



Estudo de pré-viabilidade econômica de uma planta de transesterificação de biodiesel produzido através da semente de mamona

Daisiana Frozi Brisola

Genecy Rezende Neto

Projeto Final em Engenharia Química

Orientadores

Prof^a. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Prof^o Luís Eduardo Duque Dutra, D.Sc

Setembro de 2009

Estudo de pré-viabilidade econômica de uma planta de transesterificação de biodiesel produzido através da semente de mamona

Daisiana Frozi Brisola
Genecy Rezende Neto

Projeto final em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenharia Química.

Aprovado por:

Prof. Daniel Weingart Barreto (EQ/UFRJ)

Eng^a Cecília Martins Soares, M.Sc.

Eng^o Otávio Martins da Fonseca Gomes, D.Sc. (CETEM)

Orientadora:

Prof^a. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Co-orientador:

Prof^o Luís Eduardo Duque Dutra, D.Sc

Rio de Janeiro, RJ - Brasil.

Setembro de 2009

Ficha Catalográfica

Brisola , Daisiana Frozi ; Rezende Neto, Genecy.

Estudo de pré-viabilidade econômica de uma planta de transesterificação de biodiesel produzido através da semente de mamona/ Daisiana Frozi Brisola & Genecy Rezende Neto. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2009.

X, 65 p.; il.

(Projeto Final) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2009.

Orientadora: Flávia Chaves Alves, Co-orientador: Profº Luís Eduardo Duque Dutra, D.Sc.

1.biodiesel 2. Transesterificação 3. Avaliação econômica 4. Projeto final (Graduação - UFRJ/EQ). 5. Flavia Chaves Alves. I – Estudo de viabilidade preliminar de uma planta de transesterificação de biodiesel produzido através da semente de mamona.

À minha família, aos meus amigos e, especialmente,
dedico este trabalho ao meu pai, Seraphim Brisola,
que não conseguiu ver-me formada mas
em seu coração eu já era engenheira.

Daisiana Frozi Brisola

À minha família e amigos.

Genecy Rezende Neto

"A vida é muito importante para ser levada a sério."

*"Quando eu era jovem, pensava que o dinheiro era a coisa mais importante do mundo
Hoje, tenho certeza."*

Oscar Wilde

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permitido que chegássemos até aqui nos dando saúde e capacidade;

Às nossas famílias, pelo apoio, paciência e investimento em nossos sonhos;

Aos nossos orientadores: Flávia Chaves Alves e Luís Eduardo Duque Dutra pelos conselhos, paciência e ensinamentos;

Aos nossos amigos: Márcio Gabriel, Luiz André, Luana, Arijuna, Victor Tadeu, João Paulo, Danielle, Felipe, Layla, Flávia, Patrícia Lopes, Andressa, Juliana, Patrícia, Syssa, Fernanda, Antônio, Antonieta, Cristiane, Karen, Otávio e Mauro que nos momentos de estresse nos descontraíam e apoiavam;

Aos participantes da Banca Avaliadora por terem aceitado nosso convite e nos honrado com suas presenças;

Aos nossos professores: Silvia Maria, Suzana, Ladimir Carvalho, Maria Antonieta, Jo Dweck, Ricardo Michel, Elizabeth Lucas, Luciana Spinelli e Ivo Lopez que contribuíram, especialmente, para a nossa formação acadêmica e pessoal.

Resumo do Projeto Final apresentada à Escola de Química/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiros Químicos.

Estudo de pré-viabilidade econômica de uma planta de transesterificação de biodiesel produzido através da semente de mamona

Daisiana Frozi Brisola

Genecy Rezende Neto

Setembro, 2009

Orientadora: Prof.^a Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Co-orientador: Prof^o Luís Eduardo Duque Dutra, D.Sc.

As questões políticas, econômicas e ambientais ocorridas no último século impulsionaram países do mundo todo a buscarem fontes renováveis de energia. Na década de 90 surge, então, o protocolo de Kyoto incentivando assim, à Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. No Brasil, a busca se iniciou com o Proálcool e vem se estendendo desde 1975. Entre os biocombustíveis estudados está o biodiesel, que é um combustível obtido a partir de matérias-primas vegetais ou animais. Para sua produção, alguns processos vêm sendo estudados e entre eles podemos citar a transesterificação, que é o processo mais utilizado. O objetivo deste projeto é fazer uma avaliação prévia de viabilidade econômica de um processo de produção de biodiesel, através da rota etílica, utilizando a semente da mamona como matéria-prima, excluindo-se a etapa de extração do óleo. Para esta avaliação, foram utilizados os indicadores econômicos Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno. Após as análises, conclui-se que o processo é viável do ponto de vista econômico, com altos índices de Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno.

ÍNDICE

Capítulo 1: Introdução	10
Capítulo 2: Mercado de Biodiesel	14
2.1 Introdução	15
2.2 Mercado Mundial	16
2.3 Mercado Brasileiro	20
Capítulo 3: O Biodiesel e seus processos de produção	27
3.1 Os Biocombustíveis	28
3.2 Biodiesel	28
3.2.1 Propriedades físico-químicas do biodiesel	29
3.2.2 Matérias-primas	32
3.3 Técnicas de produção de biodiesel	32
3.3.1 Transesterificação	33
3.3.2 Craqueamento térmico (Pirólise)	36
3.3.3 Outros Processos	39
3.3.4 Transesterificação utilizando grãos	40
Capítulo 4: Materiais e métodos	43
4.1 Premissas	44
4.2 Investimentos	44
4.2.1 Investimentos Fixos	44
4.2.2 Custos de partida da planta	45
4.2.3 Capital de giro	46
4.3 Custos operacionais	46
4.3.1 Custos variáveis	46
4.3.2 Custos fixos	47
4.4 Receitas	48
4.5 Fluxo de Caixa	48
4.6 Indicadores de Avaliação Econômica	49
4.7 Análise de Sensibilidade	50
Capítulo 5: Resultados e Discussões	51
5.1 Indicadores Econômicos	52
5.1.1 Valor Presente Líquido	56
5.1.2 Taxa Interna de Retorno	56
5.2 Análise de Sensibilidade	56
5.2.1 Biodiesel	57
5.2.2 Glicerina	57
5.2.3 Mamona	58
5.2.4 Hidróxido de Sódio	58
5.2.5 Investimento Fixo	59
5.3 Resultados	59
Capítulo 6: Conclusões	62
Referências	64

Capítulo 1: Introdução

No último século, uma série de eventos impulsionou a necessidade de se buscar soluções energéticas alternativas que visavam o uso de matérias-primas renováveis aliado a um baixo custo de produção. As crises do petróleo, ocorridas nos anos 70 e 80 em função de desentendimentos políticos no Oriente Médio, provocaram problemas de suprimento do petróleo e uma crescente elevação no preço do barril. (Ching et al, 2007)

Além das questões políticas e econômicas, cientistas do mundo todo divulgam artigos sobre as alterações climáticas decorrentes das emissões de gases de efeito estufa e seus impactos ambientais, que foram determinantes na busca de fontes renováveis de energia. (Ching et al, 2007)

Durante a década de 90, foi assinado o Protocolo de Kyoto que é um tratado internacional, no qual os países industrializados deveriam reduzir as emissões de gases de efeito estufa em pelo menos 5% com base no ano de 1990 entre 2008 e 2012. Com isso, esses países poderiam comprar créditos em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, ou conhecidos por créditos de carbono. (Encarnação, 2007)

Dentre todas as problemáticas políticas, econômicas e ambientais surgem diferentes propostas de energia de origem renovável e suas técnicas de produção.

Os biocombustíveis, que como o nome diz são combustíveis de origem biológica animal ou vegetal, ou seja, não é de origem fóssil. Bioetanol ou etanol (cana-de-açúcar), biodiesel, biogás e óleo vegetal são exemplos de biocombustíveis.

O biodiesel é um exemplo como alternativa ao diesel combustível. Produzido a partir de fontes biológicas renováveis (utilizados como óleos vegetais e animais), o biodiesel é biodegradável e não tóxico e tem baixas taxas de emissão de gases de efeito estufa, trazendo também um desenvolvimento benéfico ao meio ambiente. (Ma & Hanna, 1999)

Embora o biodiesel tenha algumas características que satisfaçam o desejo da sociedade de se obter um combustível de origem renovável com baixas emissões de gases de efeito estufa, ainda não podemos considerar o biodiesel

como a solução para os problemas de energia, mas sim como uma forma de minimizar os mesmos.

Países da Europa (principalmente a Alemanha), EUA e Brasil apostaram em fontes renováveis como uma forma de energia que tivesse uma regularidade de produção e distribuição com menores custos de produção. O primeiro impulso do Brasil na busca pelos combustíveis renováveis foi o Proálcool (Programa Nacional do Álcool) que teve início em 1975. O Programa tinha por objetivo substituir parte da gasolina por álcool hidratado e como aditivo à gasolina (álcool anidro), tornando-a menos poluente. Nessa mesma época, surgiram algumas experiências em relação ao biodiesel utilizando como matéria-prima a mamona e a soja que não foram muito à frente. A Alemanha desenvolveu um biocombustível, que passou a ser chamado de biodiesel, formado pela mistura de diesel e óleo de canola. Atualmente, a Alemanha lidera a produção mundial de biodiesel com 42% e a União Européia domina 90% do mercado. Os EUA estimularam a produção de álcool oriundo de milho. Atualmente, a União Européia, os EUA e vários outros países já produzem o biodiesel comercialmente e estão em desenvolvimento de suas indústrias. (Ching et al, 2007)

Atualmente, são estudadas diversas técnicas de produção do biodiesel, entre elas está a transesterificação (mais utilizada) e craqueamento térmico além de outras ainda em desenvolvimento. O maior obstáculo para a sua implantação definitiva no mercado é o preço, que devido as variáveis de processo e insumos crescem o valor do litro. (Encarnação, 2007)

O presente trabalho tem por objetivo avaliar economicamente o processo de transesterificação utilizando grãos ao invés de óleo vegetal, retirando assim a etapa de extração de óleo.

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos, além dessa introdução. O capítulo 2 apresenta a configuração do mercado de biodiesel e seus dados industriais. No capítulo 3 é realizada uma revisão dos principais processos de produção e um detalhamento do processo em estudo. A seguir, no capítulo 4, a metodologia de análise econômica utilizada no trabalho é descrita, sendo apresentados também os dados utilizados na avaliação econômica. Os

resultados obtidos são apresentados e discutidos no capítulo 5. Finalmente, o capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho.

Capítulo 2: Mercado de Biodiesel

2.1 Introdução

O mercado de biodiesel vem crescendo consideravelmente nos últimos anos, em função das preocupações de vários países com o meio ambiente e a intenção de reduzir a dependência do petróleo importado, já que grande quantidade deste tem origem em países do Oriente Médio, onde existe grande instabilidade política e religiosa.

O desenvolvimento e a utilização de biodiesel têm sido discutidos em várias pesquisas, principalmente dada à necessidade de substituição dos combustíveis fósseis. É possível que as reservas mundiais de petróleo se esgotem e por se tratar de um combustível não renovável, torna-se grande a necessidade da existência de substitutos em suas aplicações. Além disso, com a diminuição das reservas é possível que seu preço atinja patamares muito elevados, tornando seus derivados inviáveis economicamente.

A utilização de biodiesel também é benéfica em termos ambientais, porque o CO₂ produzido na queima é consumido na fotossíntese, ou seja, o carbono é renovável e isso acarreta menos impactos ambientais.

O petróleo é matéria-prima para poucos setores econômicos, porém, os mesmo são de extrema importância, além de ser fonte de energia para movimentar portos, aeroportos e rodovias. Todavia, constantemente, o petróleo é fonte de crises mundiais. As variações no seu preço afetam a balança comercial de muitos países e prejudicam diversos setores da economia e, conseqüentemente, o consumidor final.

Nos últimos anos, vários países lançaram programas de incentivo à produção e ao consumo deste biocombustível, como é o caso da Alemanha, onde a lei

obriga a utilização de pelo menos 5% de biodiesel misturados ao diesel de petróleo. Na Argentina, o governo iniciou em 2001 um programa que oferece vantagens fiscais para a produção de biodiesel. Já o governo canadense concede isenção fiscal de 4% sobre a produção e uso do biodiesel, além de estabelecer uma meta de produção de 500 milhões de litros por ano até 2010. (MELO et al., 2007).

2.2 Mercado Mundial

O principal mercado produtor e consumidor de biodiesel é a União Européia, que vem fabricando o produto em larga escala desde 1992. O biodiesel domina a cena dos combustíveis alternativos na Europa. Segundo dados da EBB (European Biodiesel Board), a produção efetiva nos países produtores atingiu 8,7 bilhões de litros em 2008, o que representa um crescimento de 36% em relação a 2007. A maior parte dessa produção é de responsabilidade da Alemanha, França e Itália, os três maiores produtores europeus desde de 2002. A produção acumulada destes três países, cerca de 5,8 bilhões de litros, representa 67% da produção européia em 2008 (8,7 bilhões de litros). A figura 1 mostra a evolução dos três principais produtores europeus e a produção européia total entre 2005 e 2008 de biodiesel.

	736	69.002	404.329	1.167.128	510.503
	2005	2006	2007	2008	2009 (maio)
	736159,6	69001981	404329140	1167128415	510503141
	0,73616	69,00198	404,32914	1167,128415	510,50314

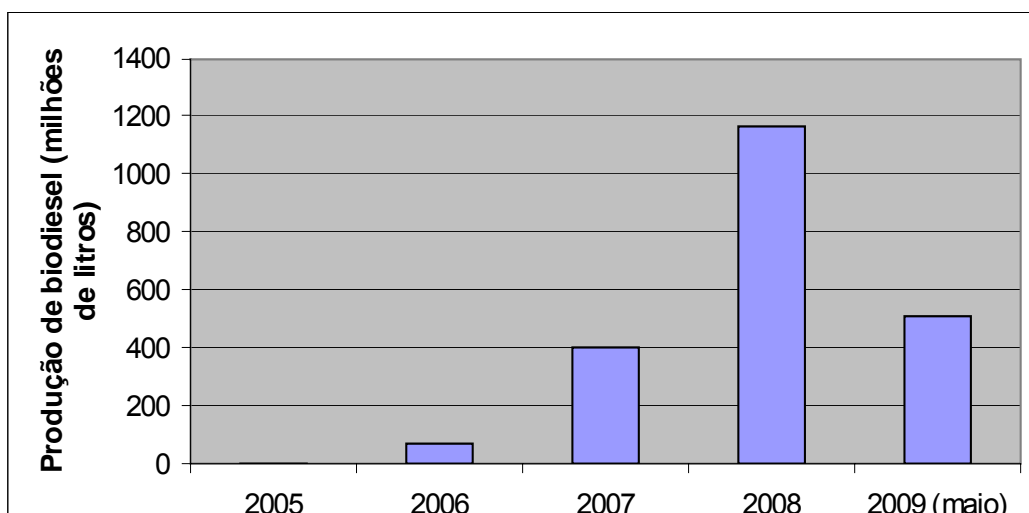


Figura 1 - Produção europeia de biodiesel.

Fonte: EBB, 2009.

Como está mostrado na figura 1, aproximadamente metade da capacidade produtiva de biodiesel europeu está na Alemanha, que é o maior produtor mundial do biocombustível, utilizando como principal matéria-prima a canola. Em 2008, foram produzidos 3,2 bilhões de litros de biodiesel no país, contra 3,25 bilhões em 2007 e 3 bilhões em 2006 (EBB, 2009). O governo alemão concede subsídios de 47 euros para cada 100 litros de biodiesel. Pode-se afirmar que a lógica deste subsídio é a geração e a manutenção de empregos na agricultura, um mecanismo tradicional de incentivo da Política Agrícola Comum Europeia (MELO et al., 2007).

Em resposta aos incentivos por parte das instituições europeias (subsídios às plantações de produtos alimentícios em áreas até então não utilizadas e isenção de 90% dos impostos), cerca de 270 usinas foram montadas em diversos países do bloco nos últimos anos, gerando uma capacidade total de produção de 23,7 bilhões de litros de biodiesel em 2009.

Embora, até 2003, nenhuma legislação exigisse a utilização do biodiesel nos veículos alemães, cerca de 1.900 postos de combustíveis (de um total de 16.000) comercializavam o produto na forma pura, permitindo ao cliente decidir o percentual a ser misturado no tanque de seu veículo. Essa estratégia favoreceu a imagem do novo combustível, aumentando a confiança de seus consumidores. Em 2003, o biocombustível era vendido a preços até 12% inferiores ao do diesel de petróleo, decorrentes da isenção de tributos em toda a cadeia produtiva. A partir de janeiro de 2004, uma nova lei passou a exigir a mistura do biodiesel como oxigenador do diesel convencional, numa porcentagem máxima de 5%. Em função da legislação, a demanda interna do

biocombustível apresentou um crescimento de 33% em relação ao ano anterior.

O segundo maior produtor europeu de biodiesel é a França, com uma produção de 2 bilhões de litros em 2008. O governo francês vem aumentando a capacidade de produção interna, saltando de 980 milhões de litros em 2007 para 2 bilhões em 2008 - aumento de 108% - na intenção de competir com a Alemanha. Os sistemas produtivos de biodiesel na França são semelhantes aos da Alemanha, porém o combustível francês é fornecido no posto já misturado com o óleo diesel de petróleo, na proporção de 5%. Nos próximos anos, esse percentual deverá ser elevado para 8%. Atualmente, os ônibus urbanos franceses consomem uma mistura com até 30% de biodiesel, representando grande parte da demanda interna.

Em terceiro lugar no ranking europeu do biodiesel está a Itália, com uma produção de 670 milhões de litros em 2008. A principal matéria-prima utilizada é a colza, que é importada da França e da Alemanha, tendo em vista que a produção interna é insignificante. O país também fabrica o biodiesel a partir da soja, mas numa proporção muito menor (também importa o grão). O fato de as matérias-primas utilizadas na produção do biodiesel italiano serem importadas levou o governo do país a reduzir em 50% os incentivos fiscais à produção do combustível a partir de 2005, o que poderá comprometer a produção no longo prazo (MELO et al., 2007).

Os Estados Unidos estão em segundo lugar no ranking mundial dos países produtores de biodiesel, atrás apenas da Alemanha, impulsionados principalmente pelos incentivos tarifários e créditos concedidos pelo governo e

pela necessidade de dar vazão aos estoques extras de óleo de soja em vários estados americanos.

A produção americana, que está baseada em pequenos produtores, passou de irrisórios 757 litros em 1999 para 280 milhões em 2005 e 2.650 milhões em 2008 conforme dados NBB (National Biodiesel Board). Atualmente existem instaladas 173 usinas produtoras de biodiesel, somando uma capacidade de produção de 10180 milhões de litros por ano. A figura 2 mostra a evolução da produção americana de biodiesel entre 2005 e 2008:

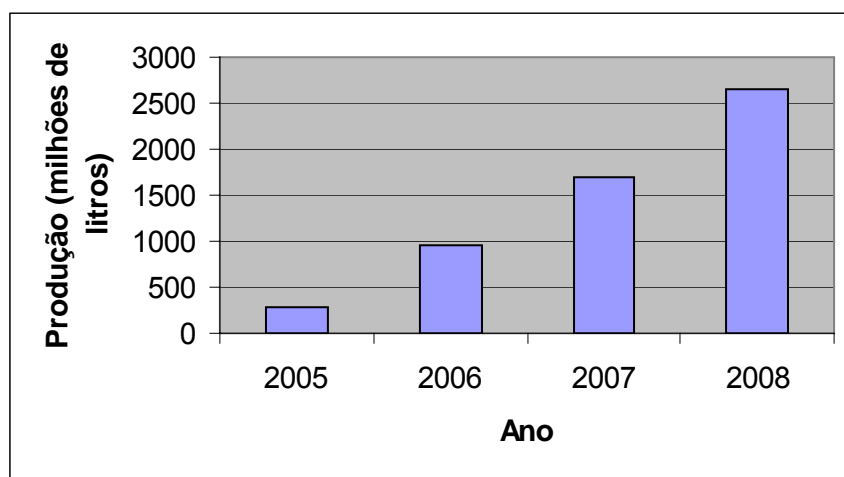


Figura 2 - Produção anual americana de biodiesel.
Fonte: Biodiesel.org, 2009.

Outros países têm demonstrado interesse pela produção do biodiesel, como é o caso de Canadá, Argentina, Japão, Malásia, Austrália, Tailândia, Índia, Coréia do Sul, Filipinas e Taiwan. No entanto, estes países ainda não produzem quantidades expressivas no que concerne o mercado mundial.

Portanto, as perspectivas de comercializar o biodiesel no mercado mundial são promissoras, tendo em vista que em muitos países o mercado se encontra em

estágio bastante desenvolvido e, em outros, existe previsão de demanda para o uso desse combustível nos próximos anos.

2.3 Mercado Brasileiro

Após anos de pesquisas relativas à produção e ao uso do biodiesel, recentemente este combustível deixou de ser experimental. Em dezembro de 2004, foi criado o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), como resultado de uma parceria entre um grupo de trabalho interministerial e duas associações empresariais, a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) e a Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais (ABIOVE) (MELLO et al., 2007).

Ao lançar o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), o governo federal apoiou-se na crescente demanda por combustíveis de fontes renováveis e no potencial brasileiro para atender parte expressiva dessas necessidades, gerando empregos e renda na agricultura familiar, reduzindo disparidades regionais e melhorar as condições ambientais.

O PNPB, objetiva a implementação de forma sustentável, tanto técnica, como economicamente, da produção e do uso do biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, através de geração de empregos e renda. Entre seus principais objetivos, estão (MMA a, 2009):

- Implantar um programa sustentável, promovendo inclusão social;
- Garantir preços competitivos, qualidade e suprimento;
- Produzir o biodiesel a partir de diferentes fontes oleaginosas e em regiões diversas.

A utilização do biodiesel, além de promover a geração de empregos no campo e aumento da renda dos pequenos agricultores promovendo a inclusão social, proporciona ao país redução das importações do diesel de petróleo. O uso do B2 (diesel + 2% de biodiesel) reduz a emissão de gases poluentes em comparação aos combustíveis fósseis convencionais e a sua composição se adapta aos motores de ciclo diesel já existentes no mercado (MMA a, 2009).

Num primeiro momento, a legislação federal não definiu a obrigatoriedade da adição do biodiesel ao óleo diesel de petróleo vendido no país, mas apenas autorizou as distribuidoras de combustíveis a adicionar 2% do biocombustível em cada litro do diesel de petróleo vendido internamente. Contudo, a lei n. 11.097, de 13 de janeiro de 2005, acabou estabelecendo a obrigatoriedade da adição, exigindo um percentual de 2% a partir de 1º de janeiro de 2008. Em janeiro de 2009, este percentual foi elevado para 3% e em 1º de julho entrou em vigor a mistura de 4%. O plano inicial do governo era subir de 2% diretamente para 5% somente em 2013, mas acabou optando pela elevação gradual da mistura e para a antecipação dos 5% para 2010 (MARQUES E GOY, 2009).

O Brasil possui uma vantagem comparativa em relação aos outros produtores de oleaginosas por sua diversidade de ecossistemas. Além disso, existem as seguintes vantagens na utilização do biodiesel:

a) Vantagens ecológicas: o CO₂ liberado durante a combustão dos motores é absorvido pela fotossíntese da produção agrícola que origina a matéria-prima para o biodiesel;

b) Vantagens macroeconômicas: geração de oportunidades de emprego para a população rural devido à expansão da demanda por produtos agrícolas;

c) Vantagens estratégicas: Diversificação da matriz energética, através da introdução dos biocombustíveis;

d) Vantagens financeiras: a produção de biodiesel pode contribuir para atingir as metas que habilitam o Brasil a participar no mercado de desenvolvimento limpo do Protocolo de Kyoto.

Além dessas vantagens, o biodiesel ainda apresenta a vantagem de poder ser utilizado em qualquer tipo de motor de ciclo diesel, com pouca ou nenhuma necessidade de adaptação, e de possuir um leque grande de matérias-primas possíveis para sua produção, entre eles: óleos vegetais, gordura animal, óleos e gorduras residuais (LIMA et al., 2007).

A produção brasileira de biodiesel ainda é insuficiente, principalmente quando comparada à de outros países produtores. Até o primeiro trimestre de 2006, toda a produção nacional estava distribuída entre oito unidades produtoras, cujo funcionamento depende de autorização pela Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Atualmente, existem 65 plantas para operação autorizadas pela ANP, o que significa uma capacidade total de produção de cerca de 12 milhões de litros por dia (ANP, 2009). A figura 3 mostra evolução da produção nacional entre 2005 e maio de 2009:

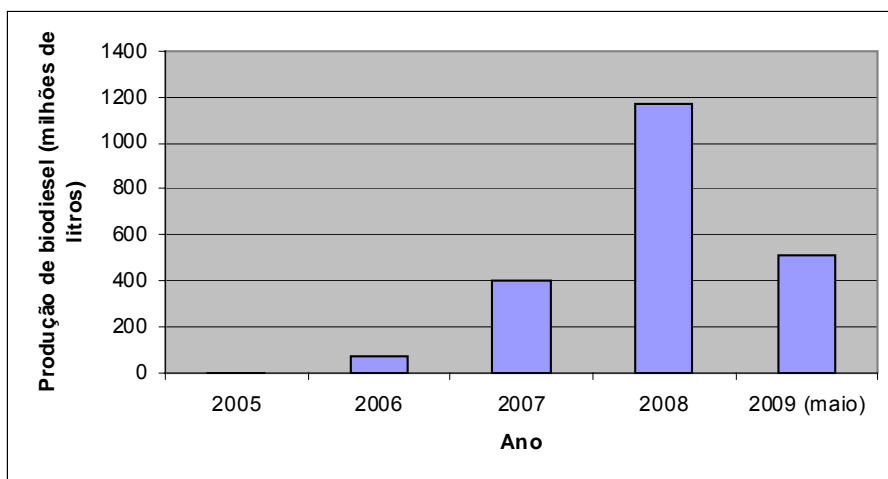


Figura 3 - Produção Anual de Biodiesel no Brasil.
Fonte: ANP, 2009.

Embora a produção brasileira seja bem menor que a europeia e americana, observa-se um grande crescimento, passando de menos de 70 milhões de litros em 2006 para quase 1.170 milhões de litros em 2008, um aumento de mais de 1600%. No mesmo período os Estados Unidos registraram um aumento de 280% e a União Europeia 60%.

Existem no Brasil três principais tipos de matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel: óleo de soja, gordura bovina e outros materiais graxos. Neste último grupo, estão inclusos os óleos vegetais: palma, mamona e pinhão-manso. A figura 4 ilustra a distribuição de matérias-primas utilizadas para a produção do biodiesel no Brasil.

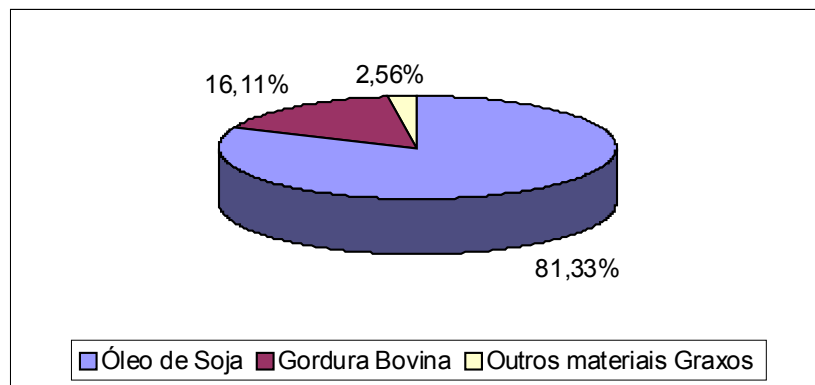


Figura 4 - Distribuição das matérias primas utilizadas.
Fonte: ANP, 2009.

A comercialização do biodiesel no Brasil é feita através de leilões promovidos pela ANP. Os procedimentos adotados têm como base as seguintes Resoluções e Portarias (MMA b, 2009):

- Resolução n°. 3 de 23 de setembro de 2005 do CNPE (Conselho Nacional de Política Energética): reduz o prazo determinado pela Lei n° 11.097, de 13 de janeiro de 2005, de 3 anos, para utilização um percentual mínimo obrigatório de 2%, em volume, para o dia 1º de janeiro de 2006, cuja a obrigatoriedade se restringirá ao volume de biodiesel produzido por detentores do selo “Combustível Social”;
- Portaria n°. 483, de 03 de outubro de 2005 do MME (Ministério de Minas e Energia): estabelece as diretrizes para a realização de leilões públicos para aquisição de biodiesel. Estes leilões podem apenas ser realizados pela ANP;
- Resolução ANP n°. 31 de 04 de novembro de 2005: regula a realização de leilões públicos para a aquisição de biodiesel.

O leilão é produto da antecipação da obrigatoriedade da mistura de 2% de biodiesel ao óleo diesel. O preço de abertura de leilão inclui os tributos federais incidentes sobre o biodiesel (Pis/Pasep e Cofins), mas sem ICMS, que varia conforme o estado (MMA b, 2009).

Os participantes dos leilões promovidos são aqueles credenciados pela ANP e aqueles reconhecidos pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário, sendo que os participantes que ainda não são autorizados comprometem-se em regularizar sua situação junto a ANP.

A figura 5 mostra a evolução de preços do biodiesel nos leilões promovidos pela ANP.

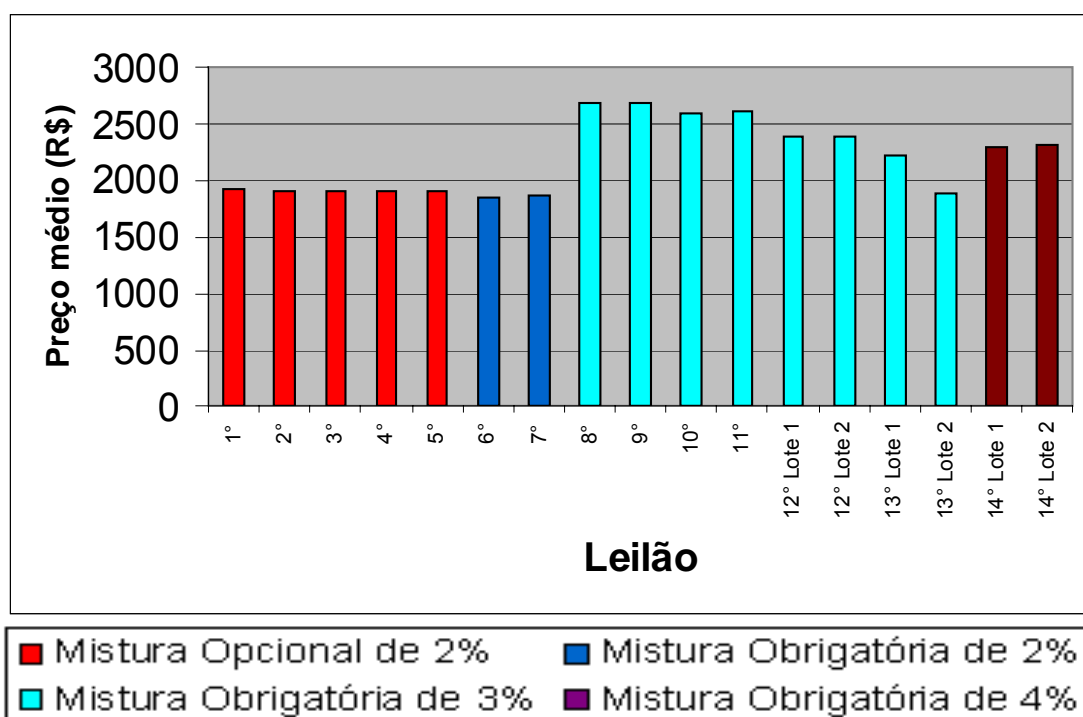


Figura 5 - Evolução do preço do biodiesel nos leilões da ANP.
 Fonte: www.anp.gov.br

Pode-se observar pelo gráfico que os preços sofrem variações significativas apenas nos momentos onde foi alterada a quantidade obrigatória de biodiesel

no diesel de petróleo. Esta variação pode estar ligada à relação de oferta e demanda. À medida que a quantidade obrigatória aumenta, existe um aumento na quantidade demandada, fazendo os preços subirem. Com o aumento da produção, para cumprir a entrega da quantidade leiloadada, os preços caem e atingem o patamar de cerca de R\$ 1900,00/m³. Estes leilões aconteceram entre novembro de 2005 e fevereiro de 2009.

Capítulo 3: O Biodiesel e seus processos de produção

3.1 Os Biocombustíveis

Os biocombustíveis são combustíveis obtidos a partir de fontes de carbono provenientes de produtos agrícolas, como a cana-de-açúcar e a soja. Os biocombustíveis são considerados fonte de energia renovável por gerarem mais energia do que o seu processo de produção necessita. (Soares, 2008)

Os biocombustíveis que são gerados da primeira ou principal utilização de matérias-primas cultivadas são chamados de biocombustíveis de 1ª geração. O etanol produzido pela cana-de-açúcar e biodiesel de soja são exemplos deste grupo (Soares, 2008).

Os biocombustíveis de 2ª geração são gerados a partir de resíduos agrícolas, ou componentes com baixo valor agregado. É possível citar exemplos consolidados existentes no Brasil, embora ainda não sejam amplamente utilizados; são eles o etanol do bagaço de cana-de-açúcar e o biodiesel de ácidos graxos. Por serem processos mais complexos possuem maior custo de produção. (Soares, 2008)

3.2 Biodiesel

O biodiesel é um combustível de origem renovável que pode ser obtido a partir de matérias-primas vegetais ou animais. O biodiesel pode ser utilizado em substituição do óleo diesel, em percentuais adicionados no óleo diesel ou integralmente.

O biodiesel e o etanol são as duas fontes principais de combustível renovável no segmento energético. Ambos são denominados biocombustíveis por serem derivados de biomassa (matéria orgânica de origem vegetal ou animal que

pode ser utilizada para a produção de energia), menos poluentes que os combustíveis fósseis e são renováveis.

A definição para biodiesel adotada na Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira é:

”Biodiesel: biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.” (NR)(Ching et al., 2007)

3.2.1 Propriedades físico-químicas do biodiesel

Abaixo se encontram as principais características físico-químicas gerais para o biodiesel.

- Ponto de Névoa e de Fluidez

O ponto de névoa é a temperatura em que o líquido, por refrigeração, começa a ficar turvo, e o ponto de fluidez é a temperatura em que o líquido não mais escoava livremente. Tanto o ponto de fluidez como o ponto de névoa do biodiesel variam segundo a matéria-prima que lhe deu origem, e ainda, o álcool utilizado na reação. Estas propriedades são consideradas importantes no que diz respeito à temperatura ambiente onde o combustível deva ser armazenado e utilizado. Devido às temperaturas amenas no Brasil, não há problema quanto a congelamento de combustível. O diesel tem ponto de congelamento em torno de 0° C, enquanto a temperatura de congelamento do biodiesel depende da matéria-prima que foi utilizada para sua produção. Por exemplo, o biodiesel obtido pela palma tem ponto de congelamento por volta de 11°C e suas misturas B2(diesel + 2% de biodiesel de palma) e B5(diesel + 5% de biodiesel

de palma) têm temperaturas de congelamento iguais a $-0,5^{\circ}\text{C}$ e -1°C , respectivamente. (Garcia et al., 2006)

- Ponto de Fulgor

O ponto de fulgor do biodiesel, se completamente isento de metanol ou etanol, é superior à temperatura ambiente, ou seja, o combustível não é inflamável nas condições ambientes.

- Poder Calorífico

O poder calorífico do biodiesel é muito próximo do poder calorífico do óleo diesel mineral.

- Índice de Cetano

O índice de cetano para os motores do ciclo Diesel é semelhante à octanagem para motores do ciclo Otto. Quanto maior for o índice de cetano de um combustível, melhor será a combustão desse combustível num motor diesel.

O índice de cetano médio do biodiesel é 60, enquanto para o óleo diesel mineral este índice varia entre 48 a 52, isto significa que o biodiesel queima melhor do que o diesel mineral.

- Teor de Enxofre

O biodiesel é completamente isento desse elemento.

- Poder de Solvência

Deve-se ter cuidados especiais com o manuseio do biodiesel pois podem causar danos à pintura dos veículos, devido aos ésteres formadores do mesmo que podem solubilizar resinas.

A tabela 1 mostra as especificações técnicas do biodiesel segundo alguns órgãos reguladores.

Tabela 1- Especificações do biodiesel

Propriedade	Unidade	Portaria ANP 310/01(Diesel)	Portaria provisória ANP	Resoluçã 129/01 (Arg.)	ASTMD 6751/02 (EUA)	EM 14214/01 (Europa)
Ponto de fulgor	°C	38	100	100	130	101
Número de Cetano, min.	-	42	45	46	47	51
Massa específica (20°C)	Kg/m ³	820-865	850-900	875-900	-	860-900
Viscosidade a 40°C	Nm ² /s	2,5-5,5	2,5-5,5	3,5-5,5	1,9-6,0	3,5-5,5
Água e sedimentos	%vol.	0,05	0,05	0,05	0,05	500mg/Kg
Glicerina livre, máx.	%(m/m)	-	0,02	0,02	0,02	0,02
Glicerina total, máx.	%(m/m)	-	0,25	0,24	0,24	0,25
Metanol/etanol, máx	%(m/m)	-	0,1	-	-	0,2
Cinzas sulfuradas, máx.	%(m/m)	0,02	0,02	-	0,02	0,02
Resíduo de carbono, máx	%(m/m)	0,25	0,05	-	0,05	0,3
Corrosividade ao cobre (1ao 5)	-	1	1	-	3	1
Destilação 90%, máx.	°C	360 (85%)	360 (95%)	-	360	-
Índice de acidez, máx.	mgKOH/g	-	0,8	0,5	0,8	0,5
Índice de iodo, máx.	-	-	-	-	-	120
Estabilidade a oxidade a 110°C, min.	h	-	-	-	A definir	6

Fonte: Suarez et al., 2004

3.2.2 Matérias-primas

O biodiesel pode ser produzido a partir de óleos vegetais, gorduras animais, e óleos e gorduras residuais. Os responsáveis pela reação de transesterificação são os triglicerídeos. Os triglicerídeos são obtidos pelo processo de extração do óleo vegetal a partir da semente. (Soares, 2008)

As culturas mais utilizadas na produção do biodiesel podem ser divididas em perenes, e anuais. Como exemplos de culturas perenes destacam-se a palma, o babaçu e a macaúba. Já a soja, o girassol e a mamona são exemplos de culturas anuais. (Soares, 2008)

A tabela 2 mostra as principais culturas oleaginosas do país e algumas características.

Tabela 2 – Características das oleaginosas no Brasil

Espécie	Teor de Óleo (%)	Meses de Colheita / Ano	Rendimento (ton óleo/ ha)
Dendê	22,0	12	3,0-6,0
Coco	55,0-60,0	12	1,3-1,9
Babaçu	66,0	12	0,1-0,3
Girassol	38,0-48,0	3	0,5-1,9
Colza	40,0-48,0	3	0,5-0,9
Mamona	45,0-50,0	3	0,5-0,9
Amendoim	40,0-43,0	3	0,6-0,8
Soja	18,0	3	0,2-0,4
Algodão	15,0	3	0,1-0,2

Fonte: Soares, 2008

3.3 Técnicas de produção de biodiesel

Para produzir biodiesel utilizando como matéria-prima principal o óleo vegetal existem três principais formas de conversão: química, bioquímica e termoquímica. A tabela 3 mostra os principais processos de produção de biodiesel. (Khalil, 2006)

Tabela 3 - Principais processos de produção de biodiesel segundo as formas de conversão

FORMAS DE PRODUÇÃO	PROCESSO
QUÍMICO	TRANSESTERIFICAÇÃO (ALCALINA E ÁCIDA)
BIOQUÍMICO	TRANSESTERIFICAÇÃO ENZIMÁTICA
TERMOQUÍMICA	CRAQUEAMENTO CATALÍTICO E HIDROCRaqueamento

Fonte: Khalil 2006

Atualmente o processo mais utilizado é processo de transesterificação pois tem menor escala energética e maior rendimento.(Santos, 2006)

Existem ainda diferentes processos sendo estudados. Nas seções a seguir, serão apresentados em detalhes os processos de transesterificação, craqueamento térmico, o processo em estudo que está sendo desenvolvido recentemente além de outros processos de produção ainda em estudo. (Encarnação, 2007).

3.3.1 Transesterificação

Dos processos de obtenção de biodiesel, o mais comum é a transesterificação.

Este processo só é possível devido à reação de transesterificação entre óleo e álcool para produzir ésteres e glicerol.

A reação de transesterificação pode ser esquematizada segundo a figura 6.

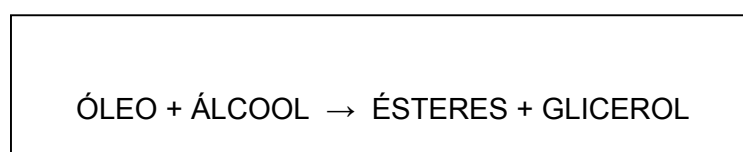


Figura 6 - Esquema da reação de transesterificação.

A figura 7 apresenta o fluxograma do processo de transesterificação.

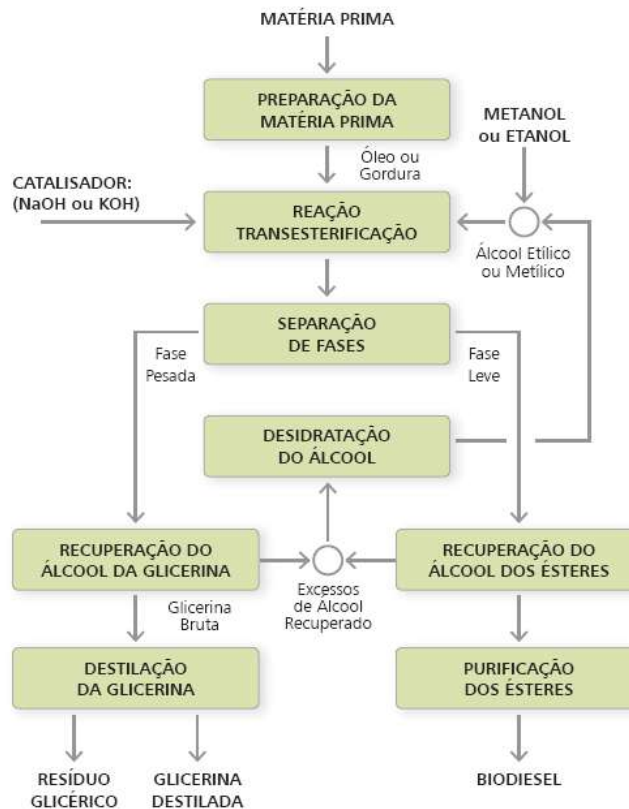


Figura 7 - Processo de produção de biodiesel via transesterificação.
Fonte: Parente, 2003.

A preparação da matéria-prima tem a função de adequá-la às condições aceitáveis para a reação a fim de que o processo de transesterificação tenha a máxima taxa de conversão que depende da matéria-prima, do catalisador e da razão álcool/óleo utilizados. Parâmetros como acidez e umidade são ajustados nesta etapa para evitar a reação de saponificação, a qual diminui a eficiência da reação de interesse. (Encarnação, 2007)

Após a adequação da matéria-prima, o óleo vegetal é adicionado ao álcool. Deve ser utilizado um excesso de álcool e a proporção entre álcool e óleo necessária é 3:1. Normalmente, neste tipo de processo são utilizados metanol

ou etanol como agente esterificante, principalmente o metanol devido ao baixo custo e suas propriedades físico-químicas. (Ma & Hanna, 1999) Porém atualmente tem-se estudado muito a utilização do etanol na produção de biodiesel principalmente devido sua origem renovável. A tabela 4 mostra as diferenças entre o metanol e etanol tanto em relação às suas características quanto às suas diferenças no processo.

Tabela 4 - Diferenças entre etanol e metanol

Características	Metanol	Etanol
Origem	Petroquímica	cana-de-açúcar
Oferta	Importado	Nacional
Fonte	Não-renovável	Renovável
Volatilidade	Alta	Moderada
Chama	Invisível	Visível
Custo	R\$ 700/ton	R\$ 950/ton
Cetano de éster	53	64
Toxicidade	Elevada	Moderada
Kg de álcool consumido/1000L de biodiesel	90	130
Temperatura de Reação (°C)	60	85
Tempo de reação (min)	45	90
Azeotropia	Não-azeótropo	Azeótropo
Glicerina total (%)	0,87	1,40

Fonte: Parente, 2003

Como podemos verificar na tabela 4, embora os fatores de processo indiquem o metanol como melhor álcool para a produção do biodiesel, este produto é mais tóxico e perigoso do que o etanol. Esses fatores favorecem fortemente o uso do etanol. No Brasil, há outro fator relevante, visto que temos uma agricultura que propicia a produção de cana-de-açúcar e, portanto, há tendência de substituir o metanol por etanol no processo.

O catalisador é adicionado simultaneamente e podem ser utilizados catalisadores ácidos ou alcalinos. Os mais utilizados são os catalisadores alcalinos devido ao maior rendimento, rapidez e seletividade. A transesterificação alcalina é cerca de 4000 vezes mais rápida do que a ácida. Mas neste caso, os triglicerídeos e o álcool devem ser anidros, pois a presença de água induz a reação de saponificação, o que reduz a ação catalítica e aumenta a viscosidade prejudicando a etapa de separação. Embora as taxas de conversão da transesterificação alcalina sejam maiores, a mesma apresenta alto gasto energético, a recuperação do glicerol é mais difícil e uma etapa de recuperação de catalisador é necessária. Embora a catálise ácida seja mais lenta, ela é indicada caso haja presença de água como óleos residuais de frituras. (Salvador et al., 2009)

A reação produz duas fases: a mais pesada é a glicerina e a mais leve é o biodiesel e ambas estão impregnadas com álcool (devido ao excesso na etapa anterior). As fases são separadas por decantação e o álcool é recuperado e reciclado para o processo. As fases seguem, então, para a etapa de purificação.

A purificação dos ésteres é feita através de lavagem e desumidificação para retirar qualquer substância que possa estar presente. A purificação da glicerina pode ser feita pela neutralização do catalisador ainda presente e seguida decantação ou centrifugação.

3.3.2 Craqueamento térmico (Pirólise)

A pirólise é a conversão de uma substância em outra através de calor ou pelo calor com adição de um catalisador. Portanto, na produção de biodiesel, as

moléculas dos triglicerídeos formadores das gorduras e óleos dividem-se em moléculas menores devido ao aquecimento. (Ma & Hanna, 1999)

O princípio da reação de craqueamento é que a energia de agitação das moléculas, que é dependente da temperatura, seja superior a energia potencial das ligações de unem a molécula. As moléculas menores produzidas são moléculas orgânicas combustíveis e o comprimento de suas cadeias depende do tipo de triglicerídeo utilizado. (Rodrigues, 2007)

A tabela 5 mostra os dados de composição do produto de pirólise do óleo de soja em dois tipos de ambiente, um rico em N₂ (inerte) e o outro composto de ar. (Ma & Hanna, 1999)

Tabela 5 - Composição da pirólise do óleo de soja

Compostos	Óleo de soja (% em massa)	
	N ₂	Ar
Alcanos	31,1	29,9
Alcenos	28,3	24,9
Alcadienos	9,4	10,9
Aromáticos	2,3	1,9
Insaturados (pesados)	5,5	5,1
Ácidos Carboxílicos	12,2	9,6
Não identificados	10,9	12,6

Fonte: Ma & Hanna, 1999

Para melhor interpretação, a Figura 8 mostra os produtos da reação de craqueamento em triglicerídeos.

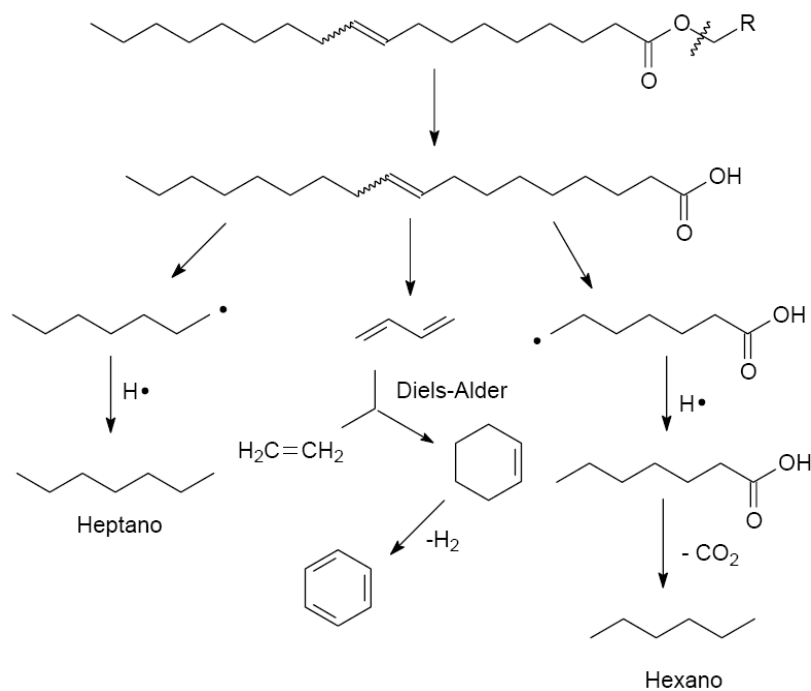


Figura 8 - Produtos da reação de craqueamento em triglicerídeos.
 Fonte: Rodrigues, 2007

O processo de craqueamento pode ser auxiliado por um catalisador para a quebra das ligações químicas. Catalisadores típicos para serem empregados na pirólise são o óxido de silício (SiO_2) e o óxido de alumínio (Al_2O_3).

A matéria-prima é, então, submetida a uma temperatura de 450°C , decompondo termicamente os triglicerídeos, como demonstrado na Figura 8. O rendimento médio da reação de craqueamento é cerca de 60% e o produto resultante se assemelha a um combustível (diesel) composto por ésteres etílicos ou metílicos de ácidos graxos e frações de alcanos e acenos. (Salvador et al., 2009)

A torre de fracionamento separa os compostos em 4 frações com diferentes temperaturas: menor ou igual a 80°C , de $80 - 140^\circ\text{C}$, de $140 - 220^\circ\text{C}$ e maior que 220°C , sendo a última a fornecedora do biodiesel. A Figura 9 mostra a torre de fracionamento para o processo de craqueamento. (Santos, 2006)

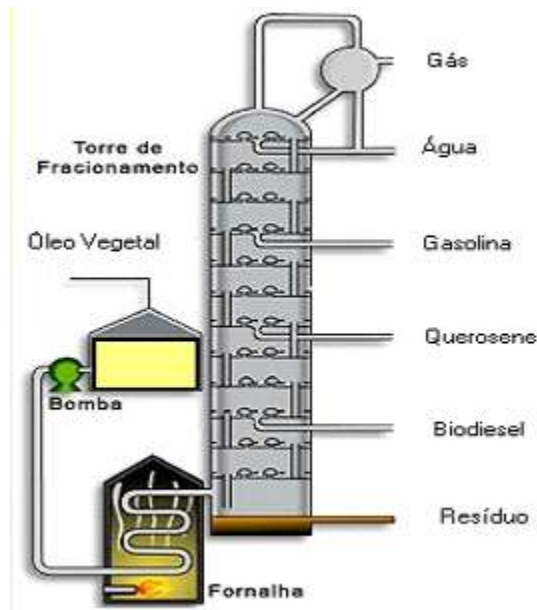


Figura 9 - Torre de fracionamento utilizada no processo de craqueamento. Fonte: Santos, 2006.

Apesar do processo de craqueamento ser interessante para a produção de biocombustíveis, esse processo é caro devido ao custo dos equipamentos e da planta. (Encarnação, 2007)

Embora seja caro, o processo de craqueamento é recomendado pois não há a necessidade de álcool anidro e catalisadores e, também, possui um simples processo de separação e purificação. (Santos, 2006)

3.3.3 Outros Processos

Existem ainda outros processos importantes e ainda em estudo. Entre eles podemos citar a transesterificação em meio supercrítico que é uma transesterificação realizada em níveis de acima dos críticos de pressão e temperatura do álcool. Ainda se encontra em estudo, mas preliminarmente sabe-se que este processo apresenta altos rendimento, tempo de reação reduzido e menor complexidade na etapa de purificação. (Encarnação, 2007)

A esterificação é outro processo de obtenção de biodiesel e consiste na reação de um ácido graxo e um álcool tendo a água como subproduto. A diferença do processo de transesterificação é a utilização de ácidos graxos ao invés de triglicerídeo e neste caso podem-se utilizar matérias-primas com valor agregado baixo. (Encarnação, 2007)

Uma alternativa a transesterificação química é a utilização de um catalisador bioquímico e esse processo é denominado transesterificação enzimática que apresenta menor produção de contaminantes, maior seletividade e reaproveitamento, porém apresenta alto custo devido ao preço da enzima. (Encarnação, 2007)

A hidroesterificação é uma técnica ainda em estudo no país e permite que seja utilizado qualquer matéria prima graxa e não necessita de rigorosos tratamentos da matéria-prima. A hidrólise é uma reação entre a gordura ou o óleo e água produzindo glicerina e ácidos graxos. Ocorre em seguida uma reação de esterificação, ou seja, entre os ácidos graxos e o álcool produzindo biodiesel e água. (Encarnação, 2007)

3.3.4 Transesterificação utilizando grãos

Nos processos apresentados, as reações utilizam como matéria-prima o óleo extraído de origem animal ou vegetal e matéria graxa. No processo utilizando grãos, os mesmos são utilizados diretamente como matéria-prima para a produção de biodiesel. Com isso, a etapa de extração do óleo vegetal não acontece. O tipo de grão utilizado no processo deve ser uma semente rica em triglicerídeo, como por exemplo, a mamona. A reação para a produção do biocombustível é uma transesterificação alcalina. (Khalil & Leite, 2006)

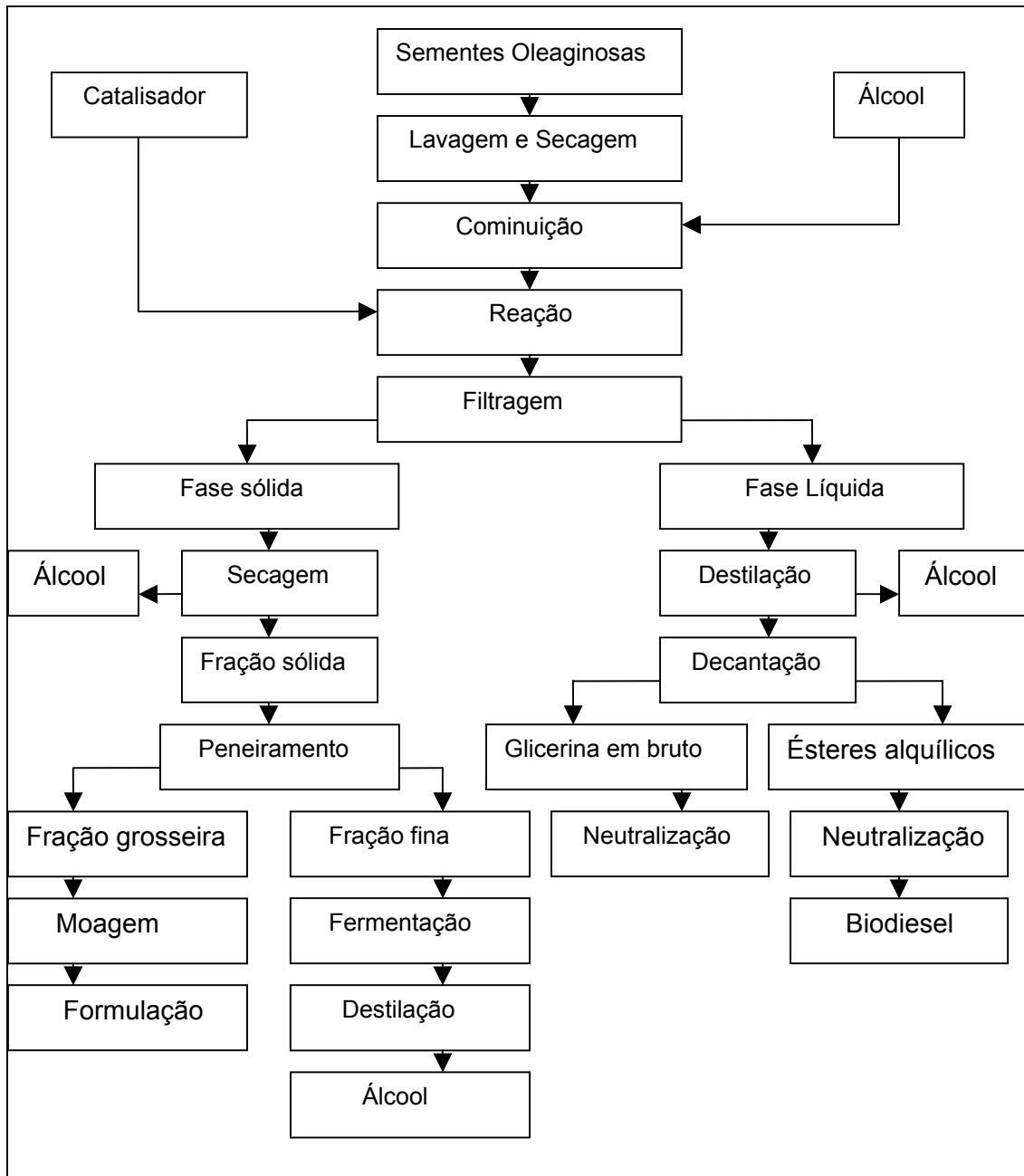


Figura 10 - Fluxograma do processo de transesterificação via grãos. Fonte: Khalil & Leite, 2006.

DESCRIÇÃO DO PROCESSO:

A semente rica em triglicerídeos utilizada deve ter um teor entre 15 a 70 % (em peso) de óleo vegetal. As sementes são levadas para um reator onde são acrescentados metanol ou etanol anidro. A proporção entre álcool e semente é função do tipo de semente. Para a semente de mamona, objeto do estudo, a

proporção deve estar entre 1,5:1 a 0,5:1. A semente é então cominuída no reator em contato com o álcool e é adicionado o catalisador do processo, que neste caso é um catalisador alcalino. Por exemplo, podem ser utilizados hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio ou uma solução alcoólica das mesmas. A faixa de temperatura do processo deve estar entre 30°C e 78 °C. A melhor faixa para a reação é 45-55 °C. A reação se dá sob refluxo, com agitação constante e pode ser conduzida até ser obtida 98-100% de conversão. (Khalil & Leite, 2006)

Depois de atingida a conversão, os produtos seguem para a etapa de filtração que consiste na separação da fase sólida (semente cominuída) e a fase líquida (produto, subproduto e excesso de reagente). A fase líquida é encaminhada para uma destilação onde o álcool em excesso é retirado. O restante da fase líquida, que é formada de duas fases, é encaminhada para um decantador e similarmente ao processo utilizando óleo, a fase leve é o biodiesel e a fase pesada é a glicerina. Após a decantação, as fases são separadas e neutralizadas. O resíduo sólido sofre uma extração do álcool impregnado através de filtração. O álcool pode ser reutilizado para o processo. A fração sólida pode ser separada por sistemas de peneiras. A fração fina após tratamento adequado serve para ração animal e a fração grossa pode ser utilizada como adubo. (Khalil & Leite, 2006)

Capítulo 4: Materiais e métodos

4.1 Premissas

Para este trabalho foi estudada uma planta com capacidade de produção de 100 mil toneladas de biodiesel por ano, visto que este é um padrão para as usinas em operação. O volume de produção foi sendo aumentado mensalmente, com operação inicial em 50% de sua capacidade total. Para alcançar sua total capacidade operacional, foram feitos incrementos de 5% a cada mês. Desta forma, a capacidade total é atingida em 11 meses, como mostra a tabela 6.

Tabela 6 – Premissa para a planta atingir a capacidade total.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Capacidade de produção	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	100%

Fonte: Elaboração própria

Para os cálculos de custos, receitas e fluxo de caixa do primeiro ano de operação será considerada a média do volume produzido neste período, que é de 77,08%.

O expediente de produção considerado foi de 24 horas por dia durante 330 dias por ano, totalizando 7920 horas de operação por ano. A densidade do biodiesel foi considerada 0,875 g/mL (Encarnação,2007).

4.2 Investimentos

Investimento é o recurso destinado à implantação da infra-estrutura produtiva e sua operação. Tal recurso é calculado pelo somatório dos gastos em investimento fixo, custos de partida e capital de giro.

4.2.1 Investimentos Fixos

São os gastos necessários para construção e operação da planta. O investimento fixo representa o capital requerido para a implementação da planta desde a aquisição até a instalação de todos os equipamentos, incluindo as unidades auxiliares.

Para o presente estudo, o investimento fixo será considerado similar ao proposto por Encarnação (2007) para um processo de transesterificação a partir de óleo vegetal. O valor utilizado é de 44 milhões de reais para uma planta com capacidade de produção de 100 mil toneladas de biodiesel por ano. Neste valor foram inclusos os custos da planta de pré-tratamento, fábrica, laboratório, equipamentos de incêndio, tanques e caldeiras, bem como custo do projeto e obras civis e instalações.

A planta em estudo neste trabalho não possui a etapa de pré-tratamento, já que a reação de transesterificação acontece diretamente com a semente. Em contra partida, existe uma etapa de filtração para separação dos resíduos sólidos e da glicerina e biodiesel.

A tabela 7 detalha os investimentos fixos da planta.

Tabela 7 – Investimento fixo da planta

Investimento fixo	Valor (mil R\$)
Máquinas e equipamentos	38536
Planta	31543
Tanques	4630
Bombas	110
Utilidades	1445
Laboratório	506
Sistema de combate à incêndio	302
Imóveis	4884
Obras civis	3854
Instalações	1030
Estudos e projetos	905
Engenharia e projeto	905
Total	44325

Fonte: Encarnação, 2007

4.2.2 Custos de partida da planta

Para a partida da planta, serão considerados os custos de aquisição de matéria-prima, utilidades e insumos para início da produção, durante os trinta primeiros dias de operação. Durante este período, não será considerado o reciclo do álcool etílico. Após este período, será necessária a aquisição de apenas 10% do álcool utilizado no processo, devido ao reciclo.

4.2.3 Capital de giro

Capital de giro é o recurso necessário para conduzir diariamente os negócios de uma empresa. Estes recursos são necessários para compra de matéria-prima, utilidades, etc. É continuamente liquidado e volta através da venda de produtos e serviços. Se uma quantidade adequada de capital de giro é disponibilizada, a empresa tem a flexibilidade necessária para cobrir gastos com manutenção, atrasos, etc. Existem vários métodos para estimar o capital de giro. Neste trabalho será utilizado o método proposto por Chauvel, que considera que o capital de giro é igual a duas vezes o custo de partida da planta.

4.3 Custos operacionais

São os custos relacionados à operação da planta. São os gastos com pessoal, matéria-prima, insumos, depreciação e utilidades.

4.3.1 Custos variáveis

Os custos variáveis são os gastos proporcionais à quantidade de produto fabricada. Compreende a matéria-prima, insumos e utilidades.

Os dados de consumo de matéria-prima foram baseados na patente de Khalil e Leite (2006), os quais desenvolveram o processo em análise.

A matéria-prima para a produção do biodiesel será a mamona. Sua cotação atual é de R\$ 0,6675/kg. Este valor foi obtido na CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) em 31 de julho de 2009.

Outra matéria-prima para a produção é o álcool. O álcool utilizado é o etanol, cujo preço foi obtido junto ao fornecedor Sabarálcool, através de seu site, no dia 10 de setembro de 2009. Seu valor é R\$ 0,86/l.

Este processo ainda consome hidróxido de sódio como catalisador da reação. O valor do hidróxido de sódio foi obtido junto à fornecedora Sumatex, através de contato via e-mail em 17 de setembro de 2009. Seu valor é de R\$ 3,00/kg.

A tabela 8 mostra os preços e consumos das matérias-primas e insumo, considerando o pleno funcionamento da planta com o reciclo de álcool.

Tabela 8 - Preços e consumos de matérias primas e insumos

Matéria prima	Preço (R\$/t)	Consumo (t/ano)
Mamona	667,5	198019,8
Etanol	1089,6	15841,6
Insumo		
NaOH	3000	7920,8

Fonte: Elaboração própria

Os custos e consumos de utilidades seguiram o modelo apresentado trabalho de Encarnação (2007). As utilidades são: água de processo, água de resfriamento, energia elétrica, vapor de 15 Kgf/cm², ar de instrumento e nitrogênio líquido. Água de processo é utilizada para geração de vapor nas caldeiras para aquecimento de correntes. O nitrogênio líquido é usado para inertização de vasos e colunas. O ar é utilizado em bombas e válvulas.

A tabela 9 mostra os preços e quantidades das utilidades do processo.

Tabela 9 - Preços e consumos de utilidades

Utilidade	Preço	Consumo
Água de processo	R\$ 3,24/t	5380 t/ano
Água de resfriamento	R\$ 1,04/t	140 t/ano
Energia elétrica 60Hz	R\$ 0,25/kWh	2150 kWh/ano
Vapor de 15Kgf/cm ²	R\$ 87,51/t	40908 t/ano
Ar de instrumento	R\$ 0,109/Nm ³ h	1049 Nm ³ h/ano
Nitrogênio	R\$ 2,907/m ³	500000m ³ /ano

Fonte: Encarnação, 2007

4.3.2 Custos fixos

Os custos fixos independem do nível de produção. Dentre os custos fixos, estão os gastos com pessoal e a depreciação.

Para a operação da planta, considerou-se como mão-de-obra 1 diretor, 2 engenheiros, 8 analistas administrativos e 20 operadores. Estes operadores trabalham divididos em 5 grupos com 4 operadores cada, que revezam em 3 turnos de 8 horas . Serão considerados 13 salários por ano (12 salários e 13^o) (Encarnação 2007)

Estes gastos são mostrados na tabela 10.

Tabela 10 - Gastos com pessoal

Cargo	Número de funcionários	Salário por funcionário (R\$/mês)	Salário anual
Diretor	1	18000	234000
Engenheiro	2	7200	187200
Funcionário Administrativo	8	1800	187200
Operador	20	2700	807300
Total			1310400

Fonte: Elaboração própria

A depreciação foi considerada linear ao longo do tempo. Desta forma, para a operação de 10 anos, a depreciação será igual ao investimento inicial dividido por dez, ou seja, R\$4.432.500,00 por ano.

4.4 Receitas

A receita será calculada a partir dos preços e quantidades de biodiesel e glicerina produzidas. O preço de venda do biodiesel foi baseado nos leilões realizados pela ANP, citados no capítulo 2. A média de preço de todos os leilões da ANP foi de R\$ 2197,63 por m³, ou R\$ 2,198 por litro.

O preço da glicerina foi obtido através do site BiodieselBr e seu valor médio é de R\$ 1,65 por quilograma.

4.5 Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa será calculado da seguinte forma:

$$Fc = Entradas - Saídas$$

As entradas são formadas pelas receitas da venda do biodiesel e da glicerina. As saídas serão os gastos com pessoal, compra de matéria-prima, insumos e utilidades do processo, depreciação e imposto de renda. Serão considerados 10 anos de horizonte de planejamento, sendo todo o investimento realizado no ano zero.

4.6 Indicadores de Avaliação Econômica

O cálculo de indicadores econômicos permite analisar a viabilidade de um determinado projeto. Para este trabalho foram calculados os indicadores Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

Os métodos tradicionais de avaliação econômica da viabilidade de um empreendimento requerem a estimativa do investimento total, dos custos operacionais e do preço de venda dos produtos. A partir destas informações, é possível a construção do fluxo de caixa do projeto, considerando um determinado horizonte de planejamento. A avaliação de viabilidade econômica considera, desta forma, os dados contidos no fluxo de caixa.

O valor presente líquido (VPL) é obtido do fluxo de caixa do projeto quando se utiliza a taxa de desconto, que representa o custo médio ponderado de capital da empresa.

O VPL corresponde então à soma algébrica dos valores do fluxo de um projeto, atualizado à taxa ou taxas adequadas de desconto. Um projeto será viável se apresentar um VPL positivo e, na escolha entre projetos alternativos, a melhor opção será o que apresentar maior valor de VPL positivo. A determinação desse valor é dada pela fórmula:

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Fc_t}{(1+i)^t}$$

Onde I_0 é o investimento fixo, Fc_t é o fluxo de caixa do tempo t e i é a taxa de juros.

Já a taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de desconto do fluxo de caixa que torna o valor presente nulo. Dessa forma, representa a taxa de juros que nivela as receitas futuras aos custos investimento. Pode ser, portanto, matematicamente expressa da seguinte forma:

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Fc_t}{(1+i)^t} = 0$$

Para que um projeto seja economicamente viável a TIR deve apresentar um valor maior que a taxa de juros prevalecente. Esta taxa é definida pela própria empresa que fixa um valor mínimo, a chamada Taxa Mínima de Atratividade.

No presente trabalho, considerou-se como taxa mínima de atratividade um valor de 15%, o qual é utilizado como valor de referência em diferentes estudos de pré-viabilidade.

4.7 Análise de Sensibilidade

Sempre que um estudo de viabilidade econômica é preparado, as vendas, investimentos capitais e gastos operacionais são estimados e, portanto, existe um grau de incerteza. A análise de sensibilidade é utilizada para determinar o efeito da mudança de valores de variáveis, pertinentes ao projeto, na rentabilidade final de mesmo. Além disso, a análise indica quais são as variáveis mais significativas, ou críticas, permitindo um estudo mais profundo do projeto.

A análise é feita manipulando uma variável apenas, mantendo todas as outras fixas, e observa-se o efeito desta alteração sobre o VPL.

As variáveis críticas de um projeto são aquelas onde uma pequena mudança de seu valor acarreta em uma variação significativa nos resultados da avaliação econômica. Para este estudo, serão analisados os preços da matéria-prima (mamona), catalisador (NaOH), preço de biodiesel e glicerina e investimento fixo.

Além de indicar quais são as variáveis críticas, a análise de sensibilidade permite conhecer o valor limite destas variáveis, que tornam o VPL igual a zero. Acima deste valor limite, o projeto se torna inviável.

Capítulo 5: Resultados e Discussões

5.1 Indicadores Econômicos

Primeiramente, foi construído o fluxo de caixa para 10 anos de operação. Para o cálculo do fluxo de caixa do ano zero (ano de implantação da usina), foram considerados os investimentos fixos, capital de giro e custo de partida, referente a cinco dias de operação. Estes custos são mostrados nas tabelas 11 e 12 a seguir:

Tabela 11: Investimentos fixos

Investimentos Fixos	
Investimento fixo	Custo (mil R\$)
Máquinas e equipamentos	38536,00
Planta	31543,00
Tanques	4630,00
Bombas	110,00
Utilidades	1445,00
Laboratório	506,00
Sistema de combate à incêndio	302,00
Imóveis	4884,00
Obras civis	3854,00
Instalações	1030,00
Estudos e projetos	905,00
Engenharia e projeto	905,00
Total	44325,00

Fonte: Elaboração própria

Tabela 12: Custo de partida da planta

Custo de partida			
Primeiros 5 dias de operação			
Matéria prima	Preço (R\$/t)	Consumo	custo
Mamona	R\$ 667,50	3.000,30	R\$ 2.002.700,27
Etanol	R\$ 1.089,57	2.400,24	R\$ 2.615.236,82
Insumo	Preço (R\$/t)	Consumo (t/ano)	
NaOH	R\$ 3.000,00	120,01	R\$ 360.036,00
Utilidade	Preço	Consumo	
Água de processo	R\$ 3,24	81,52	R\$ 264,11
Água de resfriamento	R\$ 1,04	2,12	R\$ 2,21
Energia elétrica 60Hz	R\$ 0,25	32,58	R\$ 8,14
Vapor de 15Kgf/cm2	R\$ 87,51	619,82	R\$ 54.240,29
Ar de instrumento	R\$ 0,11	15,89	R\$ 1,73
Nitrogênio	R\$ 2,91	7.575,76	R\$ 22.022,73
Custo de partida total			R\$ 5.054.512,30

Fonte: Elaboração própria

O capital de giro é de R\$10.109.024,60.

Para o primeiro ano de operação da planta foram considerados a receita, o custo variável de 325 dias, custo fixo e depreciação. Para o primeiro ano, foi considerado que a planta operou com 77,08% de sua capacidade, como mostrado no capítulo 4. Os custos de 325 dias de operação, custo fixo, depreciação e capital de giro e receitas são mostrados nas tabelas 13, 14, 15.

Tabela 13: Custo variável do restante do primeiro ano de operação

Custo variável dos 325 dias restantes			
Matéria prima	Preço (R\$/t)	Consumo (t/ano)	Custo total
Mamona	R\$ 667,50	195019,50	R\$ 130.175.517,55
Etanol	R\$ 1.089,57	15601,56	R\$ 16.999.039,32
Insumo	Preço (R\$/t)	Consumo (t/ano)	
NaOH	R\$ 3.000,00	7800,78	R\$ 23.402.340,23
Custo de insumos e matéria-prima			170576897,10
Utilidade	Preço	Consumo	Custo total
Água de processo	R\$ 3,24	5298,48	R\$ 17.167,09
Água de resfriamento	R\$ 1,04	137,88	R\$ 143,39
Energia elétrica 60Hz	R\$ 0,25	2117,42	R\$ 529,36
Vapor de 15Kgf/cm2	R\$ 87,51	40288,18	R\$ 3.525.618,79
Ar de instrumento	R\$ 0,11	1033,11	R\$ 112,61
Nitrogênio	R\$ 2,91	492424,24	R\$ 1.431.477,27
Custo de utilidades total			R\$ 4.975.048,51
Custo Total			R\$ 175.551.945,62

* Considerou-se que a partida da planta será realizada nos primeiros cinco dias do ano 1.

Fonte: Elaboração própria

Tabela 14: Custo fixo desembolsável

Custo Fixo	
Tipo de Custo	Custo Total
Salários	R\$ 728.000,00
Total	R\$ 728.000,00

Fonte: Elaboração própria

Tabela 15: Receitas

Receitas			
Produto	Preço	produção	receita
Biodiesel	R\$ 2,20	114285714,29	R\$ 251.428.571,43
Glicerina	R\$ 1,65	10891089,11	R\$ 17.970.297,03
Receita Total			R\$ 269.398.868,46

Fonte: Elaboração própria

A depreciação é de R\$4.432.500,00 por ano.

Logo, o cálculo do fluxo de caixa antes do imposto de renda para o 1º ano foi feito da seguinte forma:

$$\text{Fluxo de Caixa} = (\text{Receitas} - \text{Custos Variáveis de 325 Dias}) * 0,7708 - \text{Custo Fixo Desembolsável}.$$

O fator 0,7708 é referente à operação de 77,08% da capacidade. Como nos custos fixos só foram considerados os salários, não houve a necessidade de correção.

É importante lembrar que nos custos de partida, considerou-se que foi adquirida a quantidade total de álcool etílico para a reação, sem considerar o reciclo de 90%. A partir de 5 dias de operação, o reciclo passou a ser considerado, logo a quantidade de álcool a ser adquirida junto ao fornecedor é apenas 10% da total.

Após o primeiro ano de operação, considerou-se que a planta operaria com capacidade máxima. Para os Fluxos de Caixa dos nove anos seguintes, considerou-se os dados das tabelas 16, 17 e 18 a seguir:

Tabela 16: Custo variável de 330 dias de operação

Custo Variável de 330 dias (ano)			
Matéria prima	Preço (R\$/t)	Consumo (t/ano)	Custo total
Mamona	R\$ 667,50	198019,80	R\$ 132.178.217,82
Etanol	R\$ 1.089,57	15841,58	R\$ 17.260.563,00
Insumo	Preço (R\$/t)	Consumo (t/ano)	
NaOH	R\$ 3.000,00	7920,79	R\$ 23.762.376,24
Custo de insumos e matéria prima			173201157,06
Utilidade	Preço	Consumo	Custo total
Água de processo	R\$ 3,24	5380,00	R\$ 17.431,20
Água de resfriamento	R\$ 1,04	140,00	R\$ 145,60
Energia elétrica 60Hz	R\$ 0,25	2150,00	R\$ 537,50
Vapor de 15Kgf/cm2	R\$ 87,51	40908,00	R\$ 3.579.859,08
Ar de instrumento	R\$ 0,11	1049,00	R\$ 114,34
Nitrogênio	R\$ 2,91	500000,00	R\$ 1.453.500,00
Custo de utilidades			R\$ 5.051.587,72
Custo Total			R\$ 178.252.744,78

Fonte: Elaboração própria

Tabela 17: Custo fixo desembolsável

Custo Fixo	
Tipo de Custo	Custo Total
Salários	R\$ 1.310.400,00
Total	R\$ 1.310.400,00

Fonte: Elaboração própria

Tabela 18: Receitas

Receitas			
Produto	Preço (R\$/L)	Produção (L)	Receita (R\$)
Biodiesel	R\$ 2,20	114285714,29	R\$ 251.428.571,43
Glicerina	R\$ 1,65	10891089,11	R\$ 17.970.297,03
Receita Total			R\$ 269.398.868,46

Fonte: Elaboração própria

O cálculo do fluxo de caixa antes do imposto de renda foi realizado da seguinte forma:

$$\text{Fluxo de Caixa antes do IR} = \text{Receitas} - \text{Custo Fixo} - \text{Custo Variável}$$

Não foram considerados impostos específicos que incidem sobre os produtos (PIS, COFINS, etc), apenas o imposto de renda com uma taxa de 34,38% sobre o lucro tributável. O lucro tributável foi calculado abatendo a depreciação do fluxo de caixa antes do IR. O fluxo de caixa final foi calculado subtraindo-se o valor referente ao imposto de renda do fluxo de caixa antes do IR.

A tabela 19 a seguir mostra os fluxos de caixa dos 10 anos de operação:

Tabela 19: Fluxo de caixa durante 10 anos de operação

Fluxo de Caixa	
Ano 0	R\$ 59.515.536,90
Ano 1	R\$ 45.495.585,57
Ano 2	R\$ 57.093.162,90
Ano 3	R\$ 57.093.162,90
Ano 4	R\$ 57.093.162,90
Ano 5	R\$ 57.093.162,90
Ano 6	R\$ 57.093.162,90
Ano 7	R\$ 57.093.162,90
Ano 8	R\$ 57.093.162,90
Ano 9	R\$ 57.093.162,90
Ano 10	R\$ 63.326.387,47

5.1.1 Valor Presente Líquido

Para cálculo do valor presente líquido foi utilizada a seguinte equação:

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Fc_t}{(1+i)^t}$$

Onde I_0 é o investimento fixo, Fc_t é o fluxo de caixa do ano t e i é a taxa de juros. Para este trabalho foi adotada uma taxa de juros de 15% ao ano. Após o cálculo, o VPL resultou em R\$ 218.477.754,74.

A partir do valor do VPL, pode-se concluir que o investimento é viável considerando o horizonte de 10 anos, pois apresenta um valor presente líquido positivo.

5.1.2 Taxa Interna de Retorno

A taxa interna de retorno (TIR) foi calculada fazendo o VPL igual a zero, ou seja:

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Fc_t}{(1+i)^t} = 0$$

Após o cálculo, a TIR resultou em 86,71%, que pode ser considerada uma taxa muito atrativa.

5.2 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade é realizada fixando-se todos as variáveis e alterando-se o valor de apenas uma. Para este estudo, foram alterados os valores dos preços de venda do biodiesel e da glicerina e os valores de aquisição de mamona e hidróxido de sódio. A alteração dos valores foram feitas sempre de 5%, 10% e 15% para menos e para mais, mostrando cenários otimistas e pessimistas. Para o valor do investimento fixo, as variações foram de 10%, 25%, 50%, 75% e 100%.

5.2.1 Biodiesel

O preço de venda do biodiesel foi considerado de R\$ 2,20 por litro.

Após considerar as variações de preço, foram calculados novos valores de VPL, que estão mostrados na tabela 20 a seguir.

Tabela 20: VPL e TIR para variações no preço do biodiesel

Biodiesel			
Variação	Preço	VPL	TIR
-15%	R\$ 1,87	R\$ 108.226.977,88	53,10%
-10%	R\$ 1,98	R\$ 145.585.261,78	64,77%
-5%	R\$ 2,09	R\$ 182.943.545,68	76,15%
0%	R\$ 2,20	R\$ 220.301.829,57	87,32%
5%	R\$ 2,31	R\$ 257.660.113,47	98,35%
10%	R\$ 2,42	R\$ 295.018.397,37	109,27%
15%	R\$ 2,53	R\$ 332.376.681,27	120,09%

Como pode ser observado, a variação do preço de venda do biodiesel afeta significativamente o VPL e a TIR do investimento. Este resultado indica que o preço de venda do biodiesel é uma das variáveis críticas do processo. Mesmo na pior situação, queda de 15% no preço de venda, o investimento continuaria viável.

5.2.2 Glicerina

O preço de venda da glicerina foi de R\$1,65 por quilograma. A tabela 21 mostra o VPL e a TIR calculados após as variações no preço de venda.

Tabela 21: VPL e TIR para variações no preço da glicerina

Glicerina			
Variação	Preço	VPL	TIR
-15%	R\$ 1,40	R\$ 212.210.617,10	84,92%
-10%	R\$ 1,49	R\$ 215.123.453,59	85,78%
-5%	R\$ 1,57	R\$ 217.712.641,58	86,55%
0%	R\$ 1,65	R\$ 220.301.829,57	87,32%
5%	R\$ 1,73	R\$ 222.891.017,57	88,09%
10%	R\$ 1,82	R\$ 225.803.854,06	88,96%
15%	R\$ 1,90	R\$ 228.393.042,05	89,72%

Analisando a tabela 21, pode-se concluir que o preço de venda da glicerina pouco afeta o VPL e a TIR do investimento, mantendo os indicadores próximos dos valores iniciais.

5.2.3 Mamona

Agora a análise é feita variando-se o preço de aquisição da mamona. Seu valor original era de R\$667,50 por tonelada. A tabela 22 mostra os novos valores de VPL e TIR para as variações em seu preço de aquisição.

Tabela 22: VPL e TIR para variações no preço da mamona

Mamona			
Variação	Preço	VPL	TIR
-15%	R\$ 567,38	R\$ 279.903.082,17	106,07%
-10%	R\$ 600,75	R\$ 260.037.982,30	99,80%
-5%	R\$ 634,13	R\$ 240.166.929,45	93,55%
0%	R\$ 667,50	R\$ 220.301.829,57	87,32%
5%	R\$ 700,88	R\$ 200.430.776,72	81,11%
10%	R\$ 734,25	R\$ 180.565.676,85	74,90%
15%	R\$ 767,63	R\$ 160.694.624,00	68,69%

Observando a tabela, conclui-se que a rentabilidade do processo é bastante sensível a variações no preço de aquisição da mamona, mas mesmo na pior situação, com aumento de 15%, ainda continuaria viável.

5.2.4 Hidróxido de Sódio

O valor inicial do NaOH foi de R\$3.000,00 por tonelada. Após as variações e cálculo dos novos VPL e TIR, tem-se a seguinte tabela:

Tabela 23: VPL e TIR para variações no preço do hidróxido de sódio

NaOH			
Variação	Preço	VPL	TIR
-15%	R\$ 2.550,00	R\$ 231.017.196,60	90,68%
-10%	R\$ 2.700,00	R\$ 227.445.407,59	89,56%
-5%	R\$ 2.850,00	R\$ 223.873.618,58	88,44%
0%	R\$ 3.000,00	R\$ 220.301.829,57	87,32%
5%	R\$ 3.150,00	R\$ 216.730.040,57	86,21%
10%	R\$ 3.300,00	R\$ 213.158.251,56	85,09%
15%	R\$ 3.450,00	R\$ 209.586.462,55	83,97%

Observa-se que as variações no preço de aquisição de NaOH não afetam muito o VPL e a TIR, fazendo o processo pouco sensível a mudanças nesta variável.

5.2.5 Investimento Fixo

O custo do Investimento Fixo foi de R\$ 44.352.000,00. Após as variações neste valor, obtem-se a seguinte tabela:

Tabela 24: VPL e TIR para variações no custo de investimento fixo

Investimento Fixo			
Variação	Custo	VPL	TIR
-15%	R\$ 37.699.200,00	R\$ 225.652.695,86	97,27%
-10%	R\$ 39.916.800,00	R\$ 223.861.805,54	93,69%
-5%	R\$ 42.134.400,00	R\$ 222.070.915,22	90,37%
0%	R\$ 44.352.000,00	R\$ 220.301.829,57	87,32%
5%	R\$ 46.569.600,00	R\$ 218.489.134,58	84,42%
10%	R\$ 48.787.200,00	R\$ 216.698.244,27	81,74%
15%	R\$ 51.004.800,00	R\$ 214.907.353,95	79,23%

Pode-se observar que as variações no valor do investimento fixo alteraram pouco o VPL, mas causaram variações na TIR de cerca de 20 pontos percentuais. Este resultado não faz o investimento tornar-se inviável.

5.3 Resultados

A figura 11 reúne os resultados de todos os valores de VPL obtidos:

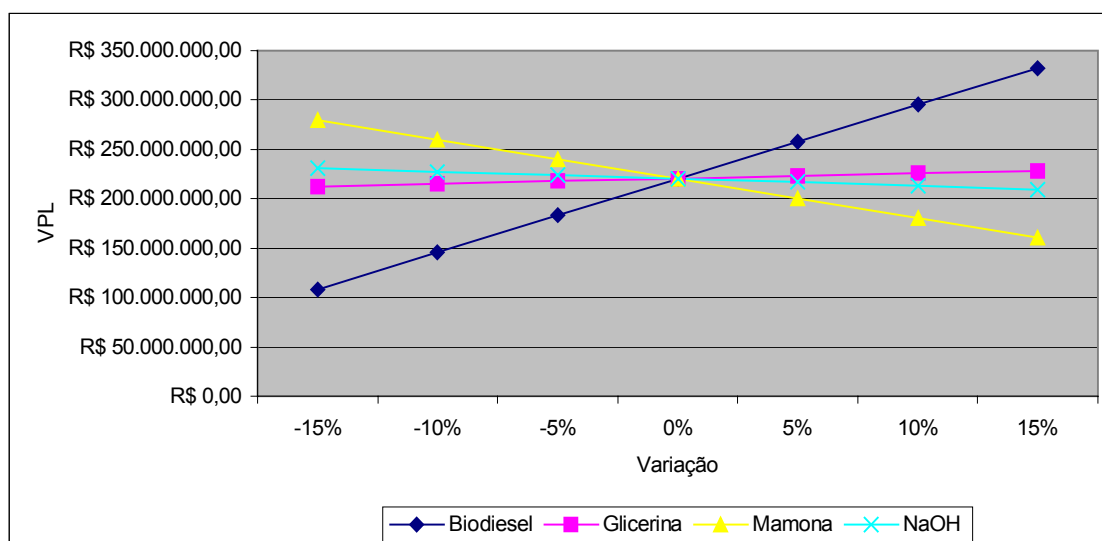


Figura 11: Resultado do VPL na análise de sensibilidade

Através da figura 11 é possível concluir que o investimento é mais sensível a variações no preço de venda do biodiesel e custo de aquisição da mamona. Os outros parâmetros analisados mostraram-se pouco influentes no VPL do investimento.

A figura 12 mostra os resultados da TIR para as análises realizadas.

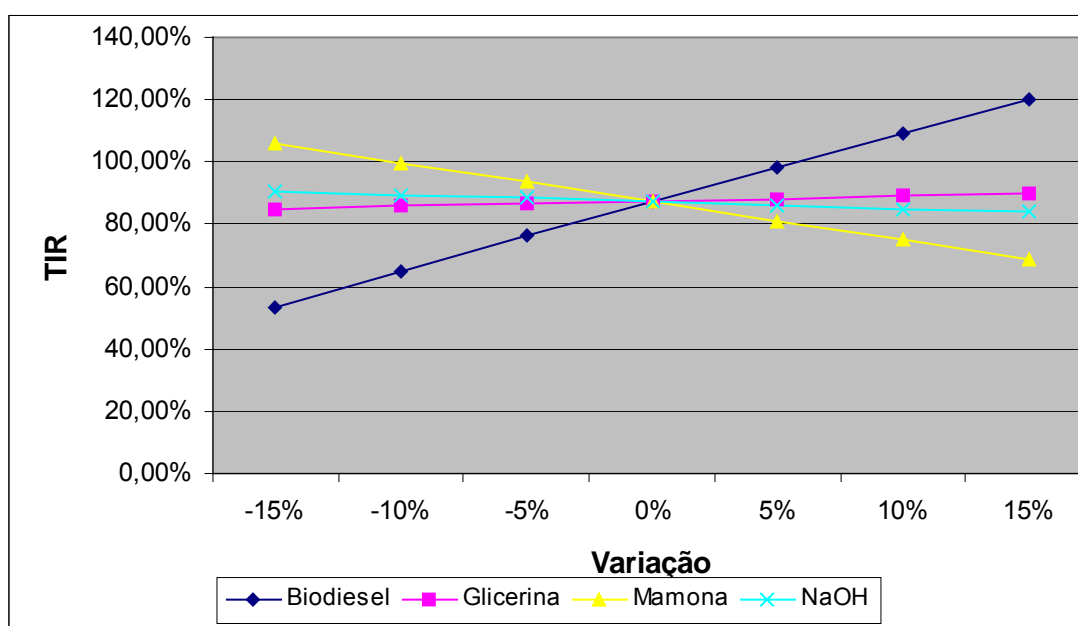


Figura 12: Resultado da TIR na análise de sensibilidade

Nesta análise, o preço de venda do biodiesel ainda é o que mais afeta o processo. As outras variáveis mostram comportamentos semelhantes, com destaque para o preço da mamona, que afeta mais significativamente o processo.

A figuras 13 e 14 mostram a análise de sensibilidade para o investimento fixo. Pode-se observar que a influência do investimento fixo, não é tão grande, variando de R\$250.000.000,00 na melhor situação para R\$180.000.000,00 na pior situação, onde o valor de investimento seria o dobro. Já na TIR, o investimento fixo mostrou-se mais impactante nos valores de variações negativas, onde o valor do investimento seria menor, resultando em maior atratividade. Na pior situação, a TIR resulta em cerca de 50%, mostrando que o investimento no projeto continua atrativo, mesmo dobrando-se o valor do investimento fixo.

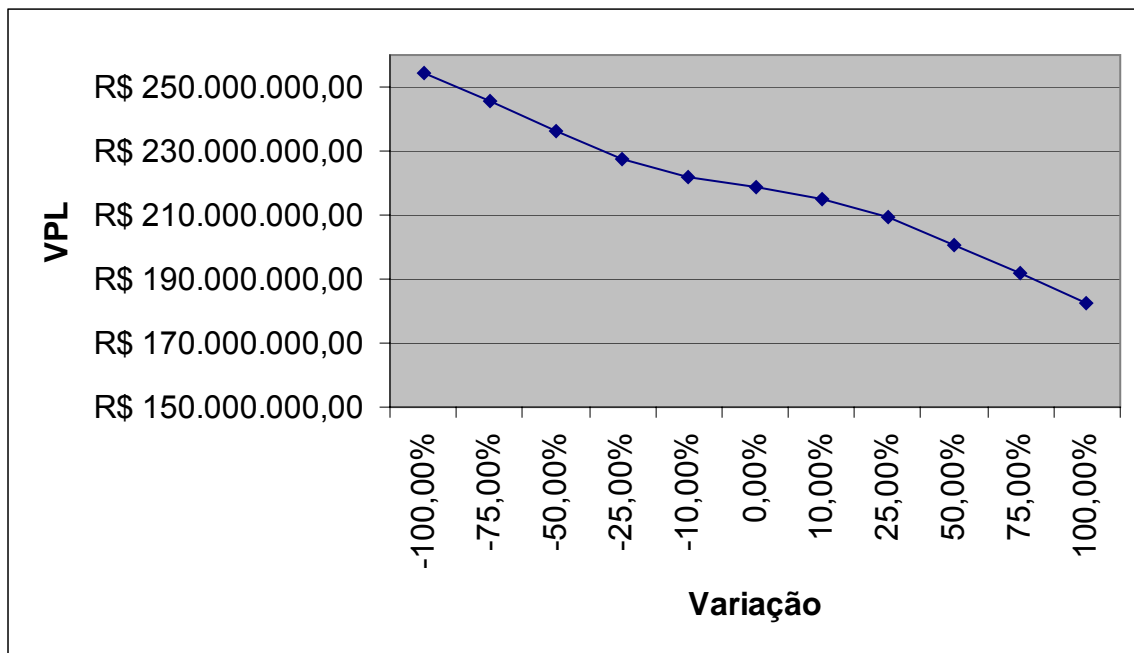


Figura 13: resultado do VPL na análise de sensibilidade do investimento fixo.

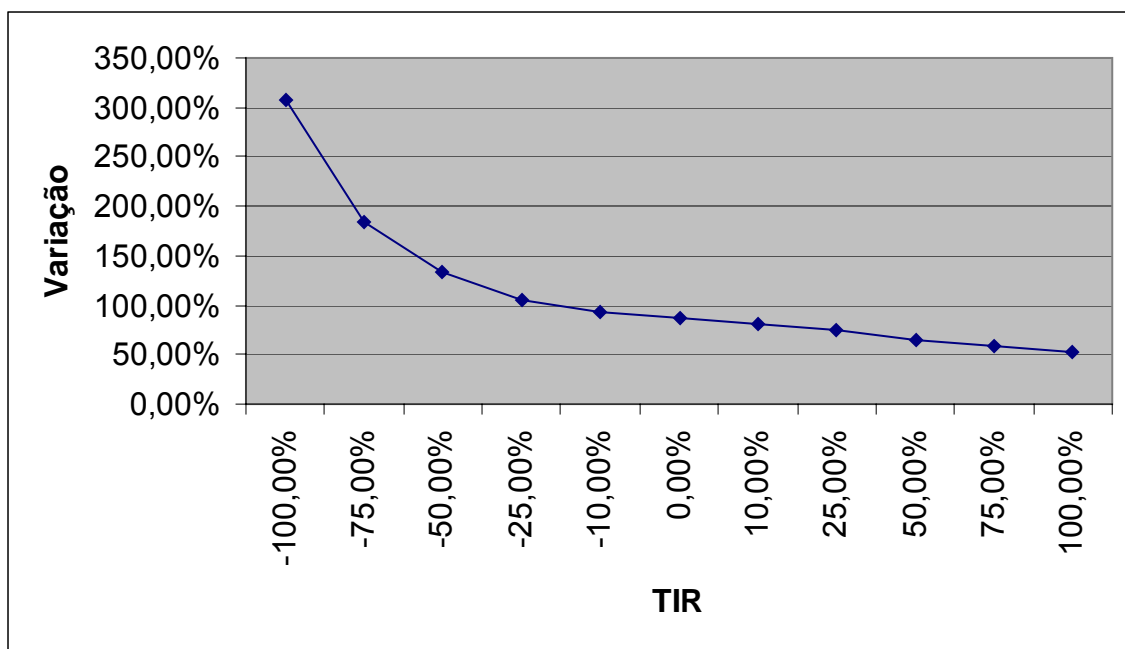


Figura 14: resultado da TIR na análise de sensibilidade do investimento fixo.

Capitulo 6: Conclusões

Este novo processo apresentado tem como principal atrativo o fato de poder-se utilizar a semente de mamona diretamente no reator, sem a necessidade de extração do óleo. Além disso, a possibilidade de reciclar 90% do álcool utilizado é outro atrativo, tanto para a economia do processo, tornando-o mais barato. Além do fato de ser utilizado o etanol, o que evitaria importação de metanol, quanto quimicamente, já que o etanol é menos tóxico que o metanol, facilitando o uso dos subprodutos sólidos como ração animal.

Na análise de sensibilidade, conclui-se que os preços de venda do biodiesel e aquisição da mamona são as variáveis que mais afetam o projeto.

Já a glicerina e o hidróxido de sódio possuem pouco impacto sobre o projeto.

Com relação ao investimento fixo, pode-se dizer que influencia pouco no valor presente líquido do projeto, mas afeta a taxa interna de retorno. Este fato não torna o investimento inviável, já que a taxa de retorno na pior das situações (50%) ainda é atrativa.

Como este trabalho é apenas uma avaliação preliminar, uma sugestão para um trabalho futuro seria um estudo econômico mais detalhado, considerando impostos, margem de lucro e variações na taxa de juros.

Por fim, conclui-se que o processo é interessante e viável economicamente.

Referências

- ANP. “Boletim Mensal do Biodiesel”, junho de 2009.
- Chung et al. “Cartilha Biodiesel Sebrae”, 2007.
- EBB - European Biodiesel Board. Disponível em: <http://www.ebb-eu.org/stats.php#>. Acessado em 13 de agosto de 2009.
- Encarnação, Ana Paula Gama, “Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidrosesterificação, uma avaliação econômica”. Dissertação de mestrado. Escola de Química/UFRJ, 2007.
- Khalil, C.N. “As tecnologias de produção de biodiesel” in “O futuro da indústria: Biodiesel, coletânea de artigos”, 2006.
- Khalil, C.N. & Leite, L. “Process for producing biodiesel fuel using triglyceride rich oleaginous seed directly in a transesterification reaction in the presence of an alkali alkoxide catalyst”. Patente nº7112229, 2006.
- Lima, D. O. ; Sogabe, V. P. ; Calarge, T. C. C. “Uma análise sobre o mercado mundial de biodiesel”, XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, julho de 2008.

- Ma, F. & Hanna M.A. “Biodiesel production: a review”, Bioresource Technology, Volume 70, 1999.
- Marques, G. e Goy, L. “CNPE aprova aumento para 4% da mistura de biodiesel”, Site Biodieselbr.com. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/noticias/em-foco/cnpe-aprova-aumento-4-mistura-biodiesel-23-06-09.htm>. Acessado em: 26 de agosto de 2009.
- Mello, F. O. T. de; Paulillo, L. F.; Vian, C. E. de F. “O biodiesel no Brasil: panorama, perspectivas e desafios”, Informações Econômicas, vol. 37, nº 1, janeiro de 2007.
- Ministério do Meio Ambiente a. “Impactos Ambientais na Cadeia Produtiva, Distribuição e Uso do Biodiesel. Item 2: Marco Referencial” Disponível em: <http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=46&idConteudo=6577>. Acesso em 25 de agosto de 2009.
- Ministério do Meio Ambiente b. “Impactos Ambientais na Cadeia Produtiva, Distribuição e Uso do Biodiesel. Item 4: Diagnóstico da Produção do Biodiesel no Brasil” Disponível em: <http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=46&idConteudo=6577>. Acesso em 25 de agosto de 2009.
- NBB – National Biodiesel Board. Disponível em <http://www.biodiesel.org/resources/fuelfactsheets/>. Acessado em 13 de agosto de 2009.
- Pandey, Ashok (editor). “Handbook of plant- based Biofuels”, 2009.
- Rodrigues, Juliana Petrocchi. “Avaliação da produção de combustível em processo de craqueamento térmico de óleo de soja em regime contínuo”. Dissertação de mestrado, UNB, 2007.
- Site da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. www.anp.gov.br . Acesso em 5 de setembro de 2009.

- Soares, Cecília Martins. "Potenciais de geração de créditos de carbono na indústria da palma". Dissertação de mestrado, Escola de Química /UFRJ, 2008.
- Suarez, P. A. Z., et al. "Diesel like fuel obtained by pyrolysis of vegetable oil" Journal of analytical and applied pyrolysis. vol 71, 2004.
- Syed Ameer Basha, K. Raja Gopal, S. Jebaraj. "A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009.