



ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL DO ÓLEO DE SOJA

Mariana Cardozo de Freitas

Projeto Final de curso

Orientadores:

Prof. Estevão Freire, D.Sc.

Profa. Leila Y. Reznik, D.Sc

Julho de 2013

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL DO ÓLEO DE SOJA

Mariana Cardozo de Freitas

Projeto Final de Curso submetido ao Corpo Decente da Escola de Química,
como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de engenheiro
químico.

Aprovado por:

Fábio de Almeida Oroski, D.Sc.

Ladimir José de Carvalho, D.Sc.

Luiz Fernando Leite, D.Sc.

Orientado por:

Prof. Estevão Freire, D.Sc.

Profa. Leila Y. Reznik, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Julho de 2013

Freitas, Mariana Cardozo

Análise de viabilidade econômica dos processos de produção do biodiesel/

Mariana Cardozo de Freitas. Rio de Janeiro: UFRJ / EQ, 2013.

(Projeto de Final de Curso) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2013.

Orientadores: Prof. Estevão Freire e Profa. Leila Y. Reznik.

1. Biodiesel. 2. Produção. 3. Análise de viabilidade econômica. 4. Projeto Final (Graduação – UFRJ / EQ). 5. Estevão Freire e Leila Y. Reznik. 6. Processos de produção do biodiesel do óleo de soja I. Análise de viabilidade econômica dos processos de produção do biodiesel do óleo de soja.

Aos meus pais, irmão, amigos e professores que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus por toda a força nos momentos de alegria e principalmente nos difíceis nos quais achei que não fosse conseguir, e hoje tenho a certeza que sem sua força não seria possível.

Aos meus pais que me apoiaram em todos os momentos difíceis, com todo o carinho e palavras confortantes. Tenho certeza que não teria conseguido sem todo esse amor.

Ao meu irmão que sempre tentou me alegrar nos momentos de tristeza e compartilhou comigo todos os momentos de alegria que foram decisivos para o meu sucesso.

À minha tia Elzi, que não pode acompanhar todo processo, mas que sem dúvida está torcendo por mim.

Aos meus familiares que me apoiaram e sempre oraram pelo meu sucesso.

Aos meus amigos que estiveram comigo durante todo o período de faculdade, me apoiando e que foram grandes motivos de alegria e com os quais aprendi muito durante todo o percurso.

Aos meus orientadores, a professora Leila e o professor Estevão, pela enorme paciência, dedicação e carinho, com os quais pude aprender muito e tenho certeza que deram seu melhor para minha formação.

Por último as principais bandas que eu gosto pelas belíssimas canções que me acompanharam nos momentos de tensão e alegria.

Muito obrigada a todos!

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de engenheiro químico.

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL DO ÓLEO DE SOJA

Mariana Cardozo de Freitas

Julho/2013

Orientadores: Prof. Estevão Freire, D.Sc.
Profa. Leila Y. Reznik, D.Sc.

O presente trabalho visou avaliar a viabilidade econômica dos processos de produção do biodiesel via transesterificação química e hidroesterificação a partir do óleo de soja, usando o metanol na reação de esterificação, considerando como base para o estudo uma planta de capacidade de 100 mil toneladas/ano de biodiesel. Para analisar a rentabilidade dos projetos utilizou-se índices econômicos tais como o valor presente líquido, a taxa interna de retorno, o fluxo de caixa, além do cálculo do payback simples visando entender em quanto tempo o capital investido seria recuperado e os calculou-se o CAPEX e OPEX visando analisar a viabilidade dos projetos. Considerou-se para as análises um período de 13 anos. Visando entender os impactos da corrosão nos custos de operação da planta de produção de biodiesel, considerou-se que os equipamentos na mesma foram projetados com aço inoxidável e estudou-se os impactos da corrosão no mesmo. Após análises pode-se concluir que tanto o projeto de transesterificação quanto o projeto de hidroesterificação são atrativos economicamente e são sensíveis à variação dos preços de venda do biodiesel e compra do óleo de soja.

ÍNDICE

Capítulo I – Introdução	12
I.1 – Motivação para o Estudo	12
I.2 – Objetivo do Estudo	13
I.3 – Estrutura do Trabalho	13
Capítulo II – Revisão Bibliográfica	14
II.1 – Introdução: Biodiesel.....	14
II.2 – Matriz energética.....	15
II.3 – Histórico do biodiesel no Brasil e no mundo.....	16
II.4 – A produção de biodiesel no Brasil.....	17
II.5 – Matérias-primas para a produção de biodiesel.....	20
II.5.1 - Óleos vegetais.....	22
II.5.1.1 – Óleo de soja.....	22
II.6 – Reações de obtenção.....	24
II.6.1 – Transesterificação.....	25
II.6.1.1 - Transesterificação por catálise ácida.....	26
II.6.1.2 - Transesterificação por catálise básica ou alcalina.....	27
II.6.1.2.1 - Purificação do biodiesel obtido por catálise alcalina.....	29
II.6.1.3 - Metanol x Etanol.....	30
II.6.1.4 - Influência da temperatura e da agitação no processo de transesterificação.....	31
II.6.2 – Fluido supercrítico.....	32
II.6.3 – Craqueamento térmico (Pirólise).....	33
II.6.4 – Hidroesterificação.....	34
II.6.7 – Processos de produção industrial do biodiesel.....	35
II.6.7.1 – Pela rota de transesterificação.....	35
II.6.7.1.1 – Por transesterificação química.....	35
II.6.7.1.1.1 – Escolha e preparação da matéria-prima para a produção de biodiesel por transesterificação.....	36
II.6.7.1.1.2 – Reação de transesterificação.....	37
II.6.7.1.1.3 – Separação de fases.....	39
II.6.7.1.1.3 - Purificação do biodiesel.....	39
II.6.7.1.1.3 - Purificação da glicerina.....	39
II.7.2 – Processo de produção de biodiesel pela rota de hidroesterificação	41
II.8 – Corrosão nos processos de produção do biodiesel.....	42
II.8.1 – Corrosão por Ação Química ou Oxidação Seca.....	44
II.8.2 – Corrosão Eletroquímica.....	44
II.8.3 – Morfologia.....	45
II.8.4 – Métodos de Prevenção e Proteção à Corrosão.....	47
Capítulo III – Análise econômica dos processos de produção do biodiesel a partir do óleo de soja.....	49
III.1 – Taxa mínima de atratividade (TMA).....	50
III.2 – CAPEX.....	51
III.3 – OPEX.....	55
III.3.1 – Custos operacionais variáveis.....	55

III.3.2 – Custos operacionais fixos.....	57
III.4 – Valor presente líquido (VPL).....	58
III.5 - Taxa interna de retorno (TIR).....	59
III.6 – Payback descontado (PPD).....	60
III.7 – Análise de sensibilidade.....	
III.8 – Estudo de caso: Análise econômica dos processos de produção do biodiesel a partir do óleo de soja.....	61
III.8.1 – Custo de investimento (CAPEX).....	62
III.8.2 – Custos operacionais (OPEX).....	63
III.8.2.1 – Custos operacionais variáveis.....	63
III.8.2.2 – Custos operacionais fixos.....	66
III.9 – Receitas.....	69
III.10 – Fluxo de caixa.....	70
III.11 – Valor presente Líquido (VLP).....	71
III.12 – Taxa interna de retorno (TIR).....	72
III.13 – Payback simples.....	72
III.14 – Análise de sensibilidade.....	73
Capítulo IV – Conclusões e sugestões.....	75
Capítulo V – Referências bibliográficas.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II.1	Evolução da produção brasileira de biodiesel	17
Figura II.2	Estimativa da produção brasileira de biodiesel para consumo interno nas próximas décadas	18
Figura II.3	Estimativa da produção brasileira de biodiesel para consumos interno e exportação	18
Figura II.4	Representa a distribuição das empresas produtoras de biodiesel nas regiões do país.	20
Figura II.5	Representa a utilização dos diferentes óleos na produção brasileira de biodiesel.	22
Figura II.6	Ilustração da soja e do óleo de soja usados na produção de biodiesel	22
Figura II.7	Representa o mapa da fronteira agrícola produtora de soja no Brasil	23
Figura II.8	Fórmula estrutural do ácido linoléico presente no óleo de soja	24
Figura II.9	Reação de transesterificação	25
Figura II.10	Mecanismo da transesterificação por catálise ácida	26
Figura II.11	Mecanismo da transesterificação por catálise básica	28
Figura II.12	Reações paralelas que ocorrem na transesterificação por catálise básica	29
Figura II.13	Craqueamento térmico de triglicerídeos	33
Figura II.14	Processo de produção do biodiesel pela rota de transesterificação	36
Figura II.15	Fluxograma do processo produtivo da transesterificação via rota química	40
Figura II.16	Processo de hidroesterificação para produção de biodiesel	41
Figura II.17	Processo de hidroesterificação para a produção industrial de biodiesel	42
Figura III.1	Evolução do preço do óleo de soja	64
Figura III.2	Análise de sensibilidade para o processo de transesterificação	73
Figura III.3	Análise de sensibilidade para o processo de hidroesterificação	74

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1	Reação anódica	44
Equação 2	Reação catódica que representa a evolução de hidrogênio e ocorre em meios com a presença de ácidos ou de soluções aciduladas	45
Equação 3	Reação catódica que corresponde à redução do oxigênio em meio ácido	45
Equação 4	Reação catódica que corresponde à redução do oxigênio em básico ou neutro	45
Equação 5	Reação catódica de redução de íon metálico	45
Equação 6	Reação catódica de deposição de metal	45
Equação 7	Relação entre as dimensões de duas plantas	51
Equação 8	Custo atualizado de uma planta em relação à data de sua construção	51
Equação 9	Custo de cada equipamento em questão nas condições-base	52
Equação 10	Custo instalado ou custo por módulo (CM)	52
Equação 11	Cálculo do fator de pressão para vasos	53
Equação 12	Cálculo do fator de pressão para demais equipamentos	53
Equação 13	Cálculo do custo total (CAPEX)	54
Equação 14	Custo operacional variável	55
Equação 15	Custo total com matérias-primas	55
Equação 16	Custo com utilidades	56
Equação 17	Custo total com utilidades	56
Equação 18	Custo com salários e encargos	57
Equação 19	Custo com a equipe	57
Equação 20	Custo com reparo e manutenção	58
Equação 21	Custo fixo	59
Equação 22	Custo operacional (OPEX)	59
Equação 23	Cálculo do VLP	60
Equação 24	Cálculo da TIR	61
Equação 25	Cálculo do <i>payback</i> descontado	62
Equação 26	Cálculo do <i>payback</i> simples	62
Equação 27	Cálculo da receita com o biodiesel	70
Equação 28	Cálculo da receita com a glicerina	70
Equação 29	Cálculo da receita total	71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela II.1	Divisão da matriz energética no Brasil e no mundo	15
Tabela II.2	Representa o número de plantas autorizadas pela ANP para a produção e comercialização de biodiesel e suas respectivas capacidades no ano de 2013	19
Tabela II.3	Distribuição do uso dos diferentes óleos vegetais e gorduras animal na produção de biodiesel no país	20
Tabela II.4	Distribuição da produção brasileira de soja por região	22
Tabela II.5	Composição de ácidos graxos presente no óleo de soja	23
Tabela II.6	Comparativo entre o uso do metanol e etanol na produção de biodiesel	31
Tabela III.1	Equações para o cálculo de CM em diferentes equipamentos	53
Tabela III.2	Peso médio dos custos para a implantação de uma nova planta	54
Tabela III.3	Preços e quantidades de cada matéria-prima nos processos de produção do biodiesel	65
Tabela III.4	Custos com matérias-primas para produção de biodiesel por diferentes rotas considerando uma planta de produção de 100 mil tonelada/ano de biodiesel	66
Tabela III.5	Custos com utilidades para a produção de biodiesel	66
Tabela III.6	Custos operacionais variáveis para as diferentes rotas de produção	66
Tabela III.7	Custos operacionais com equipe	66
Tabela III.8	Perda de massa de diferentes tipos de aços inoxidáveis devido à corrosão após a exposição de 1 ano	67
Tabela III.9	Custos operacionais totais por rota	69
Tabela III.10	Receitas com o biodiesel e glicerina	70
Tabela III.11	Fluxo de caixa dos diferentes projetos ao longo de 13 anos	71
Tabela III.12	Cálculo do valor presente líquido (VLP) para as diferentes rotas	72
Tabela III.13	Cálculo da TIR para as diferentes rotas	73
Tabela III.14	Cálculo do payback	73
Tabela III.15	Cenários que serão estudados na análise de sensibilidade	74

CAPÍTULO I

Introdução

I. 1 – Motivação para o Estudo

A previsão de esgotamento dos combustíveis de origem fóssil é prevista ainda para esse século. Sendo de grande importância o desenvolvimento de energias de fontes renováveis, entre elas pode-se citar o biodiesel, que é um biocombustível derivado de fonte renovável, biodegradável e não tóxico. Seu uso em motores a combustão interna com ignição por compressão, aumenta a lubrificidade do combustível melhorando o desempenho do motor. Devido a essas características o mesmo foi incluído pelo governo na matriz energética Brasileira e definiu volume mínimo obrigatório da mistura do biocombustível no diesel mineral, iniciou-se assim um novo ciclo do setor nacional de energia e reforça a promoção do uso de fontes renováveis e a diversificação da matriz energética.

Dado a importância do desenvolvimento de energia de fontes renováveis, uma das motivações deste estudo baseia-se na busca pelo processo de produção do biodiesel mais otimizado economicamente. Atualmente uma das principais formas de obtenção do biodiesel ocorre através da reação de transesterificação química alcalina, porém o mesmo pode ser obtido também por outras reações como, por exemplo, a hidroesterificação

A hidroesterificação permite o uso de qualquer matéria-prima graxa que são totalmente convertidas em biodiesel e o processo envolve uma etapa de hidrólise seguida de uma etapa de esterificação. Por dispensar o uso de catalisadores apresenta-se como uma rota com custos menores, sendo de grande importância a avaliação de viabilidade econômica dessa rota.

I. 2 – Objetivos do Estudo

- **Geral**

O presente trabalho visa analisar economicamente os processos de transesterificação e hidroesterificação para produção do biodiesel a partir do óleo de soja.

- **Específicos**

- ✓ Calcular o CAPEX e OPEX visando analisar a viabilidade econômica dos processos de transesterificação e hidroesterificação a partir do óleo de soja para a produção do biodiesel;
- ✓ Calcular o VLP, TIR e o payback para entender a rentabilidade de cada projeto;
- ✓ Realizar análise de sensibilidade para entender os riscos de investimento de cada projeto de acordo com a variação de alguns custos;
- ✓ Analisar o impacto da corrosão nos custos operacionais de uma planta de produção de biodiesel pelas rotas de transesterificação e hidroesterificação;
- ✓ Entender qual o projeto é mais atrativo economicamente.

I. 3 – Estrutura do Trabalho

Neste trabalho, apresenta-se no Capítulo II uma revisão bibliográfica sobre o biodiesel, suas principais matérias-primas e reações de obtenção, apresentando os principais conceitos de cada reação, as etapas de produção apresentando as plantas industriais para cada reação, apresentando suas principais diferenças, além de avaliar os principais problemas de corrosão enfrentados em cada equipamento de acordo com cada processo. Em seguida, o capítulo III refere-se à análise econômica de cada processo incluindo seus custos de implementação e operacionais além da análise de sensibilidade de algumas variáveis de maior relevância nos custos de operação. No capítulo IV abordou-se as conclusões e sugestões e por último no capítulo V as referências bibliográficas.

CAPÍTULO II

Revisão Bibliográfica

II. 1 – Introdução: Biodiesel

Por definição é um combustível biodegradável por ser derivado de fontes naturais e renováveis, capaz de substituir o diesel derivado de petróleo. É obtido a partir da reação de transesterificação de um óleo vegetal, gordura animal ou óleo residual com um álcool (metanol, obtido de origem fóssil ou o etanol, obtido a partir da cana de açúcar) catalisada por um ácido, base ou enzima. Uma alternativa à transesterificação convencional que vem sendo estudada é a hidroesterificação que permite o uso de qualquer matéria prima, incluindo matérias graxas residuais obtidas a partir do processamento de óleos (CASTRO *et al.*; 2004, PEDROTTI; 2006).

Apesar de crescentes estudos visando melhorias nos processos de obtenção de biodiesel por transesterificação com o objetivo de aumentar o rendimento, reduzir o tempo de reação e o consumo de reagentes (QUINTELLA *et al.*, 2009), o processo atual para a obtenção industrial do biodiesel é através da reação de transesterificação química alcalina utilizando o metanol como álcool e o metilato de sódio como catalisador por apresentar o maior rendimento e menor saponificação. Etapas de neutralização e lavagem do biodiesel são necessárias para redução no teor de contaminantes no biodiesel e tratamento da água alcalina residual. No processo não é possível recuperar o catalisador. (CASTRO *et al.*; 2004)

Entre os óleos vegetais que podem ser usados na reação de transesterificação para a obtenção do biodiesel pode-se citar: o óleo de soja, de amendoim, do dendê, de algodão, de girassol, de mamona, de pinhão manso, de milho, entre outros vegetais em forma de sementes, amêndoas ou polpas. Em geral todos os óleos vegetais fixos ou triglicéridicos, podem ser transformados em biodiesel, entretanto precisam de processos que reduzam sua viscosidade cinética já que são originalmente de alta viscosidade.

Dentre as vantagens do uso do biodiesel estão o fato de ser uma energia renovável, biodegradável e não tóxico, sua maior facilidade no transporte e armazenamento já que o risco de explosão é mais baixo quando comparado ao diesel de

petróleo, a redução das emissões de gases tóxicos para a atmosfera, impactando favoravelmente na diminuição do efeito estufa e das mudanças climáticas do planeta ao retirar o CO₂ no crescimento das oleaginosas (QUINTELLA *et al.*, 2009), apesar de aumentar a emissão de NOx. Seus subprodutos podem ser usados como nutrientes para o solo agrícola, na sua queima a combustão é completa. Apesar das vantagens, apresenta como principal desvantagem o alto preço quando comparado ao diesel e até de outros derivados do petróleo, o que torna necessário investimentos para o desenvolvimento tecnológico suficiente para torná-lo um biocombustível viável (SALVADOR *et al.*, 2009). A previsão de geração de grande quantidade de glicerina (subproduto) poderá afetar o mercado de óleos químicos já que a grande quantidade de glicerina gerada como subproduto só poderá ter mercado a preços muito inferiores aos atuais, tem uma produção de energia um pouco mais baixa quando comparada com o mesmo volume de diesel derivado de petróleo.

II.2 –Matriz energética

A Matriz energética é composta pelas diferentes formas de se obter energia para o desenvolvimento de atividades sociais e industriais, podendo ser divididas entre renováveis e não renováveis. A maior porcentagem da energia utilizada mundialmente é proveniente dos combustíveis fósseis, entre eles estão o carvão, o petróleo e o gás natural, por serem fontes energéticas não renováveis geram grande preocupação quanto à investimentos em pesquisas que desenvolvam matrizes energéticas a partir de fontes renováveis entre elas estão a energia hídrica, biomassa, energia eólica e a energia solar. A tabela II.1 representa a divisão da matriz energética no Brasil e no mundo.

Tabela II.1 –Divisão da matriz energética no Brasil e no mundo. (Fonte: Ministério de minas e energia, 2010)

Fonte	Mundo	Brasil
Petróleo	35,3	43,1
Carvão mineral	23,2	6,0
Gás natural	21,1	7,5
Biomassa tradicional	9,5	8,5
Energia Nuclear	6,5	1,8
Energia Hidroelétrica	2,2	14,0
Biomassa moderna	1,7	23,0
Outras energias renováveis	0,5	0,1

Através de uma análise dos dados da tabela II.1, observa-se que as matrizes energéticas renováveis estão mais difundidas quando comparado com a situação mundial, diminuindo a dependência brasileira a combustíveis fósseis. Com o biodiesel, o Brasil ampliará sua matriz energética de fontes renováveis, diminuindo ainda mais a dependência de fontes não renováveis.

II.3 – Histórico do biodiesel no Brasil e no mundo

Os primeiros relatos de uso de óleos vegetais em motores de combustão interna datam de 1900 com Rudolf Diesel, utilizando de óleo de amendoim no motor desenvolvido por ele. Portanto, razões de natureza econômica levaram a desistência dos estudos com óleos vegetais visando sua aplicação como combustíveis, um dos motivos era o fato do petróleo ser considerado na época uma fonte de energia barata. Entretanto, na década de 70 do século XX, o mercado de petróleo foi marcado por dois súbitos desequilíbrios entre oferta e demandas mundiais conhecidos como primeiro e segundo choques do petróleo. Em resposta a estas crises, gerou-se a necessidade de diminuir a dependência da matriz energética mundial do petróleo, gerando novamente o interesse no estudo e desenvolvimento de tecnologias de produção e uso de fontes alternativas de energia (NEVES, 2008).

No Brasil os estudos sobre biodiesel iniciaram na década de 20 através do instituto nacional de tecnologia (INT) que buscava estudar combustíveis alternativos. Mais tarde, na década de 70 na Universidade Federal do Ceará (UFCE) buscando encontrar fontes alternativas de energia fez testes com óleos vegetais de propriedades semelhantes ao diesel proveniente do petróleo, o biodiesel. Porém o seu uso como fonte energética só foi proposto em 1975 através do Pró-óleo (Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos) que objetivava viabilizar economicamente a produção de um óleo vegetal de forma a torná-lo competitivo com o diesel do petróleo. Inicialmente previa-se a mistura de 30% de óleo vegetal com o óleo diesel com perspectivas de aumento da porcentagem do óleo vegetal na mistura até a substituição completa (BIODIESELBR, 2013).

Em 1983 devido à alta do preço do petróleo o governo lançou o Programa de Óleos Vegetais para testar em motores as variações de misturas do biodiesel com o diesel de petróleo (até 30% de biodiesel) constatando-se a viabilidade técnica, porém a produção industrial da mistura não é viável economicamente quando comparada ao diesel do petróleo (BIODIESELBR, 2013).

II.4 – A produção de biodiesel no Brasil

Por se situar em uma região tropical, com regularidade de chuvas, altas taxas de luminosidade e ter apenas um terço de sua área cultivável ocupada, o país apresenta grandes vantagens no cultivo de matérias-primas para a produção de biodiesel.

A figura II.1 apresenta a evolução da produção brasileira de biodiesel de 2005 a 2012, observa-se um aumento na produção ao longo dos anos pesquisados, e no ano de 2012 atingiu aproximadamente 3.000 mil m³.

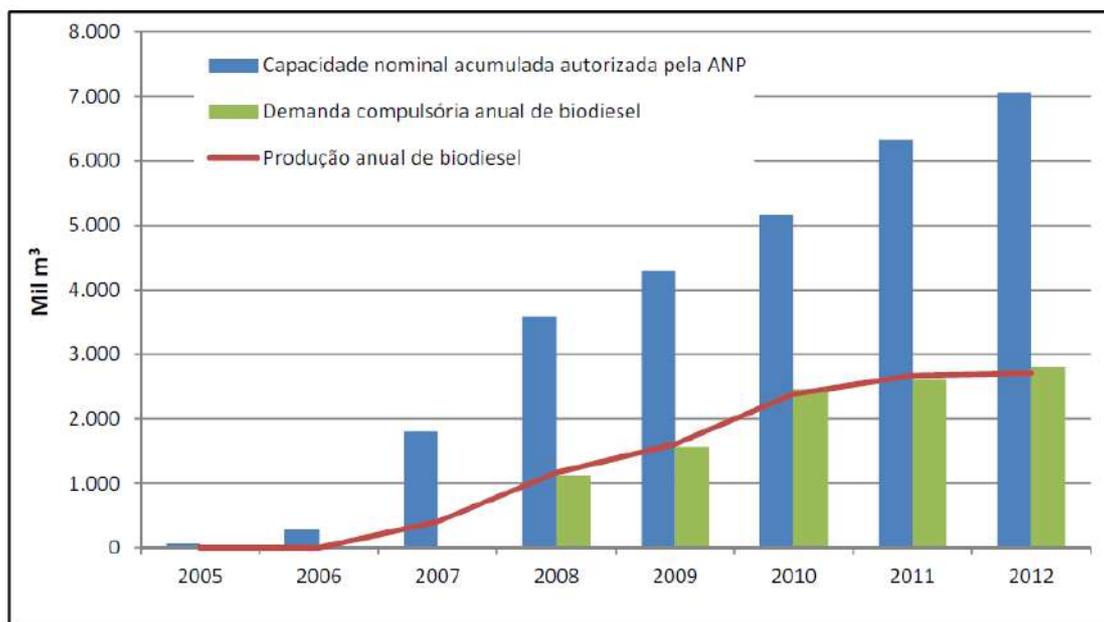


Figura II.1 – Evolução da produção brasileira de biodiesel. (Fonte: Boletim mensal do biodiesel da ANP, 2013)

A figura II.2 representa a projeção da produção brasileira de biodiesel para consumo interno até 2035, pode-se concluir através da análise do gráfico que cerca de 80% da produção nacional voltada para o consumo interno é obtida através da reação de

transesterificação, sendo o restante obtida através de craqueamento. Com a previsão de crescimento para as próximas décadas a produção para consumo interno poderá chegar a cerca de 50 bilhões de litros. (BIODIESELBR, 2013)

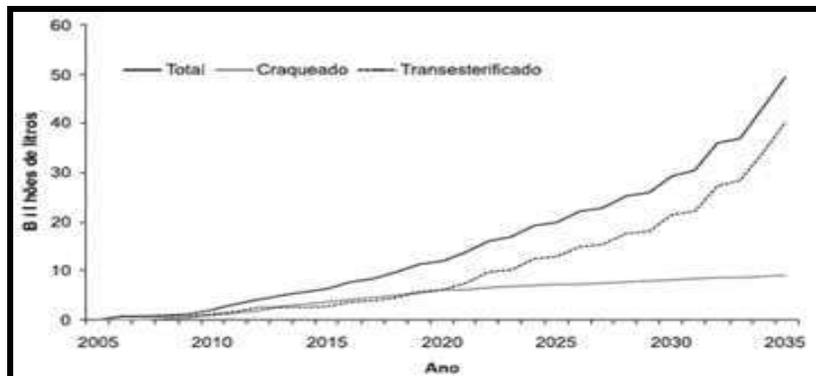


Figura II.2 – Estimativa da produção brasileira de biodiesel para consumo interno nas próximas décadas. (Fonte: BIODIESELBR, 2013)

A figura II.3 retrata a projeção de produção brasileira de biodiesel para consumo interno e exportação no período de 2005 até 2035. Analisando o gráfico pode-se concluir que nos 10 primeiros anos desse período o mercado interno absorverá quase que a totalidade da produção e que ao final desse período o consumo interno se igualará a produção voltada para exportação.

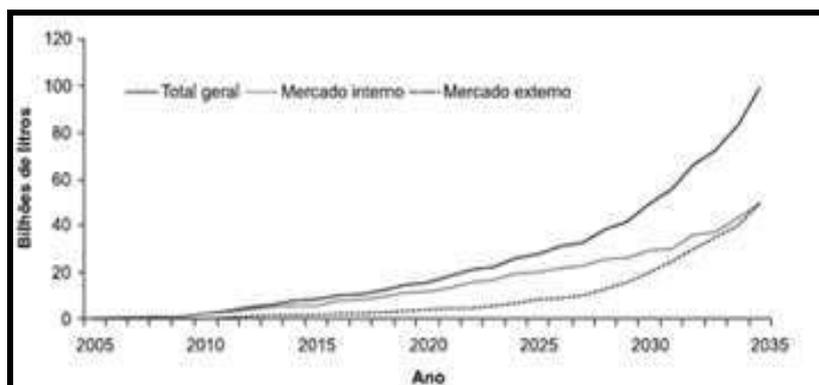


Figura II.3 – Estimativa da produção brasileira de biodiesel para consumos interno e exportação. (Fonte: BIODIESELBR, 2013)

Atualmente 67 plantas produtoras de biodiesel autorizadas pela ANP para operação no país, esses empreendimentos juntos somam uma produção de cerca de 21.397,06 m³/dia. Destas 67 plantas, 63 possuem autorização para Comercialização do

biodiesel produzido, correspondendo a 20.093,04 m³/dia de capacidade autorizada para comercialização. A tabela II.2 ilustra o número de plantas autorizadas pela ANP para a produção e comercialização de biodiesel e suas respectivas capacidades no ano de 2013.

Tabela II.2 – Representa o número de plantas autorizadas pela ANP para a produção e comercialização de biodiesel e suas respectivas capacidades no ano de 2013. (FONTE: Boletim mensal do biodiesel da ANP, 2013)

	Quantidade	Capacidade (m ³ /dia)
Plantas autorizadas somente para operação	4	456,00
Plantas autorizadas para operação e comercialização ²	63	20.093,04
TOTAL (Plantas autorizadas para operação)¹	67	21.397,06

Através da figura II.4 pode-se observar que a maior porcentagem delas localiza-se na região centro-oeste, seguidas pelo sul, sudeste e nordeste essa distribuição se deve a distribuição das plantações de soja no país, já que grande parte do biodiesel produzido no país provem desta oleaginosa. (ANP, 2013)

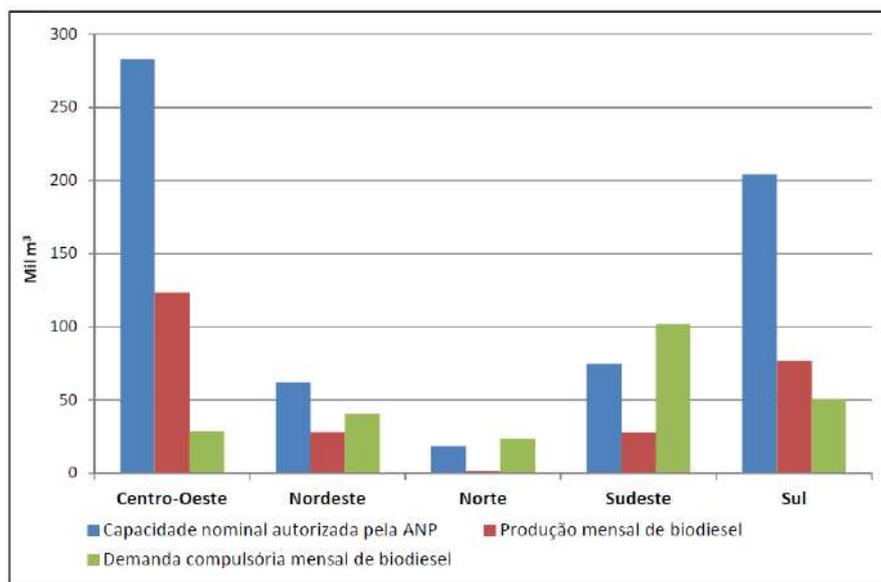


Figura II.4 – Representa a distribuição das empresas produtoras de biodiesel nas regiões do país. (Fonte: Boletim mensal do biodiesel da ANP, 2013)

II.5 – Matérias-primas para a produção de biodiesel

Entre as matérias-primas usadas para a produção do biodiesel estão os óleos vegetais, gordura animal e os óleos e gorduras residuais. Todos os óleos vegetais que podem ser classificados como fixos ou triglicerídeos podem ser utilizados na produção de biodiesel, entre eles podemos citar os óleos das seguintes espécies: o óleo de soja, de algodão, óleo de dendê, óleo de macaúba, o óleo de nabo-forrageiro entre outros. (ANP, 2013) Os chamados óleos essenciais, outra categoria de óleos, não podem ser usados na produção de biodiesel já que são muito voláteis. (BIODIESELBR, 2013) Quanto as gorduras animais as mais utilizadas na produção de biodiesel é gordura bovina, a gordura de porco e a gordura de frango. (ANP, 2013) A tabela II.3 ilustra o percentual de cada óleo e gordura animal utilizada na produção de biodiesel no país por região.

Tabela II.3 – Distribuição do uso dos diferentes óleos vegetais e gorduras animal na produção de biodiesel no país. (Fonte: Boletim mensal do biodiesel da ANP, 2013)

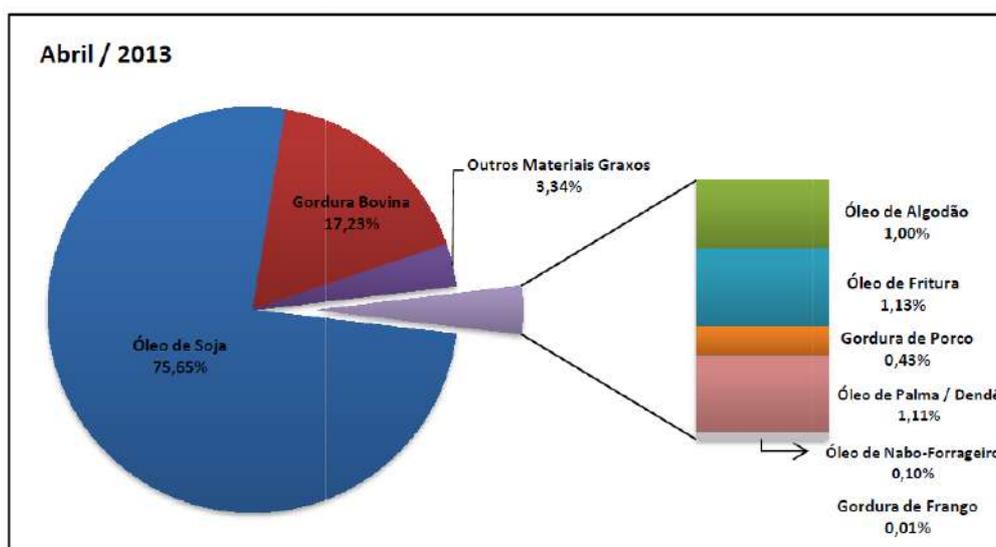
Matéria-Prima	Região				
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Óleo de Soja	56,22%	69,97%	86,38%	48,01%	80,59%
Gordura Bovina	8,59%	18,62%	8,74%	47,56%	17,22%
Óleo de Algodão		2,15%	1,70%	0,24%	
Outros Materiais Graxos	35,20%		1,91%		
Óleo de Fritura usado			1,27%	4,16%	0,21%
Gordura de Porco					1,59%
Gordura de Frango					0,02%
Óleo de Palma / Dendê		9,25%			
Ácido Graxo de Óleo de Soja					
Óleo de Macaúba				0,03%	
Óleo de Nabo-Forrageiro					0,36%

Os óleos e gorduras de animais possuem estruturas químicas semelhantes as dos óleos vegetais, sendo moléculas triglicéridicas de ácidos graxos. As diferenças estão nos tipos e distribuições dos ácidos graxos combinados com o glicerol, portanto também podem ser usadas na produção de biodiesel. Alguns exemplos de gorduras de animais que podemos citar como possíveis de serem transformados em biodiesel são o sebo

bovino, os óleos de peixes, o óleo de mocotó, a banha de porco, entre outras matérias graxas de origem animal.(WOLFF *et al.*, 2008).

Os óleos e gorduras residuais são óleos provenientes de processamentos domésticos, comerciais e industriais também podem ser usados como matéria prima para a produção de biodiesel. As principais fontes desses óleos são cozinhas industriais, comerciais e domésticas, indústrias que processam frituras e certos tipos de alimentícios, esgoto municipal já que esse possui um sobrenadante rico em matérias graxa, águas residuais de indústria de pescado entre outras. Entre as fontes, a mais promissora é o óleo proveniente de frituras encontradas em indústrias alimentícias, um levantamento estima que o Brasil possa coletar cerca de 30 mil toneladas anualmente. (WOLFF *et al.*, 2008).

Os principais óleos vegetais utilizados para na produção brasileira de biodiesel e suas parcelas de utilização, no período de janeiro a dezembro de2010, estão representadas na Figura II.5. Observa-se que o óleo de soja corresponde por, aproximadamente, 76% na utilização para produção do biodiesel no Brasil. As características do principal óleo utilizado para a produção de biodiesel no Brasil, o de soja, serão discutidas no subitem II.5.2.



FiguraII.5 – Representa a utilização dos diferentes óleos na produção brasileira de biodiesel.
(Fonte: Boletim mensal de biodiesel, 2013)

II.5.2 – Óleos vegetais

II.5.2.1 – Óleo de soja

O óleo de soja é extraído da semente de soja pertencente à família das leguminosas, originária da China e Japão, vem sendo utilizada há muito tempo na alimentação de humanos e animais devido ao seu alto valor nutricional e ultimamente seu óleo é o mais usado na produção de biocombustíveis como o biodiesel. Entre os principais países produtores podemos citar o EUA com cerca de 90 milhões de toneladas anuais, seguido do Brasil com 75 milhões de toneladas anuais e Argentina com 53 toneladas anuais (SOJA INFO, 2013).



Figura II.6 – Ilustração da soja e do óleo de soja usados na produção de biodiesel. (Fonte: SOJA INFO, 2013)

As regiões centro-oeste e sul são as maiores produtoras de soja no Brasil, sendo juntas responsáveis por cerca de 80% da safra nacional que em 2011 representava 62 milhões de toneladas anuais. A tabela II.4 mostra a distribuição da produção brasileira de soja por região e a figura II.7 representa o mapa da fronteira agrícola produtora de soja.

Tabela II.4 - Distribuição da produção brasileira de soja por região. (Fonte: SOJA INFO, 2013).

Região	Safra 2010 (t)	Safra 2011 (t)	Participação na Safra 2011	Varição entre Safras
Centro-oeste	31.609.385	33.740.408	45,10%	6,70%
Sul	25.684.674	28.550.226	38,20%	11,20%
Sudeste	4.298.084	4.446.137	5,90%	3,40%
Nordeste	5.303.785	6.230.164	8,30%	17,50%
Norte	1.622.810	1.862.448	2,50%	14,80%
Brasil	68.518.738	74.829.383	100,00%	9,20%

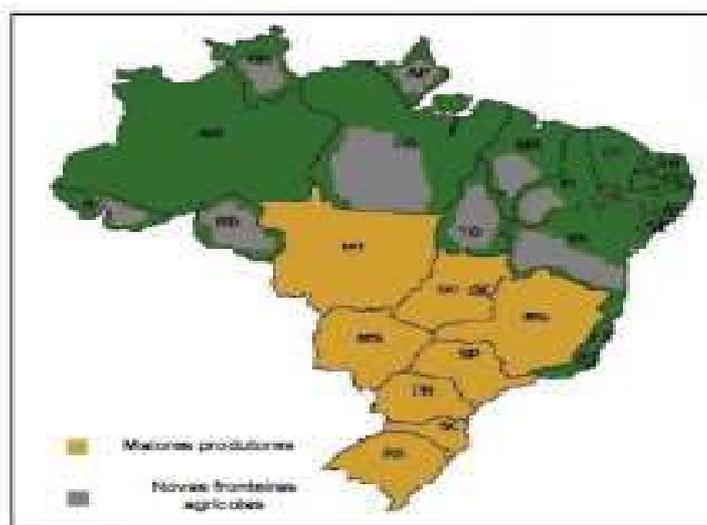


Figura II.7- Representa o mapa da fronteira agrícola produtora de soja no Brasil. (Fonte: SOJA INFO, 2013)

Quimicamente os óleos vegetais, entre eles o de soja, são compostos por moléculas de triacilgliceróis (triésteres de ácido graxo e glicerol). Onde os ácidos graxos insaturados podem apresentar configurações cis e trans e diferentes propriedades físico-químicas (RIBEIRO *et al.* 2007). Sua composição de ácidos graxos é apresentada na tabela II.5.

Tabela II.5 – Composição de ácidos graxos presente no óleo de soja. (Fonte: ANVISA, 2013)

ÁCIDOS GRAXOS	ESTRUTURA	VALORES DE REFERÊNCIA (%)
-	C<14	< 0,1
Ácido Mirístico	C14:0	< 0,5
Ácido Palmítico	C16:0	7,0 - 14,0
Ácido Palmitoleico	C16:1	< 0,5
Ácido Esteárico	C18:0	1,4 - 5,5
Ácido Oléico (Ômega 9)	C18:1	19,0 - 30,0
Ácido Linoléico (Ômega 6)	C18:2	44,0 - 62,0
Ácido Linolênico (Ômega 3)	C18:3	4,0 - 11,0
Ácido Araquídico	C20:0	< 1,0
Ácido Eicosenoico	C20:1	< 1,0
Ácido Behênico	C22:0	< 0,5

Pela análise da tabela acima conclui-se que o ácido graxo presente em maior percentagem no óleo de soja é o ácido linoléico que tem sua fórmula estrutural representada na figura II.8.

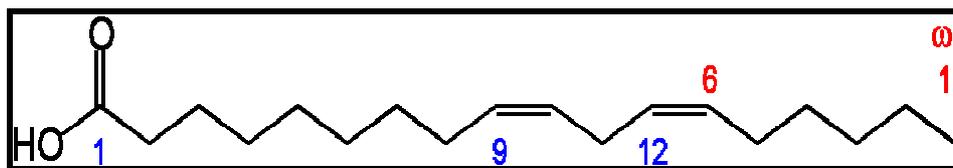


Figura II.8 – Fórmula estrutural do ácido linoléico presente no óleo de soja. (Fonte: SOJA INFO, 2013)

II.6 – Reações de obtenção

As diferentes rotas de obtenção do biodiesel serão descritas nesse subitem, as mesmas diferenciam entre si primeiramente quanto à escolha da matéria prima, que são os ácidos graxos livres provenientes dos óleos ou gorduras e quanto à rota de obtenção.

Quanto aos óleos o que os diferenciam entre si é o teor ácidos graxos, quanto à rota de obtenção pode-se citar a transesterificação ácida e alcalina, o craqueamento térmico (pirólise), o fluido supercrítico e a hidroesterificação. Com exceção das rotas de craqueamento térmico e fluido supercrítico, as demais utilizam catalisador, constituindo um processo catalítico.

Com relação aos tipos de catalisadores, temos que a reação de transesterificação pode ser realizada em meio alcalino ou ácido. Contudo, estudos comprovaram que esse tipo de reação ocorre mais rapidamente em meio alcalino do que na presença de mesma quantidade de catalisador ácido. Além disso, observa-se maior rendimento e seletividade e menores problemas relacionados à corrosão dos equipamentos em meios alcalinos (FERRARI, 2005).

Na catálise homogênea, o catalisador e os reagentes estão dispersos em uma mesma fase que geralmente é líquida, formando uma espécie intermediária com menor energia de ativação. Quanto catalisadores homogêneos são utilizados em reações de transesterificação para a produção de biodiesel há um maior número de etapas, elevando os custos. Como exemplos de catalisadores homogêneos, têm-se íons de metais de transição, ácidos e bases inorgânicas(WOLFF *et al.*, 2008).

Na catálise heterogênea, os reagentes estão adsorvidos na superfície do catalisador que estão em fases distintas. Neste tipo de catálise, os catalisadores são mais facilmente removidos da mistura reacional, minimizando os problemas ambientais. Como exemplos de catalisadores heterogêneos, têm-se metais e óxidos de transição, zeólitas, sílica (SiO₂) e alumina (Al₂O₃) (WOLFF *et al.*, 2008).

II.6.1 – Transesterificação

Transesterificação são reações orgânicas na qual um éster é transformado em outro. Na transesterificação de óleos vegetais, um triglicerídeo reage com um álcool na presença de um catalisador produzindo uma mistura de ésteres monoalquílicos de ácidos graxos e glicerol, há a redução do peso molecular dos triglicerídios, diminuindo a viscosidade e aumentando a volatilidade em decorrência da formação do biodiesel. A figura II.9 ilustra a reação de transesterificação.

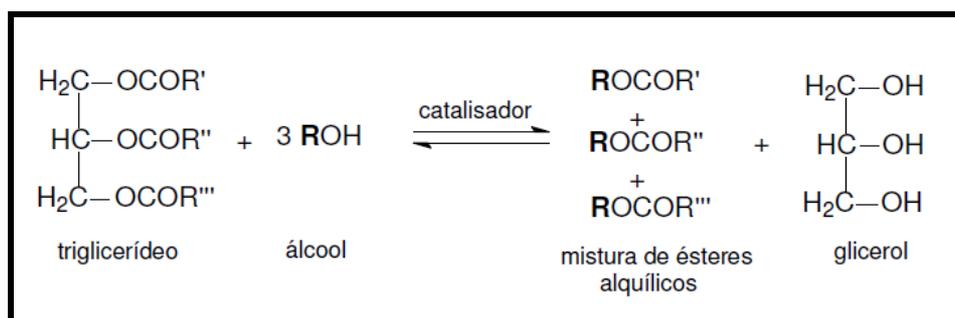


Figura II.9 – Reação de transesterificação. (MAIA, 2005)

A transesterificação de óleos vegetais tem grande importância para o setor energético, uma vez que os ésteres produzidos (biodiesel) a partir de óleos vegetais e álcoois de cadeia curta (metanol ou etanol) estão se tornando uma alternativa renovável para o óleo diesel de petróleo (MAIA, 2005).

A reação é influenciada por fatores como temperatura, quantidade e tipo de catalisador, teor de água no meio reacional, tempo de reação, razão molar álcool/óleo, tipo de álcool e pureza dos reagentes (BUENO, 2005 e SILVA FILHO, 2010).

O processo de síntese de biodiesel é uma seqüência de três reações consecutivas e reversíveis nas quais formam diglicerídeos e monoglicerídeos como intermediários. Quanto à estequiometria, a reação requer um mol de triglicerídeo para três de álcool,

porém, por ser uma reação reversível, usualmente utiliza-se um excesso de álcool objetivando aumentar a conversão em ésteres monoalquílicos (MAIA, 2005).

A reação de transesterificação pode ser catalisada tanto por catalisadores homogêneos quanto heterogêneos que podem ser ácidos (ácido sulfúrico), básicos (hidróxido de sódio, hidróxido de potássio, metóxido de sódio e butóxido de sódio) ou enzimático (lipases) (MAIA, 2005). Porém é imprescindível a presença de um catalisador no processo, pois através dele é maior a solubilidade do álcool no óleo de modo que a taxa da reação seja razoável, sua quantidade varia entre 0,5% e 1,5% em relação à massa de matéria-prima (óleo ou gordura) e sua separação dos produtos formados, o biodiesel e a glicerina, é feita através do uso de um agente neutralizante (VAN GERPEN *et al.*, 2004). Independentemente do tipo de catalisador e das condições utilizadas, geralmente, são usados dois reatores no processo, de modo a garantir conversões em biodiesel superiores a 99% (GARCIA, 2006).

II.6.1.1 – Transesterificação por catálise ácida

Os ácidos mais usados nessa catálise são os de Bronsted dentre eles estão o ácido clorídrico (HCl), o ácido sulfúrico (H₂SO₄) e ácidos sulfônicos. A catálise ácida é indicada para matérias primas de elevada acidez (teor de ácidos graxos superior a 3%, por exemplo, os óleos residuais). Quanto à taxa de conversão podemos considerá-la como lenta e o rendimento de 99% só é possível com temperaturas e tempos de processo superiores a 100°C e 3 horas, respectivamente. A reação com catálise ácida é geralmente mais lenta quando comparada a catálise básica. (ROSSET, 2011) Porém quanto as suas desvantagens podemos citar a dificuldade na separação das fases, a possibilidade de corrosão dos recipientes pelos ácidos e requer alta razão molar álcool/óleo (MAIA, 2005).

A figura II.10 demonstra a ilustração do mecanismo da transesterificação por catálise ácida que ocorre em etapas na qual a primeira delas é a ativação da carbonila permitindo o ataque do álcool ocorrendo a eliminação do diglicerídeo que será convertido em uma mistura de ésteres monoalquílicos e glicerol, a última etapa é a desprotonação da carbonila do novo éster formado. (MAIA, 2005)

Caso haja água no meio reacional o rendimento da reação pode ser reduzida, já que uma possível reação secundária pode ocorrer durante a transesterificação catalisada por ácidos é a hidrólise dos triglicerídeos, ou do éster formado que, leva à formação de ácidos carboxílicos (Figura II.10, reação 1). (ROSSET, 2011)

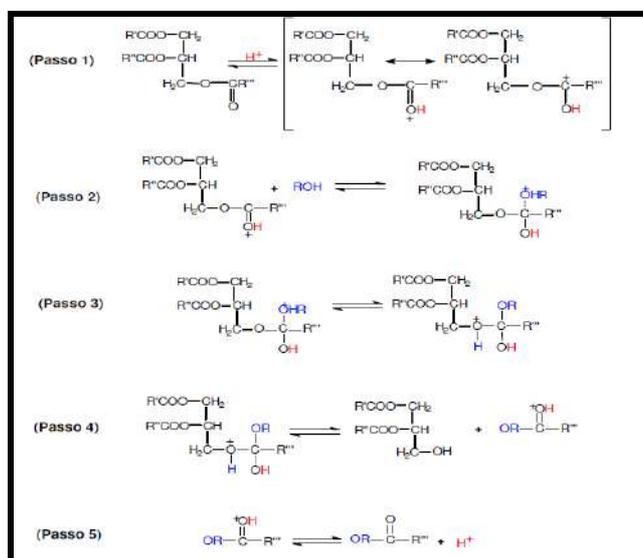


Figura II.10 – Mecanismo da transesterificação por catálise ácida. (Fonte: ROSSET, 2011)

II.6.1.2 – Transesterificação por catálise básica ou alcalina

A transesterificação por catálise básica (homogênea) é preferível em processos industriais, entre as principais bases utilizadas podemos citar os hidróxidos e alcóxidos de sódio ou potássio. Além de menos corrosivas e de mais fácil manipulação, a transesterificação por catálise básica fornece maiores taxas de reação a baixas temperaturas (60°C), baixos custos, menores tempos reacionais (1 hora) e maiores rendimentos quando comparadas com a catálise ácida. Porém apresenta como desvantagens o alto gasto energético, dificuldade separação dos produtos (biodiesel e glicerina), é necessária a remoção do catalisadores tratamento da água alcalina residual, há a necessidade da matéria prima e o álcool serem anidros, pois a presença de água favorece a reação de saponificação, que consumiria o catalisador e reduziria assim a eficiência da rota, além de aumentar a viscosidade do biodiesel, comprometendo sua qualidade. (ROSSET, 2011)

Quanto ao teor de ácidos graxos livres indicado para a matéria prima deve ser inferior a 0,5% (QUINTELLA *et al.*, 2009). Apesar das limitações que elevam o custo de produção, é o processo mais empregado comercialmente (WOLFF *et al.*, 2008). A figura II.11 ilustra o mecanismo da transesterificação por catálise básica.

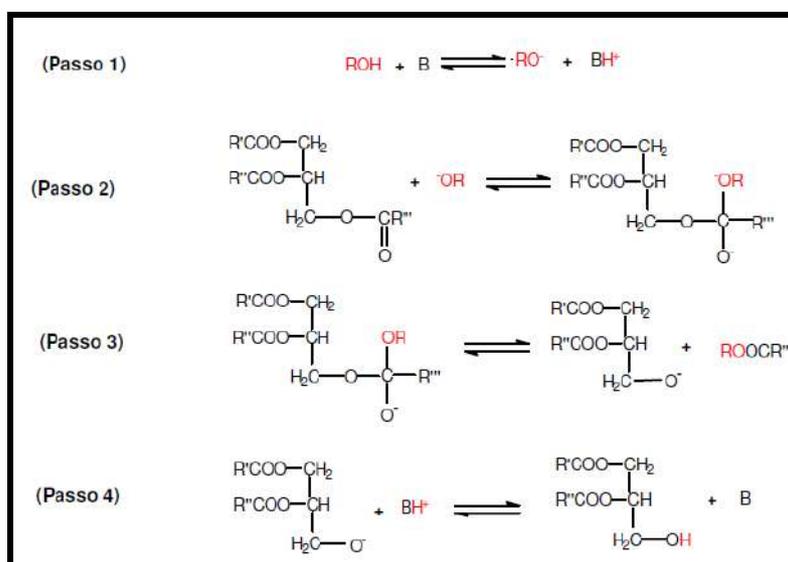


Figura II.11 – Mecanismo da transesterificação por catálise básica. (Fonte: ROSSET, 2011)

O primeiro passo é a reação do álcool e da base gerando um intermediário formado por um diglicerídeo e um éster monoalquílico. Os diglicerídeos e monoglicerídeos irão reagir com a molécula de álcool e serão convertidos em uma mistura de ésteres monoalquílicos e glicerol. (MAIA, 2005)

A transesterificação por catálise básica tem como inconveniente a produção de sabão através da neutralização dos ácidos graxos livres e pela saponificação dos glicerídeos e dos ésteres monoalquílicos formados (Reações 2 e 3 da figura II.11) sendo reações indesejáveis pois diminuem o rendimento da transesterificação por consumirem o catalisador e dificultarem o processo de separação do glicerol e purificação do biodiesel formado. (MAIA, 2005)

A figura II.12 ilustra as reações indesejáveis que ocorrem durante a transesterificação por catálise básica de óleos vegetais, a reação 1 representa a hidrólise dos ésteres formados, a reação 2 representa a saponificação dos mesmos ésteres e a reação 3 ilustra a neutralização dos ácidos graxos livres. (WOLFF *et al.*, 2008)

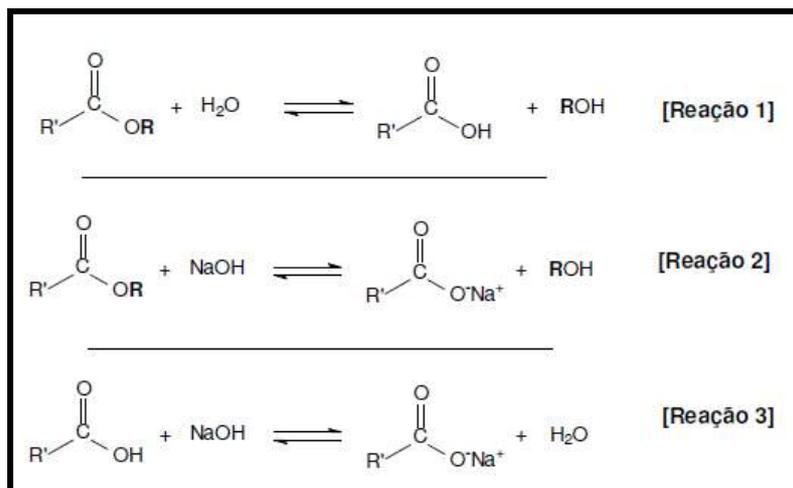


Figura II.12 – Reações paralelas que ocorrem na transesterificação por catálise básica. (Fonte: ROSSET, 2011)

Atuação de transesterificação de óleos vegetais por catálise básica é uma reação relativamente simples, já que ocorre a pressão atmosférica e temperaturas amenas (25 a 70 °C aproximadamente), porém vários parâmetros podem influenciar a reação quanto o processo de separação entre o glicerol e os ésteres monoalquílicos, entre eles podemos citar o tipo de catalisador, razão molar álcool/óleo vegetal, a temperatura, a agitação e a pureza dos reagentes. (MAIA, 2005)

II.6.1.2.1 – Purificação do biodiesel obtido por catálise alcalina

Ao final da reação de transesterificação por catálise alcalina de óleos vegetais há como subprodutos uma fase onde prevalece o biodiesel mais leve e outra mais densa que pode conter glicerina, glicéridos, álcool, água e sabões. O biodiesel precisa passar por um processo de purificação, pois essa mais densa pode causar problema em contato com motores. A necessidade de purificação do biocombustível e da glicerina aumenta o custo da produção e gera efluentes nocivos ao ambiente (QUINTELLA *et al.*, 2009; ROSSET, 2005).

Após o processo de purificação o álcool residual contém água e para a sua recuperação o mesmo precisa ser desidratado através do processo de destilação. Caso a rota adotada para o processo de transesterificação tenha sido metanólica a destilação se torna mais simples, já que o principal princípio de separação desta operação unitária é a

volatilidade relativa dos constituintes da mistura e no caso da rota metanólica a diferença é elevada além do fato do metanol e a água não formarem azeótropo, diferentemente do que ocorre para o etanol (ROSSET, 2011).

A purificação da fase rica em biodiesel é realizada por via úmida que consiste em lavagem seguida de centrifugação e desumidificação. Entretanto, a via seca vem sendo utilizada, pois, não utiliza água no processo gerando menor quantidade de efluentes, neste caso usa-se como adsorventes os silicatos de magnésio, alumínio, cálcio, sódio, sílica gel, hidróxidos e óxidos metálicos (SANTANA *et al.*, 2011).

A glicerina bruta é um líquido incolor de elevada viscosidade e possui um valor agregado, principalmente, no mercado de sabões. Quando purificada através do processo de destilação a vácuo pode ser utilizada como matéria prima na produção de tintas, adesivos, produtos farmacêuticos, têxteis e outros (SANTANA *et al.*, 2011).

II.6.1.3 – Metanol x Etanol

Na reação de transesterificação para a produção de biodiesel usa-se alcoóis de cadeia curta com baixo peso molecular devido à polaridade, sendo os mais usados o metanol e etanol, sendo que o metanol tem uma aplicação maior quando comparado ao etanol.

O metanol apesar da alta toxicidade é mais usado, pois, permite a separação espontânea do glicerol, o processo empregado é mais simples e independente do catalisador o rendimento é alto, apresenta teor de umidade inferior ao do etanol. O uso do etanol torna a transesterificação mais complicada, pois o uso do álcool etílico, mesmo que anidro, gera maior dificuldade de separação das fases, maior gasto energético e, conseqüentemente, no maior custo operacional e o rendimento é menor.

A razão molar álcool/óleo vegetal é um dos principais fatores que influenciam a reação de transesterificação. Um excesso de álcool favorece a formação de produtos, mas, porém uma quantidade exagerada desse reagente dificulta a etapa de separação do glicerol. A razão molar mais citada é de 6:1, pois apresenta resultados satisfatórios,

reações com razões molares inferiores a essas razões foram incompletas e com baixos rendimentos. (ROSSET, 2011)

Tanto na Europa quanto no Brasil a produção do biodiesel é feita através da transesterificação metílica, embora a rota etílica seja conhecida. Por ser auto-suficiente em etanol, o Brasil tem grande destaque na utilização deste álcool, além de ser ambientalmente menos impactante (WOLFF *et al.*, 2008).

Na tabela II.6 apresenta-se as vantagens e desvantagens do uso do metanol e etanol no processo de transesterificação para produção de biodiesel.

Tabela II.6 – Comparativo entre o uso do metanol e etanol na produção de biodiesel. (WOLFF *et al.*, 2008)

Metanol	Etanol
Maior poder calorífero	Menor poder calorífero
Baixo custo de processo	Elevado custo de processo
Menor gasto energético	Maior gasto energético devido à desidratação do álcool (azeotrópico)
Menor tempo de processo (maior reatividade)	Maior tempo de reação
Grande disponibilidade (embora o Brasil não seja autossuficiente na produção)	Grande disponibilidade (o Brasil é produtor)
Facilidade de separação de fases (Biodiesel e glicerina)	Dificuldade de separação das fases (Biodiesel e glicerina)
Maior polaridade	Menor polaridade
Alto rendimento (menor teor de água)	Baixo rendimento
Elevada toxicidade (sintetizado de fontes fósseis)	Baixa toxicidade (obtenção de recursos naturais)
Elevada volatilidade	Biodiesel com maior índice de cetano e maior lubricidade
Maior risco de incêndio	Menor risco de incêndio

II.6.1.4 – Influência da temperatura e da agitação no processo de transesterificação

As temperaturas elevadas possibilitam rendimentos superiores em menores tempos, porém quanto maior a temperatura, maior o gasto energético então é necessário

fazer uma análise comparativa entre o gasto energético necessário para aumentar as temperaturas e o ganho com a diminuição do tempo. (ROSSET, 2011)

Para que a reação de transesterificação ocorra, se faz necessária a agitação do meio reacional para uma perfeita homogeneização do álcool e óleo vegetal, porém para obtenção de altos rendimentos, é imprescindível que a homogeneização seja vigorosa. No entanto, após a homogeneização do sistema, a agitação vigorosa pode causar a dispersão de gotículas de glicerol no meio reacional resultando em maior dificuldade na separação do glicerol, aumentando assim o tempo de separação. (SANTANA *et al.*, 2011)

II.6.2 – Fluido supercrítico

Na produção de biodiesel pela rota metanólica supercrítica (extremas pressões e temperaturas) de óleos sem a utilização de catalisador obtem-se ésteres metílicos idênticos aos obtidos por catálise alcalina, porém com maiores taxas de conversão. A condição de fluido supercrítico ocorre quando a temperatura e pressão do sistema reacional estão acima do ponto crítico dos componentes, a temperatura crítica representa a mais alta temperatura na qual um gás pode ser convertido em líquido com o aumento da pressão e a pressão crítica é a mais alta pressão em que um líquido pode ser convertido em gás, por meio do aumento da temperatura.

O fluido supercrítico pode ser utilizado tanto como meio de reação promovendo a solubilização dos componentes tornando o meio reacional homogêneo como pode participar ativamente da reação. No primeiro caso o fluido supercrítico gera o aumento na seletividade da reação, elevando os rendimentos e facilitando a etapa final de separação, a etapa de separação é também facilitada pelo não uso de catalisadores. As principais desvantagens dessa rota estão nas altas temperaturas (350°C), abaixo de 350°C o rendimento é muito baixo e a cima de 400°C ocorre degradação térmica dos ésteres, altas pressões (45MPa) e no uso de álcool supercrítico, que aumentam o custo do biodiesel (QUINTELLA *et al.*, 2009).

O mecanismo da reação de transesterificação em meio supercrítico consiste no ataque inicial da hidroxila do álcool (etanol ou metanol) diretamente à carbonila do

triglicerídeo, diglicerídeo ou monoglicerídeo do ácido graxo, como resultado da elevada pressão do sistema e baseado no mecanismo de hidrólise do éster. (QUINTELLA *et al.*, 2009).

Para a produção em escala industrial do biodiesel via rota supercrítica algumas características devem ser levadas em consideração, entre elas devido as altas temperaturas e pressões exigidas o equipamento necessário para a produção de biodiesel em escala industrial seria de elevado custo, somados a necessidade de minimizar a demanda energética do processo e diminuir a razão molar álcool/óleo para que se torne economicamente viável.(QUINTELLA *et al.*, 2009).

II.6.3 – Craqueamento térmico (Pirólise)

O craqueamento térmico, ou pirólise, é a conversão de uma substância em outra por meio do uso de calor, no caso da produção de biodiesel é a quebra das moléculas de triglicerídios pelo aquecimento na ausência de oxigênio a temperaturas superiores a 450°C, podendo ser catalisado ou não. A decomposição térmica de triglicerídeos produz compostos tais como alcanos, alcenos, alcadienos, compostos aromáticos e ácidos carboxílicos. Os produtos gerados por esse processo são similares aos derivados de petróleo, tanto ao diesel quanto à gasolina. Sendo as principais desvantagens dessa rota o fato de gerar um combustível com características físicas mais parecidas com as da gasolina que as do diesel, os equipamentos necessários para o processo são de elevado custo, os rendimentos são baixos (60%) e o fato de gerar produtos com baixa viscosidade e elevado número de cetanos e comparados aos óleos vegetais puros (SANTANA *et al.*, 2011; WOLFF *et al.*, 2008). A figura II.13 ilustra o craqueamento térmico de triglicerídeos.

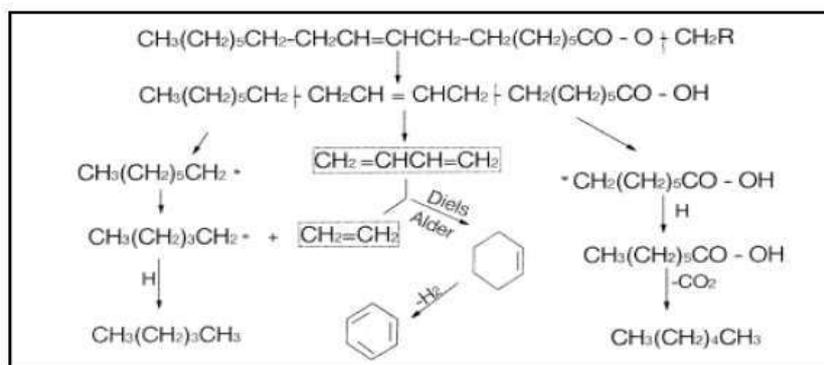
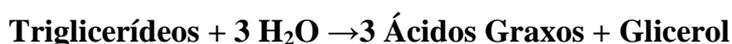


Figura II.13 - Craqueamento térmico de triglicerídeos. (WOLFF *et al.*, 2008)

II.6.4 – Hidroesterificação

O processo de hidroesterificação é uma alternativa de rota na produção de biodiesel e por definição é um processo que envolve uma etapa de hidrólise seguida de uma etapa de esterificação e permite o uso de qualquer matéria-prima graxa (gordura animal, óleo vegetal, óleo de fritura usado, borras ácidas de refino de óleos vegetais, entre outros) que são totalmente transformadas em biodiesel independente da acidez e da umidade que possuem, sendo essa a principal característica que a difere da transesterificação. Atualmente a rota industrial utilizada é a transesterificação por catálise alcalina que conforme já mencionado anteriormente gera como subprodutos sabões devido as reações paralelas de saponificação, para minimizar a produção desse subproduto, utiliza-se invariavelmente matérias-primas semi-refinadas o que elevam o custo operacional, o que torna a hidroesterificação um processo atrativo de ser estudado. (LIMA, 2007)

A primeira etapa da hidroesterificação, a hidrólise, consiste na reação de quebra das moléculas do óleo vegetal (ou gordura) através da água, gerando glicerina e ácidos graxos. O esquema abaixo ilustra essa reação. (LIMA, 2007)



O processo é utilizado no mundo e no Brasil, onde existem atualmente três plantas em operação que chegam a atingir conversões superiores a 99%. Como produto da hidrólise do óleo obtém-se uma glicerina muito mais pura que a glicerina gerada através da transesterificação. (LIMA, 2007)

Após a etapa de hidrólise, os ácidos graxos gerados são esterificados através do metanol ou etanol, obtendo-se o éster com elevado grau de pureza. Como a glicerina foi removida na primeira etapa do processo não há o seu contato com o biodiesel produzido sendo gerado como subproduto apenas a água, conforme observa-se no esquema abaixo. (LIMA, 2007)



A água gerada como subproduto na segunda etapa é reutilizada na etapa de hidrólise. Por ser uma rota que gera biodiesel de elevada pureza sem necessidade de etapas de lavagem apresenta como vantagem a não formação de efluentes e o elevado consumo de compostos químicos que são utilizados nessa etapa. (LIMA, 2007)

A hidroesterificação apresenta como principal vantagem o custo mais reduzido quando comparado a transesterificação, isso se deve ao fato da possibilidade de utilização de matérias primas mais baratas que são de inviável uso na transesterificação, como o uso de qualquer matéria prima graxa (gordura animal, óleo vegetal, óleo de fritura usado, borras ácidas de refino de óleos vegetais, entre outros). Como cerca de 80% do custo de produção do biodiesel é proveniente do custo da matéria prima, a hidroesterificação permite um significativo salto na viabilidade de um projeto de biodiesel. (LIMA, 2007)

II.7 – Processos de produção industrial do biodiesel

A produção de biodiesel atualmente é feita através do processo de transesterificação metanólica, porém nesse tópico será abordada uma planta de produção de biodiesel e suas principais operações unitárias pela rota de hidroesterificação, pois é uma rota que apresenta como um dos benefícios a possibilidade do uso de qualquer matéria-prima graxa, sendo de grande importância entender se é economicamente mais atrativa do que a rota de transesterificação.

II.7.1 – Processo de produção industrial de biodiesel pela rota de transesterificação

II.7.1.1 – Por transesterificação química

O processo de produção do biodiesel pela rota de transesterificação química consiste nas etapas de escolha e preparação da matéria prima, reação de transesterificação, separação de fases, purificação da glicerina e a purificação do biodiesel. A figura II.14 ilustra esse processo.

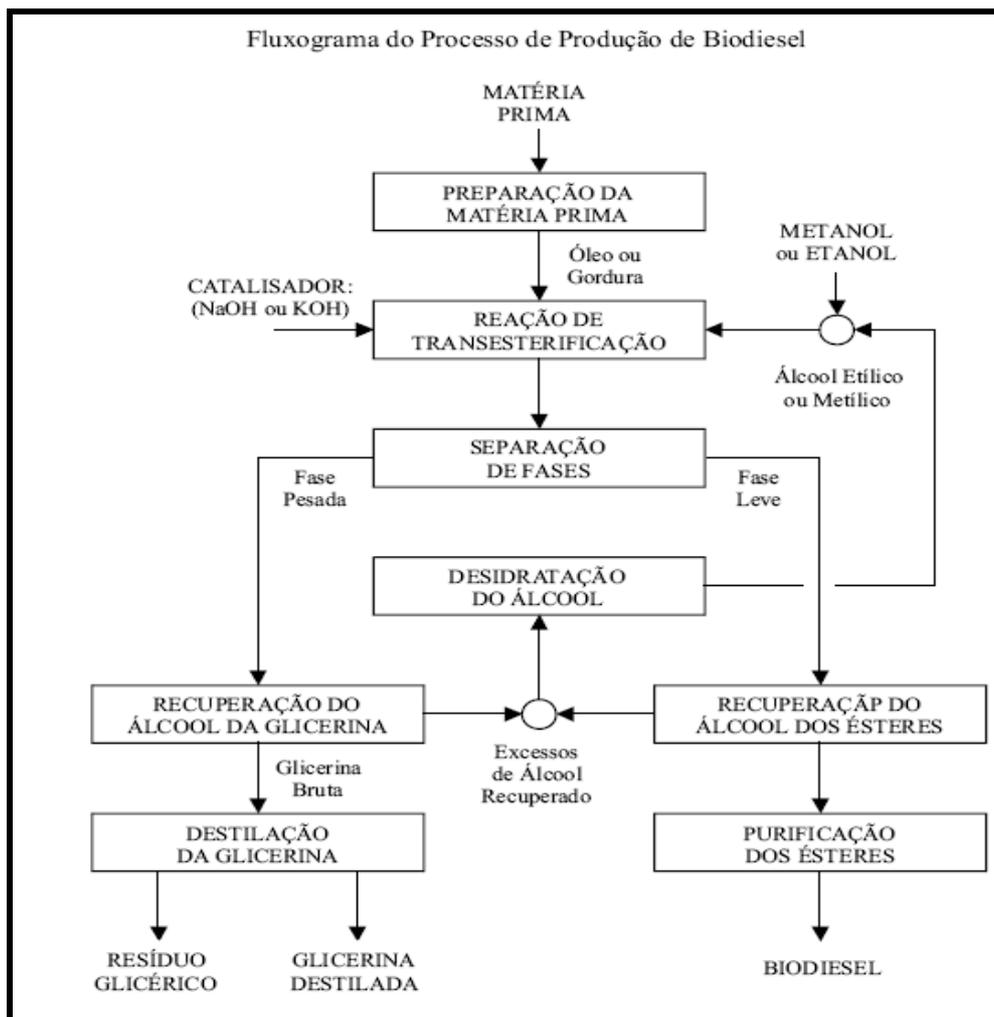


Figura II.14 – Processo de produção do biodiesel pela rota de transesterificação (Fonte: PARENTE, 2003)

II.7.1.1.1 – Escolha e preparação da matéria-prima para a produção de biodiesel por transesterificação

Conforme já mencionado anteriormente o biodiesel pode ser produzido a partir de diferentes espécies oleaginosas, tendo o Brasil um grande potencial no cultivo de uma variedade delas. Entre as principais matérias-primas, conforme já mencionado anteriormente, podemos citar os óleos de soja, algodão, dendê, macaúba, milho, girassol, amendoim, mamona, nabo-forrageiro, óleos e gorduras residuais resultantes de processos domésticos, comerciais e industriais. (SANTANA *et al.*, 2011; WOLFF *et al.*, 2008)

A escolha da oleaginosa dependerá da sua competitividade técnica e econômica, além de suas propriedades físicas como teor em óleo, produtividade por unidade de área, adequação a diferentes sistemas produtivos, sazonalidade, entre outros. (ROSSET, 2011)

Quanto ao rendimento, o óleo de dendê está entre os que mais se destacam, pois além dessas características, sua composição química permite a produção de um biodiesel com propriedades físicas e combustíveis semelhantes às propriedades do óleo diesel do petróleo, além de apresentarem boa estabilidade. (ROSSET, 2011)

O óleo de soja é o de maior utilização no Brasil para a produção do biodiesel, pois sua planta de origem, a soja, é produzida em larga escala nas regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste do país. Apesar de necessitar de uma maior área de plantio para a geração da mesma quantidade de óleo quando comparado ao dendê. (BIODIESELBR, 2013)

Em relação aos óleos e gorduras residuais, provenientes de processamentos domésticos, comerciais e industriais, representam um grande potencial de oferta que pode ser superior a 30.000 toneladas anuais. Pelo fato do Brasil ser um grande produtor de carnes, é grande também a oferta de sebo de animais. (BIODIESELBR, 2013)

Independente da oleaginosa de origem, os óleos devem ser processados com baixo teor de ácidos graxos livres e umidade para evitar a formação de produtos saponificados que diminuem eficiência de conversão. Para adequar a matéria prima a parâmetros de umidade e acidez aceitáveis para o processo, é necessária uma etapa de preparação antes da etapa de reação. Nessa etapa, a matéria prima é neutralizada através de uma lavagem com uma solução alcalina de hidróxido de sódio ou de potássio, seguida de uma operação de secagem ou desumidificação. Nessa etapa, gera-se como resíduo sabões de difícil tratamento. (BIODIESELBR, 2013)

II.7.1.1.2 – Reação de transesterificação

Existe uma variada gama de opções de sistemas operacionais para a produção de biodiesel, a opção escolhida deve ser em função principalmente da capacidade de produção e da matéria-prima escolhida e sua qualidade. Alguns sistemas operacionais

são capazes de se adequarem a vários tipos de matérias-primas, outros sistemas já não possuem essa versatilidade. Geralmente, para plantas com baixa capacidade de produção, utiliza-se sistema de batelada, já os sistemas contínuos são de maior aplicação quando o volume de produção é elevado, porém a qualidade da matéria-prima deve ser mais uniforme. (BIODIESELBR, 2013)

O processo de produção do biodiesel mais usado atualmente ocorre através da reação de transesterificação por catálise alcalina em batelada na qual o tempo de reação varia de 20 minutos à 1 hora e utiliza-se como opções de catalisadores o hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio. Primeiramente, o reator é carregado com óleo e posteriormente com o álcool e o catalisador. O meio reacional é então mantido sob agitação e após o término da reação, a agitação é cessada e a mistura reacional é bombeada para um decantador ou para uma centrífuga para a eliminação do excesso de álcool por evaporação. As etapas seguintes do processo são a neutralização do catalisador, lavagem e estocagem do produto. (ROSSET, 2011)

Os processos contínuos também é uma opção para produção de biodiesel, utilizando reatores do tipo CSTR que são tanques de agitação interligados em série. Outro tipo de processo contínuo utiliza um sistema reacional de fluxo plugado (PRF), onde o meio reacional é enviado continuamente para o reator, diferentemente da batelada onde a mistura permanece no tanque de agitação durante toda a reação. Como o meio reacional é enviado continuamente para o reator, o tempo de residência é reduzido (6 a 10 minutos) e frequentemente opera em elevadas temperaturas e sob pressão de forma a aumentar a velocidade da reação. (BIODIESELBR, 2013)

Quanto a catalise, a produção de biodiesel por processo contínuo pode ser realizada tanto por catálise heterogênea quanto homogênea. No caso de sistemas contínuos com reator de leito fixo o catalisador deve ser heterogêneo. Já quanto ao substrato utilizado quando apresentam elevado teor de ácidos graxos deve ser acrescentada uma etapa de neutralização dos ácidos graxos livres, separando os sabões formados e o óleo seco é submetido a reação de transesterificação alcalina. (BIODIESELBR, 2013)

II.7.1.1.3 – Separação de fases

O produto gerado pela reação de transesterificação é composto por duas fases a de maior densidade é composta por glicerina e a menos densa de biodiesel, porém ambas as fases estão contaminadas por álcool, água e catalisador. Para separá-las o produto é submetido ao processo de decantação ou centrifugação. O álcool é recuperado de ambas as fases a partir do processo de destilação sendo reutilizado no processo. (ROSSET, 2011)

II.7.1.1.3 - Purificação do biodiesel

O biodiesel obtido na reação de transesterificação passa por um processo de lavagem para a retirada do álcool, do catalisador e do glicerol e após esse processo o produto que ainda contém água é desumidificado que ocorre sob aquecimento de 100°C por 30 minutos. (BIODIESELBR, 2013)

II.7.1.1.4 - Purificação da glicerina

A glicerina é um dos subprodutos da reação de transesterificação para produção de biodiesel. O termo glicerina aplica-se aos produtos comerciais purificados, contendo pelo menos 95% de glicerol, porém a glicerina resultante da produção de biodiesel tem baixa pureza (cerca de 30%) e características físicas diferentes da que é utilizada na indústria farmacêutica, cosmético e de higiene, com impurezas e colorações que dificultam o que inviabiliza seu emprego no setor industrial. Para isso é preciso que a glicerina passe por um processo de purificação e o processo adotado depende do tipo de catalise que foi utilizada na reação de transesterificação. (BIODIESELBR, 2013)

Caso a reação tenha sido catalisada por uma base recupera-se a glicerina adicionando ácido que neutraliza o sabão transformando-o em ácido graxo. O produto desse procedimento possui duas fases uma de maior densidade que é composta de glicerina e sais(gerados pela neutralização do catalisador) e outra menos densa composta pelo ácido graxo recuperado, as fases são separadas em um decantador ou centrífuga gerando glicerina com grau de pureza de 84%. Para obtenção da glicerina com maior grau de pureza para sua utilização na indústria farmacêutica, sua purificação

é feita através do processo de destilação à vácuo resultando em um produto límpido e transparente, gerando uma glicerina de grau de pureza superior a 99%. (ROSSET, 2011)

A figura II.15 representa o fluxograma do processo de transesterificação por via química.

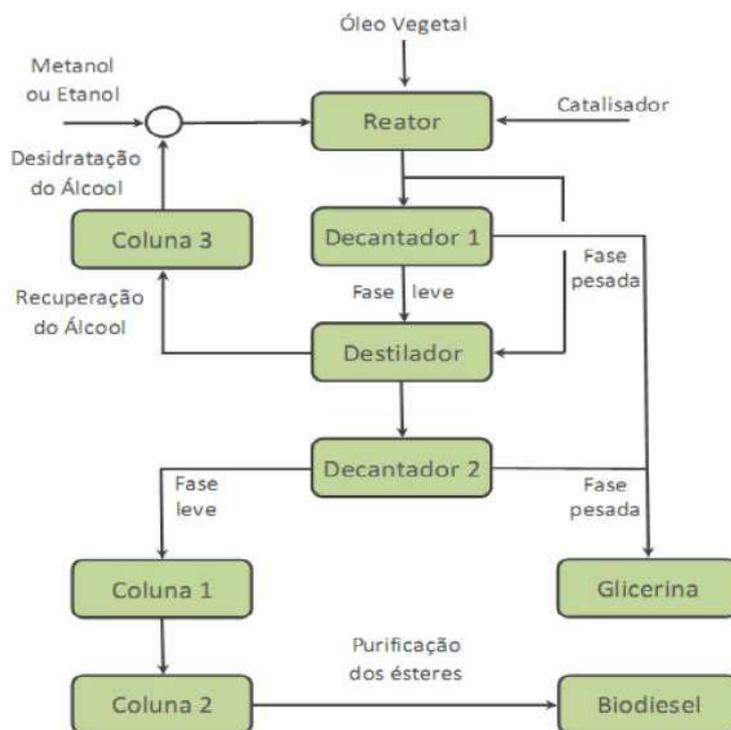


Figura II.15 – Fluxograma do processo produtivo da transesterificação via rota química. (Fonte: ROSSET, 2011)

No caso da transesterificação via química do óleo de soja, adiciona-se ao reator o óleo, álcool (metanol ou etanol) e o catalisador (mais usualmente o NaOH) onde ocorre a reação de transesterificação resultando na formação de duas fases: a fase contendo, principalmente, o biodiesel e traços de óleo de soja não reagido e a fase contendo glicerina, etanol e catalisador. As fases antes de serem purificadas são separadas em um decantador. O biodiesel, então, passou por processo de lavagem em três misturadores para a retirada de quaisquer resíduos de glicerina. Visando obter maior rendimento em relação ao biodiesel realiza-se uma segunda etapa de transesterificação onde adiciona-se ao reator etanol anidro 99% (v/v) e hidróxido de sódio, após a segunda reação de transesterificação as fases passam novamente por uma etapa de decantação onde a fase de maior densidade contendo o biodiesel passa novamente por três

processos de lavagem em misturadores e por último visando a retirada da umidade o biodiesel passou por processo de destilação sendo recuperado no topo do destilador.

Centrifuga-se a fase rica em glicerol para que se removam sabões e traços de contaminantes sendo depois enviada para uma coluna de destilação visando a purificação da glicerina e a recuperação do etanol que voltará para o processo.

II.7.2 – Processo de produção de biodiesel pela rota de hidroesterificação

Conforme já definido anteriormente, a hidroesterificação caracteriza-se por uma etapa de hidrólise anterior a etapa de esterificação. A figura II.16 ilustra o processo.

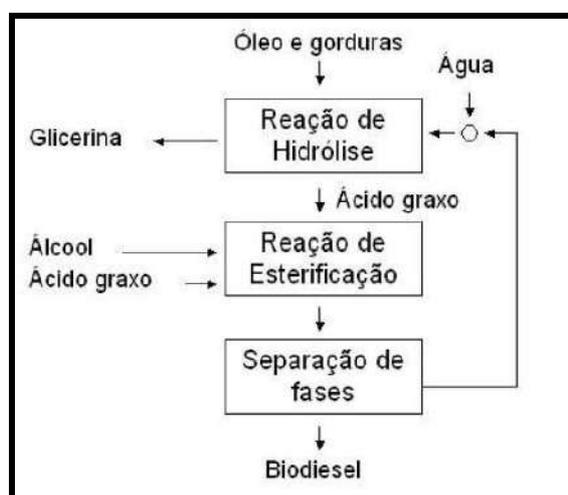


Figura II.16 – Processo de hidroesterificação para produção de biodiesel. (Fonte: WOLFF *et al.*, 2008)

O processo industrial da produção de biodiesel a partir da hidroesterificação consiste em enviar para um primeiro tanque a água e a gordura ou óleo vegetal (tanto a água quanto o óleo ou gordura são estocados em tanques de armazenamento), para que ocorra o primeiro processo de hidrólise, logo após, o produto dessa primeira etapa, a gordura ácida, é enviada para um segundo tanque onde novamente adiciona-se água para um segundo processo de hidrólise gerando os ácidos graxos e glicerol, antes dos ácidos graxos serem enviados para um reator ocorre a separação do glicerol em um decantador ou centrífuga, o ácido graxo é então submetido a esterificação com a adição do álcool em um reator formando o biodiesel e a água. A figura II.17 ilustra o processo de produção do biodiesel por hidroesterificação.

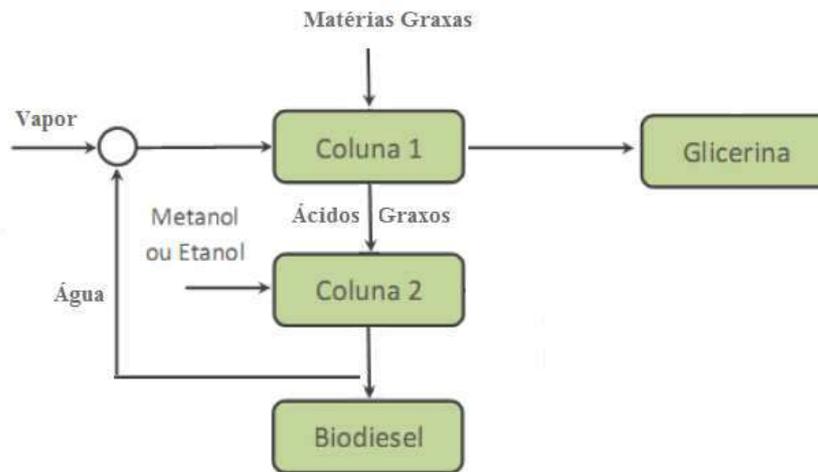


Figura II.17 – Processo de hidroesterificação para a produção industrial de biodiesel (Fonte: BIOCMBUSTÍVEIS, 2013)

II.8 – Corrosão nos processos de produção do biodiesel

Os equipamentos projetados para uma planta de produção de biodiesel são em alguns casos feitos de aço inoxidável ou recebem algum revestimento neste material, tendo alguma importância no projeto de uma planta de produção de biodiesel o estudo do impacto da corrosão nesses equipamentos, esse assunto será abordado nesse tópico.

Os aços inoxidáveis são ligas de ferro e carbono com no mínimo 10,5% de cromo e dependendo do meio corrosivo ao qual é exposto, apresentam boa resistência a corrosão quando comparado a outras ligas. Quando o aço inoxidável é exposto ao ar ou à água forma uma fina e estável camada de óxidos de cromo, também chamada de camada passiva, a mesma é responsável pela proteção do aço à corrosão. (GENTIL, 2007) Quando necessário adiciona-se a liga outros elementos visando uma melhor resistência a corrosão e melhora das propriedades mecânicas. (PANOSSIAN, 1993)

A composição química do aço determina as fases que se formam quando as ligas são resfriadas, solidificadas ou passam por tratamentos térmicos, são elas: austenita, ferrita a martensita e em função dessas fases os aços podem ter diferentes classificações, porém apenas os chamados austeníticos e os ferríticos tem aplicabilidade no segmento de biodiesel. (PANOSSIAN, 1993) Os austeníticos contém em sua matriz um percentual de cromo mínimo de 16%, de níquel mínimo de 6% e de carbono variando entre 0,02 e 0,15%, já os ferríticos são ligas formadas de ferro e cromo, com teores de cromo

variando entre 10,5 a 27% que apesar de conferirem ao aço uma boa resistência à corrosão e boa condutividade térmica, em geral são considerados inferiores aos austeníticos.

Segundo Sedrick (1996), algumas propriedades físicas dos aços inoxidáveis ferríticos podem influenciar no comportamento contra a corrosão entre elas fragilização a altas temperaturas e a formação de fases indesejáveis como carbonetos, nitretos e compostos intermetálicos, no processo de fabricação do aço. Durante o processo de soldagem algumas dessas fases secundárias podem precipitar como, por exemplo, os carbonetos de cromo podendo ser responsáveis pela fragilização do aço, pela corrosão intergranular e pode reduzir a resistência à corrosão por pites nesses aços.

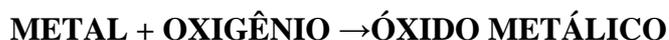
As principais morfologias de corrosão nas plantas de produção de biodiesel são: a corrosão por pites, a corrosão em frestas, a corrosão intergranular e a corrosão sob tensão. (MIRANDA, 2009) Nos tópicos seguintes serão abordados o conceito de corrosão, uma breve descrição das principais formas de corrosão na planta de produção de biodiesel além de um resumo de outras formas, métodos de proteção contra a corrosão.

Uma das formas de classificação da corrosão é quanto aos mecanismos físico-químicos que ocorrem, dependendo do tipo de ação do meio corrosivo sobre o material, podendo ser classificada em dois grandes grupos: química ou eletroquímica. O primeiro tipo ocorre em casos particulares de operação em altas temperaturas e pressões, sendo caracterizado também pela ausência de água no estado líquido (corrosão seca) ou na presença de óleos e solventes orgânicos e a direta interação entre o material e o meio corrosivo, sendo os casos mais comuns a reação com o oxigênio (oxidação seca). O segundo caso é mais comumente encontrado na natureza e possui características como a necessidade da presença de água no estado líquido, temperaturas abaixo do ponto de orvalho da água, estando a grande maioria na temperatura ambiente e a formação de uma pilha ou célula de corrosão, com circulação de elétrons na superfície metálica (GENTIL, 2007).

II.8.1 – Corrosão por Ação Química ou Oxidação Seca

Os metais de maneira geral são encontrados na natureza em forma de óxidos, sulfetos, etc., que são suas formas mais estáveis. Após ser transformado, este metal estará em uma forma menos estável e tenderá a voltar a sua forma mais estável que é o óxido (GENTIL,2007).

Desta maneira, a corrosão por ação química ou oxidação seca é caracterizada pela reação de retorno do metal a sua forma mais estável e apresenta a seguinte reação genérica:

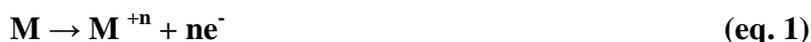


Esta reação só se processa através da difusão de oxigênio, e conforme a reação transcorre, há a formação do óxido de metal dando origem a uma camada protetora que atua como uma barreira à própria oxidação metálica dependendo do meio corrosivo que o material está exposto.

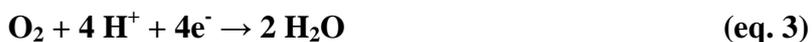
II.8.2 – Corrosão Eletroquímica

A corrosão eletroquímica ocorre na presença de uma solução que permita a movimentação dos íons quando surge espontaneamente uma diferença de potencial elétrico e é constituída de dois processos parciais que envolvem reações de oxidação e de redução. Estas reações ocorrem na mesma velocidade sem acúmulo de cargas, onde os elétrons que são disponibilizados na região anódica são recebidos na região catódica (GENTIL, 2007). As equações podem ser descritas de forma generalizada da seguinte forma:

- Reação anódica:



- Reações catódicas possíveis:





A reação catódica (eq. 2) representa a evolução de hidrogênio e ocorre em meios com a presença de ácidos ou de soluções aciduladas. A reação (eq. 3) corresponde à redução do oxigênio em meio ácido e a (eq. 4) em meio básico ou neutro; essa situação é a mais comum, pois a presença do oxigênio se dá pelo simples contato da solução com o ar ambiente. As reações (eq. 5), de redução de íon metálico, e (eq. 6), de deposição de metal, são menos comuns.

II.8.3 – Morfologia

Outra forma de classificação da corrosão é quanto à sua morfologia, que considera a aparência e a característica da forma afetada e apresentam-se nas seguintes formas: uniforme, por placas, alveolar, transgranular, filiformes, por esfoliação, grafítica, dezincificação, empolamento pelo hidrogênio, em torna da solda, em frestas, localizada ou por pites, intergranular e sob tensão. As morfologias mais comuns nos processos de produção de biodiesel são: em frestas, sob tensão, localizada e intergranular, essas morfologias serão descritas mais detalhadamente. (MIRANDA, 2009)

- Em frestas – A corrosão em fresta ocorre devido a diferenças geométricas como soldas, juntas, chapadas sobrepostas, trincas e defeitos metalúrgicos, sendo inerentes as construções com metais, portanto torna-se necessário sua minimização durante o projeto da planta. A corrosão eletroquímica pode ocorrer devido à aeração ou concentração iônica diferencial formando pilhas nas frestas dos metais (FONTANA, 1986)

O mecanismo da corrosão em frestas ocorre conforme a equação 1 mostrada anteriormente, onde após o oxigênio ter deixado a região no interior da fenda, ocorre a oxidação do metal. Os elétrons dessa reação eletroquímica pelo metal até as regiões externas onde são consumidos em reações de redução, conforme mostrado anteriormente na equação 4. Em casos de ambientes aquosos os aços inoxidáveis têm a

sua camada passivadora destruída pelos íons Cl^- desenvolvidos em concentrações elevadas no interior das frestas estamos mais suscetíveis a esse tipo de corrosão. (FONTANA, 1986)

As principais formas de se evitar a corrosão em frestas é através da utilização de juntas soldadas e não aparafusadas, a utilização de juntas não absorventes, execução de projetos com vasos de contenção evitando áreas de estagnação e a drenagem completa (FONTANA, 1986)

- Localizada, puntiforme ou por pites – Caracteriza-se pelo ataque localizado de pequenas áreas consistindo na formação de pequenas cavidades (pites) de profundidade considerável em relação ao seu diâmetro. Os pites podem estar isolados ou próximos uns aos outros, sendo que nesse último formará uma superfície áspera sobre o metal, os pites são preenchidos com produtos da corrosão sendo denominados de pites tuberculares por apresentar pequenos depósitos sobre a abertura (FONTANA, 1986). Essa morfologia é muito comum em metais que formam película protetora e estão sob a ação de agentes que conseguem romper a mesma em certa localidade, dando início ao processo corrosivo. (GENTIL, 2007)

A corrosão por pites ocorre principalmente quando há o contato do aço com águas contaminadas por halogenetos, principalmente, cloreto, fluoreto e brometo. Os pites se formam preferencialmente em regiões anódicas como segregações e precipitados que são intensificados com a estagnação do meio, sendo assim, uma superfície polida apresenta maior resistência a esse tipo de corrosão e a adição de molibdênio melhora a estabilidade da camada passivadora. (MIRANDA, 2009)

- Intergranular – Ocorre nas vizinhanças dos contornos dos grãos da rede cristalina, podendo gerar fraturas e resultando na perda das propriedades mecânicas do material. Essa forma é comum em aços inoxidáveis e quando o ataque corrosivo ocorre sob pressão.(GENTIL, 2007) As micro-células de corrosão são originadas devido a presença de precipitados e segregações nos contornos do grão, esse precipitado se forma pela difusão de impurezas ou de elementos da liga para a região em torno do grão, pois é uma região energeticamente favorável. A corrosão ocorre devido à diferença de potencial entre a região no entorno e interna do grão. (PANOSSIAN, 1993)

Nos aços inoxidáveis ferríticos, os elementos como titânio, nióbio ou zircônio são importantes para conferir resistência à corrosão intergranular por formarem carbonetos ou nitretos desses componentes. Já a presença do carbono em teores superiores a 0,01% já é o suficiente para favorecer o ataque corrosivo. Além da adição dos elementos citados acima, para melhorar a resistência a esse tipo de ataque corrosivo utiliza-se a técnica de tratamento térmico entre 650 e 800°C, pois a essas temperaturas ocorre a difusão de cromo na ferrita homogeneizando as áreas suscetíveis ao ataque corrosivo. (PANOSSIAN, 1993)

- Sob tensão – É resultado da ação simultânea do meio agressivo e de tensões de tração estática aplicadas sobre o metal ou liga, o aparecimento de trincas sobre a superfície que aparentemente está intacta evidencia o ataque corrosivo. Ocorre a formação de pequenas trincas que se espalham na direção perpendicular à tensão aplicada podendo ocorrer à falha. (FONTANA, 1986) A tensão que produz a trinca não necessariamente é proveniente de uma aplicação externa, podendo ser uma tensão gerada no processo de conformação, resultantes de mudanças rápidas de temperaturas ou de uma contração desigual no caso de ligas bifásicas com coeficiente de expansão diferentes.

II.8.4 – Métodos de Prevenção e Proteção à Corrosão

Dentre os principais fatores que influenciam a corrosão se encontram o material constituinte dos equipamentos e o meio no qual está exposto além do modo que estes equipamentos são operados. Existem diversos métodos de prevenção e proteção contra a corrosão. A filosofia de proteção à corrosão deve ser a de selecionar o material constituinte da peça que mais adequadamente se adapta ao meio ambiente onde ela deve operar, mantendo sua integridade durante toda a vida útil do equipamento considerando o custo do material, usa-se também inibidores e revestimentos, no caso dos revestimentos podem ser inclusive de aço inoxidável para que o equipamento possa ser projetado de um aço com um custo menor. (GENTIL, 2007)

A seleção dos materiais constituintes dos equipamentos projetados deve considerar alguns fatores como, por exemplo, a sua aplicação - de forma obter a

maximização da vida útil do equipamento - e o custo do material - de forma a manter a integridade do equipamento durante toda a vida útil. Quando o material utilizado para a construção é de natureza metálica, a composição química e algumas propriedades mecânicas do metal são importantes, como a dureza, fluência, fadiga, rigidez, compressão, cisalhamento, impacto, tração, força e desgaste.

Os custos com prevenção englobam fatores como matérias-primas, custos de produção em relação à conformabilidade, soldabilidade e vida útil. Em termos de matéria-prima, fatores que impactam nos custos são: a especificidade do material, se é facilmente comprado a partir do fabricante ou na prateleira e se alguma ferramenta é necessária para atender a padrões específicos.

CAPÍTULO III

ANÁLISE ECONÔMICA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DO BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE SOJA

O estudo de viabilidade econômica de projetos de investimento diz respeito ao uso de indicadores econômicos como parâmetros quantitativos a fim de verificar consistência e a rentabilidade do projeto a ser implementado, permitindo dessa forma ao investidor aceitar ou recusar uma proposta de investimento.

Do ponto de vista econômico, conceitua-se um projeto de investimento como qualquer atividade produtiva de vida limitada, que necessite de alguns recursos na forma de bens de produção objetivando gerar recursos futuros. Assim conceituado, possibilita a quantificação monetária dos insumos e produtos associados ao projeto (NORONHA *et. al.*, 1995).

Objetivando a avaliação econômica de projetos faz-se necessário o entendimento de alguns parâmetros financeiros, entre eles o Orçamento de Capital, definido por Macedo (2006) como sendo um resumo dos gastos e benefícios gerados por uma alternativa de investimento. Para sua estruturação, aplica-se algumas técnicas econômico-financeiras e assim seja possível para o investidor analisar a viabilidade dos projetos de investimento disponíveis para escolha. A escolha do conjunto de projetos que receberão investimentos precisa satisfazer uma série de objetivos estratégicos do investidor.

Um dos modelos de análise econômico-financeira mais importante e mais utilizado para avaliar opções de investimento, em termos financeiros, é o Modelo de Desconto de Fluxo de Caixa (DFC), que se baseia na teoria de que um investimento em um projeto depende dos benefícios futuros que ele irá produzir, descontados para valor presente, através de uma taxa de desconto. As seguintes técnicas são utilizadas: o Valor Presente Líquido (VPL), que mede a riqueza gerada por um determinado ativo a valores atuais; a Taxa Interna de Retorno (TIR), que representa a rentabilidade do projeto e o Payback Descontado (PPD), que representa o prazo de recuperação do capital investido, considerando explicitamente o valor do dinheiro no tempo. Além dos indicativos acima

é importante também conhecer a taxa mínima de atratividade (TMA), que pode ser definida como a taxa mínima de lucratividade que o investidor pretende ter de retorno de seu investimento.

Consideram-se também para a decisão de investimento as condições de incerteza na análise. Para tal uma análise de sensibilidade é realizada, que constitui na atribuição discreta de valores a certas variáveis para saber o impacto desta variação nos indicadores de viabilidade, passando pela análise de pontos de mudança de decisão, até uma medida de risco representada pela probabilidade de viabilidade dos projetos.

Para a investigação da viabilidade econômica de um projeto é importante também o cálculo do CAPEX (*capital expenditure*) que é o montante de investimentos realizados em equipamentos e instalações de forma a manter a produção de um produto ou serviço e o OPEX (*operational expenditure*) que pode ser definido como o custo associado à manutenção dos equipamentos e aos gastos de consumíveis e outras despesas operacionais, necessários à produção e à manutenção em funcionamento do negócio ou sistema.

III.1 – Taxa mínima de atratividade (TMA)

Os métodos de análise econômica que empregam o fluxo de caixa consideram que o investidor tem os recursos necessários que serão aplicados em um possível projeto e que estes estão aplicados ou podem ser usados para empréstimos a certa taxa de juros, nomeia-se essa taxa de juros, da aplicação ou financiamento de taxa mínima de atratividade (NORONHA *et. al.*, 1995).

No método de avaliação econômica que utiliza uma TMA os valores monetários (investimentos, receitas, custos, entre outros) nos diferentes n períodos de tempo são trazidos para o instante zero (dias atuais) descontados dessa taxa e caso o resultado seja positivo, a TIR (taxa interna de retorno) supera a TMA e o investimento torna-se atrativo. (NORONHA *et. al.*, 1995) A TMA é uma taxa de juros que expressa a lucratividade mínima pretendida pelo investidor e é formada por três componentes básicas: o custo de oportunidade que é a lucratividade obtida em alternativas não analisadas nas quais o capital poderia estar investido, entre elas pode-se citar a

caderneta de poupança, o fundo de investimentos, entre outros; o risco do negócio considera que a lucratividade deve compensar o risco inerente do negócio, sendo assim quanto maior o risco, maior a lucratividade esperada e por último a liquidez que caracteriza-se pela capacidade de se sair da posição em que se está para outra no mercado. (NORONHA *et. al.*, 1995)

III.2 – CAPEX

Conforme mencionado anteriormente o CAPEX (*capital expenditure*) é o montante de investimentos realizados em equipamentos e instalações. Para seu cálculo a metodologia utilizada nesse trabalho, proposta por Turton, é a indicada para a comparação entre alternativas de um mesmo processo onde o objetivo principal é a obtenção de uma estimativa preliminar do custo. (TURTON *et al.*, 2009)

Existem duas formas para estimar-se o custo de uma planta, um dos objetivos desse trabalho, uma delas é a partir de uma planta similar já existente ou pode ser calculada para uma planta nova. (TURTON *et al.*, 2009)

Para o cálculo do custo de uma planta a partir de uma já existente deve-se conhecer as dimensões das plantas e o custo da planta base deve ser atualizado em relação à capacidade da planta nova e em relação à data de sua construção, conforme as equações 7 e 8.

$$\frac{C}{C \text{ base}} = \left(\frac{A}{A \text{ base}} \right)^n \quad (\text{Eq. 7}) \quad CM = CM_{\text{base}} \left(\frac{I \text{ atual}}{I \text{ base}} \right) \quad (\text{Eq.8})$$

Onde:

C= custo

A= Capacidade da planta

n = Expoente de custo (0,60 a 0,80) – Valores típicos para a indústria química

I = Índice econômico (tabelado)

CM = Custo instalado ou do módulo

Para a atualização do custo em relação à data de construção, utiliza-se índices encontrados na literatura como, por exemplo, o CEPCI (*Chemical Engineering's plantcostindex*) e o M&S (*Marshall & Swift equipmentcost index*).

Segundo Turton (2009), o mecanismo desse método consiste em encontrar o custo de cada equipamento em questão nas condições-base (custo base) de acordo com a equação 9:

$$\log_{10} CB = K_1 + K_2 \log_{10} A + K_3 (\log_{10} A)^2 \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde :

CB = custo base;

K_1 , K_2 e K_3 = Parâmetros tabelados (TURTON *et al.*, 2009);

A = Parâmetro de capacidade

O custo instalado ou custo por módulo (CM) é obtido em relação ao custo base (CB) considerando a pressão de operação e o material do qual o equipamento é feito. A equação 10 mostra essa relação. (TURTON *et al.*, 2009)

$$CM = CB(B_1 + B_2 F_p F_m) \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

CM = Custo do módulo;

B_1 e B_2 = parâmetros tabelados (TURTON *et al.*, 2009);

F_m = Fator de material tabelado (TURTON *et al.*, 2009);

F_p = Fator de pressão

O cálculo do fator de pressão é feito segundo as equações 11 e 12:

$$F_p = \frac{(P + 1)D}{2(850 - 0,6(P + 1))} + 0,00315$$

- Para vasos: $0,0063$ (Eq. 11)

- Demais equipamentos: $\log F_p = C_1 + C_2 \log P + C_3 (\log P)^2$ (Eq. 12)

Onde:

P= pressão (bar);

D = Diâmetro (m);

C₁, C₂, C₃ = Parâmetros tabelados (TURTON *et al.*, 2009)

Para o cálculo do CM para os demais equipamentos utiliza-se as equações listadas na tabela III.1.

TIPO DE EQUIPAMENTO	EQUAÇÃO PARA O CM
Compressores e Sopradores (sem o motor)	$CM = C_p^0 * F_{BM}$
Motores para Compressores e Sopradores	$CM = C_p^0 * F_{BM}$
Evaporadores e Vaporizadores	$CM = C_p^0 * F_{BM} * F_p$
Ventiladores com motor elétrico	$CM = C_p^0 * F_{BM} * F_p$
Torres de Pratos	$CM = C_p^0 * F_{BM}$

Tabela III.1 – Equações para o cálculo de CM em diferentes equipamentos. (Fonte: TURTON *et al.*, 2009)

Onde:

CM = Custo do módulo

C_p⁰ = Parâmetro tabelado (TURTON *et al.*, 2009)

F_{BM} = Fator de módulo tabelado (TURTON *et al.*, 2009)

F_p = Fator de pressão

Por último o valor do CM é atualizado utilizando a equação 8 e os índices econômicos encontrados no CEPCI, conforme descrito anteriormente. O custo total, CAPEX, é então calculado através da equação 13:

$$CAPEX = 1,18 \sum_{i=1}^n CM_i + 0,5 \sum_{i=1}^n CB_i \quad (\text{Eq. 13})$$

Para o cálculo do custo capital de uma planta nova sem tomar outra planta como base, deve-se considerar os custos dos principais equipamentos da planta, a maneira mais assertiva de obter esses custos é através de orçamentos de fornecedores, porém através da literatura encontramos equações que reproduzem esses custos podendo ser utilizados como estimativas para tomada de decisão em seguir ou não com certo investimento. A tabela III.2 apresenta o peso médio de cada equipamento no custo capital de uma nova planta.

Componentes do custo	Peso médio (%)
EQUIPAMENTOS	61,0
Equipamentos e máquinas	35,4
Tubulação, válvulas e conexões	12,2
Instrumentação e controle	4,3
Equipamento elétrico	3,1
Estruturas, isolamentos e tintas	6,1
MÃO-DE-OBRA DE CONSTRUÇÃO E INSTALAÇÃO	22,0
PRÉDIOS, MATERIAIS E MÃO-DE-OBRA	7,0
ENGENHARIA E SUPERVISÃO	10,0

Tabela III.2 – Peso médio dos custos para a implantação de uma nova planta. (Fonte: adaptado de TURTON *et al.*, 2009)

Além dos custos anteriormente citados, para o cálculo mais apurado do CAPEX são necessários os custos com o projeto básico, com o projeto de detalhamento e licenciamento da tecnologia, além dos custos com licenças ambientais, porém por falta de dados no presente trabalho esses custos não serão considerados.

III.3 - OPEX

Conforme já definido anteriormente, o OPEX é o somatório das despesas operacionais de uma planta que engloba os custos fixos e variáveis. No qual o custo operacional variável é a soma dos custos com matérias-primas, insumos e utilidades. Já para a estimativa do custo fixo serão considerados os custos com salários da equipe que mantém as plantas em funcionamento e os custos com reparo e manutenções. Porém além desses custos o cálculo dos custos operacionais fixos englobam também custos de supervisão e despesas gerais, que por falta de dados não serão calculados.

III.3.1 – Custos operacionais variáveis

O custo operacional variável, conforme mencionado anteriormente é calculado através da soma do custo com matérias-primas, insumos e utilidades. A equação 14 descreve esse custo.

$$CV = CMP + CU \text{ (Eq.14)}$$

Onde:

CV = custo variável (R\$/ano);

CMP = custo com matéria prima e insumos (R\$/ano);

CU = custo com utilidades (R\$/ano)

As equações que seguem descreverão o cálculo de cada variável da equação 14. Primeiramente, o custo total com matérias-primas é descrita na equação 15.

$$CMP = \sum (Dm_{pi} * Pm_{pi} * nm_{pi}) \text{ (Eq. 15)}$$

Onde:

D_{mpi} = demanda da matéria prima ou do insumo mpi (kt/ano);

P_{mpi} = preço da matéria prima ou do insumo mpi (R\$/t)

C_{mpi} = custo com a matéria prima ou utilidade mpi (R\$/ano);

n_{mpi} = quantidade de matérias primas e insumos mpi utilizadas no processo

A equação 16 descreve o custo com utilidades.

$$C_{ui} = D_{ui} * P_{ui} \text{ (Eq. 16)}$$

Onde:

C_{ui} = custo com a utilidade ui (R\$/ano);

D_{ui} = demanda da utilidade ui (unidade de acordo com a utilidade);

P_{ui} = preço da utilidade ui (R\$/un)

A equação 17 descreve o custo total com utilidades.

$$CU = \sum (C_{ui} * n_{ui}) \text{ (Eq. 17)}$$

Onde:

CU = custo total com utilidades (R\$/ano);

C_{ui} = custo com a utilidade ui (R\$/ano);

n_{ui} = quantidade de utilidades ui utilizadas no processo

III.3.2 – Custos operacionais fixos

Engloba custos com a equipe para manter a planta de produção em funcionamento e os encargos trabalhistas. A equação 18 descreve o custo com salários e encargos.

$$Sci = SBci * 13 * (1 + e) \text{ (Eq. 18)}$$

Onde:

Sci= custo com salários e encargos do cargo ci (R\$/ano);

SBci= salário básico mensal do cargo ci (R\$/mês);

e= percentual relativo aos encargos trabalhistas;

13 refere-se aos 12 meses do ano mais o 13º salário

O cálculo de custo com a equipe é descrito na equação 19.

$$CP = \sum Sci * nci \text{ (Eq. 19)}$$

Onde:

CP = custo com pessoal (R\$/ano);

Sci= custo com salários e encargos do cargo ci (R\$/ano);

Nci= quantidade de funcionário no cargo ci;

O custo com manutenções e reparos é descrito na equação 20, neste custo pode-se incorporar manutenções e reparos causados devido ao ataque corrosivo aos equipamentos, podendo-se diferenciar os impactos nesse custo quando se realiza manutenção preventiva. Para o cálculo do custo considerou-se que a perda de massa de

três diferentes aços inoxidáveis expostos ao ataque corrosivo em um ambiente que simula uma planta de produção, esse valor foi multiplicado pelo preço por área do aço inoxidável para estipular o custo causado pela corrosão, o resultado será obtido por área.

$$Cm = m * CA \text{ (Eq. 20)}$$

Onde:

Cm= custo com reparo e manutenção com a corrosão em aços inoxidáveis em uma planta de biodiesel (R\$/m²);

m = perda de massa nos aços inoxidáveis devido à produção de biodiesel (t/m²);

CA = Custo do aço inoxidável (R\$/t)

Para o cálculo do custo operacional (OPEX) soma-se o custo fixo com o custo variável, conforme equação 21, onde o custo fixo é igual ao custo com a equipe (equação 19), conforme descrito acima.

$$CF = CE \text{ (Eq. 21)} \quad CO = CF + CV \text{ (Eq. 22)}$$

Onde:

CF = custo fixo;

CE= custo com a equipe;

CO = custo operacional;

CV = custo variável

III.4 – Valor presente líquido (VPL)

O método do VPL é também conhecido como método do valor atual, refere-se a soma algébrica de todos os valores monetários envolvidos nos n períodos de tempo, trazidos ao instante zero descontados a uma taxa, que no caso é a TMA. O VPL pode ser entendido como o lucro acima do produzido pela TMA, ou seja, quanto o

investimento rende acima da TMA, podendo ser interpretado também como a quantia limite que poderia ser acrescida do investimento inicial no qual o projeto continuaria atrativo. (NORONHA *et. al.*, 1995) A equação 23 descreve o cálculo do VLP.

$$VLP = \sum_{j=0}^n \frac{V_j}{(1 + TMA)^j} \quad (\text{Eq. 23})$$

Onde:

V_j = Valor monetário ocorrido ao final do período j;

TMA = Taxa mínima de atratividade;

j = Período de tempo;

n = Número total de períodos

O VLP pode ser positivo, negativo ou nulo, para a tomada de decisão de investir ou não em um projeto com base no VLP ele deve positivo para que seja viável caso contrário não se deve investir. Quando comparadas duas proposta de investimento a mais lucrativa será a de maior valor de VLP. (NORONHA *et. al.*, 1995)

Entre as principais vantagens que podem ser citadas de se usar o VLP como método de decisão de investimento em um projeto são: o método leva em conta o valor do dinheiro no tempo, considera a depreciação quando utiliza o fluxo de caixa, identifica mudanças no valor da empresa, considera o risco no fluxo de caixa, porém como desvantagens o método apresenta a falta de capacidade de prever com precisão os valores e taxas anuais do fluxo de caixa futuro, admitir que a taxa não varie com o tempo, pode dificultar a interpretação pelo fato do resultado ser em valores monetários. (NORONHA *et. al.*, 1995)

III.5 - Taxa interna de retorno (TIR)

A taxa interna de retorno de um projeto de investimento é definida como sendo a taxa de desconto que zera o VLP do fluxo de caixa e é intrínseca do projeto pois depende apenas dos fluxos de caixa projetados. O critério de decisão em investir ou não em um projeto usando o método baseia-se na comparação entre a TIR e a TMA, no caso

de maior valor da TIR o projeto torna-se viável, caso contrário não é um projeto atraente. Pelo fato de ser uma variável intrínseca do projeto, não é viável a comparação entre a TIR de projetos diferentes, visando entender qual seria o mais atrativo. (NORONHA *et. al.*, 1995) O cálculo da TIR segue a equação 24:

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{V_j}{(1 + TIR)^j} = 0 \quad (\text{Eq.24})$$

Onde:

V_j = Valor monetário ao final do período j;

TIR = Taxa interna de retorno;

j = Período de tempo;

n = número de períodos

Em relação às vantagens que esse método apresenta na avaliação econômica da viabilidade de um projeto pode-se citar o fato do resultado ser uma taxa, é de fácil assimilação empresarial por ser mensurada em percentual, identifica a variação do valor da empresa, considera a variação do valor do dinheiro no tempo, considera todos os valores monetários e os riscos do fluxo de caixa. Já como desvantagens podemos citar o fato de ser um método iterativo pode não ter solução, não é aplicável quando apresentar mais de uma solução. (NORONHA *et. al.*, 1995)

III.6 – Payback descontado (PPD)

Também chamado de período de retorno trata-se do período necessário para o retorno do investimento efetuado seja totalmente recuperado com receitas líquidas. A liquidez de um projeto de investimento caracteriza-se pela rapidez com que a empresa irá recuperar seu investimento inicial e quanto mais líquido for um projeto menor o risco de investimento. (NORONHA *et. al.*, 1995)

Define-se o período *payback* descontado como sendo o tempo necessário para que as receitas líquidas descontados a uma taxa igual a TMA tenham o valor presente

igual aos investimentos realizados descontados da mesma TMA. (NORONHA *et. al.*, 1995) A equação 25 define o *payback* descontado.

$$PPD = \text{último ano acumulado negativo} - \frac{\text{Fluxo de caixa acumulado}}{\text{Fluxo de caixa do ano seguinte}} \quad (\text{Eq. 25})$$

O cálculo do *payback* simples é equivalente ao *payback* descontado, porém sem o desconto da TMA. Conforme equação 26.

$$PPS = \frac{\text{Capital de investimento}}{\text{Fluxo de caixa por unidade de tempo}} \quad (\text{Eq. 26})$$

Quanto as vantagens da análise de um projeto de investimento pelo método de *payback* descontado pode-se citar o fato de ser um método simples, os resultados são de fácil interpretação, prioriza o fluxo de caixa a curto prazo, já como desvantagens podemos citar o fato de muitas empresas utilizarem o *payback* simples que não utiliza a taxa de desconto, não considera todos os valores monetários do fluxo de caixa, não mede a rentabilidade do investimento e pode desprezar projetos de amadurecimento lento.(NORONHA *et. al.*, 1995)

III.7–Análise de sensibilidade

Define-se como uma técnica que permite manipular variáveis importantes em um projeto de forma controlada objetivando analisar a viabilidade do projeto em relação à variação dessas variáveis, variando parâmetros do projeto avalia-se o impacto na sua lucratividade. Através dessa análise pode-se avaliar quais variáveis são mais ou menos sensíveis à viabilidade do projeto possibilitando ao investidor avaliar o projeto de investimento segundo as variáveis mais importantes e quanto maior sua sensibilidade mais arriscado é o projeto. (NORONHA *et. al.*, 1995)

III.8 – Estudo de caso: Análise econômica dos processos de produção do biodiesel a partir do óleo de soja

Para o estudo de viabilidade econômica das três rotas de produção de biodiesel, transesterificação química e enzimática e hidroesterificação, a partir do óleo de soja foram fixadas algumas premissas. As capacidades de cada planta foram fixadas em 100 mil toneladas/ano de biodiesel, a escolha se baseou na média das capacidades das plantas americanas para produção de biodiesel (MALVEDA *et al.*, 2012), que a produção ocorre 24 horas por dia e durante 335 dias por ano, parando apenas 30 dias para manutenções, considerando também que cada planta conta com 3 operadores por turno e que o dia produtivo é dividido em 4 turnos, somando 12 operários por planta, além de 1 analista por turno, no total de 4, 1 coordenador (engenheiro) por turno, somando 4 coordenadores e 1 diretor. (NEVES, 2008)

III.8.1 – Custo de investimento (CAPEX)

Como parte do cálculo dos investimentos fixos será estimado os custos dos principais equipamentos e com base no somatório desses custos, serão calculados todos os outros custos fixos usando os pesos de cada um no custo conforme apresentados na tabela III.2 de cada rota de produção.

Como no atual trabalho não foi feito o dimensionamento dos equipamentos das plantas de produção do biodiesel pelas diferentes rotas para que pudesse ser usado as fórmulas apresentadas no item III.2 para a estimativa do investimento em equipamentos nas diferentes rotas de produção utilizou-se dados da literatura que mencionavam plantas produtivas com capacidade de 20 mil toneladas/ano e os resultados obtidos foram cerca de 5 milhões de euros no ano de 2008 (Neves, 2008) para os processos de transesterificação e hidroesterificação. Para calcular o custo da planta com capacidade de 100 mil toneladas/ano no ano de 2008 utilizou-se a equação 7 considerando o expoente de custo sendo 0,7, pois é o valor médio da faixa típica para a indústria química.

$$\frac{C}{5.000.000,00} = \left(\frac{100.000}{20.000} \right)^{0,7}$$

$$C = 15.425.847,00 \text{ euros}$$

Considerando a taxa de câmbio de euro para real de 2,48 em Junho de 2008, calculou-se os custos com investimento na planta de 100mil toneladas/ano em reais.

$$C = 38.256.099,00 \text{ reais}$$

Para atualizar o custo para Junho de 2013 utilizou-se a equação 8 considerando a taxa de correção como sendo a variação do IGP-DI da Fundação Getúlio Vargas entre junho/13 e junho/08 de 29,1%.

$$C_m = 38.256.099,00 * 129,1\% = 49.388.624,00 \text{ reais}$$

Considerou-se nesse trabalho o mesmo investimento para ambas as rotas, transesterificação e hidroesterificação, a decisão baseou-se em uma referência encontrada (NEVES, 2008), porém para o cálculo real do CAPEX deve-se estimar o custo para cada rota.

III.8.2 – Custos operacionais (OPEX)

Os custos operacionais podem ser divididos entre fixos e variáveis. Para o cálculo dos custos operacionais variáveis, conforme mencionado anteriormente, será calculado o somatório dos custos de matérias-primas, insumos e utilidades, já o fixo englobará o custo com a equipe (salários e encargos) e o custo com reparos e manutenções. Ressaltando que os custos operacionais variáveis e fixos englobam outros cálculos, porém conforme mencionado anteriormente, não serão considerados no trabalho devido à falta de dados na literatura.

III.8.2.1 – Custos operacionais variáveis

Para o cálculo dos custos operacionais variáveis primeiramente serão calculados os gastos com as matérias-primas necessárias. Conforme já mencionado anteriormente as principais matérias-primas usadas nos processos foram o óleo de soja e o metanol, porém na rota de transesterificação considerou-se também o metilato de sódio como catalisador.

Atualmente o preço do óleo de soja bruto é de R\$ 2.100,00/t (RURALBR, 2013). Importante para ressaltar a necessidade do estudo de análise de sensibilidade a

figura III.1 ilustra a evolução do preço do óleo de soja no período de 2006 a 2008, analisando-o pode-se concluir que o mesmo teve um aumento significativo no ano de 2008, sendo necessário o estudo da análise de sensibilidade quanto a esse custo já que o preço varia ao longo de um mesmo ano e ao longo dos anos.



Figura III.1 – Evolução do preço do óleo de soja. (Fonte: TECNOLOGIA DOS COMBUSTÍVEIS, 2013)

O álcool mais utilizado nos processos de produção de biodiesel tanto por transesterificação quanto por hidroesterificação é o metanol, portanto o presente trabalho irá usá-lo para fins de análise econômica. Segundo BiodieselBr e a produtora Methanex, 2013 seu preço é de R\$ 809,4/t (considerações: taxa de câmbio do dólar R\$ 2,30, 1 galão equivale a 3,6 l e a densidade do Metanol 791,8 Kg/m³). O balanço material para o processo de transesterificação e hidroesterificação está representado na tabela III.3 e foi obtido através da literatura (NEVES, 2008).

Tabela III.3 – Preços e quantidades de cada matéria-prima e do insumo catalisador nos processos de produção do biodiesel. (Fonte: elaboração própria)

Matérias-primas e insumos	Preço (R\$/t)	Consumo estimado para uma planta de produção de 100 mil toneladas/ano de biodiesel	
		Transesterificação química	Hidroesterificação
		(Kt/ano)	(kt/ano)
Óleo Vegetal	2.100	100,0	100,0
Metanol	809	9,90	11,2
Metilato de sódio	3.450	1,85	-

Para o cálculo com o custo de matérias-primas, conforme mencionado anteriormente, foi usada a equação 15 e os dados da tabela III.2, considerando uma planta de produção com capacidade de 100 mil toneladas/ano de biodiesel. Os resultados para cada rota são apresentados na tabela III.4.

Tabela III.4 – Custos com matérias-primas para produção de biodiesel por diferentes rotas considerando uma planta de produção de 100 mil toneladas/ano de biodiesel. (Fonte: elaboração própria)

Matérias-primas e insumos	Preço (R\$/t)	Consumo estimado para uma planta de produção de 100 mil toneladas/ano de biodiesel			
		Transesterificação química		Hidroesterificação	
		(Kt/ano)	Custo (R\$/ano)	(kt/ano)	Custo (R\$/ano)
Óleo Vegetal	2.100	100,0	210.000.000,00	100,0	210.000.000,00
Metanol	809	9,90	8.013.060,00	11,2	9.065.280,00
Metilato de sódio	3.450	1,85	6.382.500,00	-	-
Total custos com matérias-primas e insumos (R\$/ano)			224.395.560,00		219.065.280,00

Ainda dentro dos custos operacionais variáveis serão calculados agora os custos com utilidades, que segundo Neves, 2008 o custo com utilidades necessárias em uma planta de produção de biodiesel pelas rotas de transesterificação e hidroesterificação com capacidade de 100 mil toneladas/ano é ilustrado na tabela III.5. Os custos foram calculados através das equações 16 e 17.

Tabela III.5 – Custos com utilidades para a produção de biodiesel. (Fonte: NEVES, 2008 adaptada pela autora)

Utilidades	Preço (R\$/Un)	Unidade	Consumo estimado para uma planta de produção de 100 mil toneladas/ano de biodiesel			
			Transesterificação química		Hidroesterificação	
			Consumo(Un/ano)	Custo (R\$/ano)	Consumo(Un/ano)	Custo (R\$/ano)
Água de processo	3,65	t	2.070,00	7.545,15	11.900,00	43.375,50
Água de resfriamento	1,22	t	30,00	36,45	100,00	121,50
Energia elétrica	0,30	kWh	400.000,00	118.800,00	805.125,98	239.122,42
Vapor de 15Kgf/cm ²	97,20	t	8.130,00	790.236,00	13.750,00	1.336.500,00
Ar de comprimido	0,12	Nm3h	72.688,00	9.027,85	112.001,75	13.910,62
Nitrogênio Líquido	3,38	m3	1.600,00	5.400,00	1.600,03	5.400,10
Custo total com utilidades (R\$/ano)				931.045,45		1.638.430,13

Para o cálculo do custo operacional variável será utilizado a equação 14. Os custos para cada rota serão apresentados na tabela III.6.

Tabela III.6 – Custos operacionais variáveis para as diferentes rotas de produção. (Fonte: Própria)

Custos	Transesterificação química (R\$/ano)	Hidroesterificação (R\$/ano)
Custo total com matérias-primas	224.395.560,00	219.065.280,00
Custo total com utilidades	931.045,45	1.638.430,13
Custos operacionais variáveis (R\$/ano)	225.326.605,45	220.703.710,13

III.8.2.2 – Custos operacionais fixos

Conforme já mencionado anteriormente o cálculo dos custos fixos englobam as gastos com a equipe para manter a planta de produção em funcionamento, esses gastos envolvem salários e encargos trabalhistas, além do custo com reparos e manutenções. Para a operação da planta a equipe constitui de 3 operadores por turno, considerando que o dia produtivo é dividido em 4 turnos, somam 12 operários por planta, além de 1 analista por turno, total de 4 analistas, 1 coordenador (engenheiro) por turno, total de 4 e 1 diretor. O custo anual considera 13^o salário e encargos adicionais de 100% do salário. O cálculo do custo operacional fixo irá considerar as equações 19, 20 e os dados da tabela III.7.

Tabela III.7 – Custos operacionais com equipe. (Fonte: elaboração própria)

Cargo	Quantidade	Salário (R\$/mês)	Encargos (R\$/mês)	Salários + encargos (R\$/ano)	Custos (R\$/ano)
Diretor	1	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00	R\$ 520.000,00	R\$ 520.000,00
Engenheiro	3	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00	R\$ 260.000,00	R\$ 780.000,00
Analista	4	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00	R\$ 130.000,00	R\$ 520.000,00
Operadores	12	R\$ 6.000,00	R\$ 6.000,00	R\$ 156.000,00	R\$ 1.872.000,00
Total (R\$/ano)					R\$ 3.692.000,00

Já para o cálculo dos custos com manutenção e reparo, considerou-se no trabalho que além de outros gastos com manutenção encontrados na literatura (NEVES, 2008), uma possível causa da necessidade de reparos e manutenções ocasionando a parada da planta é devido à corrosão dos equipamentos causados pelo contato com o álcool (metanol), o óleo de soja, a glicerina pura e o biodiesel. Utilizou-se para esse cálculo a equação 18 onde são considera-se dados de perda de massa do aço devido ao contato com o metanol, o óleo de soja, glicerina e o biodiesel, além do custo médio do aço inoxidável onde o resultado foi obtido por área da planta que utiliza o aço.

Para a estimativa da perda de massa em uma planta de produção de biodiesel considerou-se o trabalho de Miranda, 2009 onde foram estudados as perdas de massa dos aços inoxidáveis AISI 304, 444 e 439, conforme a tabela III.7, porém para fins de cálculo de custos será considerado o pior caso sendo o aço AISI 439 correspondente a esse caso, pois no geral possui a maior perda de massa, principalmente em contato com os produtos da reação.

Tabela III.8 – Perda de massa de diferentes tipos de aços inoxidáveis devido à corrosão após a exposição de 1 ano. (Fonte: MIRANDA, 2009)

Tipos de aço	AISI 304	AISI 444	AISI 439
Meio	Metanol		
Perda de massa por ano (g/cm ²)	3,75*10 ⁻⁵	5,65*10 ⁻⁵	3,41*10 ⁻⁵
Meio	Óleo de soja		
Perda de massa por ano (g/cm ²)	3,53*10 ⁻⁵	4,66*10 ⁻⁵	4,66*10 ⁻⁵
Meio	Glicerina		
Perda de massa por ano (g/cm ²)	2,63*10 ⁻⁵	4,68*10 ⁻⁵	7,10*10 ⁻⁵
Meio	Biodiesel		
Perda de massa por ano (g/cm ²)	3,38*10 ⁻⁵	4,95*10 ⁻⁵	5,06*10 ⁻⁵
	Total da perda de massa		2,023*10⁻⁴

O preço do aço inox 439 foi obtido a partir de buscas pela internet onde encontrou-se o fornecedor Shanghai Aoming Industrial Co, na China, que fornece o aço com o custo de aproximadamente R\$ 3.710,5/tonelada (Preço FOB).

Com as considerações acima calculou-se o custo com manutenções e reparos da planta devido à corrosão, em aço inox, através da equação 18.

$$C_m = 2,023 \cdot 10^{-6} (\text{t/m}^2) \cdot 3,71 \cdot 10^3 (\text{R\$/t})$$

$$C_m = 0,07 \text{ R\$/m}^2$$

Pode-se concluir a partir do cálculo acima que não foi possível estimar o custo com reparações e manutenções devido ao ataque corrosivo, em aço inox, de acordo com as premissas assumidas, já que a perda de massa no aço inoxidável é muito baixa. Contudo, é possível a presença de equipamentos confeccionados em aço carbono, por exemplo, que podem apresentar corrosão atmosférica (superfícies externas) e corrosão

devido ao contato com os fluidos de processo (superfícies internas) além de outras fontes de desgaste da estrutura que podem gerar custos de reparo e manutenção que não foram consideradas nessa análise.

Por fim, para o cálculo dos custos operacionais serão utilizadas as equações 21 e 22, os custos operacionais para cada rota são apresentados na tabela III.9.

Tabela III.9 – Custos operacionais totais por rota. (Fonte: Própria)

Custos	Transesterificação química (R\$/ano)	Hidroesterificação (R\$/ano)
Custo total com matérias-primas	224.395.560,00	219.065.280,00
Custo total com utilidades	931.045,45	1.638.430,13
Custos operacionais variáveis (R\$/ano)	225.326.605,45	220.703.710,13
Custos com equipe	3.562.000,00	3.562.000,00
Custo com reparos e manutenções em estruturas de aço inox	Não foi possível estimar	Não foi possível estimar
Custos operacionais fixos (R\$/ano)	3.692.000,00	3.692.000,00
Custos operacionais (R\$/ano)	229.018.605,45	224.395.710,13

Comparando os custos operacionais dos processos de transesterificação química e hidroesterificação conclui-se que o primeiro apresenta custo operacional um pouco superior, a pesar dos custos com utilidades ser menor na rota de transesterificação os custos com a obtenção de matérias-primas é maior.

III.9 – Receitas

Para o cálculo da receita serão considerados os preços de venda da glicerina e do biodiesel e seus respectivos volumes de produção, sempre considerando uma planta de produção de 100 mil toneladas/ano de biodiesel e que a produção de glicerina obedece ao balanço material obtido na literatura, representando 10% da produção de biodiesel, ou seja, cerca de 10 mil toneladas de glicerina são produzidas por ano (NEVES, 2008).

O preço médio do biodiesel foi obtido através de pesquisas na internet e vale R\$ 2,17/L (NOTÍCIAS AGRÍCOLAS, 2013), já o preço de venda da glicerina é de US\$ 400/t, obtido a partir da literatura (NEVES, 2008).

O cálculo das receitas com biodiesel e glicerina foram obtidos a partir das equações 27, 28 e 29, sendo apresentados na tabela III.10.

$$Rb = B * Pb \text{ (Eq. 27)}$$

Onde:

Rb = receita de Biodiesel (R\$/ano)

B = produção de biodiesel (kt/ano);

Pb= preço do produto (R\$/L);

d = densidade do biodiesel (g/mL) = 0,88 g/mL;

10⁶= fator de conversão entre grama e tonelada.

$$Rg = G * Pg \text{ (Eq. 28)}$$

Onde:

Rg= receita de glicerina (R\$/ano);

G = produção de glicerina (kt/ano);

Pg= preço da glicerina (R\$/ton);

10³= fator de conversão entre Ktonelada e tonelada.

$$R = Rb + Rg \text{ (Eq. 29)}$$

Onde:

R = receita total (R\$/ano);

Rb = receita de Biodiesel (R\$/ano);

Rg= receita de glicerina (R\$/ano)

Tabela III.10 – Receitas com o biodiesel e glicerina. (Fonte: Própria)

Produto	Preço (R\$)	Unidade	Produção anual (Kt/ano)	Receita (R\$/ano)
Biodiesel	2,17	Litros (L)	100	246.590.909,09
Glicerina	896,00	Toneladas (t)	10	8.960.000,00
			Total da receita (R\$/ano)	255.550.909,09

III.10 – Fluxo de caixa

Para o cálculo do fluxo de caixa considera-se a quantidade de capital que entrou menos a que sai de caixa, ou seja, os investimentos feitos em cada ano subtraídos dos lucros líquidos (descontados os impostos), porém no presente trabalho visando serão considerados os investimentos fixos e operacionais e as receitas sem desconto de impostos como lucros líquidos. O período de análise dos projetos de investimentos será de 13 anos, sendo o investimento fixo diluído ao longo dos 3 primeiros anos segundo as taxas de 10% no primeiro ano, 25% no segundo ano e 65% no terceiro ano. Considerou-se também que no quarto ano a planta opera com 90% da sua capacidade e a partir do quinto ano com 100% da capacidade, sendo o fluxo de caixa feito para o período de 10 anos de produção. Os resultados são apresentados na tabela III. 11.

Tabela III.11 – Fluxo de caixa dos diferentes projetos ao longo de 13 anos. (Fonte: elaboração própria)

Ano	Investimento Fixo	Transesterificação			Hidroesterificação		
		Receita total	OPEX	Fluxo de Caixa	Receita total	OPEX	Fluxo de Caixa
1	4.938.862,40	0,00	0,00	-4.938.862,40	0,00	0,00	-4.938.862,40
2	12.347.156,00	0,00	0,00	-12.347.156,00	0,00	0,00	-12.347.156,00
3	32.102.605,60	0,00	0,00	-32.102.605,60	0,00	0,00	-32.102.605,60
4	0,00	229.995.818,18	206.116.744,90	23.879.073,28	229.995.818,18	201.956.139,12	28.039.679,06
5	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96
6	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96
7	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96
8	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96
9	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96
10	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96
11	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96
12	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96
13	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96

III.11 – Valor presente Líquido (VLP)

Através da equação 23 será calculado o VLP referente aos 13 anos de projeto, considerando uma taxa de mínima de atratividade de 15% (optou-se pela média entre trabalhos anteriores realizados). Os resultados são apresentados na tabela III.12.

Tabela III.12 – Cálculo do valor presente líquido (VLP) para as diferentes rotas. (Fonte: elaboração própria)

Ano	Investimento Fixo	Transesterificação			Hidroesterificação			
		Receita total	OPEX	Fluxo de Caixa	Receita total	OPEX	Fluxo de Caixa	
1	4.938.862,40	0,00	0,00	-4.938.862,40	0,00	0,00	-4.938.862,40	
2	12.347.156,00	0,00	0,00	-12.347.156,00	0,00	0,00	-12.347.156,00	
3	32.102.605,60	0,00	0,00	-32.102.605,60	0,00	0,00	-32.102.605,60	
4	0,00	229.995.818,18	206.116.744,90	23.879.073,28	229.995.818,18	201.956.139,12	28.039.679,06	
5	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
6	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
7	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
8	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
9	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
10	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
11	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
12	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
13	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
VPL Projeto Transesterificação				51.298.664,07	VPL Projeto Hidroesterificação			66.289.541,74

Para a análise de viabilidade de um projeto proposto segundo esse parâmetro econômico, conforme explicado anteriormente, deve-se notar se os valores são positivos ou negativos, sendo positivos, o projeto é viável e no caso de serem negativos o projeto é inviável. Analisando os valores apresentados na tabela III.11, pode-se concluir que ambas as rotas são viáveis e o projeto de hidroesterificação é ainda mais atrativa, pois possui maior VLP.

III.12 – Taxa interna de retorno (TIR)

Para o cálculo da TIR, será utilizada a equação 24 para as rotas de transesterificação química e hidroesterificação. Os resultados são apresentadas na tabela III.13.

Tabela III.13 – Cálculo da TIR para as diferentes rotas. (Fonte: elaboração própria)

Ano	Investimento Fixo	Transesterificação			Hidroesterificação			
		Receita total	OPEX	Fluxo de Caixa	Receita total	OPEX	Fluxo de Caixa	
1	4.938.862,40	0,00	0,00	-4.938.862,40	0,00	0,00	-4.938.862,40	
2	12.347.156,00	0,00	0,00	-12.347.156,00	0,00	0,00	-12.347.156,00	
3	32.102.605,60	0,00	0,00	-32.102.605,60	0,00	0,00	-32.102.605,60	
4	0,00	229.995.818,18	206.116.744,90	23.879.073,28	229.995.818,18	201.956.139,12	28.039.679,06	
5	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
6	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
7	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
8	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
9	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
10	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
11	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
12	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
13	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	
VPL Projeto Transesterificação				51.298.664,07	VPL Projeto Hidroesterificação			66.289.541,74
TIR Projeto Transesterificação				0,42	TIR Projeto Hidroesterificação			0,48

Analisando os dados da tabela III.12, pode-se concluir que ambos os projetos são viáveis, já que ambos estão acima da taxa de mínima atratividade que no caso foi estipulada em 15%.

III.13 – Payback simples

Para o cálculo do *payback* simples será utilizada a equação 26. Os resultados são ilustrados na tabela III.14, pode-se concluir que o período de *payback* é de 2 anos de operação, pois somente após esse período o somatório da receita líquida supera o valor do investimento.

Tabela III.14 – Cálculo do payback. (Fonte: elaboração própria)

Ano	Investimento Fixo	Transesterificação				Hidroesterificação			
		Receita total	OPEX	Fluxo de Caixa	Payback	Receita total	OPEX	Fluxo de Caixa	Payback
1	4.938.862,40	0,00	0,00	- 4.938.862,40	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	12.347.156,00	0,00	0,00	- 12.347.156,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3	32.102.605,60	0,00	0,00	- 32.102.605,60	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	0,00	229.995.818,18	206.116.744,90	23.879.073,28	- 25.509.550,72	229.995.818,18	201.956.139,12	28.039.679,06	- 21.348.944,94
5	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	1.022.752,92	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	9.806.254,02
6	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	27.555.056,56	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	40.961.452,97
7	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	54.087.360,20	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	72.116.651,93
8	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	80.619.663,84	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	103.271.850,89
9	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	107.151.967,48	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	134.427.049,84
10	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	133.684.271,13	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	165.582.248,80
11	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	160.216.574,77	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	196.737.447,75
12	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	186.748.878,41	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	227.892.646,71
13	0,00	255.550.909,09	229.018.605,45	26.532.303,64	213.281.182,05	255.550.909,09	224.395.710,13	31.155.198,96	259.047.845,67

III.14 – Análise de sensibilidade

Para entender a sensibilidade dos valores obtidos à variações de preços de compra e venda, serão realizadas as análises de sensibilidade considerando o caso base o acima apresentado. Foram escolhidos como variáveis os preços de compra do óleo vegetal e do metanol e o preço de venda do biodiesel e da glicerina, onde variou-se os valores na faixa de 10% e 20% para cima e para baixo. Os casos estão listados na tabela III.15.

Tabela III.15 – Cenários que serão estudados na análise de sensibilidade. (Fonte: elaboração própria)

Variável	Transesterificação Química e Hidroesterificação				
	80%	90%	Caso base	110%	120%
Matérias-primas					
Óleo Vegetal (R\$/t)	1.680,00	1.890,00	2.100,00	2.310,00	2.520,00
Metanol (R\$/t)	647,20	728,10	809,00	889,90	970,80
Produtos					
Biodiesel (R\$/L)	1,74	1,95	2,17	2,39	2,60
Glicerina (R\$/t)	716,80	806,40	896,00	985,60	1.075,20

Os resultados das análises para os processos de transesterificação e hidroesterificação são apresentados nos gráficos das figuras III.2 e III.3, respectivamente.

Figura III.2 – Análise de sensibilidade para o processo de transesterificação. (Fonte: Própria)

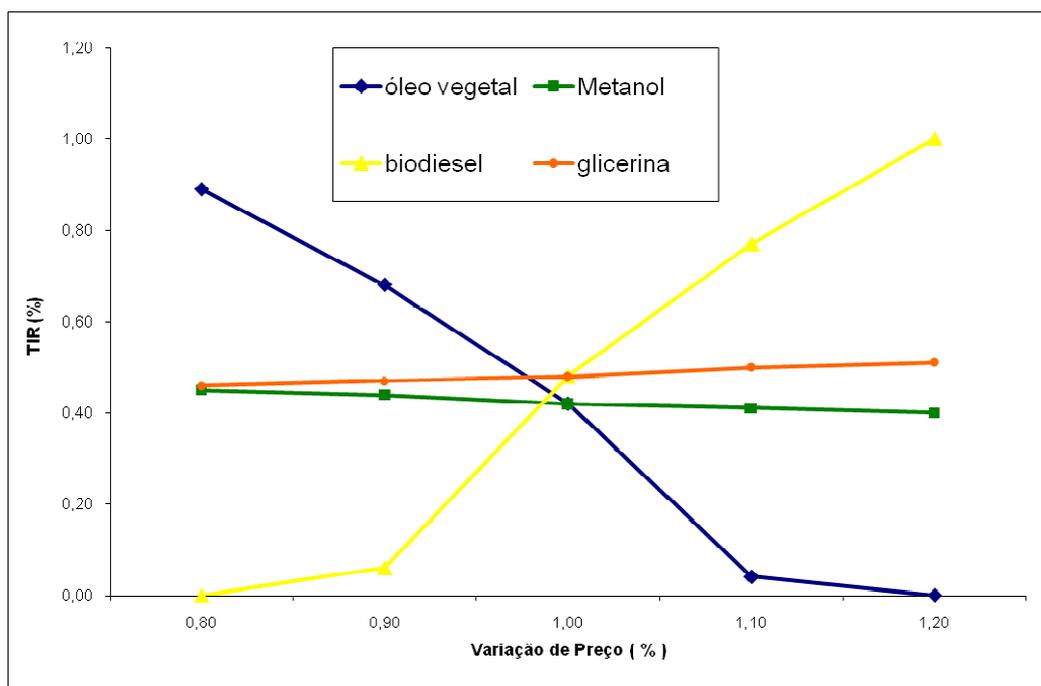
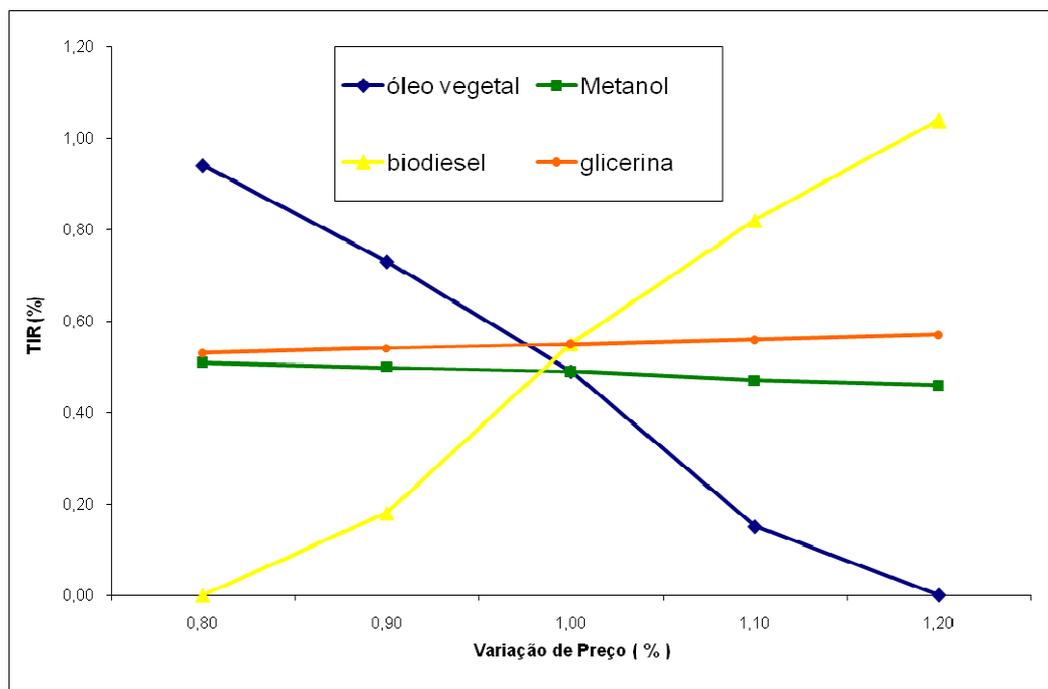


Figura III.3 – Análise de sensibilidade para o processo de hidroesterificação. (Fonte: Própria)



Através da análise dos gráficos obtidos nas figuras III.2 e III.3 observa-se que as retas que representam a sensibilidade quanto à variação do preço de compra do óleo vegetal e preço de venda do biodiesel sofre uma distorção, a mesma se deve ao fato da TIR torna-se negativa no caso de queda elevada de preço do biodiesel ou aumento elevado do óleo vegetal. Pode-se concluir que ambos os projetos são muito sensíveis a variação do preço de compra do óleo vegetal e ao preço de venda do biodiesel.

CAPÍTULO IV

Conclusões e Sugestões

Apesar de muito pequenas as diferenças, o processo de hidroesterificação apresenta vantagens em relação ao processo de transesterificação por apresentar em geral menores custos e melhores índices econômicos, porém não inviabiliza o processo de produção via transesterificação.

Pode-se observar também que cerca de 85% das receitas líquidas de vendas da planta de biodiesel, tanto pelo processo de transesterificação quanto pelo processo de hidroesterificação, são destinadas aos gastos operacionais. Sendo muito importante estudos nessa área visando diminuir ao máximo esses gastos.

Através da análise de índices tais como VPL e TIR, conclui-se que os projetos de transesterificação e hidroesterificação, conforme premissas adotadas são viáveis, sendo o melhor desempenho é o da planta de hidroesterificação.

Logicamente, tais resultados não são absolutos e estão sujeitos a modificações devido a perturbações do mercado. Através da análise de sensibilidade, observou-se que o preço de venda do biodiesel, e o preço de compra óleo vegetal são os fatores críticos para o sucesso das plantas já que os projetos são bastante sensíveis as variações desses valores.

Durante a realização deste trabalho, alguns aspectos não foram abordados por limitações de tempo e serão levados como sugestões para futuros trabalhos, Dentre as sugestões cita-se:

- Dimensionamento com o uso de *softwares* de engenharia das duas rotas apresentadas no trabalho para o cálculo preciso de todos os indicadores econômicos;

- Cálculo do fluxo de caixa considerando as depreciações e impostos, para que o real lucro líquido fosse calculado e o *payback*, o VLP e a TIR possam ser mais corretamente estimados;
- Avaliar Economicamente a rota ética. Comparar a viabilidade das rotas éticas e metélica;
- Análise de sensibilidade das outras variáveis que não foram testadas no presente trabalho para checar a influência na viabilidade dos projetos das diferentes rotas.

CAPÍTULO V

Referências Bibliográficas

ABOISSA, 2013. ABOISSA Óleos Vegetais. Cotações de Mercado. Disponível em: <http://www.aboissa.com.br/tabid/167/Year/2013/NewsModule/712/Default.aspx>.

Acessado dia 05 de Julho de 2013 às 11:30 h.

ABREU, P.S.M.; *Análise econômica dos processos de produção do biodiesel de soja: rota química x rota enzimática*. Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

ARCEO, A. A. *Produção de biodiesel mediante o processo de hidroesterificação da biomassa das microalgas Scenedesmusdimorphus e Nannochloropsisoculata*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

ANVISA, 2013. Disponível em http://www.campestre.com.br/especificacao_soja.shtml.

Acessado em 12 de maio de 2013 às 16:40h.

BIOCOMBUSTÍVEIS, 2013; disponível em <http://biocombustiveis-brasil.blogspot.com.br/2008/05/hidroesterificacao-tecnologia-de-segunda.html>. Acessado em 24 de maio de 2013 às 18:35h.

BOLETIM MENSAL DE BIODIESEL. Superintendência de Refino e Processamento de Gás Natural – SRP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2013. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=66559&m=produ%E7%E3o%20de%20biodiesel&t1=&t2=produ%E7%E3o%20de%20biodiesel&t3=&t4=&ar=0&ps=1&cachebust=1373933233533> Acessado em 25 de maio de 2013 às 13:50h.

CASTRO, H. F. *Modificação de Óleos e Gorduras por Biotransformação*. Editora Química Nova, São Paulo. Vol. 27, 2004.

DONALD P.; BERNSTEIN, I.M.; Handbook of stainless steels.Ed. McGraw-Hill inc., 1977.

ENCARNAÇÃO, A. P. G. *Geração de Biodiesel pelos Processos de Transesterificação e Hidroesterificação, uma Avaliação Econômica*. Dissertação de Mestrado em Ciências. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Universidade Federal do Rio de Janeiro.Rio de Janeiro, 2008.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. da S.; SCABIO, A. *Biodiesel de Soja – Taxa de Conversão em Ésteres Etílicos, Caracterização Físico-Química e Consumo em Gerador de Energia*. Química Nova, vol. 28, No. 1, 19-23, 2005.

FONTANA, M. G. *Corrosionengineering*. Editora McGraw-Hill, 3º edição. Singapura, 1986.

GARCIA, C. M. *Transesterificação de Óleos Vegetais*. Dissertação de mestrado em Química. Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Estadual de Campinas.Campinas, 2006.

GENTIL, V. *Corrosão*.Rio de Janeiro: LTC, 5ª edição, 2007.

GONÇALVES, J.A.; ROCHA, L. L.L.; DOMINGOS, A. K .; JORDÃO, R.G.; JORDÃO. A.P.G.; ARANDA, D.A.G. *Influência do tamanho da cadeia carbônica e do grau de insaturação dos ácidos graxos na esterificação sobre ácido nióbico para a produção de biodiesel*. Tese de Mestrado. Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

GUABIROBA, R. C. S. *O processo de roterização como elemento de redução do custo de coleta em área urbana de óleo residual de fritura para produção de biodiesel*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Jnaeiro, 2009.

LIMA, L. L. *Produção de Biodiesel a partir da Hidroesterificação dos Óleos de Mamona e Soja*. Tese de Mestrado. Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

MAIA, C. *Obtenção de ésteres etílicos a partir da transesterificação do óleo de andiroba com etanol*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

MALVEDA, M. P.; BALGOEV, M.; FUNADA, C. *CEH Marketing research report, biodiesel*. Chemical economics handbook. 2012.

MANTEL, *Seminário inox 2000*. Minas Gerais, 2000.

METHANEX, 2013. Disponível em: <http://www.methanex.com/products/methanolprice.html>. Acessado dia 05 de Julho de 2013 às 12:00h.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Secretaria de produção e agroenergia. Departamento da cana-de-açúcar e agroenergia. Disponível em http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/producao/JULHO_2012/Produ%C3%A7%C3%A3o%20Oleaginosas%20-%20PNPB%20-%2002%2008%202012.pdf Acessado em 09 de junho de 2013 às 20:23h.

MIRANDA, E. F.; *Comportamento quanto à corrosão de aços inoxidáveis na produção de biodiesel*. Dissertação de mestrado. Escola de engenharia de Mauá. Instituto Mauá de tecnologia. São Caetano do Sul, 2009.

MOUTINHO, T. M.; *Avaliação de Técnicas de Produção Mais Limpa em Usina de Biodiesel*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Sexto congresso brasileiro de P&D em petróleo e gás. Florianópolis, 2011.

NEVES, A. A. S.; *Avaliação do Aproveitamento de Óleos Alimentares Usados Para a Produção de Biodiesel na Área Metropolitana do Porto*. Dissertação para obtenção do grau em engenharia química. Universidade do Porto. Porto, 2008.

NORONHA, J. F.; DUARTE, L. P. *Avaliação de projetos de investimentos na empresa agropecuária*. Ed. Administração rural. São Paulo, 1995.

NOTÍCIAS AGRÍCOLAS, 2013. Disponível em <http://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/biocombustivel/124811-producao-acumulada-de-biodiesel-em-2013-e-recorde-nos-primeiros-cinco-meses-do-ano.html#.UebXp765fIU> acessado dia 10 de Julho de 2013 às 10:00h.

OSAKI, M., BATALHA, M. O. *Produção de Biodiesel e Óleo Vegetal no Brasil: Realidade e Desafio*. XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco, 2008.

PANOSSIAN, Z. *Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas*. Editora: IPT. 2º volume. São Paulo, 1993.

PEDROTTI, F.; VIEIRA, Lúcio. *Biodiesel – combustível ecológico*. Enciclopédia Biosfera. Escola técnica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

QUINTELLA, C. M.; TEIXEIRA, L. S. G.; KORN, M. G. A.; NETO, P. R. C.; TORRES, E. A.; CASTRO, M. P.; Jesus, C. A. C. *Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P & D & I*. Editora Química Nova. Salvador. Volume 32, 2009.

RIBEIRO, A. P. B.; MOURA, J. M. L. N.; GRIMALDI, R.; GONÇALVES, L. A. G. *Interesterificação Química: A alternativa para obtenção de gorduras zero trans*. Departamento de Tecnologia de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.

RURALBR, 2013; disponível em <http://cotacao.ruralbr.com.br/preco/soja.html>. Acessado dia 05 de Julho de 2013.

SANTANA, A.L.; SOUZA, L.S.S.; NISHIOKA, T.D. *Purificação do biodiesel: etapa de lavagem*. Dissertação de mestrado em engenharia química. Universidade Federal do Pará. Instituto de tecnologia. Belém, 2011.

SATRI, V.S.; GHALI, E.; ELBOUJDANI, M.; *Corrosion Prevention and Protection Practical Solutions*. Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, 2007.

SCOT CONSULTORIA, 2013. Disponível em: <http://www.scotconsultoria.com.br/imprimir/carne/871>. Acessado dia 05 de Julho de 2013 às 11:19h.

SEDRICK, A.J. *Corrosion of steels*. Editora: Interscience Publications. Segunda edição. Nova York, 1996.

SILVA FILHO, J. B. *Produção de Biodiesel Etílico de Óleos e Gorduras Residuais (OGR) em Reator Químico de Baixo Custo*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Materiais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná. 2010.

SOJA INFO, 2013. Disponível em <http://sojainfo.xpg.com.br>. Acessado em 15 de maio de 2013 às 20:40h.

TECNOLOGIA DOS COMBUSTÍVEIS, 2013. Disponível em http://tecnologiasdosbiocombustiveis.blogspot.com.br/2010_07_01_archive.html. Acessado dia 05 de Julho de 2013 às 11:09h.

TURTON, R.; BAILIE, R. C.; WHITING, W. B.; SHAEIWITZ, J. A. *Analysis, Synthesis and design of Chemical Processes*. Editora: Prentice Hall. 3ª edition, 2009.

VAN GERPEN, J.; CLEMENTS, D.; KNOTHE, G. *Biodiesel Production Technology*. Subcontract Report. National Renewable Energy Laboratory. Colorado, 2004.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Biodiesel>, acessado em 07 de maio de 2013 às 16:30h.

<http://www.anp.gov.br> acessado em 09 de junho de 2013 às 22:31h.