ANDRADE, M. A. A.; RADOMSKI, M. I.; PARIZOTTO, M. L. V. **Agricultura familiar na região oeste do Paraná**: passado, presente e futuro. Mesorregião Oeste. Londrina: Midiograf, 2001.

REIS, S. C. M.; REID, M. G.; NASCIMENTO, R. S. V.; LACHTER, E. R. **Transesterificação dos óleos de coco de babaçu e soja com metanol em presença de resinas sulfônicas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CATÁLISE, 12, 2003, Angra dos Reis. **Anais Eletrônicos...** Angra dos Reis: SBcat, 2003. Disponível em: <<http://www.sbcat.org.br/sbcat/publicacoes.php>>. Acesso em 23 mar. 2004.

ROCHA, V. A.; CRUZ, R. S. **Determinação das características físico químicas de azeites, óleos e gorduras utilizados**. Ilhéus: UESC, 2001. v. 7, p. 156-158.

SALAMA, C. **Estudo da viabilidade de utilização de óleos vegetais em substituição ao óleo diesel.** Rio de Janeiro, 1982. f. 97. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SAMBANTHAMURTHI, R.; SUNDRAM, K.; TAN, Y. A. Chemistry and biochemistry of palm oil. **Program Lipid Research**, Oxford, 2000, v. 39, p. 507-558.

SAMPAIO, L. A. G. **Reaproveitamento de óleos e gorduras residuais de frituras:** tratamento da matéria-prima para produção de biodiesel. Ilhéus, 2003. f. 59. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Universidade Estadual de Santa Cruz.

SILVERSTEIN, R. M. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos.** Rio de Janeiro: LTC, 1998.

SOLOMONS, G.; FRYHLE, C. **Química orgânica.** v. 2. Rio de Janeiro: LTC, 2002. 474 p.

TECNOLOGIAS BIOENERGÉTICAS LTDA – TECBIO. **Biodiesel.** 2002. Disponível em: <[http://www.tecbio.com.br/Programa\\_Mamona.htm](http://www.tecbio.com.br/Programa_Mamona.htm)>. Acesso em: 15 mar. 2003.

TORREIRA, R. A. **Geradores de vapor.** São Paulo: Companhia Melhoramentos, 1995. 710 p.

VASCONCELLOS, G. F. **Biomassa:** A eterna energia do futuro. São Paulo: Senac, 2002. 142 p.

