



# 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

## SÍNTESE E ANÁLISE ECONÔMICA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE MATÉRIAS-PRIMAS REGIONAIS

Araújo, M.K.<sup>1</sup>, Selvam, P.V.P.<sup>2</sup>, Santos, P.H., Santiago, S.HB.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte -UFRN, Núcleo de Tecnologia-NT  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química-PPGEQ  
Campus Universitário -Lagoa Nova, CEP: 59072-970-Natal/RN  
[kalinema@eq.ufrn.br](mailto:kalinema@eq.ufrn.br); [surnpvpa@eq.ufrn.br](mailto:surnpvpa@eq.ufrn.br)

**Resumo** – O Brasil possui uma grande variedade de óleos vegetais com grande produtividade, dando a possibilidade de encontrar soluções para problemas relacionados com a produção de combustíveis de boa qualidade, servindo como alternativa para substituição do diesel de petróleo e das importações deste produto, pois existe a necessidade de atender ao mercado interno do diesel que é em torno de 30%. Foi realizado o estudo de caso e síntese de projeto na qual foi utilizada a torta de soja como matéria prima para a produção de éster e co-produtos. Foram obtidos resultados relacionados com balanço de massa, custo de produção, equipamentos, investimento e parâmetros econômicos. O uso da torta de soja como matéria-prima para a produção de biodiesel apresentou-se como uma solução economicamente viável, além da necessidade de produção de co-produtos para diminuir os custos de produção.

Palavras-Chave: Biodiesel; Síntese; Análise econômica; Matérias-Primas.

**Abstract** – Brazil has a great variety of vegetal oils with great productivity, giving the possibility to find solutions to the problems related with the fuel production of good quality, serving as alternative for substitution of diesel of oil and the importations of this product, therefore there is necessity to take care of to the internal market of diesel that it is around 30%. The case study was carried through and synthesis of project in which was used the soy pie as raw material for the ester production and co-products. They had been gotten resulted related with material balance, cost of production, equipment, investment and economic parameters. The use of the soy pie as raw material for the production of biodiesel was presented as an economically viable solution. It has the necessity of production of co-products to reduce the production costs.

Keywords: Biodiesel, Synthesis, Economic analysis, Raw material.

## 1. Introdução

Os óleos vegetais podem ser encontrados normalmente de sementes das plantas e ocasionalmente na polpa de frutos. Os óleos vegetais são constituídos principalmente de glicerídeos, contendo outros lipídeos em pequenas quantidades. Os ácidos graxos que esterificam o glicerol apresentam, muitas vezes, cadeias alifáticas saturadas, mas, freqüentemente, cadeias insaturadas estão presentes. As diferenças funcionais entre os ácidos graxos constituintes dos óleos vegetais determinam as diferenças entre certas propriedades destes óleos tais como: ponto de fusão, calor e pesos específicos, viscosidade, solubilidade, reatividade química e estabilidade térmica. Devido a grande diversidade de óleos vegetais e alta produtividade (soja, mamona, dendê, algodão, pupunha), o Brasil demonstra grande abertura para uma nova alternativa energética no que se refere à substituição do diesel a partir de biocombustível, ou seja, o diesel produzido de óleos vegetais. Uma grande vantagem do biodiesel é sua eficácia como aditivo (de até 20% sem qualquer adaptação para o motor), podendo ser agregado ao diesel de petróleo. Preocupados com a iminência do esgotamento de reservas de petróleo e em manter o equilíbrio ambiental, governos e corporações passaram a investir cada vez mais na pesquisa de combustíveis mais “limpos”, como alternativa energética; estes combustíveis estão sendo alvo de pesquisas destinadas a torna-los economicamente viável, desta vez substituindo o diesel fóssil pelo biodiesel, nome dado ao “diesel” extraído de óleos vegetais.

Este trabalho visa delinear algumas rotas de produção de biodiesel em pequena e média escala através das matérias-primas brasileiras, destacando-se os óleos vegetais, com possibilidade de melhoramento econômico obtendo, concomitante a produção de biodiesel, co-produtos com sabão e emulsificante de alimentos (glicerol).

O uso dos óleos vegetais em motores diesel iniciou-se a um longo tempo atrás, pois Rudolf Diesel idealizou em 1896 o seu primeiro motor, com eficiência média de 26%, testando-o com o petróleo (óleo cru), álcool, e ainda, com óleo de amendoim. Esta experiência foi demonstrada na Exposição Universal de Paris de 1900 [1].

O uso do biodiesel puro pode oferecer vantagens, como empregos na região NE, pois além do grande número de desempregados nessa região, contribui para o decréscimo da poluição atmosférica, causada pelo uso da gasolina se comparada ao uso do biodiesel [2].

Além disso, o produto biodiesel pode oferecer as seguintes características: Ter um número de cetano equivalente ao diesel; possui teor médio de oxigênio em torno de 11%; possui maior viscosidade e maior ponto de fulgor que o diesel de petróleo; tem um preço de mercado relativamente superior ao diesel comercial [3].

Visto a necessidade de encontrar soluções aos problemas relacionados com a produção de combustíveis de boa qualidade, servindo como alternativa para a substituição do diesel de petróleo e das importações deste produto. Para atender ao mercado nacional de diesel cuja demanda é em torno de 40%, o presente trabalho visa o estudo da matéria prima brasileira para uso de biodiesel buscando viabilidade técnica e econômica.

## 2. Síntese e Análise da Produção de Biodiesel

### 2.1 Estado da Arte de Produção de Biodiesel no Brasil

No esforço em substituir o óleo diesel, o óleo vegetal tem sido estudado não só pelo seu alto poder calorífico, mas também pelo seu aspecto oleoso.

Vários testes pioneiros foram realizados no Brasil, destacando-se os testes realizados pelo antigo Instituto de Óleos do Ministério da Agricultura e em Belo Horizonte pelo Instituto de Tecnologia Industrial na década de 40 [1].

O termo biodiesel foi definido pela “National Biodiesel Board” como o derivado mono-álquil éster de ácidos graxos de cadeia longa, proveniente de fontes renováveis como óleos vegetais.

No final dos anos 70, vários foram os esforços para se chegar a um combustível de boa qualidade, tendo como alternativas o etanol, metanol e misturas envolvendo óleos vegetais, como o dendê e mamona. O IPT, INT e o CETEC, foram os principais participantes dessa luta, com o ensaio do etanol aditivado com vários compostos nitrogenados, óleos vegetais misturados com óleo diesel mineral, óleos vegetais misturados com álcool e óleo diesel de petróleo, e outras misturas envolvendo o metanol [6].

Em 1975, sob a coordenação do Ministério da Agricultura, a origem ao “Proóleo- Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos”, que resultou na resolução nº 7 da Comissão Nacional de Energia, a qual nunca foi realmente implantada.

Após 1976 as espécies cogitadas foram os óleos de dendê, soja, amendoim, girassol, algodão, mamona, babaçu, colza e o óleo do pinhão manso. Destacando-se os trabalhos feitos pela Mercedes Benz do Brasil AS, na IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas além de outros [4 e 5].

Foram feitos muitos ensaios com misturas de óleos vegetais, etanol aditivado com compostos nitrogenados de propriedades explosivas onde foram observadas melhoras significativas dos resultados relacionados à combustão, mas os consumos das misturas continuavam altos [4 e 5].

Investigação da reação de transesterificação de óleos de fritura com metanol, etanol, n-propanol, iso-propanol, n-butanol e 2-etoxietanol em meios ácido e básico. O maior rendimento foi obtido com o metanol em meio alcalino, utilizando hidróxido de sódio e potássio como catalisador [6]

## 2.2. Matéria-Prima

Os óleos vegetais são classificados como óleos fixos, são substâncias oleosas, não voláteis, contidas normalmente nas sementes das plantas as quais tem por constituição os triglicerídeos de ácidos graxos, sendo também chamados de óleos triglicerídeos ou óleos vegetais.

O óleo vegetal tem sido utilizado numa tentativa de substituição do diesel de petróleo por ter diversas características de interesse, como por exemplo, seu alto poder calorífico, ter número de cetano próximo ao do diesel de petróleo, entre outras características bastante importantes para os motores.

O óleo de soja é composto por 15% de ácidos saturados e 85% de ácidos insaturados. Dentre os saturados, há um predomínio do ácido palmítico (C<sub>16:0</sub>), seguido pelo ácido esteárico (C<sub>18:0</sub>); dentre os ácidos insaturados há um predomínio do ácido linoléico (C<sub>18:2</sub>), seguido pelos ácidos oléico (C<sub>18:1</sub>) e linolênico (C<sub>18:3</sub>).

A extração do óleo da semente completa (sem descascar) ou da baga (semente descascada por meio de máquinas apropriadas). O método utilizado para extrair o óleo pode ser prensagem, a frio ou a quente, ou extração por solvente.

Em um processo mecânico de extração, no qual a oleaginosa depois de triturada e cozida, é prensada mecanicamente de modo contínuo em prensas de parafuso, chamadas de “expelles”. A torta resultante da extração contém ainda de 6 a 9% de óleo, sendo chamada de torta gorda.

## 2.3. Metodologia para Seleção e Desenvolvimento de Sistema de Produção

### 2.3.1 Transesterificação

A reação de um óleo vegetal, ou de uma gordura, com um álcool é denominada alcoolize, constitui um tipo de esterificação na qual há formação de novos ésteres com o álcool adicionado pelo deslocamento dos ácidos graxos da molécula do éster original. Os processos de maior interesse prático envolvem monoálcoois, especialmente metanol e etanol, e o glicerol. As figuras 1 e 2 mostram formas reacionais de produção de éster.

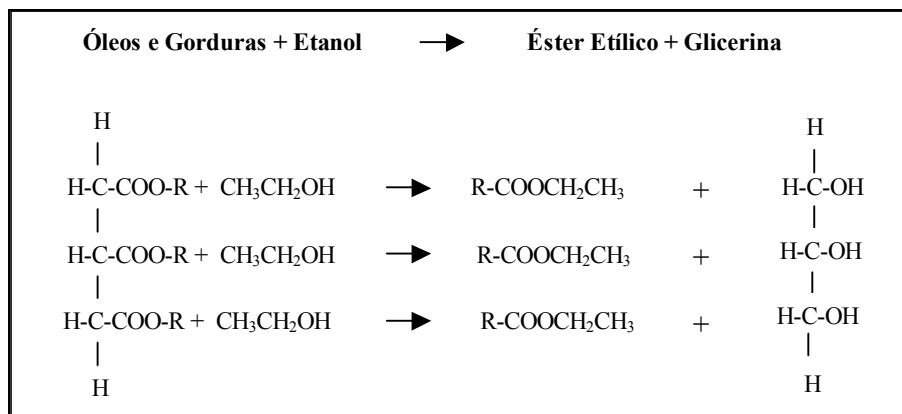


Figura 1. Reação de transesterificação

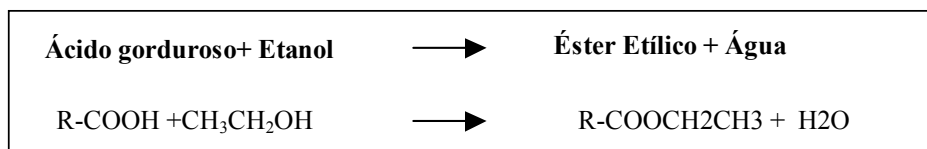


Figura 2. Reação de esterificação

## 2.4. Escolha do Sistema

### 2.4.1. Escolha de Matéria-Prima

Torta de soja: A torta de soja foi escolhida como matéria-prima para o processo de produção de biodiesel via esterificação, pois além de grão de soja, encontra-se grande quantidade deste na nossa região, possui alto teor do óleo fato este que, condiciona maior produção comparado a outros tipos de oleoginosas.

### 2.4.2. Escolha de Co-Produtos

Proteína de soja: Foi utilizada a proteína de soja pelo fato de ter alto valor de produtos, diversas aplicações e facilidade de fabricação em relação com outro co-produto.

A partir de estudos realizados objetivando a redução de custos do biodiesel, verificou-se inviabilidade com uso de grão de soja, porém visando intensificar a redução de custos de produção do biodiesel, a aplicação da técnica mais apropriada está relacionada à formação de co-produtos como por exemplo à proteína de soja, usando matéria-prima torta de soja.

## 2.5. Estudo de Caso do Sistema de Produção de Biodiesel

### Detalhamento do sistema de produção:

Baseado nos experimentos realizados em laboratório usando óleo obtido a partir do grão de soja e tortas de soja foram realizamos experiências para obtenção do biodiesel sobre as seguintes condições: Catalisador hidróxido de sódio 6g/L de óleo vegetal + 25% de etanol para cada litro de óleo vegetal, Temperatura a 50 °C, taxa de agitação de 0,50 KW/m<sup>3</sup> e pressão de operação a 1,013 bar. Após reação centrifugamos a mistura da reação para obtenção de biodiesel na fase mais leve e glicerol na fase pesada.

O dimensionamento do reator de transesterificação foi obtido através de simulação de processos de uma operação baseado processo de batelada e resultado de estequiométrica da reação obtida no laboratório e os demais equipamentos foram dimensionados através de simulação usando Super Por Dasiger [9]

Estudos de casos de produção de tanque de mistura com agitação para o processo de produção de biodiesel com o uso de torta de óleo vegetal, etanol e hidróxido de sódio como catalisador a uma temperatura de 50°C. O biodiesel é purificado através de neutralização usando ácido fosfórico com posterior tratamento usando hidróxido de amônio, baseado nos trabalhos publicados (1, 6, 7, 8).

Ver figura e fluxograma.

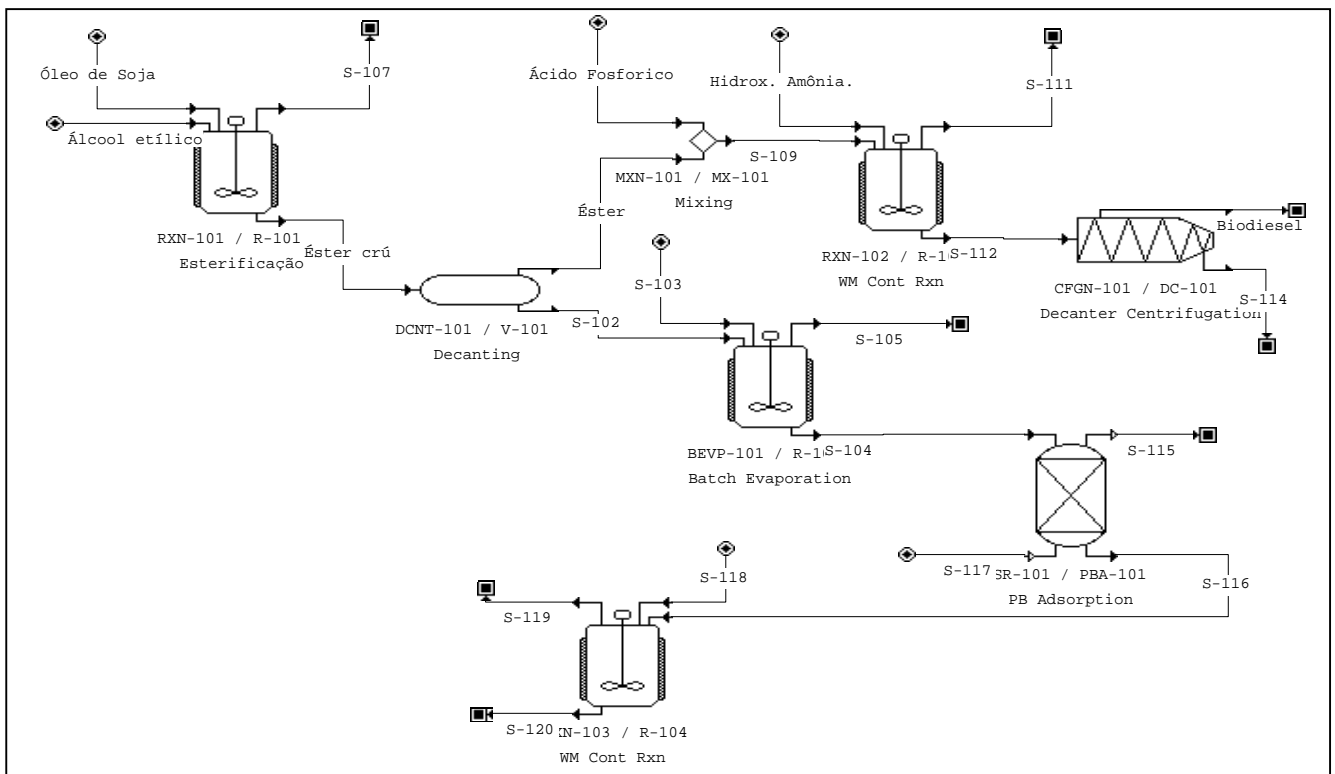


Figura 3. Processo de produção de biodiesel e co-produtos

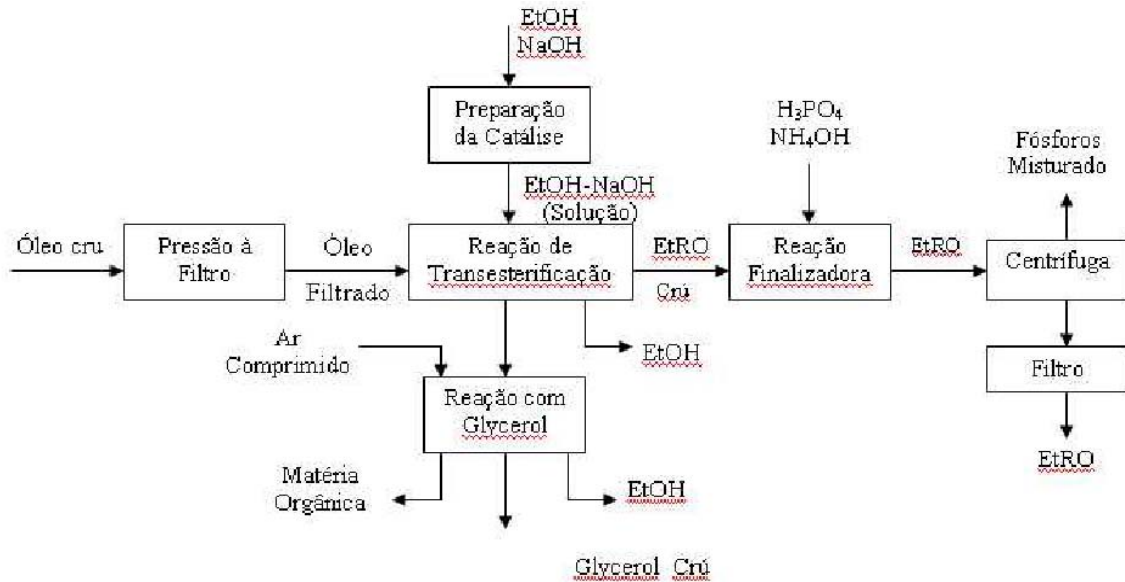


Figura 02. Fluxograma do processo de produção de biodiesel

## 2.6. Estudo de Caso de Produção de Biodiesel e Co-Produtos: Modelagem e Simulação

O projeto começou com uma pesquisa bibliográfica detalhada para avaliação e validação de projeto industrial de produção de biodiesel projetado, bem como a seleção de processo, equipamentos baseado em experiência laboratorial.

A metodologia proposta para o presente trabalho foi feita utilizando o SUPERPRO DESIGN para simulação de processo de produção de biodiesel. O sistema basear-se em simulação de processos utilizando a esterificação de torta de óleos vegetais com co-produção de proteína de interesse comercial.

A síntese engloba o aspecto experimental e o desenvolvimento de processos com modelagem e simulação que permita a simulação econômica das diversas alternativas de análise de projeto. Tendo todos os dados do processo, pode-se realizar ensaios de simulação para cálculo dos balanços energéticos e de massa, visando o desenho e a otimização do processo. Para realizar esses ensaios do presente trabalho usa-se um moderno software de processos industriais SUPERPRO DESIGN que é um simulador totalmente interativo, o qual combina técnicas avançadas e de fácil aprendizado, por possuir uma interface bastante facilitada, através de menus de fácil compreensão. Ele é constituído de módulos que representam, na quase totalidade, os processos das indústrias químicas, incluindo separadores, trocadores de calor e bioreatores. O SUPERPRO DESIGN oferece uma vasta seleção de métodos para se calcular as propriedades termodinâmicas, incluindo equações de estado, correlações semi-empíricas e modelos de atividade, facilitando a difícil tarefa de desenvolver e desenhar o projeto de processo.

A aplicação de todos os modelos utilizados é praticamente inviável sem a ajuda de um microcomputador para fazer os cálculos e gráficos. Para tanto dispomos de 03 micros Pentium 160 MHZ com kit multimídia; como também com nível de software dispondo de programas necessários para o desenvolvimento de projetos como o STATÍSTICA e SUPERPRO, Intelligent. Inc., E.U.A como ferramenta.. Finalmente, gerando tabelas de entrada de variáveis independentes e saída das variáveis dependentes para cada projeto obtendo dessa forma resultados esperados usando estas ferramentas.

## 2.7. Análise de Processo de Produção de Biodiesel Usando Simulador

Os projetos preliminares de investimento em equipamentos, estimativas de tubulação, instrumentação, edifícios de plantas e outros investimentos indiretos foram obtidos usando modelos detalhados de Chilton implementado por super Pro Design V. 3.0 de Intelligent. inc.

Os diversos custos operacionais, custo fixo foram obtidos baseados em dados operacionais dos experimentos obtidos com relatórios de simulador de processos. Os métodos utilizados são baseados em trabalhos anteriores [9].

### 3.Resultados e Discussões

Seria possível produzir biodiesel a partir de óleos vegetais tanto utilizando a soja, quanto a mamona, porém, de acordo com os cenários observados, o cenário referente à torta de soja + glicerato de amida + proteína de soja via extração e transesterificação simultânea indicava um menor custo total, que é um indicativo para seleção desse sistema de extração. Nestes cenários, foram observados os seguintes critérios:

- O uso do óleo de mamona foi inviabilizado por apresentar um valor superior aos custos de produção do biodiesel já comercializado; do ponto de vista de matéria-prima, não viabiliza o processo apesar do alto teor de óleo verificado no vegetal.
- Em relação ao óleo de soja, foi escolhido como matéria-prima para o processo de transesterificação simultânea pois, além de se encontrar grande quantidade deste em nossa região é rico em proteína porém, seu uso não proporcionou redução de custo para produção de biodiesel.

O cenário referente a torta de soja + glicocerato de amido + proteína de soja confere à aplicação técnica mais apropriada porque está relacionada a formação de co-produtos como glicerol e amido reduzindo os custos e a produção de biodiesel.

Os resultados obtidos referentes à simulação seguem na tabela 1.

Tabela.1.Parâmetros de análise econômica

Parâmetros técnicos e econômicos	Estudo de Caso
A- Investimento fixo, R\$	774000
B- Custo de operação anual,R\$	4402000
C- Depreciação, R\$	69000
D- Matéria-prima, R\$	4068000
E- Custos fixos, R\$	365000
F- Custo total de operação anual, R\$	8904000
G- Custo de produção, R\$/Kg	11,82
H- Custo de venda anual, R\$	4676000
I- Lucro total por ano, R\$	275000
J- Benefício/custo razão	0,0308
L- Valor presente líquido (NVP)	720000

Foram observados através dos resultados da simulação que o custo de capital para investimentos foram menores, enquanto que o custo de matéria-prima foi elevado em torno de 45-47 %.

Para, a capacidade da planta em torno de 1,3 ton/dia, o tempo de retorno do investimento estimado foi de 4 anos.

Seria possível produzir biodiesel a partir da torta de óleos vegetais com o uso da torta de soja. De acordo com a simulação realizada o uso da torta de soja +proteína de soja, via esterificação com posterior purificação do produto, indica ser uma solução útil para problemas de custo de produção de biodiesel na região.

O uso isolado da torta de óleo de soja foi inviabilizado.A matéria-prima sozinha não viabiliza o processo apesar de ter valor expressivo de teor de óleo verificado no vegetal.

A escolha da torta de soja como matéria-prima para o processo esterificação se deu por encontrar grande quantidade deste na nossa região é rico em proteína, porém seu uso isolado não proporcionou redução de custos para produção de biodiesel.

### 4.Conclusão

Através das simulações realizadas no SuperPro Designer, pôde-se concluir que a utilização do óleo de mamona como matéria-prima para a produção do biodiesel e co-produtos mostrou-se mais caro que o óleo de soja. O aproveitamento de co-produtos é indispensável pela necessidade de diminuir custos de matéria-prima que se encontra elevado e para melhorar a economia do projeto.

Uma seleção de processo de extração de óleo de custo mínimo, usando a torta de soja para a extração e transesterificação simultânea, com aproveitamento da proteína de soja como co-produto tornou-se uma solução útil e inovadora para projeto preliminar de sistema.

Trabalhos futuros devem se dirigidos pela complementação do estudo apresentado, incluindo a análise de processo de produção de torta, produção de proteína de soja, tendo em vista nosso estudo preliminar mostrou viabilidade econômica desta rota com perspectiva econômica de presente e futuro.

O estudo detalhado da produção de biodiesel e co - produtos com uso de torta de óleo vegetal como matéria-prima, pois apesar de ter o custo de produção superior ao do diesel comum, em torno de R\$ 0,88/L e pouca produção do biodiesel como uso de proteína hidrolisada. Nosso estudo preliminar possui um erro de estimativa significativa, porém possui um erro de estimativa significativa, porém possui viabilidade econômica sendo possível coloca-lo em escala

industrial, através do uso do processo inovador, ou seja, através da transesterificação simultânea desenvolvida no Brasil. (CTA).

O aproveitamento de co-produtos é indispensável pela necessidade de diminuir custos de matéria-prima que se encontra elevado e para melhorar a economia do projeto.

Trabalhos futuros devem se dirigidos para complementarem os estudos apresentados, incluindo a análise de processo de produção de torta de outros óleos vegetais, estudar a qualidade do produto comparando com o diesel de petróleo, tendo em vista nosso estudo preliminar mostrou viabilidade econômica desta rota com perspectiva econômica de presente e futuro.

## 5. Agradecimentos

Os autores gostariam de dedicar seus sinceros agradecimentos ao CNPq/PIBIC; PPGEQ/DEQ/CT/UFRN e a ANP/PRH-14 pelo suporte financeiro e infra-estrutura.

## 6. Referências

1. Carioca, J.O.B e Arora, H.L. Biomassa- Fundamentos e Aplicações Tecnológicas. Edição UFC/BNb. 1985.
2. SENAR-PB-n.03 Anol-Maio. 2002.
3. PETROBRAS/CENPES. "Estudo sobre o uso de Óleos Vegetais como Combustível para Motores Diesel" Rio de Janeiro, 1980.
4. IPT. Ensaio de durabilidade de 200 horas em motores KUBOTATEKO TR-8 para avaliações de misturas substitutivas do óleo diesel. Relatório. São Paulo, SP. 1982.
5. FTI- Fundação de Tecnologia Industrial. Avaliação Técnico-Econômica de Óleos Vegetais. Relatório para STI/MIC. Rio de Janeiro. 1983.
6. Ramos, L.P.; In: Anais do Congresso Brasileiro de Soja; Empresa Nacional de Pesquisa Agropecuária; Londrina, PR, Brasil; 19 a 22 de julho, 1998.
7. Parente, E.J.S. Alternativas Tecnológicas para o Processamento do Coco de Babaçu e sub-produtos. Anais do workshop Babaçu. São Luís, Maranhão. 8-10 de abril de 1992.
8. Carioca, J.O.B. Diesel Vegetal via Craqueamento. I Encontro sobre Tecnologia dos Óleos Vegetais Combustíveis. Revista Energia, vol. II, número 11. 1980.
9. Pannir Selvan, P.V, Et alli, "Process Cost Modeling and Simulation for Integrated Project Development of biomass for Fuel and Protein" Journal of Scientific & industrial Reserarch, vol. 57, Oct & Nov, pp 567-574.