

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL  
– MESTRADO  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
AMBIENTAL**

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM ESCALA PILOTO E  
AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS**

Jonas Álvaro Kaercher

Santa Cruz do Sul, julho de 2009.

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Jonas Álvaro Kaercher

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM ESCALA PILOTO E  
AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado, Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Rosana de Cássia de Souza Schneider

Santa Cruz do Sul, julho de 2009

Jonas Álvaro Kaercher

**PRODUÇÃO DE BIODIESEL EM ESCALA PILOTO E  
AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado, Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

*Prof. Dr. Pedro Barbosa Mello*

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

*Prof. Dr. Luciano Dornelles*

Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC

*Profa. Dra. Rosana de Cássia de Souza Schneider*

Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC

Orientadora

## **AGRADECIMENTOS**

No decorrer deste trabalho muitas pessoas incentivaram e colaboraram e de alguma forma ajudaram a concluir mais esta etapa da minha vida.

Agradeço a minha orientadora, professora Dra. Rosana de Cássia de Souza Schneider que sempre esteve presente e apoiando durante todo o período de orientação, aos professores Dr. Ênio Leandro Machado, Dr. Jorge André Ribas Moraes, Dr. Luciano Dornelles que transmitiram palavras de incentivo e apoio, e demais professores que de alguma forma influenciaram na elaboração e no desenvolvimento deste trabalho.

Aos alunos bolsistas do Departamento de Química, William Leonardo Teixeira da Silva, Rodrigo Augusto Klamt e William Luiz Schmatz, bem como aos demais bolsistas do laboratório de oleoquímica, e os colegas de mestrado em Tecnologia Ambiental, Luciano Roni Silva Lara e Mariéli Milanesi Ceolin, que sempre se mostram dispostos para ajudar, demonstrando verdadeiro espírito de grupo.

Aos funcionários dos diversos setores da Unisc que quando chamados, sempre demonstraram presteza na realização das tarefas para as quais foram solicitados.

A minha esposa e filhos que sempre estiveram presentes em todos os momentos dando apoio e incentivo.

A todos que de forma direta ou indireta colaboraram para a realização deste trabalho.

*“Somos o que repetidamente fazemos. A excelência, portanto, não é um feito, mas um hábito”.*  
(Aristóteles)

## RESUMO

Atualmente o Brasil também esta procurando desenvolver fontes alternativas de energia com baixo impacto ambiental associadas a sustentabilidade. Na Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC atualmente busca-se otimizar um protótipo para produção de biodiesel em pequena escala, que possa ser adquirido por produtores agrícolas. A Planta Piloto tem capacidade de produzir 50L/dia de biodiesel em sistema semi-contínuo utilizando óleos vegetais extraídos de plantas oleaginosas tais como soja, girassol, entre outras e adotando como catalisador o metilato de sódio diluído em metanol. O compromisso com o meio ambiente e o domínio da operacionalidade tem norteado o desenvolvimento do equipamento. Portanto, para que este equipamento possa ser utilizado pelos agricultores, é imprescindível, a avaliação do consumo, e do impacto ambiental gerado pelo mesmo. Em função disso, foram adotadas ferramentas para Avaliação e Identificação dos Impactos Ambientais, as quais possibilitaram a constatação da importância na seleção das matérias-primas para produção de biodiesel. Para exemplificar, a utilização de óleos residuais e substituição do metanol por etanol, são alternativas viáveis para a produção de biodiesel.

**Palavras-Chave:** Biodiesel; girassol; impactos ambientais; planta piloto

## **ABSTRACT**

In Brazil it is sought the development of alternative sources of energy with a low impact on the environment and associated with sustainability. In the University of Santa Cruz do Sul – UNISC nowadays we are trying to optimizer a prototype for production of biodiesel in a small amount, which can be purchased by farmers. The pilot plant is capable to produce 50L/day in a semi-continuous system using vegetable oil extracted from oleaginous plants such as soybean, sunflower among others and assuming sodium methylate diluted in methanol as catalyst. The commitments with the environment and the command of operability have guided the development of the equipment. Therefore, for this equipment to be used by small farmers the evaluation of consume and the environmental impact are essential. According to applicable, tools for evaluation and identification of environmental impact were assumed, which allowed the observation of the importance in the selection of raw materials for production of biodiesel. It is possible to cite the use of residual oils and replacement of methanol for ethanol.

**Key words:** Biodiesel; sunflower; soybean oil; environmental impact

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Reação de transesterificação de óleos vegetais.....	15
Figura 2 -Fluxograma da Etapa de Neutralização do Óleo Bruto, onde ME é Misturador estático e MD é misturador dinâmico.....	21
Figura 3 -Fluxograma da Etapa de Transesterificação adaptado da tecnologia de produção de biodiesel da Westfalia Separator. ....	22
Figura 4 -Fluxograma da Etapa de Lavagem e Clarificação adaptado da tecnologia de produção de biodiesel da Westfalia Separator.....	23
Figura 5 -Quantidade de combustível utilizada nas 23 propriedades agrícolas experimentais. ....	26
Figura 6 -Estrutura do reator de acordo com projeto inicial. ....	38
Figura 7 -Protótipo para a produção de biodiesel otimizado quanto a tubulações, bocais e visores.....	39
Figura 8 -Trocadores de calor utilizados nos dois reatores; (a) Trocador de Placa e (b) Trocador de casco e tubo.....	41
Figura 9 -Sistema de circulação da água dos trocadores de calor. ....	41
Figura 10 -Representação gráfica do tempo de reação e consumo de energia antes e após o isolamento térmico do reator e decantador. ....	43
Figura 11 -Reator do protótipo com isolamento térmico. ....	44
Figura 12 -Fluxograma qualitativo com entradas e saídas na planta piloto. ....	49
Figura 13 -Avaliação Qualitativa de Impactos Ambientais, seguindo o critério de Valor, ordem, espaço, tempo, dinâmica e plasticidade.....	51
Figura 14 -Avaliação Qualitativa de Impactos Ambientais, após adoção de medidas de controle seguindo o critério de Valor, ordem, espaço, tempo, dinâmica e plasticidade.....	55

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b> -Principais observações da produção de biodiesel no protótipo desenvolvido.....	46
<b>TABELA 2</b> -Especificação do biodiesel produzido a partir de óleo de girassol bruto e metanol, utilizando hidróxido de potássio e metilato de sódio como catalisador no protótipo otimizado. ....	47
<b>TABELA 3</b> -Matriz de identificação qualitativa de impactos ambientais da produção de biodiesel da planta piloto. ....	50
<b>TABELA 4</b> -Ações impactantes e medidas ambientais propostas para o protótipo de produção de biodiesel.....	52
<b>TABELA 5</b> -Matriz de Identificação Qualitativa de impactos aos meios físicos e bióticos com as proposições efetivas de Controle .....	54
<b>TABELA 6</b> -Planilha de Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais - CNTL..	57
<b>TABELA 7</b> -Plano de ação segundo critério de priorização.....	58
<b>TABELA 8</b> -Custos de produção de Biodiesel no protótipo avaliado.....	59

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	12
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	14
1.1 Produção de biodiesel.....	14
1.1.1Tipo de álcool.....	17
1.1.2Tempo e temperatura reacional .....	19
1.1.3Etapas de Produção de biodiesel.....	20
1.2 Questões Ambientais .....	24
1.2.1Avaliação de impactos ambientais .....	27
1.2.2Matriz de Leopold.....	28
1.2.3Matriz do CNTL .....	30
2 METODOLOGIA .....	33
2.1 Construção do Protótipo.....	33
2.1.1Procedimento para Produção do Biodiesel .....	33
2.2 Eficiência energética do protótipo desenvolvido.....	34
2.3 Análise do biodiesel .....	35
2.4 Análise dos Impactos Ambientais.....	35
3 RESULTADOS.....	37
3.1 Descrição do protótipo desenvolvido.....	37
3.1.1Otimização do protótipo aos critérios estabelecidos .....	38
3.2 Biodiesel produzido .....	46
3.3 Avaliação dos Impactos Ambientais.....	48
3.3.1Matriz de interação de Leopold .....	49

3.3.2 Avaliação dos impactos ambientais baseado na Matriz de Leopold do protótipo após adoção de medidas de controle.....	53
3.3.3 Avaliação dos impactos ambientais baseado no Sistema de Gerenciamento Ambiental e Produção mais Limpa - CNTL.....	56
3.4 Custo de produção.....	59
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	61
REFERÊNCIAS.....	62
ANEXO A – Modelo de planilha para apontamento de dados referentes ao acompanhamento de reações em diferentes condições. ....	67
ANEXO B – Croqui da planta de produção de biodiesel desenvolvida na UNISC .....	68

## **INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas, o ser humano tem utilizado de forma indiscriminada os recursos naturais disponibilizados pelo planeta, sem se preocupar com as consequências advindas de tais atitudes. Os reflexos são cada vez mais frequentes e visíveis em nosso meio.

Dentre muitas questões levadas em reuniões nos diversos encontros entre líderes mundiais, a que se refere ao aquecimento global tem sido uma das mais discutidas.

Com o aumento dos problemas relacionados ao meio ambiente, as nações de uma forma geral têm demonstrado grandes interesses em procurar desenvolver tecnologias e procedimentos que venham em benefício da sustentabilidade da vida no planeta.

Devido a isso, atualmente tem-se questionado muito a queima de combustíveis fósseis como fonte de energia para o desenvolvimento das atividades econômicas. A contrapartida para tais questionamentos é a adoção em quantidades cada vez maiores do uso de combustíveis provenientes de fonte renováveis. Tais fontes de energia quando amplamente utilizadas proporcionarão à humanidade auto-sustentabilidade de energia, permitindo que os diversos biomas do planeta possam ser preservados. As diversas alternativas de fontes renováveis tem sido discutidas mundialmente e uma dessas alternativas é a produção de biocombustíveis a partir da transesterificação de óleos vegetais ou gorduras animais.

No Brasil, e na Universidade de Santa Cruz do Sul, também se esta procurando desenvolver fontes alternativas de energia com baixo impacto ambiental associado à sustentabilidade. Isto se deve ao fato de a Universidade estar inserida em uma região que urge por alternativas de produção que contribuam para a diversificação agrícola e industrial. Na Universidade de Santa

Cruz do Sul, este trabalho vem sendo desenvolvido pelo grupo de pesquisa em Oleoquímica e Produção de Biocombustíveis.

Nesta questão relacionada a diversificação da produção regional, devido ao fato da região ser produtora de tabaco, é importante salientar que isto se deve a assinatura da Convenção-Quadro sobre Controle do Uso do Tabaco, adotada pelos países membros da Organização Mundial de Saúde em 21 de maio de 2003 e assinada pelo Brasil em 16 de junho de 2003. A partir desta data, as regiões produtoras de tabaco, e em particular os pequenos produtores do Vale do Rio Pardo, começam a estar sujeitos às mudanças advindas destas medidas.

Em função disso, num trabalho realizado entre a Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, Associação de Fumicultores do Brasil – AFUBRA e a Indústria Metalúrgica Sur Engenharia Ltda., foi iniciado um projeto envolvendo a comunidade acadêmica e pequenos produtores da região do Vale do Rio Pardo visando à produção de girassol e a obtenção de biodiesel a partir do seu óleo com o desenvolvimento de um equipamento de pequeno porte para este fim.

Na otimização do protótipo para reação de transesterificação (PRT) houve uma grande preocupação com o domínio operacional e os princípios básicos da produção mais limpa (P+L) para que este equipamento pudesse ser utilizado pelos agricultores.

Neste contexto, o objetivo desta dissertação foi otimizar uma planta de produção semi-contínua de biodiesel com capacidade de 50 L/dia para o uso por pequenos produtores ou associação de produtores, de baixo custo, mínimo impacto ambiental e em escala de autoconsumo.

# 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 1.1 Produção de biodiesel

De um modo geral, biodiesel foi definido pela “National Biodiesel Board” dos Estados Unidos como o derivado monoalquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, proveniente de fontes renováveis como óleos vegetais ou gordura animal, cuja utilização está associada à substituição de combustíveis fósseis em motores de ignição por compressão (motores do ciclo Diesel).<sup>1</sup>

No Brasil a Agência Nacional do Petróleo (ANP)<sup>2</sup> define biodiesel da mesma forma:

“O biodiesel B-100 é um combustível composto de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais”

O Biodiesel é sintetizado a partir da transesterificação (Figura 1) de óleos vegetais ou animais com metanol ou etanol na presença de um catalisador ácido ou básico. É uma alternativa atraente, pois é produzido a partir de recursos renováveis e é reconhecido mundialmente por ser um combustível com características não tóxicas e biodegradáveis. Assim, a partir da transesterificação reduz-se a viscosidade dos triacilgliceróis, melhorando as propriedades físicas dos combustíveis para motores a ciclo diesel.<sup>3</sup>

O biocombustível produzido destas matérias-primas apresenta considerável redução na emissão de gases poluentes e material particulado, quando comparado com o combustível fóssil, óleo diesel que atualmente domina o mercado.<sup>4-7</sup>

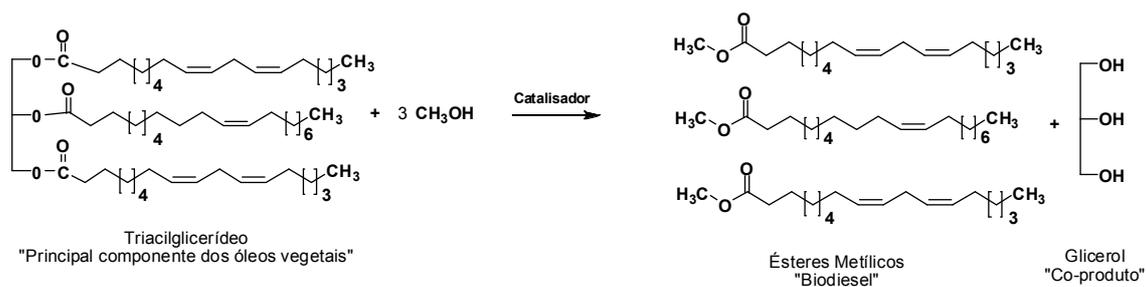


Figura 1 - Reação de transesterificação de óleos vegetais.

Melhorias no processo de produção de biodiesel têm sido feitas e a projeção de novas rotas de produção, consideram aspectos tecnológicos, sustentabilidade do processo e a redução de resíduos.<sup>8-12</sup>

Assim ocorrerá uma maior disponibilidade de tecnologias tornando o preço deste combustível cada vez mais competitivo. Projetos de implantação de plantas de biodiesel de pequena escala retiram a dependência do pequeno agricultor ao petróleo altamente subsidiado e contribuem para uma maior renda na propriedade.

No que se refere à produção de biocombustíveis, os processos de transesterificação com utilização de catalisadores químicos são os mais utilizados, no entanto, e o emprego de biocatalisadores tem sido cada vez mais explorados.<sup>13-16</sup>

Isto se deve ao fato de a grande maioria dos processos produtivos de biodiesel ser realizada com a utilização de catalisadores ácidos ou básicos homogêneos e exigir um eficiente sistema de remoção destes catalisadores após a reação, tornando estes processos relativamente mais caros e ambientalmente mais impactantes.<sup>15</sup>

Muitos aspectos, tais como, o tipo de catalisador, proporção molar entre a matéria graxa e o álcool, temperatura, pureza dos reagentes e o conteúdo de ácidos graxos livres, têm influência no curso da reação de transesterificação e devem ser otimizados. Assim, em geral, na transesterificação de óleos vegetais é importante que sejam controlados a quantidade de catalisador; presença de água no meio, relação molar entre os reagentes ou substratos, tempo e temperatura de reação e sistema de agitação.

A concentração de ácidos graxos livres nos óleos é de fundamental importância, quando se usa uma base alcalina como catalisador. Isto implicará na

utilização de uma maior quantidade deste catalisador para realizar a neutralização. O percentual de água nos reagentes deve ser baixo, pois pode levar a formação de sabões durante o processo, ocasionando um aumento da viscosidade e dificultando a decantação do glicerol e consequentes perdas de rendimento do processo.<sup>17-19</sup>

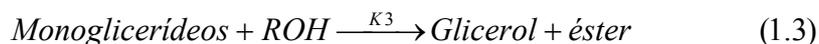
Na transesterificação, a relação molar entre os reagentes está diretamente relacionado à escolha do catalisador utilizado. Para catálise ácida, foram relatados por Freedmann e colaboradores<sup>20</sup>, por exemplo, que era necessária uma relação de 30:1 de butanol e óleo de soja, enquanto na alcalina só foi requerido 6:1 para atingir a mesma taxa de conversão.

Como a reação é reversível, faz-se necessário o excesso de álcool para forçar o equilíbrio para o lado do produto desejado, aumentando o rendimento e também para permitir a posterior separação dos ésteres do glicerol. A estequiometria da reação de transesterificação requer três mols de álcool por mol de triacilglicerol, para render três mols de ésteres e um mol de glicerol como mostrado na Figura 1.

Os álcoois apropriados são de cadeia curta como, metanol, etanol, propanol, butanol ou álcool amílico. O metanol e o etanol são utilizados comercialmente e, a nível mundial o metanol detém um lugar de destaque devido a seu baixo custo, propriedades química e física, e ser facilmente disponível como álcool absoluto.<sup>21</sup>

Assim, alta relação molar óleo-álcool resulta numa maior conversão em ésteres em menor tempo de reação.

Na reação de transesterificação, os triacilgliceróis sofrem reações consecutivas e reversíveis. A primeira etapa é a conversão dos triacilgliceróis em diacilgliceróis, seguida pela conversão dos diacilgliceróis em monoacilgliceróis e, sucessivamente, dos monoacilgliceróis ao glicerol, rendendo uma molécula de éster em cada etapa como mostram as equações 1.1, 1.2 e 1.3.<sup>21</sup> Estas reações podem ser realizadas em meio não catalisado a 220-235<sup>0</sup>C, entretanto, a razão de conversão do triacilglicerídeo e diacilglicerídeo é maior que a do monoglicerídeo.<sup>22</sup>



### 1.1.1 Tipo de álcool

O álcool monoídrico mais usado no processo de transesterificação é o metanol, matéria-prima abundante e barata nos países de primeiro mundo.<sup>23</sup> Já o etanol, mais adequado para o mercado brasileiro, é pouco utilizado, apesar de apresentar melhores propriedades como dissolvente dos óleos vegetais.<sup>23</sup>

No Brasil, atualmente, a vantagem da rota etílica é a oferta desse álcool, de forma disseminada em todo território. Assim, os custos diferenciais de fretes, para o abastecimento de etanol *versus* abastecimento de metanol, em certas situações, possam influenciar numa decisão. Sob o ponto de vista ambiental, o uso do etanol leva vantagem sobre o uso do metanol, quando este álcool é obtido de derivados do petróleo, no entanto é importante considerar que o metanol também pode ser produzido por processos que permitem uma maior sustentabilidade.<sup>24-25</sup> A tecnologia de produção de metanol a partir de biomassa evoluiu muito nos últimos 20 anos, atingindo maior eficiência de conversão e menores custos, mas o conceito de integração completa da gaseificação, limpeza do gás e síntese do metanol não é ainda comercial. A tecnologia, ainda experimental, compreende a preparação da madeira (eucalipto, no Brasil) com picadores; a gaseificação; limpeza do gás de síntese e reforma para CO e H<sub>2</sub>, ajustando a razão molar CO/H<sub>2</sub> para 2, conforme equação 1.4. O gás resultante é comprimido e, por catálise, produz o metanol. A água é removida por destilação.<sup>25</sup>



No entanto, o etanol também apresenta algumas vantagens químicas, como a obtenção de um biodiesel com poder calorífico de 5% a 6% mais elevado, maior ponto de fulgor e número de cetano. Como desvantagens químicas, o etanol

apresenta menor reatividade química. Outros aspectos negativos são as necessidades de se utilizar etanol em grau anidro (álcool absoluto a 99,5%) e de retificar e desidratar o álcool etílico excedente recuperado da transesterificação.<sup>23</sup>

Com relação a escolha do álcool é importante salientar que o uso de metanol quando trata-se de biodiesel de sebo bovino também é relevante, uma vez que, a solubilidade do sebo bovino em metanol e etanol, a diferentes temperaturas, e a distribuição do metanol entre as fases de ésteres metílicos e glicerol, foram investigadas por Ma e colaboradores<sup>26</sup> para otimização do processo e minimização dos custos operacionais. Foi constatado que o sebo bovino é menos solúvel em metanol do que em etanol. A 45°C, a solubilidade em metanol foi de aproximadamente 8% (m/m). Com um aumento da temperatura, a solubilidade aumentou a uma taxa de 2-3% (m/m) por 10°C e alcançou 19% a 100°C. Isto é devido ao metanol ser polar e o sebo bovino, um triacilglicerol, ser apolar. Com o etanol e óleo, a 45°C, nas mesmas condições a solubilidade foi de 24% e a 68°C foi de 100%. Isso ocorreu porque o etanol tem mais carbonos em sua cadeia hidrofóbica, e assim é menos polar que o metanol e mais solúvel.

A reação de transesterificação requer um catalisador para obter taxas de conversão razoáveis. Atualmente, a maior parte do biodiesel está sendo obtida por catalisadores alcalinos como sódio e potássio. Economicamente, o hidróxido de sódio e o hidróxido de potássio são preferidos devido à larga disponibilidade e baixo custo. Embora a transesterificação seja realizada na indústria por catalise básica homogênea, o processo sofre limitações, que traduzem em altos custos de produção para o biodiesel.<sup>27</sup>

Os hidróxidos alcalinos são os catalisadores mais eficientes para este fim, pois requerem tempos curtos (30 min) para completar a reação até mesmo à temperatura ambiente, enquanto catalisadores ácidos, como ácido sulfúrico, necessitam temperaturas mais altas (100°C) e tempos mais longos (3-4 h).<sup>28</sup>

As bases mais utilizadas na transesterificação são hidróxido de sódio, hidróxido de potássio e alcóxidos, tais como, metóxido de sódio e etóxido de sódio. A transesterificação alcalina procede-se, aproximadamente, 4000 vezes mais rápida do que a transesterificação ácida e é a mais utilizada comercialmente. É na transesterificação básica, que os glicerídeos e o álcool

precisam ser anidros, pois com a água ocorrem reações secundárias com estes catalisadores, produzindo sabão, reduzindo a eficiência da catálise e consequentemente causando o aumento da viscosidade, formação de géis e sabões e dificultando a separação do glicerol.<sup>29</sup>

Estudos empregando lipases como biocatalisadores começaram a ser publicados no início da década de 90 e até hoje não se tornaram viáveis para produção em escala industrial devido ao custo de purificação destas lipases.

Portanto, a transesterificação de óleos vegetais ou gordura animal, pode ser conduzida por uma variedade de rotas tecnológicas em que diferentes tipos de catalisadores podem ser empregados. Como exemplo, podemos citar as bases inorgânicas (hidróxidos de sódio e potássio e bases de Lewis), ácidos minerais (ácido sulfúrico), resinas de troca iônica (resinas catiônicas fortemente ácidas), argilominerais ativados, hidróxidos duplos lamelares, superácidos, superbases e enzimas lipolíticas (lipases).<sup>30-31</sup>

### **1.1.2 Tempo e temperatura reacional**

Quanto ao tempo de reação, normalmente o grau de esterificação aumenta com o aumento do tempo. Se a dispersão for boa, as reações serão rápidas, em torno de 15 minutos nas catálises químicas.<sup>32</sup>

Destaca-se no entanto que, o tempo reacional também está relacionado à temperatura, que dependerá do óleo e do catalisador utilizado. A metanólise alcalina de óleo de mamona, por exemplo, ocorreram entre 20-35°C.<sup>33</sup> Trabalhos mais recentes demonstram que a metanólise do óleo de mamona com temperaturas em torno de 50°C apresentam uma conversão em ésteres metílicos mais rápida, porém com grandes riscos de saponificação dos glicerídeos pelo NaOH produzindo alto teor de sabão no meio. Isto acarreta etapas de purificações mais demoradas.<sup>34</sup>

Não há dúvidas de que algumas dessas rotas tecnológicas, particularmente aquelas que empregam catalisadores heterogêneos, apresentam vantagens

interessantes como a obtenção de uma fração glicerínica mais pura, que não exija grandes investimentos de capital para atingir um bom padrão de mercado. Porém, é também correta a afirmação de que a catálise homogênea em meio alcalino ainda prevalece como a opção mais imediata e economicamente viável para a transesterificação de óleos vegetais.<sup>31,35</sup> A catálise básica é comprovadamente a que oferece um melhor rendimento, pois ocorre num menor tempo e temperatura de reação para a conversão, ao contrário da catálise ácida.<sup>36</sup>

Conversões totais de óleos em ésteres metílicos ou etílicos são difíceis, pois, além de reversível, tem-se a ocorrência de reações secundárias como a hidrólise e saponificação. Para limitar a presença de triacilglicerídeos não reagidos além dos limites tolerados pelo motor, muitos processos recorrem à condução da reação em duas etapas sequenciais, que garantam taxas de conversão superiores a 98%.<sup>37</sup>

Além disso, cabe ressaltar que o rendimento total da reação também é prejudicado pela necessidade de etapas de purificação do biodiesel, como na eliminação de sabões, catalisador residual, água e glicerol livre.

Perdas no processo podem ser reduzidas se houver um ajuste nas condições de reação para que a separação de fases aconteça espontaneamente, sendo que a eficiência do processo de decantação (da fração glicerínica) pode ser acelerada pela redução da perda de calor após a reação, evitando o aumento da viscosidade dos líquidos e pelo uso de centrífugas contínuas, auxiliadas ou não pela adição de compostos tensoativos.<sup>31</sup>

### **1.1.3 Etapas de Produção de biodiesel**

Na indústria normalmente as etapas de produção de biodiesel são bem mais complexas e de forma contínua ou semi-contínua. As principais etapas são a neutralização da matéria-prima, transesterificação, lavagem e clarificação.

Inicialmente o óleo bruto passa por um processo de neutralização para remoção da acidez livre, conforme Figura 2, que apresenta um fluxograma da neutralização adaptado da tecnologia Westfalia Separator.<sup>38</sup>

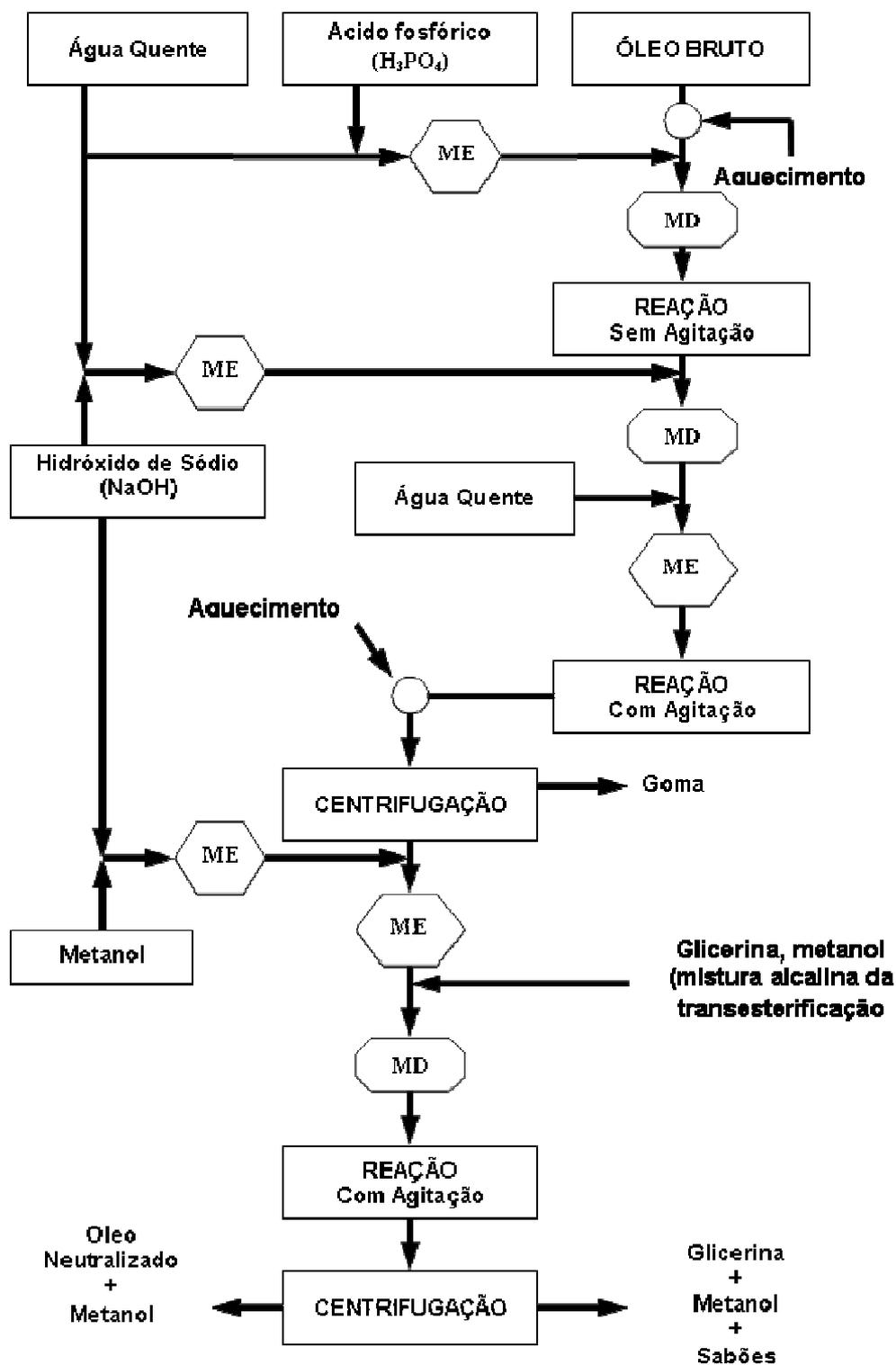


Figura 2 - Fluxograma da Etapa de Neutralização do Óleo Bruto, onde ME é Misturador estático e MD é misturador dinâmico.



A lavagem e clarificação, realizada após a transesterificação, visam à remoção de sabões e parcela de catalisador ainda remanescente. Além dos sabões e catalisador, também nesta etapa é removida umidade oriunda da lavagem propriamente dita.

A lavagem consiste em adicionar ao biodiesel, em um misturador dinâmico, ácido e água aquecida em proporções previamente determinadas. As fases da lavagem são centrifugadas e o biodiesel é aquecido para a secagem.

O biodiesel seco e resfriado é a seguir clarificado com um adsorvente. A seguir é filtrado e novamente centrifugado como mostra a Figura 4.<sup>38</sup>

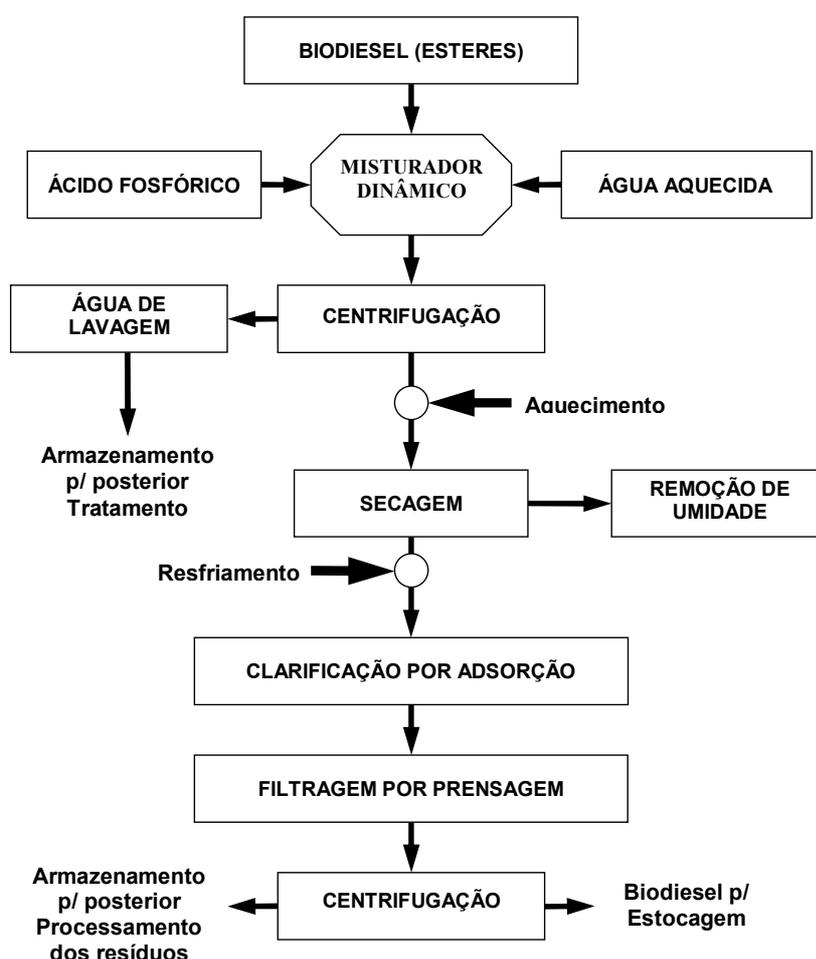


Figura 4 - Fluxograma da Etapa de Lavagem e Clarificação adaptado da tecnologia de produção de biodiesel da Westfalia Separator.

Neste processo restam águas de lavagem e adsorventes que podem com tratamento retornar ao processo. Para isso é interessante verificar a tratabilidade da água para definir em que ponto do processo produtivo a mesma pode ser reutilizada.<sup>39</sup>

## 1.2 Questões Ambientais

Com o aumento da demanda de energia nos últimos tempos, e a preocupação cada vez maior com as questões relacionadas ao meio ambiente, tem aumentado substancialmente o interesse por energias mais limpas e renováveis. Em função de tais necessidades, diversas nações têm dedicado tempo e recursos em pesquisar novas fontes.

Sabe-se que o aumento na concentração dos gases causadores do efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e o metano (CH<sub>4</sub>), provocam sérias mudanças climáticas no planeta. Efeitos como o aumento da temperatura média global, as alterações no perfil das precipitações pluviométricas e a elevação do nível dos oceanos são catastróficos frente à contínua tendência de aumento da população mundial.<sup>40-42</sup> Nesse sentido, a inserção de combustíveis renováveis em nossa matriz energética precisa ser incentivada para frear as emissões causadas pelo uso continuado de combustíveis fósseis.

Vários estudos têm demonstrado que a substituição do diesel de petróleo por óleos vegetais transesterificados reduziria a quantidade de CO<sub>2</sub> introduzida na atmosfera. A redução não se daria exatamente na proporção de 1:1, pois cada litro de biodiesel libera cerca de 1,1 a 1,2 vezes a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada na atmosfera por um litro de diesel convencional.<sup>42</sup> Todavia, diferentemente do combustível fóssil, o CO<sub>2</sub> proveniente do biodiesel é reciclado nas áreas agricultáveis, que geram uma nova partida de óleo vegetal para um novo ciclo de produção. Isso acaba proporcionando um balanço muito mais equilibrado entre a massa de carbono fixada e aquela presente na atmosfera que, por sua vez, atua no chamado efeito estufa. Segundo Peterson e Hustrulid<sup>40</sup>, uma redução real no acúmulo de CO<sub>2</sub> somente será possível com a diminuição do uso de derivados do petróleo. Para cada quilograma de diesel não usado, um equivalente a 3,11 kg de

CO<sub>2</sub>, mais um adicional de 15% a 20%, referente à sua energia de produção, deixará de ser lançado na atmosfera. Foi também estimado por estes autores, em 1998, que a redução máxima na produção de CO<sub>2</sub>, devido ao uso global de biodiesel, poderia ser de, aproximadamente, 113-136 bilhões de kg por ano.

Estima-se que utilizando 1,0kg de biodiesel puro, em vez de Diesel podem reduzir-se aproximadamente 3,2Kg de CO<sub>2</sub> emitido.<sup>43</sup> Comparativamente ao diesel alcança-se 78% de redução das emissões deste gás<sup>44</sup> Segundo dados obtidos da United States Environmental Protection Agency (EPA), para cada litro de diesel fóssil que é queimado em motores diesel, são emitidos para a atmosfera em torno de 2,66Kg de CO<sub>2</sub>.<sup>45</sup> Baseado nestes dados, e no fato de que o biodiesel reduz em aproximadamente 78,5% as emissões de CO<sub>2</sub>, podemos concluir que na queima de biodiesel, são emitidos apenas 0,57 Kg de CO<sub>2</sub>. Quanto a utilização de misturas de biodiesel e diesel fóssil, estudos mais recentes mostram que a mistura de 80% de diesel convencional e 20% de biodiesel (B20) pode ser utilizada sem que se proceda alterações nos motores dos veículos, o mesmo não acontece quando se utiliza na forma pura, pois neste caso são necessários pequenos ajustes nos motores.

O biodiesel apresenta enorme ganho ambiental devido à importância de ser um combustível mais limpo e reduzir emissões de poluentes atmosféricos. Tal fato fica evidente se tomarmos como exemplo o preparo e cultivo da lavoura de girassol de pequenos produtores do Vale do Rio Pardo, conforme apresentado por Prediger<sup>46</sup>, que avaliou o impacto da produção de girassol em pequenas propriedades, com a finalidade de produção de biodiesel. Na figura 5 pode-se observar o consumo de diesel em litros e o tempo de trabalho em horas de cada uma das 23 lavouras desde o preparo do solo até a colheita do girassol. Tomando como referência apenas as lavouras 6 e 13, que tiveram o maior consumo de diesel, 75 e 113 litros aproximadamente totalizando 188 litros, e conforme o conversor de combustível em emissões de CO<sub>2</sub> da EPA<sup>45</sup> pode-se observar que a substituição de diesel por biodiesel gera uma redução de CO<sub>2</sub> emitido na atmosfera em torno de 392,92 kg/ha nas duas lavouras em uma safra de girassol, considerando 78,5% de redução da emissão.

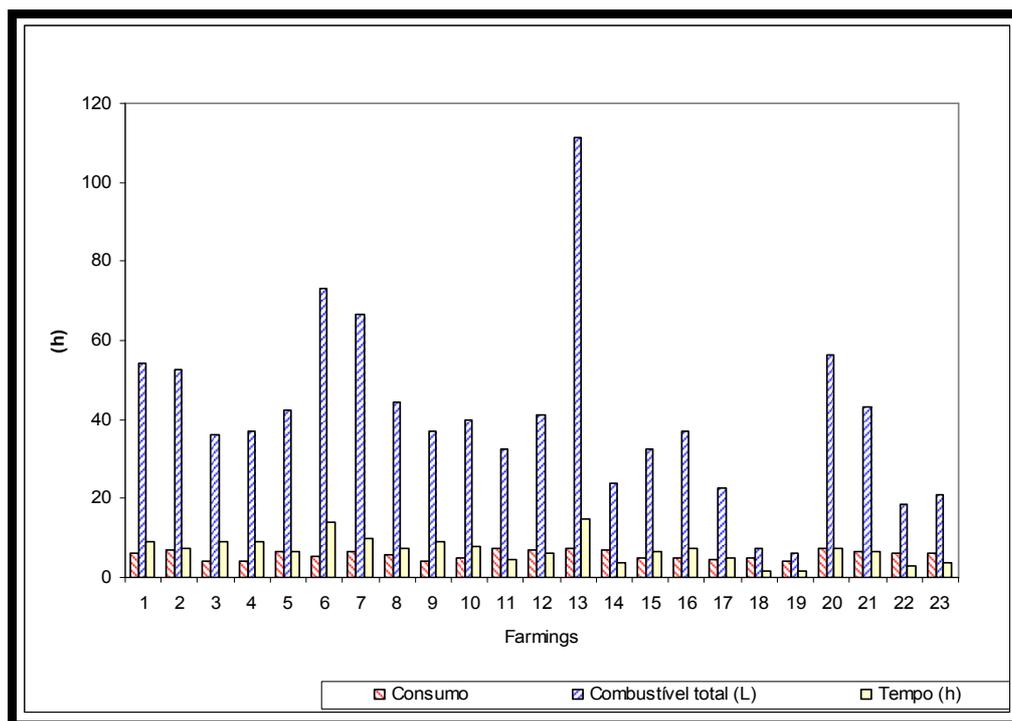


Figura 5 - Quantidade de combustível utilizada nas 23 propriedades agrícolas experimentais.

Quanto a outros poluentes atmosféricos, o nível de emissões gasosas da queima do biodiesel são inferiores ao do diesel tradicional, sendo também livres de enxofre (<10ppm).<sup>47</sup> Por outro lado, o aumento de NOx pode limitar o mercado de biodiesel em áreas que tenham ultrapassado os limites de qualidade do ar em relação ao ozônio.<sup>48</sup> Mesmo assim, no mundo e no Brasil as alternativas estão sendo estudadas, e o Biodiesel, entre outros biocombustíveis, tem sido anunciado como uma alternativa para redução de gases do efeito estufa.<sup>49</sup>

Como a produção de biodiesel, independentemente do tipo de processo adotado, também gera impactos ambientais, o levantamento destes impactos é imprescindível e em função da complexidade dos processos industriais, pode ser melhor desenvolvido com a utilização de um processo em escala piloto, utilizando como ferramenta, um protótipo que reproduza condições de escala industrial. O uso de escala piloto é de grande importância, podendo ser previstas novas alternativas para uma produção mais sustentável. É importante que o desenvolvimento de um projeto piloto de produção de biodiesel utilizando o processo de transesterificação através de reação catalítica tenha um baixo custo, baixo impacto ambiental, e operação simplificada.

A produção de biodiesel em escala de planta piloto é reportada por vários pesquisadores, sendo o processo comumente conhecido.<sup>50</sup> A inovação está em principalmente atender a preocupações de agregação de valor pelo beneficiamento de matérias-primas renováveis com organizações de produtores familiares nas regiões onde existem monoculturas, o que indica um viés de integração das políticas tecnológicas e de energia com as busca de novas alternativas.

Ações envolvendo redução de consumo e reaproveitamento de matérias-primas e insumos também são de fundamental importância no estudo aplicado a cada etapa do processo industrial. Uma importante aplicação deste reaproveitamento é a utilização de óleo de fritura como matéria-prima para obtenção de biodiesel. Um exemplo de aplicação desta atividade se deu na província de Idaho (Simplot Company Food Group, J.R. Simplot Company, Pocatello, Idaho, USA), onde os óleos utilizados para fritura de batatas são empregados na produção de biodiesel, juntamente com etanol derivado da hidrólise e fermentação de refugos do processamento da batata (amido).<sup>51-52</sup>

É importante ressaltar que um programa de substituição parcial de óleo diesel por biodiesel de óleo de fritura depende da criação de um eficiente sistema de coleta de óleos usados.

### **1.2.1 Avaliação de impactos ambientais**

Sendo os impactos ambientais uma cadeia de efeitos que se produzem no meio natural e social, como consequência de uma determinada ação, as avaliações de impactos não devem ser apenas consideradas como uma técnica, mas sim como uma dimensão política de gerenciamento, educação da sociedade e coordenação de ações impactantes, pois permite a incorporação de opiniões de diversos grupos sociais.<sup>53-54</sup>

A partir do melhor entendimento da cadeia de geração de resíduos, as políticas de controle de poluição evoluíram dos métodos conhecidos como de “fim-de-tubo” para as tendências mais recentes, baseadas no princípio de prevenção, que modificou a abordagem convencional de “O que fazer com os resíduos?” para

“O que fazer para não gerar resíduos?”. Sobre este último princípio fundamenta-se a Produção mais Limpa.<sup>55</sup>

Esta nova abordagem sobre a questão dos resíduos levou a uma mudança de paradigma. O resíduo, que antes era visto apenas como um problema a ser resolvido, passou a ser encarado também como oportunidade de melhoria.<sup>55</sup>

Isto só foi possível após a percepção de que o resíduo não era inerente ao processo, mas pelo contrário, era um claro indicativo da ineficiência deste. Portanto, é a identificação e análise do resíduo que dará início à atividade de avaliação de Produção mais Limpa.<sup>55</sup>

Tanto a Matriz de Interação derivada da Matriz de Leopold,<sup>61</sup> quanto o Sistema de Gerenciamento Ambiental e Tecnologias mais Limpas adotada pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas,<sup>62</sup> objetivam identificar aspectos ambientais e determinar os impactos ambientais associados a estes aspectos.

### **1.2.2 Matriz de Leopold**

A Matriz de Interação qualifica os impactos seguindo critérios com características de valor, ordem, espaço, tempo, dinâmica e plástica. Após lançados na matriz, as ações impactantes são multiplicadas pelos fatores ambientais resultando em impactos identificados, os quais apresentam subsídios para adoção de medidas ambientais minimizadoras ou potencializadoras.

No Sistema de Gerenciamento Ambiental e Tecnologias mais Limpas adotada pelo CNTL,<sup>62</sup> a identificação dos aspectos ambientais segue uma numeração sequencial conforme o fluxograma do processo produtivo e posteriormente listados os aspectos de entrada e saída. As manifestações dos impactos ambientais são identificadas como se não houvesse nenhuma forma de controle, exceto as que desempenhavam funções essenciais de processo. Os critérios na análise dos impactos de acordo com o CNTL<sup>62</sup> são: Grau de severidade; Abrangência (Incômodo às partes interessadas); Probabilidade e Importância (Severidade x Probabilidade).

Os impactos aos meios físicos, bióticos e antrópicos provenientes das etapas do processo produtivo são plotadas na matriz de interação e correlacionados com cada elemento do meio.

Para qualificar os impactos, adotam-se os critérios apresentados por Silva<sup>54</sup> e estão caracterizados a seguir.

- Características de Valor:

a) *Impacto positivo*: quanto uma ação causa melhoria da qualidade de um parâmetro;

b) *Impacto negativo*: quando uma ação causa dano à qualidade de um parâmetro.

- Característica de Ordem:

a) *Impacto direto*: quando resulta de uma simples relação de causa e efeito;

b) *Impacto indireto*: quando é uma reação secundária em relação à ação.

- Características Espaciais:

a) *Impacto local*: quando a ação circunscreve-se ao próprio sítio e suas imediações;

b) *Impacto regional*: quando um efeito se propaga por uma área além das imediações;

c) *Impacto estratégico*: o componente é afetado coletivo, nacional ou internacional.

- Características Temporais:

a) *Impacto em curto prazo*: quando o efeito surge no curto prazo (a determinar);

b) *Impacto em médio prazo*: quando o efeito se manifesta no médio prazo (a determinar);

c) *Impacto em longo prazo*: quando o efeito se manifesta no longo prazo (a determinar).

- Características Dinâmicas:

a) *Impacto temporário*: quando o efeito permanece por um tempo determinado;

b) *Impacto Cíclico*: quando o efeito se faz sentir em determinados períodos;

c) *Impacto permanente*: executada a ação, os efeitos não cessam de se manifestar num horizonte temporal conhecido.

- Características Plásticas:

a) *Impacto reversível*: a ação cessada, o fato ambiental retorna às condições originais;

b) *Impacto irreversível*: quando cessada a ação, o fator ambiental não retorna às suas condições originais, pelo menos num horizonte de tempo aceitável pelo homem.

### 1.2.3 Matriz do CNTL

A avaliação dos Impactos ambientais baseado no Sistema de Gerenciamento Ambiental e Produção mais Limpa do CNTL,<sup>62</sup> permite identificar os aspectos ambientais das atividades de uma empresa, através do fluxograma do processo produtivo e determinar os impactos ambientais associados a estes aspectos e avaliar sua importância.

A planilha de Avaliação de Aspectos Ambientais é dividida em três áreas: sendo a área de identificação, a numeração seqüencial das operações do fluxograma do processo produtivo, a área de exame, a manifestação dos impactos ambientais, e a área de avaliação, onde o aspecto ambiental é avaliado quanto à existência de requisitos legais e medidas de controle utilizadas para minimizar os impactos sobre o meio ambiente.

A área de **identificação** se divide em número de operações/etapas e descrição do aspecto a ser analisado. O Número de operações/etapas é um nº seqüencial referente às operações do fluxograma de processo.

Quanto a Descrição do aspecto, são listados os aspectos de entrada e saída que também devem ser referentes ao fluxograma de processo.

A área de **exame** é dividida em Manifestação do impacto, Severidade, Probabilidade de ocorrência e Importância do impacto.

Na Manifestação do Impacto, são analisadas as Entradas (uso do recurso natural), Saídas (contaminação das águas superficiais e subterrâneas, solo e ar) e Incômodo as partes interessadas (pessoas afetadas pelo desempenho ambiental).

Na **Severidade**, são analisados os aspectos de Entrada e Saída e no aspecto de Entrada são ponderados Insumos (com graus 1, 2, 3, 4), Matérias-

Primas Perigosas (com graus 2, 3, 4) e não perigosas (com graus 1, 2, 3). No aspecto de Saída, a ponderação fica em 1 para grau baixo, 2 para grau médio e 3 para grau alto. O grau de severidade em relação aos aspectos de saída está relacionado a quantidades. Os aspectos de entrada estão relacionados ao % total de consumo/mês tanto dos insumos quanto das matérias-primas.

Na **Probabilidade de ocorrência**, é relacionado a frequência com que ocorrem os aspectos associados aos impactos. Esta frequência pode ser baixa (1), média (2) e alta (3).

A **Importância do impacto** é dada pelo produto da Severidade pela Probabilidade de ocorrência, conforme Equação 1.

$$I = S \times P \quad (1)$$

Onde>

I= Importância

S= Severidade

P= Probabilidade de Ocorrência

A área de Avaliação é dividida em Requisitos legais, Medidas de controle, resultado e Priorização.

Quanto aos requisitos legais, o aspecto é analisado se existe ou não um ou mais requisitos legais. Se existem, utiliza-se a ponderação 5, se não existe, a ponderação é zero (0).

Para as Medidas de controle avaliam-se as suas existências e se elas atendem as legislações. Se existem medidas e atendem a legislação, a ponderação é zero (0), se existem, mas não são eficazes ou não atendem a legislação, a ponderação é 3, e se não existem medidas de controle, a ponderação é 6. Se o impacto em análise já possui medidas de controle anota-se o tipo de controle na última coluna da planilha.

Quanto ao Resultado, o mesmo é dado pelo somatório da importância do impacto, do requisito legal e das medidas de controle, conforme Equação 2.

$$R = I + RL + MC \quad (2)$$

Onde:

R= Resultado

I= Importância

RL= Requisito Legal

MC= Medidas de Controle

Na Priorização, os impactos são ordenados conforme o resultado da soma. Quanto maior o valor mais significativo é o impacto.

Após a priorização são necessárias adoção de ferramentas do tipo 5W1H<sup>56</sup> para realização efetiva das medidas de controle.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Construção do Protótipo**

Inicialmente o protótipo foi elaborado tendo como base equipamentos descritos em artigos científicos que abordavam assuntos referentes à produção de biodiesel.<sup>57</sup>

A preocupação inicial ao desenvolver os trabalhos com o protótipo foi definir o processo produtivo e quais as etapas deveriam ser seguidas, e como fazer isso de forma eficiente e com mínimo impacto ambiental. Em função disso durante o trabalho foram testados alguns materiais em função a resistência a químicos e temperatura.

#### **2.1.1 Procedimento para Produção do Biodiesel**

Para a produção de biodiesel foi utilizado óleo de girassol bruto fornecido pela Associação dos Fumicultores do Brasil que tem um projeto em conjunto com a UNISC para a diversificação da produção agrícola regional a partir do girassol. Para a reação de transesterificação foram utilizadas as condições previamente otimizadas em escala laboratorial que compreendiam a proporção de 1:6 de óleo – metanol, temperatura de 65°C, agitação vigorosa, concentração de catalisador de 1% em relação a massa de óleo.

Os experimentos de produção de biodiesel foram realizados com dois catalisadores básicos, hidróxido de potássio (Vetec) e metilato de sódio (Atlanta).

Estas condições de reação foram empregadas para a produção de biodiesel no protótipo após cada etapa de sua modificação visando a otimização.

A definição do protótipo avaliado baseou-se nos seguintes aspectos construtivos:

- Reator com capacidade de 50 L de óleo, com aquecimento e agitação mecânica;
- Sistema para dissolução do catalisador no álcool e adição no meio reacional;
- Decantação e separação da glicerina;
- Recuperação do excesso de álcool;
- Lavagem do biodiesel;
- Secagem do biodiesel;
- Armazenamento de biodiesel e glicerina.

Alguns critérios também foram definidos, como baixo impacto ambiental, redução de catalisador e álcool, fácil operacionalidade e atendimento as normas da ANP.

## **2.2 Eficiência energética do protótipo desenvolvido**

Foram realizados levantamentos de consumo energético durante todas as etapas de produção de biodiesel no protótipo antes e após o isolamento térmico, utilizando manta de fibra de vidro com espessura de 25 mm.

Para isso foi desenvolvido uma planilha na qual foram anotados os volumes de óleo bruto, quantidades de catalisador e metanol bem como controle do tempo e consumo de energia elétrica, como mostra o Anexo A.

Com a finalidade de avaliar a potencial redução do consumo de energia, foi realizado um estudo de produção de biodiesel nos dois reatores do sistema verificando as características e diferenças entre eles.

A medida do consumo de energia foi realizada utilizando um medidor STATIC THREE-PHASE FOUR-WIRE, com precisão de até 12000 IMP/kwh, ou 0,1kwh, obtendo o valor em kw/h para cada etapa do processo. Estes dados foram apontados pelo operador durante todo o processo até a obtenção do produto final, o biodiesel.

### 2.3 Análise do biodiesel

O biodiesel produzido foi monitorado por Cromatografia em Camada Delgada, para avaliar a conversão, quanto ao teor de água pelo método Karl Fischer (ASTM D 6304<sup>58</sup>), índice de acidez por método titrimétrico (ASTM D 664<sup>59</sup>), teor de éster por Cromatografia Gasosa (EN 14.103<sup>60</sup> modificado), e de algumas bateladas foram retiradas amostras e encaminhadas a laboratório credenciado (Tecpar – Curitiba PR) para análise. As normas utilizadas pelo laboratório credenciado foram: teor de água pelo método Karl Fischer (NBR 11.348), estabilidade a oxidação (EN 14.112), teor de éster (EN 14.103), ponto de fulgor (NBR 14.598), corrosividade ao cobre (NBR 14.359), teor de álcool (EN 14.110).

### 2.4 Análise dos Impactos Ambientais

Para identificação dos impactos ambientais decorrente da utilização do protótipo, foi adotado como ferramenta uma Matriz de Interação derivada da matriz de Leopold<sup>61</sup> e o Sistema de Gerenciamento Ambiental e Produção mais Limpa com a aplicação da planilha de Avaliação de Aspectos Ambientais utilizada pelo CNTL.<sup>62</sup>

Como o processo de produção possui uma seqüência para ser executado, tornou-se mais prático adotar as etapas de produção no protótipo para identificar as atividades impactantes.

**Etapa 1 – Recepção das Matérias-Primas:** As matérias-primas foram recebidas e estocadas em uma sala próxima a planta piloto. As Matérias primas em questão foram: metanol, ácido fosfórico, hidróxido de potássio, metilato de sódio e óleo de girassol bruto.

**Etapa 2 - Preparação do Processo da Matéria-Prima:** Nesta etapa foi efetuado o carregamento do óleo, e também foram realizadas as medições necessárias dos reagentes da solução metanólica adicionada a reação.

**Etapa 3 – Reação de Transesterificação:** É onde ocorreu o processo de obtenção de ésteres metílicos (biodiesel).

**Etapa 4 - Retirada e Armazenagem de Glicerol:** Após um período de decantação, o glicerol foi removido, acondicionado e armazenado separadamente para posterior processamento ou repasse.

**Etapa 5 – Recuperação do Álcool:** O álcool foi separado dos ésteres por meio de um trocador de calor (condensador) e bomba de vácuo do mesmo reator onde foi realizada a transesterificação.

**Etapa 6 - Purificação dos ésteres:** o Biodiesel foi lavado através de uma solução a 1% em ácido cítrico para neutralização e remoção de sabões e em seguida separado.

**Etapa 7 – Armazenagem dos Ésteres:** O biodiesel purificado foi acondicionado em um tanque pulmão para posterior transferência para bombonas.

**Etapa 8 - Expedição do Glicerol/Ésteres:** Local onde são deixadas as bombonas com biodiesel e glicerina, para envio aos produtores, no caso do biodiesel, e para processamento ou envio aos produtores ou compostagem, no caso do glicerol.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 Descrição do protótipo desenvolvido

O equipamento primeiramente foi concebido por dois reatores e um reservatório para lavagem do biodiesel depois de concluída a reação e separação do glicerol. Este conjunto continha uma bomba do tipo centrífuga com voluta em ferro fundido e rotor em aço inoxidável tendo potência de 0,75 kW e tensão nominal de 220 volts, para a circulação de biodiesel e interligações com tubulações de cloreto de polivinila (PVC) com bitola de 25 mm. Os reatores e o reservatório de lavagem foram construídos em aço inoxidável, com visores em acrílico para facilitar a visualização do processo durante a reação. Já a base foi fabricada em aço carbono e pintada com esmalte sintético.

Cada reator recebeu um motor elétrico com potência de 0,75 kW e tensão nominal de 220 volts com base flangeada e montado de forma axial num eixo na tampa superior para acionamento da hélice do agitador. Também fez parte do reator uma resistência elétrica com potência de 2000 W e um sensor de temperatura do tipo PTC (coeficiente positivo de temperatura).

O reservatório de lavagem possuía na tampa superior um agitador com acionamento manual com o objetivo de promover a mistura do biodiesel com a água de lavagem.

Para completar o conjunto, foi montado um quadro de comando com circuitos de proteção e controle. Na Figura 6 pode ser observado o conjunto inicialmente fabricado.



Figura 6 - Estrutura do reator de acordo com projeto inicial.

### 3.1.1 Otimização do protótipo aos critérios estabelecidos

Com as condições de reação otimizadas em escala laboratorial, foi iniciada a etapa de produção de biodiesel propriamente dito e algumas modificações no equipamento e processo foram necessárias:

- Alterações nos visores dos reatores para evitar vazamentos, substituição das tubulações em PVC para tubulações em CPVC (termoplástico que possui características especiais de resistência a ataques químicos e temperaturas de até 80°C), modificação do decantador empregado na lavagem para recebimento do produto de reação em sistema ascendente, substituição de válvulas de PVC por válvulas de aço inoxidável do tipo esfera e modificação dos bocais de entrada de matéria-prima. Estas modificações podem ser observadas na Figura 7.



Figura 7 - Protótipo para a produção de biodiesel otimizado quanto a tubulações, bocais e visores.

O sistema assim otimizado foi utilizado na produção de biodiesel e uma segunda etapa de modificações foi realizada, buscando reduzir o tempo de reação e tornar a lavagem mais eficiente.

Os aspectos construtivos modificados foram:

**Mancal de fixação do eixo** – Foi redimensionado, sendo aumentada a distância entre os rolamentos para redução de vibrações e aumento da rigidez do eixo.

**Acoplamento** - Substituído por um acoplamento que permite facilidade de alinhamento e diminuição de ruído.

**Retentor inferior** – Foi adicionado na parte inferior do mancal um retentor resistente a ataque do catalisador com finalidade de evitar vazamentos no acoplamento com o motor.

**Hélice** – A hélice foi redimensionada, pois foi observado que em função do ângulo de ataque muito pequeno ( $15^\circ$ ) havia uma deficiência de agitação durante a reação. O ângulo de ataque das pás foi aumentado para  $60^\circ$  e o comprimento em 20 mm.

**Nervuras Internas** - Foram incorporadas à parede interna do reator três nervuras (dificultores) com 40 mm de largura e 400 mm de comprimento, montadas com inclinação de 45° com a finalidade de evitar a formação de vórtice durante a agitação, aumentando substancialmente a eficiência da reação.

**Tampa do Reator** - O sistema de fechamento dos reatores também sofreu modificação para melhorar a vedação. Foi introduzido um anel interno com parafusos pré-fixados e distribuídos de forma equidistante. Também recebeu uma junta de borracha resistente a ação do catalisador. Desta forma a tampa foi aparafusada no anel interno permitindo uma perfeita vedação, e facilitando a desmontagem para manutenção.

**Distribuidor** - No reservatório de lavagem, foi adicionado um distribuidor em forma de cone, montado internamente na parte inferior com o objetivo de aumentar o contato do biodiesel proveniente do reator através da água acidificada previamente introduzida no reservatório. Este distribuidor foi proposto com diâmetro semelhante ao do reservatório e diversos orifícios de 3 mm de diâmetro para passagem do biodiesel.

Além das modificações citadas, foram substituídas as tubulações e conexões de CPVC, por aço inoxidável e acrescentado a cada reator um trocador de calor. No Reator 1 foi utilizado um trocador de placas enquanto que no Reator 2, um de casco e tubo. Estes trocadores têm a finalidade de condensar o vapor de metanol para reaproveitá-lo durante a reação e posteriormente, depois de retirado o glicerol, remover o excedente do biodiesel. O processo de retirada do metanol do biodiesel necessitou de um sistema de vácuo para que fosse possível remover o maior volume possível do álcool. A solução adotada foi à introdução no sistema de uma bomba de vácuo e um *trap*, para garantir que a bomba não aspirasse líquido. Na figura 8 pode ser observada a montagem destes trocadores.



Figura 8 - Trocadores de calor utilizados nos dois reatores; (a) Trocador de Placa e (b) Trocador de casco e tubo.

Para retirada do calor nos trocadores, foi adotado um sistema alternativo a uma torre de resfriamento, que evitou o descarte de água dos trocadores, otimizando o processo. A circulação foi realizada com o auxílio de uma bomba centrífuga, reservatório e um sistema de aspersão de água. O sistema de aspersão foi montado acima do reservatório para permitir um maior contato da água de retorno com o ar atmosférico, o que proporcionou a queda na temperatura desta água de retorno. A Figura 9 permite a visualização deste sistema.



Figura 9 - Sistema de circulação da água dos trocadores de calor.

Outra modificação realizada foi o isolamento térmico do reator, e decantador, o que levou a diminuição do tempo de reação conforme poderá ser observado nos resultados a seguir.

Foram realizadas reações utilizando como catalisador, o KOH diluído em metanol, com o reator sem isolamento e posteriormente com isolamento térmico. Isto possibilitou observar a influência da perda de calor e suas consequências no decorrer da reação. Numa segunda etapa, com o reator isolado termicamente, o catalisador foi substituído por metilato de sódio ( $\text{CH}_3\text{ONa}$ ) também diluído em metanol permitindo desta forma avaliar a influência apenas do catalisador na reação.

A configuração final levou a uma melhoria de processo que pode ser evidenciado pela Tabela 1 e Figura 10, as quais apresentam resultados obtidos com os dois catalisadores testados.

Durante as fases de desenvolvimento do equipamento, foi possível perceber que um dos problemas importantes a ser resolvido estava relacionado à eficiência energética do protótipo. A questão era aproveitar de forma mais eficiente o calor gerado quando do pré-aquecimento do óleo no início do processo, e mantê-lo até a retirada do metanol residual do biodiesel.

Foi possível observar que, devido a perda de calor do reator não isolado termicamente, a resistência elétrica permanecia constantemente acionada para que a temperatura se mantivesse no valor desejado, além disso, a queda da temperatura influenciava de maneira determinante no tempo de separação da glicerina após a reação, pois a viscosidade da glicerina reduz e assim facilita a separação das fases em menor tempo.<sup>63</sup>

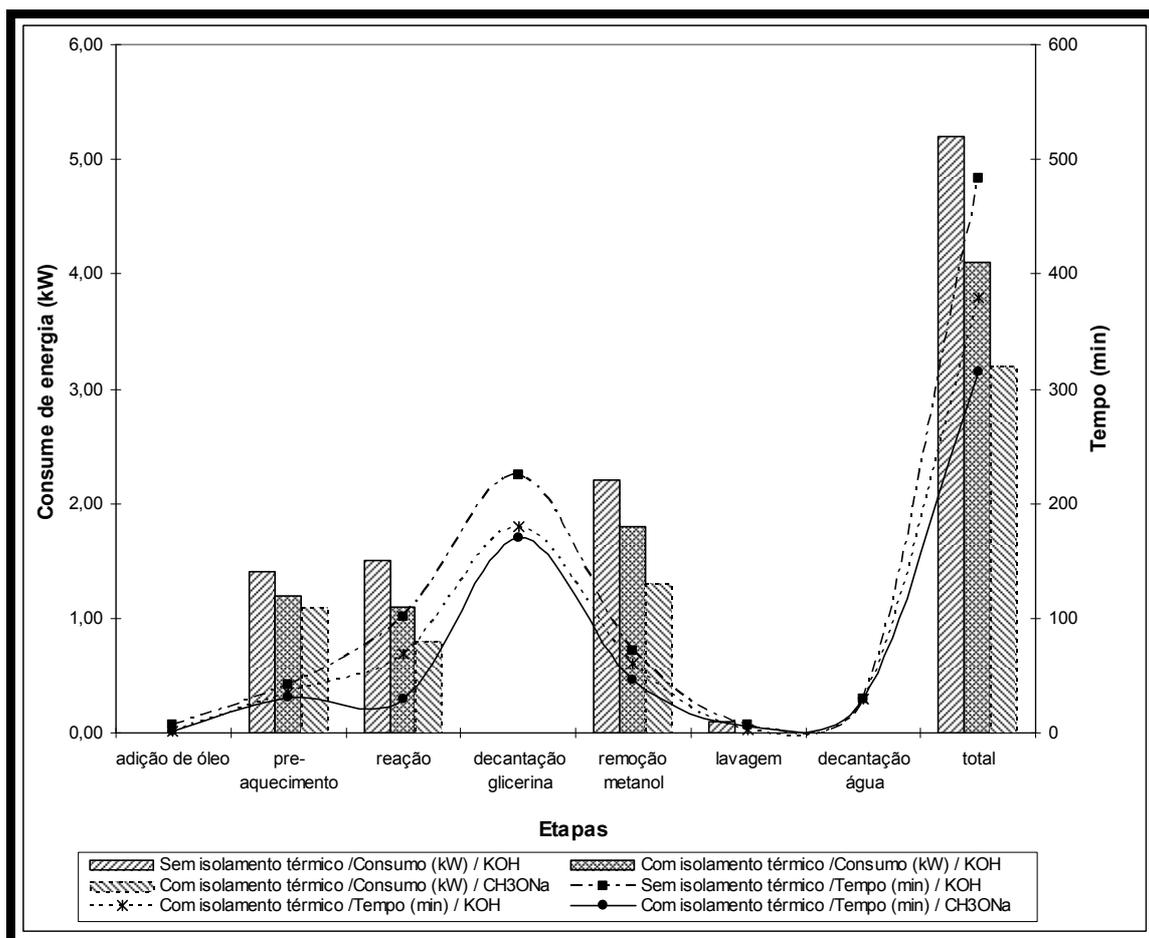


Figura 10 - Representação gráfica do tempo de reação e consumo de energia antes e após o isolamento térmico do reator e decantador.

Analisando o gráfico da Figura 10, que faz um comparativo do consumo de energia do reator antes e depois do isolamento térmico, observou-se que houve uma redução no consumo de energia nas três principais etapas do processo (aquecimento, reação e retirada do metanol). De um modo geral, nestas três etapas foi possível verificar que o isolamento térmico foi eficiente para reduzir o consumo de energia, sendo que a etapa de retirada do metanol foi a que apresentou uma maior redução de consumo com 45% de redução.

Destaca-se que sem o isolamento térmico do reator havia uma maior solicitação das resistências, sendo estas acionadas um maior número de vezes para manter o sistema na temperatura ideal. Este acionamento consumia uma quantidade de energia elevada. Com o isolamento térmico realizado, a transição das etapas de aquecimento, reação e retirada do metanol não exigiu o

acionamento das resistências, pois o isolamento (Figura 11) reduziu significativamente as perdas de calor.

Este isolamento térmico foi realizado experimentalmente e poderão ser feitos outros estudos que permitam avaliar uma maior redução do consumo de energia, o que dependerá da finalidade do equipamento. Neste caso, considera-se que o emprego de energia elétrica é mais adequado, uma vez que, este equipamento é de pequeno porte e foi desenvolvido para ser utilizado por pequenos agricultores, que tem área produtiva de em média 11 ha e não tem área para produção de biomassa para uso em caldeiras, pois esta seria uma das alternativas.<sup>64</sup>



Figura 11 -Reator do protótipo com isolamento térmico.

Outro fator relevante é a redução do tempo de reação, conforme foi mostrado na Figura 10. Sendo assim, pode-se verificar que através do isolamento térmico, também houve um ganho em termos de produção, pois o tempo necessário para cada batelada foi reduzido podendo ser produzido uma maior quantidade de biodiesel em menor tempo de processamento.

Conforme Ranganathan e colaboradores<sup>65</sup>, o tempo reacional é um aspecto que deve ser otimizado e que quando a reação é conduzida por catálise básica em 15 min é possível alta conversão. Este aspecto torna-se mais relevante quando é empregada a catálise enzimática, com tempos de reação maiores, como por

exemplo, 24h a 60°C. A otimização do tempo de reação, independente do tipo de catalisador, está diretamente ligada à eficiência energética do processo.

Com isso, pode-se considerar que o isolamento térmico, além de reduzir o consumo e demais custos relacionados ao gasto de energia, também contribuiu para aumentar a capacidade produtiva do equipamento, sendo que o tempo necessário para a produção de biodiesel a partir de uma reação foi significativamente reduzido, tornando o equipamento mais eficiente.

Com o protótipo otimizado a produção de biodiesel a partir do óleo de girassol bruto apresentou-se conforme Tabela 1.

**TABELA 1** - Principais observações da produção de biodiesel no protótipo desenvolvido.

	Etapa de Produção	tempo (min)	Consumo (kWh)	Rotação (rpm)	
Sem Isolamento com KOH(Hidróxido de Potássio)	Carregamento do óleo	7,00	(*)		
	Aquecimento do óleo	42,00	1,40		
	Transesterificação	Reação	96,00	1,50	
		Catalisador	60,00	-	
	Tempo de decantação	225,00	-	550	
	Retirada de glicerol	10,00	-		
	Remoção do álcool (metanol)	81,00	2,20		
	Lavagem do biodiesel	7,00	(*)		
	Purificação por adsorção	-	-		
Com Isolamento com KOH(Hidróxido de Potássio)	Carregamento do óleo	2,00	(*)		
	Aquecimento do óleo	35,00	1,20		
	Transesterificação	Reação	69,00	1,10	
		Catalisador	8,00	-	
	Tempo de decantação	180,00	-	550	
	Retirada de glicerol	7,00	-		
	Remoção do álcool (metanol)	60,00	1,80		
	Lavagem do biodiesel	3,00	(*)		
	Purificação por adsorção	30,00	NA		
Com Isolamento com CH <sub>3</sub> ONa(Metilato de Sódio)	Carregamento do óleo	2,00	(*)		
	Aquecimento do óleo	31,00	1,10		
	Transesterificação	Reação	30,00	0,80	
		Catalisador	5,00	-	
	Tempo de decantação	170,00	-	550	
	Retirada de glicerol	5,00	-		
	Remoção do álcool (metanol)	47,00	1,30		
	Lavagem do biodiesel	5,00	(*)		
	Purificação por adsorção	30,00	NA		

Legenda:

(\*) - Consumo foi menor que 0,1kWh, pois ficou dentro da faixa de precisão do aparelho de medição que é de 0,1 kWh

NA - Não Avaliado

### 3.2 Biodiesel produzido

Após a otimização do processo produtivo o biodiesel foi analisado no laboratório de oleoquímica da UNISC e no laboratório do Tecpar, de onde foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 2.

**TABELA 2** - Especificação do biodiesel produzido a partir de óleo de girassol bruto e metanol, utilizando hidróxido de potássio e metilato de sódio como catalisador no protótipo otimizado.

Ensaio	Catalisador		Especificação *
	KOH	CH <sub>3</sub> ONa	
Densidade à 20°C; kg m <sup>-3</sup>	885,5	872	850-900
Ponto de entupimento de filtro a frio;	-11	-	19 (máx.)
Estabilidade a Oxidação à 110°C; h	0,7	-	6 (mín.)
Corrosividade ao cobre; 3h à 50°C	3a	-	1 (máx.)
Viscosidade cinemática à 40°C; mm <sup>2</sup>	5,2	4,7	3,0-6,0
Teor de água; mg kg <sup>-1</sup>	440	380	500 (máx.)
Teor de Álcool - Metanol; % massa	0,06	0,06	0,20 (máx.)
Teor de Éster; % massa	86,2	97	96,5 (mín.)
Microrresíduo de carbono; % massa	0,04	0,05	0,05 (máx.)
Ponto de fulgor; °C	164,5	-	100 (mín.)
Glicerina Livre; % massa	0,00	0,00	0,02 (máx.)
Glicerina Total; % massa	1,01	-	0,25 (máx.)
Monoglicerídeos*; % massa	0,57	-	Anotar
Diglicerídeos; % massa	0,68	-	Anotar
Triglicerídeos; % massa	7,42	-	Anotar
Índice de acidez; mg KOH g <sup>-1</sup>	0,48	0,5	0,50 (máx.)

\* Resolução ANP n° 7 de 2008.

Conforme os resultados apresentados na Tabela 2 o biodiesel obtido por catálise básica empregando KOH, apresentou uma conversão em ésteres metílicos inferiores ao valor limite da resolução da ANP. Quando o catalisador empregado foi o metilato de sódio, o grau de conversão foi de 97%, superior ao valor estabelecido na Resolução 7 (2008) da ANP. Outros parâmetros mostraram que o protótipo é eficiente na remoção de metanol e na purificação do biodiesel, uma vez que parâmetros como, microrresíduo de carbono e teor de álcool estavam adequados. Aspectos relevantes são a estabilidade oxidativa que é baixa, devido a matéria-prima bruta utilizada e a maior corrosividade ao cobre observada no biodiesel obtido na reação catalisada com KOH. Assim, entende-se que para o armazenamento deste biodiesel será necessário a adição de antioxidantes, o que dependerá do produtor e em função da corrosividade ao cobre encontrada, há necessidade de em trabalhos futuros investigar qual a causa deste valor encontrado, a pesar deste valor estar fora dos limites no Brasil, o que não seria um problema na Índia, onde o limite de corrosividade ao cobre é 3.<sup>66</sup>

### 3.3 Avaliação dos Impactos Ambientais

O processo de produção de biodiesel estudado tem o metanol como uma das principais matérias-primas. Este reagente é obtido de fontes fósseis não renováveis através da extração do petróleo. Destaca-se que o biodiesel produzido com metanol é extensivamente estudado e o processo é muito eficiente, obtendo-se uma alta conversão no produto final.

Para redução dos impactos do protótipo para produção de biodiesel otimizado é necessário entre outros aspectos, que serão apresentados a seguir, buscar o domínio da rota etílica que utiliza o etanol como matéria-prima, pois além deste produto não ser tóxico como o metanol, é obtido de fonte renovável, o que poderia contribuir ainda mais para a concepção de um processo mais limpo.

Independente da redução do consumo de energia elétrica já realizada na etapa de otimização do equipamento, um dos impactos que permanecem com o emprego do mesmo é a energia que ainda é necessária para a produção do biodiesel. Assim, outras iniciativas para minimização deste impacto estão relacionadas com o planejamento da propriedade agrícola onde será produzido o biodiesel, visando à sustentabilidade energética da mesma. Um exemplo é a implementação de uma estação de energia obtida através da aquisição de um gerador, utilizando como combustível o biodiesel ao invés do diesel de petróleo ou outras formas de energia renovável.

Outros impactos são intrínsecos a atividade de produção de biodiesel como mostra o fluxograma qualitativo do processo (Figura 12) que destaca as etapas que foram investigadas através da Matriz de interação de Leopold<sup>61</sup> e da matriz do CNTL.<sup>62</sup>

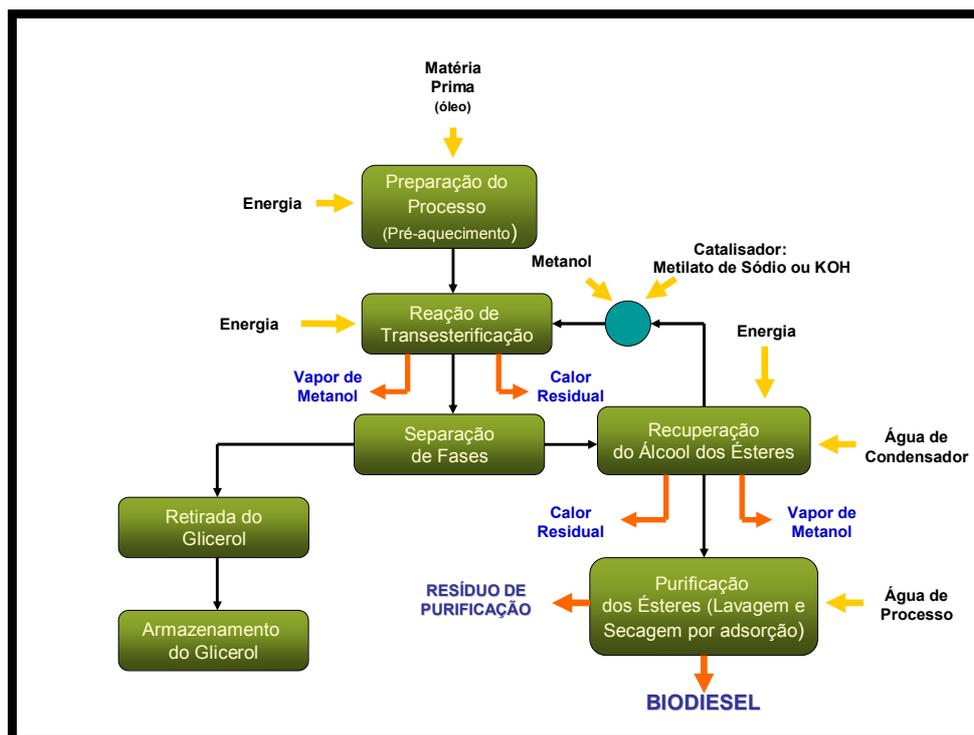


Figura 12 - Fluxograma qualitativo com entradas e saídas na planta piloto.

### 3.3.1 Matriz de interação de Leopold

Como o processo de produção possui uma sequência para ser executado, adotaram-se as etapas de produção para melhor identificar as atividades impactantes e montou-se a matriz de Leopold<sup>61</sup> (Tabela 3) para observar a matriz de Identificação qualitativa dos impactos ambientais do uso do protótipo de produção de biodiesel desenvolvido.

Nesta tabela podem ser observadas no eixo horizontal as características ambientais relativas ao meio Físico, Biótico e Antrópico enquanto que no eixo vertical podem ser percebidas as etapas do processo e as respectivas atividades impactantes.

**TABELA 3 - Matriz de identificação qualitativa de impactos ambientais da produção de biodiesel da planta piloto.**

CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS RELEVANTES														
Etapas	Atividades Impactantes	Meio Físico				Meio Biótico	Meio Antrópico							
		Ar		Recurso Hidrico	Recurso Edáfico	Flora/Fauna	Econômico Local	Infra-Estrutura	Tecnologia	Qualidade de Vida	Saúde	Desenvolvimento Regional	Paisagismo	Qualid. Prod. Final
		Partículas Sólidas	Gasos e Vapores	Contaminação	contaminação do solo	Diminuição da Diversidade								
Recepção das Materias-Primas	Recepção/Use do Metanol	-	NDLCAS	NILMTV	NILOTV	NILOTV	PIRMTV	-	-	NDLMAS	NDLCAS	PIRMTV	-	-
	Recepção/Use do Acido	-	NDLCAS	NILMTV	NILOTV	NILOTV	PIRMTV	-	-	NDLMAS	NDLCAS	PIRMTV	-	-
	Recepção/Use da Base	NDLCTV	-	NILMTV	NILOTV	NILOTV	PIRMTV	-	-	NDLMAS	NDLCAS	PIRMTV	-	-
	Recepção Oleo	-	-	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	-	-	-	-	-
Preparação do Processo da Matéria-Prima	Quantificação do Metanol	-	NDLCAS	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NDLMAS	NDLCAS	-	-	PDLCTV
	Quantificação da Base	NDLCTV	-	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NDLMAS	NDLCAS	-	-	PDLCTV
	Preparação Sol. Metanólica	NDLCTV	NDLCAS	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NDLMAS	NDLCAS	-	-	PDLCTV
	Carregamento do Oleo	-	-	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	-	-	-	-	-
Reação de transesterificação	Fuga de Vapor de Metanol	-	NDLCAS	-	-	-	-	-	-	NDLMAS	NDLCAS	-	-	NDLCTV
	Vazam. Material da Reação	-	NDLCTV	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILMTV	NILCTV	-	-	-
	Adição Solução Metanólica	-	NDLCTV	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILMTV	NDLCTV	-	-	PDLCTV
	Retirada de Amostra	-	NDLCTV	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILOTV	NDLCTV	-	-	PDLCTV
Retirada / Armazenagem Glicerol	Geração de Ruído	-	-	-	-	-	-	-	-	NDLCTV	NDLCTV	-	-	-
	Derrame de Glicerol	-	-	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	-
Recuperação do Alcool	Liberação de Vapores de Metanol	-	NDLCAS	-	-	-	-	-	-	NDLMAS	NDLCAS	-	-	-
	Derrame de Metanol	-	NDLCAS	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NDLMAS	NDLCAS	-	-	-
Purificação de Ésteres	Liberação de Vapores de Metanol	-	NDLCAS	-	-	-	-	-	-	NDLMAS	NDLCAS	-	-	-
	Derrame/Inalação de Acido	-	NDLCAS	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NDLMAS	NDLCAS	-	-	-
Armazenagem dos Ésteres	Vazamentos de Ésteres	-	-	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	-	-	-	-	-
	Descarte Efluente de Lavagem	-	-	NDRCTV	NIRMTV	NIRMTV	-	-	-	-	-	-	-	-
Destinação Glicerol/Ésteres	Derrame de Ésteres	-	-	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	-	-	-	-	-
	Derrame de Glicerol	-	-	NILMTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	-
Destinação Glicerol/Ésteres	Transporte Glicerol	-	-	NDRCTV	NDRCTV	NIROTV	PDLCTV	-	-	-	-	-	PDLCTV	-
	Permanencia do Éster	-	-	NILMTV	NILOTV	NILOTV	PDLCTV	-	-	NILOTV	NILOTV	PDLCTV	-	-

LEGENDA: P - positivo; N - negativo; D - direto; I - indireto; L - local; R - regional; E - estratégico; C - curto prazo; M - médio prazo; O - longo prazo; T - temporário; Y - cíclico; A - permanente; V - reversível; S - irreversível.

Na Matriz de Interação foram identificadas 26 (vinte e seis) ações de impacto, sendo que as mesmas foram multiplicadas por 13 (treze) fatores ambientais resultando em 338 (trezentos e trinta e oito) possíveis relações de impacto, sendo destes, identificados 133 (cento e trinta e três).

Destes 133 impactos identificados, os resultados quanto a critérios de valor, ordem, espaço, tempo, reversibilidade e dinâmica estão representados na Figura 13.

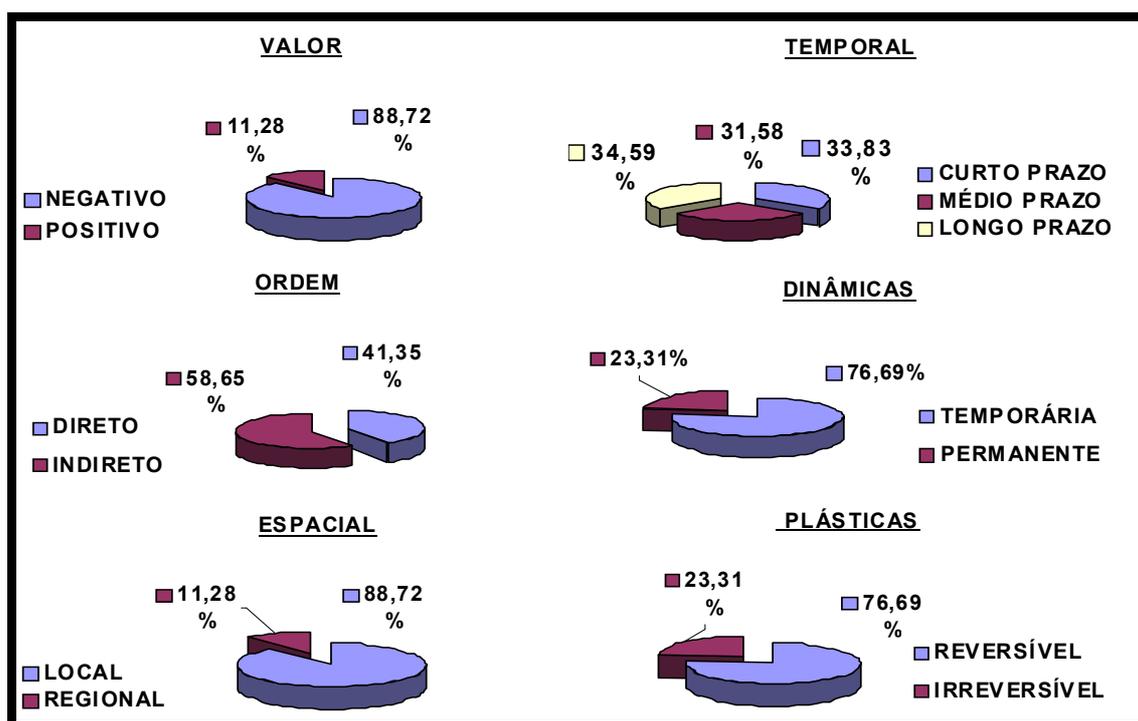


Figura 13 - Avaliação Qualitativa de Impactos Ambientais, seguindo o critério de Valor, ordem, espaço, tempo, dinâmica e plasticidade.

Assim como na Tabela 3, a Figura 13 permite reconhecer os impactos da produção de biodiesel no protótipo inicialmente desenvolvido e propor medidas ambientais a serem adotadas (Tabela 4). Uma vez identificadas as ações impactantes ao meio ambiente e elencado as medidas consideradas necessárias para melhorar o processo, ou seja, que possibilitem minimizar os impactos negativos e maximizar os positivos, devem ser definidas as responsabilidades de quem irá executar efetivamente estas medidas.

**TABELA 4 - Ações impactantes e medidas ambientais propostas para o protótipo de produção de biodiesel.**

Etapas	Ações impactantes	Medidas
Etapa 1 – Recepção das Matérias-Primas	Manuseio de materiais tóxicos. Possibilidade de vazamentos. Possibilidade de contaminações.	Adotar procedimentos adequados de estocagem. Criar rotinas de manuseio dos produtos. Exigir uso contínuo de EPI's. Prover treinamento aos operadores
Etapa 2 - Preparação do Processo da Matéria-Prima	Manuseio de materiais tóxicos. Possibilidades de intoxicações. Possibilidades de contaminações. Possibilidade de derramar o óleo.	Criar rotinas de manuseio dos produtos. Exigir o uso contínuo de EPI's. Prover treinamento aos operadores. Automatizar o preparo do catalisador. Mecanizar a carga do óleo.
Etapa 3 – Reação de Transesterificação	Vazamentos de vapores de metanol. Possibilidade de derramar material reacional. Possibilidade de intoxicações. Possibilidade de contaminações. Ruídos.	Automatizar adição do catalisador. Desenvolver rotinas de manuseio e inspeção do equipamento. Instalar válvula para retirada de amostras. Desenvolver um sistema que evite fuga do vapor de metanol ao meio ambiente. Adotar um sistema de detecção de vapor de metanol.
Etapa 4 – Retirada e Armazenagem de Glicerol	Liberação de vapor de metanol misturado no glicerol. Possibilidade de derramar o glicerol. Possibilidade de contaminação.	Modificar Reator para facilitar a retirada do glicerol. Criar rotinas de manuseio dos produtos. Prover treinamento aos operadores. Adotar procedimentos adequados de estocagem. Dotar os equipamentos com tanques de retenção.
Etapa 5 – Recuperação do Alcool	Possibilidade de derramar metanol. Possibilidade de intoxicações. Possibilidade de contaminações.	Desenvolver um sistema eficiente de recuperação do álcool. Desenvolver um sistema que evite fuga do vapor de metanol ao meio ambiente. Desenvolver um dispositivo automatizado de coleta e armazenagem do metanol. Exigir uso contínuo de EPI's
Etapa 6 – Purificação de Ésteres	Vazamento de ésteres. Possibilidade de derramar o ácido. Possibilidade de intoxicações. Descarte dos efluentes no sistema de coleta.	Desenvolver um reservatório com sistema de dosagem de ácido. Criar rotinas de manuseio dos produtos. Dar destino adequado ao efluente. Exigir uso contínuo de EPI's.
Etapa 7 – Armazenagem dos Ésteres	Possibilidade de vazamentos de ésteres. Possibilidade de contaminações. Descarte dos resíduos.	Dar destino adequado aos resíduos do sistema pulmão. Adotar procedimentos adequados de estocagem. Dotar os equipamentos com tanques de retenção.
Etapa 8 – Expedição dos Ésteres e Glicerol	Possibilidade de derramar éster. Possibilidade de derramar glicerol. Possibilidade de contaminações.	Adotar procedimentos adequados de acondicionamento para transporte. Garantir que não ocorram vazamentos. Organizar um sistema de controle. Adotar procedimentos adequados de estocagem.

### **3.3.2 Avaliação dos impactos ambientais baseado na Matriz de Leopold do protótipo após adoção de medidas de controle**

Uma questão que chama atenção na adoção das medidas de controle é o fato de que é possível reduzir os efeitos das atividades impactantes sobre alguns meios físicos, de maneira a se alterar consideravelmente os percentuais de alguns dos critérios de qualificação dos impactos na matriz de interação caso estas medidas sejam efetivamente realizadas. Em função disso foi montada a matriz de interação baseada na matriz de Leopold<sup>61</sup> acrescida das proposições efetivas de controle e realizada nova avaliação como mostra a Tabela 5.

TABELA 5 - Matriz de Identificação Qualitativa de impactos aos meios físicos e bióticos com as proposições efetivas de Controle

CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS RELEVANTES															
Etapas	Proposições Efetivas de Controle	Atividades Impactantes	Meio Físico				Meio Biótico	Meio Antrópico							
			Ar		Recurso Hídrico	Recurso Edáfico	Flora/Fauna	Econômico Local	Infra-Estrutura	Tecnologia	Qualidade de Vida	Saúde	Desenvolvimento Regional	Patrimônio	Qualid. Prod. Final
			Partículas Solúveis	Gases e Vapores	Contaminação	contaminação do solo	Diminuição de Diversidade								
Recepção das Matérias-Primas	Proced.adeq. de estocagem Rotinas de manuseio produtos Uso de EPI's Treinamento dos operadores	Recepção/Uso Metanol	-	NDLMAS	NILOTV	NILOTV	NILOTV	PIRMTV	-	-	NILOTV	NILOTV	PIRMTV	-	-
		Recepção/Uso do Ácido	-	NDLMAS	NILOTV	NILOTV	NILOTV	PIRMTV	-	-	NILOTV	NILOTV	PIRMTV	-	-
		Recepção/Uso da Base	NDLMTV	-	NILOTV	NILOTV	NILOTV	PIRMTV	-	-	NILOTV	NILOTV	PIRMTV	-	-
		Recepção Óleo	-	-	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	-	-	-	-	-
Preparação do Processo da Matéria-Prima	Rotinas de manuseio produtos; Automaização do preparo catalisador; Uso de EPI's; Treinamento dos operadores; Mecanizar carga óleo; Criar tanque retenção	Quantificação do Metanol	-	NDLCAS	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	PDLCTV
		Quantificação da Base	NDLMTV	-	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	PDLCTV
		Prep.Sol. Metanólica	NDLMTV	NDLCAS	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	PDLCTV
		Carregamento do Óleo	-	-	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	-	-	-	-	-
Reação de transesterificação	Automatizar adição catalisador; Rotinas de Manuseio e inspeção; Válvulas p/retirada amostra; Sistema p/evitar fuga Metanol; Sistema de detecção de Vapor Metanol no meio	Fuga de Vap.de Metanol	-	NDLCAS	-	-	-	-	-	-	NDLoTV	NDLoTV	-	-	NDLCTV
		Vazam. Mat.da Reação	-	NDLoTV	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	-
		Adição Solução Metanólica	-	NDLoTV	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	PDLCTV
		Retirada de Amostra	-	NDLCTV	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	PDLCTV
Retirada / Armazenagem Glicerol	Modif.reator p/facilitar ret. Glicerol;Rotinas de manuseio produtos; Treinamento operadores; Proced. Adeq.Estocagem; Criar tanques de retenção;Uso de EPI's	Geração de Ruído	-	-	-	-	-	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	-
		Derrame de Glicerol	-	-	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	-
Recuperação do Alcool	Sistema efíc. Recup. Alcool; Sistema p/evitar fuga Metanol; Disposit. Autom. Coleta e Armazen. Metanol; Uso de EPI's	Liber.de Vap.de Metanol	-	NDLCAS	-	-	-	-	-	-	NDLoTV	NDLoTV	-	-	-
		Derrame de Metanol	-	NDLCAS	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NDLoTV	NDLoTV	-	-	-
Purificação de Ésteres	Reserv. c/dosagem de ácido; Rotina de Manuseio dos produtos; Destino adequado ao Efluente; Uso de EPI's	Derrame de Metanol	-	NDLCAS	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NDLoTV	NDLoTV	-	-	-
		Liber.de Vap.de Metanol	-	NDLCAS	-	-	-	-	-	-	NDLoTV	NDLoTV	-	-	-
		Derrame/Inalação de Ácido	-	NDLoAS	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	-
Armazenagem dos Ésteres	Dar destino adequado resíduos sistema pulmão; Adotar proc. adequado estocagem; Criar tanque de retenção	Vazamentos de Ésteres	-	-	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	-	-	-	-	-
		Descarte Efluente Lavagem	-	-	NDROTV	NIROTV	NIROTV	-	-	-	-	-	-	-	-
Destinação Glicerol / Ésteres	Adotar proc. adeq.de acondic. p/transporte; Não permitir vazamentos; Implantar sistema de controle; Adotar proc. adequados de estocagem	Derrame de Ésteres	-	-	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	-	-	-	-	-
		Derrame de Glicerol	-	-	NILOTV	NILOTV	NILOTV	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	-
		Transporte Glicerol	-	-	NDRCTV	NDRCTV	NIROTV	PDLCTV	-	-	-	-	PDLCTV	-	-
		Permanencia do Éster	-	-	NILOTV	NILOTV	NILOTV	PDLCTV	-	-	NILOTV	NILOTV	PDLCTV	-	-

LEGENDA: P - positivo; N - negativo; D - direto; I - indireto; L - local; R - regional; E - estratégico; C - curto prazo; M - médio prazo; O - longo prazo;  
T - temporário; Y - cíclico; A - permanente; V - reversível; S - irreversível.

Comparando os resultados das Tabelas 3 e 5, os critérios de valor e espaço não tiveram modificações, como mostra a Figura 14. Seguindo o critério de ordem, houve alterações e ficaram assim distribuídas: 72,18% foram de caráter indireto e 27,82% de caráter direto. Quanto ao critério de tempo também houve alterações em relação à análise anterior, e ficaram assim distribuídas: 77,44% foram de longo prazo, 14,29% foram de curto prazo e 8,27% de médio prazo. Sendo que antes das medidas havia mais impactos de longo prazo. Também observou-se que houve uma redução dos critérios de dinâmica permanentes para 6,77% em relação a reversibilidade do impacto houve um aumento de 76,69% para 93,23%,

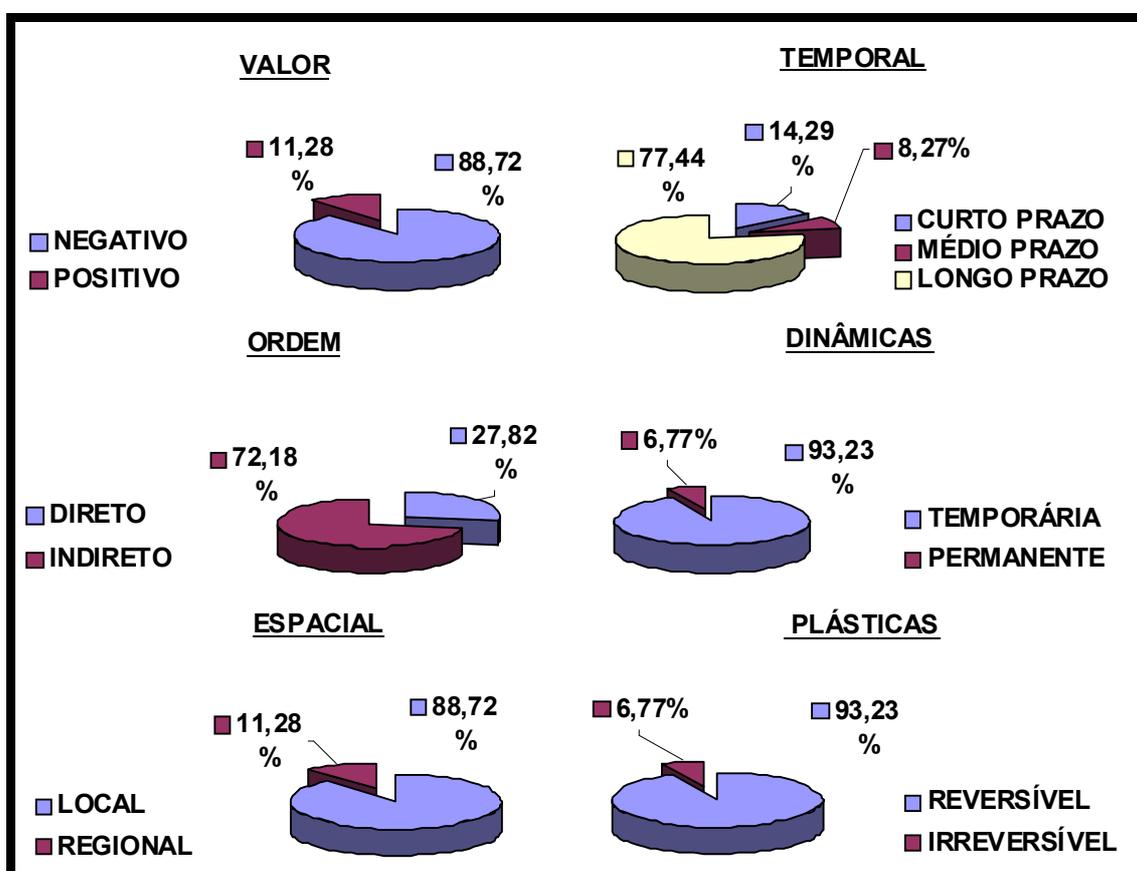


Figura 14 - Avaliação Qualitativa de Impactos Ambientais, após adoção de medidas de controle seguindo o critério de Valor, ordem, espaço, tempo, dinâmica e plasticidade.

O uso desta ferramenta de avaliação dos impactos ambientais permitiu, da mesma forma que outros autores<sup>67-69</sup> utilizando outros sistemas, visualizar os aspectos impactantes, e relacioná-los com os meios físico, antrópico e biótico.

A aplicação de matrizes de interação como a de Leopold<sup>61</sup>, tem tido grande influência em estudos de Avaliação Impactos Ambiental para implantações de projetos por empresas na elaboração de Relatórios de Impactos Ambientais bem como na Implementação de Produção Mais Limpa.

### **3.3.3 Avaliação dos impactos ambientais baseado no Sistema de Gerenciamento Ambiental e Produção mais Limpa - CNTL**

Na Tabela 6, podem ser verificados os resultados da análise pelo sistema de gerenciamento ambiental do CNTL<sup>62</sup>, efetuada a partir do uso do protótipo de produção de biodiesel.

TABELA 6 - Planilha de Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais - CNTL

Número da operação / etapa	Descrição do Aspecto Ambiental	Impactos Ambientais					Análise dos Impactos Ambientais						
		Uso de Recursos Naturais	Contaminação das Águas	Contaminação dos Solos e águas Subterrâneas	Contaminação do Ar	Incômodo a partes Interessadas	Probabilidade ( P )	Importância do Impacto <b>I = S x P</b>	Existe requisito Legal? (RL) 0 => Não 5 => Sim	Existe Med. Controle? (MC) 0 => Sim 3 => Sim mas não atende 6 => Não	Resultado (somatório) <b>R = I + RL + MC</b>	Priorização	Medidas de Controle
		Severidade ( S )											
1	Recepção do Metanol	1					2	2	5	3	10	6	EPI's
	Recepção do Ácido	1					2	2	5	3	10	6	EPI's
	Recepção da Base	1					2	2	5	3	10	6	EPI's
	Recepção Oleo	1					3	3	5	3	11	5	EPI's
2	Consumo/Quantificação do Metanol	2					3	6	5	3	14	4	EPI's
	Consumo/Quantificação da Base	2					3	6	5	3	14	4	EPI's
	Preparação Sol. Metanólica				2		3	6	5	3	14	4	EPI's
	Consumo/Carregamento do Oleo	2					3	6	5	6	17	2	
Consumo de Energia Elétrica	1					3	3	5	6	14	4		
3	Liberação de Vapor de Metanol				3		3	9	5	6	20	1	
	Vazam. Material da Reação			3			2	6	5	6	17	2	
	Adição Solução Metanólica			2			3	6	5	3	14	4	EPI's
	Retirada de Amostra				1		2	2	0	3	5	7	EPI's
	Geração de Ruído					1	2	2	5	3	10	6	EPI's
Consumo de Energia Elétrica	3					3	9	5	6	20	1		
4	Derrame de Glicerol		2				2	4	5	6	15	3	
	Liberação de Vapores de Metanol				1		3	3	5	6	14	4	
5	Derrame de Metanol			2			2	4	5	6	15	3	
	Liberação de Vapores de Metanol				3		3	9	5	6	20	1	
	Consumo de Energia Elétrica	3					3	9	5	6	20	1	
6	Consumo de Acido	2					3	6	5	3	14	4	EPI's
	Vazamentos de Ésteres			2			2	4	5	6	15	3	
	Descarte Efluente de Lavagem		3				3	9	5	6	20	1	
	Consumo de água	2					3	6	5	6	17	2	
Consumo de Energia Elétrica	1					3	3	5	6	14	4		
7	Derrame de Ésteres			2			2	4	5	6	15	3	
	Descarte Resíduos/Efluentes		3				2	6	5	6	17	2	
8	Derrame de Ésteres			2			2	4	5	6	15	3	
	Derrame de Glicerol			2			2	4	5	6	15	3	
	Transporte Glicerol			3			2	6	5	6	17	2	
	Permanência/Transp. do Éster			3			3	9	5	6	20	1	

Com base na análise dos resultados da Planilha de Avaliação e Impactos Ambientais da Tabela 6, segundo o critério de priorização, foi aplicado um plano de ação utilizando o método 5W1H<sup>56</sup>, visando melhorar os Impactos Ambientais gerados pelo equipamento durante o processo produtivo. Para isso foi criada a Tabela 7, onde podem ser observadas as 10 atividades mais impactantes e pelas quais foi iniciado o trabalho de melhoria no equipamento.

**TABELA 7 - Plano de ação segundo critério de priorização**

O que? (What?)	Quem? (Who?)	Quando? (When?)	Onde? (Where?)	Por que? (Why?)	Como? (How?)
Liberção de Vapor de Metanol	Responsáveis pelo desenvolvimento do equipamento	Juntamente com o desenvolvimento do equipamento	Na reação de transesterificação e recuperação do álcool	Minimizar Impactos ambientais e antrópicos	Desenvolver sistemas de contenção do Vapor
Consumo de Energia Elétrica	Responsáveis pelo desenvolvimento do equipamento	Juntamente com o desenvolvimento do equipamento	Na reação de transesterificação e recuperação do álcool	Minimizar impactos ambientais	Adotar isolamento térmico
Descarte de Efluentes de Lavagem	Responsáveis pelo processo de produção	Permanentemente durante a produção de ésteres	Na purificação dos ésteres	Minimizar Impactos ambientais e antrópicos	Utilizar prod. químicos de menor Impacto amb.
Perman./Transp. do Éster	Responsáveis pelo processo de produção e transporte	Permanentemente durante a produção de ésteres	Expedição do glicerol e ésteres	Minimizar Impactos ambientais e antrópicos	Criar sistemas de contenção e procedimentos adequados
Consumo/ Carregam.do Óleo	Resp. p/desenvolv. do equipamento e processo de produção	No desenv. do equip. e permanentemente durante a produção de ésteres	Preparação do processo	Minimizar Impactos ambientais e antrópicos	Criar sistemas de contenção e procedimentos adequados
Vazam.Material da Reação	Resp. p/desenvolv. do equipamento e processo de produção	No desenv. do equip. e permanentemente durante a produção de ésteres	Na reação de transesterificação	Minimizar Impactos ambientais e antrópicos	Criar sistemas de contenção e procedimentos adequados
Consumo de Água	Responsáveis pelo processo de produção	Permanentemente durante a produção de ésteres	Na purificação dos ésteres	Minimizar impactos ambientais	Racionalizar o uso ajustando processos e adotar novos procedimentos
Descarte de Resíduos/Efluentes	Responsáveis pelo processo de produção	Permanentemente durante a produção de ésteres	Na armazenagem dos ésteres	Minimizar Impactos ambientais e antrópicos	Encaminhar os sedimentos para compostagem
Transporte do Glicerol	Responsáveis pelo processo de produção	Permanentemente durante a produção de ésteres	Na expedição do glicerol/ésteres	Minimizar Impactos ambientais e antrópicos	Criar sistemas de contenção e procedimentos adequados

Através de uma análise criteriosa dos resultados obtidos pela matriz de interação e pelo sistema de gestão ambiental e tecnologias mais limpas apresentadas, percebe-se que ferramentas de Avaliação de Impactos Ambientais permitem uma visualização mais clara das contínuas melhorias que os processos produtivos necessitam para proporcionar maiores ganhos socioeconômicos e ambientais.

Estas melhorias estão sendo implementadas no novo protótipo, o qual foi concebido com as modificações propostas.

O croqui da planta de produção de biodiesel concebida a partir dos testes realizados está no Anexo B.

### 3.4 Custo de produção

Com base nos insumos, energia, água, metanol e ácido, foi calculado o custo de produção do biodiesel no protótipo avaliado, como mostra a Tabela 8.

**TABELA 8** - Custos de produção de Biodiesel no protótipo avaliado

Itens	Qt.	Valor	
		Unit.(R\$)	Total(R\$)
Volume Óleo (L)	40,00	29,60	
Volume de CH <sub>3</sub> ONa (L)	0,80	8,64	
Volume Metanol (L)	5,90	16,82	
Consumo Energia (kWh)	3,20	1,28	61,63
Consumo de H <sub>2</sub> O (L)	50,00	0,15	
Volume de Biodiesel (L)	36,00	-	
Ácido p/Lavagem (L)	0,25	5,15	
<b>Custo do Biodiesel sem M.Obra (R\$/L)</b>			<b>1,71</b>

Salienta-se que no custo do biodiesel, a mão de obra não foi considerada, uma vez que não há uma escala de produção suficiente para um funcionário com um salário e encargos em torno de R\$1.500,00/mês trabalhando 44 horas semanais (176 horas mês) e, então, acaba sendo incluída toda a ociosidade da mão-de-obra no cálculo do custo por litro de biodiesel. Da mesma forma não foram inseridos custos fixos com a infraestrutura de produção (usina, etc...), pois a produção é em pequena escala e para autoconsumo. Devido a isto, têm-se apenas os custos variáveis, que são os mais importantes na produção de biodiesel, pois geralmente representam mais de 80% do custo total (principalmente devido ao

custo do óleo). O preço do óleo utilizado para compor o custo do biodiesel da tabela 8, foi baseado nos custos de produção de uma lavoura de girassol com produtividade média de 1357 kg / hectare fornecido pela AFUBRA. Os dados são referentes à produção de girassol na pequena propriedade baseados na safra 2008/2009, estando incluso no preço do óleo também os custos de extração e secagem dos grãos.

Vale lembrar que na pequena propriedade o óleo de girassol será extraído pelo próprio produtor, o que não implicará numa dependência do preço do óleo bruto a nível de mercado, o que torna a análise do custo do óleo mais complexa.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com relação à otimização de um equipamento de produção de biodiesel para a pequena propriedade, pode-se concluir que é viável a sua fabricação. Porém, é imprescindível que os operadores tenham um mínimo de conhecimento técnico para operação do equipamento, pois por mais simples que ele possa ser, ainda haverá etapas com relativa complexidade e risco.

Outro fato de extrema importância está relacionado à questão ambiental, em particular quanto ao álcool utilizado na produção do biodiesel. Para que se tenha um processo ambientalmente mais correto, é necessária a substituição do metanol por etanol no processo produtivo, o que é perfeitamente possível com um equipamento otimizado. Esta otimização não se traduz apenas em redução de custos, pois as preocupações com o meio ambiente requerem soluções técnicas muitas vezes mais onerosas.

É importante salientar que para produzir o biodiesel em pequena escala, com a qualidade em conformidade com a resolução 7 da ANP (tabela 2), foi fundamental o uso das ferramentas de gestão ambiental na otimização de processos, produto e consumo de energia elétrica para que os mesmos tivessem um menor impacto ambiental.

Portanto, conclui-se que um equipamento para produção de 50 litros/dia de biodiesel, com as características propostas, pode perfeitamente ser utilizado individualmente ou em grupo de pequenos produtores visando a sustentabilidade da propriedade com a utilização de combustíveis renováveis.

## REFERÊNCIAS

- 1 USA. National Biodiesel Board, Nov. 2008. ASTM D6751-08
- 2 BRASIL. ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) Resolução ANP Nº 7 de 19 março de 2008. Diário Oficial da União de 20 de março de 2008. ....
- 3 CLARK, S.J. et al. Methyl and ethyl soybean esters as renewable fuels for diesel engines. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, .61(10) (1984)1632-1638
- 4 AGRAWAL, D.; SINHA, S.; AGARWALB, A.K.; Experimental investigation of control of NOx emissions in biodiesel-fueled compression ignition engine, *Renewable Energy* 31 (2006) 2356–2369
- 5 SIDHU, S.; GRAHAM, J.; STRIEBICH, R.; Semi-volatile and particulate emissions from the combustion of alternative diesel fuels; *Chemosphere* 42 (2001) 681-690
- 6 ROPKINS, K. et al. Real-world comparison of probe vehicle emissions and fuel consumption using diesel and 5% biodiesel (B5) blend, *Science of the Total Environment* 376 (2007) 267–284
- 7 CORRÊA, S. M.; ARBILLAB, G.; Carbonyl emissions in diesel and biodiesel exhaust, *Atmospheric Environment* 42 (2008) 769–775
- 8 HUO, H. et al. Life-cycle assessment of energy use and greenhouse gas emissions of soybean-derived biodiesel and renewable fuels. *Environmental science & technology*; 43(3) (2009) 750-756
- 9 SALIS, A. et al. Biodiesel production from triolein and short chain alcohols through biocatalysis, *Journal of Biotechnology* 119 (2005) 291–299
- 10 ROSSI, M. et al. Greening the construction industry: enhancing the performance of cements by adding bioglycerol, *ChemSusChem*; 2008; 1(10); 809-812
- 11 GARCIA, C. M. et al. Transesterification of soybean oil catalyzed by sulfated zirconia, *Bioresource Technology* 99 (14) (2008) 6608-6613
- 12 HERNANDO, J. et al. Biodiesel and FAME synthesis assisted by microwaves: Homogeneous batch and flow processes, *Fuel* 86 (2007) 1641–1644
- 13 GRANADOS, M. L. et al. Biodiesel from sunflower oil by using activated calcium oxide, *Applied Catalysis B: Environmental* 73 (2007) 317–326
- 14 ALONSO, D.M. et al. Potassium leaching during triglyceride transesterification using K/c-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalysts, *Catalysis Communications* 8 (2007) 2080–2086
- 15 ISO, M. et al. Production of biodiesel fuel from triglycerides and alcohol using immobilized lipase. *J. Mol. Catal. B: Enzym.*, Amsterdam, 16 (2001) 53-58

- 16 MARTÍN, E. H.; OTERO, C. Different enzyme requirements for the synthesis of biodiesel: Novozym 435 and Lipozyme TL IM, *Bioresource Technology* 99 (2008) 277–286
- 17 BRADSHAW, G. B.; MEULY, W. C. Preparation of detergents. US Patent 2, 360-844, 1944
- 18 FREEDMAN, B.; PRYDE, E.H.; MOUNTS, T.L. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 61(10) (1984) 1638-1643
- 19 FEUGE, R. O.; GROS, A. T. Modification of vegetable oils. VII. Alkali Catalyzed Interesterification of Peanut oil with ethanol. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 26(3) (1949) 97-102.
- 20 FREEDMAN, B.; BUTTERFIELD, R.; PRYDE, E. H. Transesterification kinetics of soybean oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 63(10) (1986) 1375-1380.
- 21 FUKUDA, H.; KONDO, A.; NODA, H. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering.* 92(5) (2001) 405- 416
- 22 DIASAKOU, M.; LOULUDI, A.; PAPAYANNAKOS, *N. Fuel*, **1998**, 12, 1297.
- 23 STOURNAS, S.; LOIS, E.; SERDARI, A. Effects of fatty acid derivatives on the ignition quality and cold flow of diesel fuel *J. Am. Oil Chem.Soc.* 72(4) (1995) 433-437.
- 24 RAUDASKOSKI, R. et al. Catalytic activation of CO<sub>2</sub>: Use of secondary CO<sub>2</sub> for the production of synthesis gas and for methanol synthesis over copper-based zirconia-containing catalysts, *Catalysis Today* 144 (2009) 318–323
- 25 Site Biodieselbr.com – Artigo Metanol de Biomassa – 03 Fevereiro 2006
- 26 MA, F.; CLEMENTS, L. D.; HANNA, M. A. *Biodiesel Fuel from Animal Fat. Ancillary Studies on Transesterification of Beef Tallow, Ind. Eng. Chem. Res.*, 37 (1998) 3768-3771
- 27 DEMIRBAS, A. Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats. *Energy Conversion and Management* 49 (2008) 125–130
- 28 ENCINAR, J. M. et al. Biodiesel Fuels from Vegetable Oils: Transesterification of *Cynara cardunculus* L. Oils with Ethanol, *Energy & Fuels*, 16 (2002) 443-450
- 29 DUNN, R. O.; Effect of Oxidation under Accelerated Conditions on Fuel Properties of Methyl Soyate (Biodiesel). *J. Am. Oil Chem. Soc.* 79(9) (2002) 915-920
- 30 SCHUCHARDT *et al.* - Transesterification of Vegetable Oils: a Review, *Journal of Brazilian Chemical Society*, 9(3) (1998) 199-210
- 31 RAMOS, L. P. et al. Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. *Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*, 31 (2003) 28-37
- 32 MACEDO, G. A.; MACEDO, J. A. Produção de Biodiesel por Transesterificação de Óleos Vegetais. *Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento* 32 (2004) 40
- 33 SMITH, M.K.: Processo of producing esters. US Patent 2, 444-486, 1949

- 34 IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP 1884\_06 – Avaliação da Influência das Variáveis Reacionais na Produção de Biodiesel – *Anais da Rio Oil & Gás Expo and Conference 2006*
- 35 ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleos vegetais. *Revista de Química Industrial*, 717 (2001) 17-26
- 36 FROEHNER, S.; LEITHOLD, J.; LIMA JUNIOR L. F. Transesterificação de Óleos Vegetais: caracterização por cromatografia em camada delgada e densidade, *Revista Química Nova*. 30(8) (2007) 2016-2019
- 37 RAMOS, L. P. et al. Um Projeto de Sustentabilidade Econômica e Sócio-ambiental para ao Brasil, *Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento* – 31 (2003) 32
- 38 GEA Wesfalia Separator, Av. Dr Carlos de Campos, 1167 cp 975 Vila Industrial 13032-690 Campinas – [www.wesfaliaseparator.com.br](http://www.wesfaliaseparator.com.br)
- 39 Divisão de Documentação e Normas – Biblioteca Sistema FIRJAN - Manual de Conservação e Reúso de água na Indústria – Rio de Janeiro: DIM, 2006 1ª Edição p. 17
- 40 PETERSON, C. L.; HUSTRULID, T. Carbon Cycle for rapeseed oil biodiesel fuels, *Biomass and Bioenergy*, 14(2) (1998) 91-101
- 41 OLTMAN-SHAY, J.; HOWD, P. A. “Edge Waves in Nonplanar Bathymetry and Alongshore Currents: A Model and Data Comparison,” *J. Geophys. Res.* 98(2) (1993) 2495-2507
- 42 RAMOS, L. P. et al. Um Projeto de Sustentabilidade Econômica e Sócio-ambiental para ao Brasil, *Revista Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento* 31 (2003) 34-35.
- 43 SAGAR, A, D., KARTHA, S. *Annual Review of Environmental and Resources*, 32 (2007) 131-167
- 44 APOSTOLAKOU, A. A. et al. Techno-economic analysis of a biodiesel production process from vegetable oils, *Fuel Processing Technology* 90 (2009) 1023–1031
- 45 EPA – United States Environmental Protection Agency – Average Carbon Dioxide Emissions Resulting from Gasoline and Diesel Fuel – EPA 420-F-05-001 February 2005.
- 46 PREDIGER, M. H. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental – Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC – Inventário de Ciclo de Vida da Produção Agrícola de Girassol – maio de 2008.
- 47 VIANNA, F. C.; Análise de Ecoeficiência: Avaliação do Desempenho Econômico-Ambiental do Biodiesel e Petrodiesel. Dissertação Apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para Obtenção do Título de Mestre de Engenharia. São Paulo 2006.
- 48 KNOTHE, G. et al. Manual de biodiesel, São Paulo: Ed. Blücher, 2006. cap. 7
- 49 BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Nacional de Agroenergia-2006-2011. *Brasília: Embrapa Informação Tecnológica*, 2005, 118p.

50 MANN, P. I: Commercialization of biodiesel: Producing a Quality Fuel; *Conference Proceedings; Boise, Idaho, USA*; 09 a 10 de julho, 1997; p. 13.

51 COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S. – Dep<sup>lo</sup> Químico e Mecânico do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (CEFET-PR) Curitiba - PR

52 ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. – Centro de Pesquisa em Química Aplicada – Dep<sup>lo</sup> Química - Universidade Federal do Paraná – Curitiba – PR - *Revista Química Nova*, 23(4)2000

53 MOTA, Suetônio. Introdução à Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro: ABES-3ed. 2003. 416 pag.

54 SILVA, Elias. Apostila do Curso de Engenharia Florestal 685- Análise e Avaliação de Impactos Ambientais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa-MG, 1996. 68p.

55 Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI – RS/UNIDO /UNEP, Implementação de Programas de Produção mais Limpa – Porto Alegre 2003

56 CAMPOS, V. F. TQC – Controle da qualidade total (no estilo japonês). Belo Horizonte: 8ª Edição – Editora DG, 1999.

57 LEEVIJIT; et al. Performance test of a 6-stage continuous reactor for palm methyl ester production. *Bioresource Technology*, 99 (2008) 214–221.

58 ASTM D6304 - 07 Standard Test Method for Determination of Water in Petroleum Products, Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration

59 ASTM D664 - 09 Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration.

60 EN EUROPÄISCHE NORM. EN 14103 – Fat and oil derivatives – Fatty Acid Methyl Esters (FAME) – Determination of ester and linolenic acid methyl ester contents. *Europäische Norm*, 2003

61 LEOPOLD, L. B et al. A procedure for evaluating environmental impact Washington, D.C., *Geological Survey Circular* 1971. 645p.

62 Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS, Sistema de Gestão Ambiental e Produção mais Limpa - Série Manuais de Produção mais Limpa - CNTL 2003

63 NIPPON OILS & FATS CO LTD Title: Conc. cream prepn. with addn. of viscosity-increasing agent prior to emulsification Patent Number(s): JP54023166-A

64 WILLIAMS, R. H.; LARSON, E. D. Biomass gasifier gas turbine power generating technology, *Biomass and Bioenergy* 10(2-3) (1996)149-166

65 RANGANATHAN, S. V.; NARASIMHAN, S. L.; MUTHUKUMAR, K. An overview of enzymatic production of biodiesel, *Bioresource Technology*, 99(10) (2008) 3975-3981

66 SARIN, R.; SHARMA, M.; KHAN, A. A. Studies on Guizotia abyssinica L. oil: Biodiesel synthesis and process optimization, *Bioresource Technology*, 100(18) (2009) 4187- 4192

67 MAVROULIDOU, M.; HUGHES, S. J.; HELLAWELL, E. E. Developing the interaction matrix technique as a tool assessing the impact of traffic on air quality, *Journal of Environmental Management* 84 (2007) 513–522

68 O. HOWELLS, O.; EDWARDS-JONES, G.; MORGAN, O. Ecozone II: a decision support system for aiding environmental impact assessments in agriculture and rural development projects in developing countries, *Computers and Electronics in Agriculture* 20 (1998) 145–164

69 MAVROULIDOU, M.; HUGHES, S. J.; HELLAWELL, E. E. A qualitative tool combining an interaction matrix and a GIS to map vulnerability to traffic induced air pollution, *Journal of Environmental Management* 70 (2004) 283–289



## **ANEXO B – Croqui da planta de produção de biodiesel desenvolvida na UNISC**

**Imagem não disponibilizada para internet**

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)