UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO DE JANEIRO

GERAÇÃO DE BIODIESEL PELOS PROCESSOS DE TRANSESTERIFICAÇÃO E HIDROESTERIFICAÇÃO, UMA AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Ana Paula Gama Encarnação

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do titulo de Mestre em Ciências.

Orientador: Donato A.G. Aranda, Ph.D.

Rio de Janeiro, Brasil
Janeiro 2008

Geração de Biodiesel pelos Processos de Transesterificação e Hidroesterificação, Uma Avaliação Econômica

Ana Paula Gama Encarnação

Orientador: Donato A.G. Aranda, Ph.D.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovada por:

_____— Orientador
Prof. Donato A.G. Aranda, Ph.D.
Escola de Química/UFRJ

_____
Marcos de Freitas Sugaya, Ph.D.
Petrobrás/RJ

_____
Prof. Octávio Augusto Ceva Antunes, Ph.D.
Instituto de Química / UFRJ

_____
Prof. Luiz Antonio d'Avila, Ph.D.
Escola de Química / UFRJ

Rio de Janeiro, Brasil
Janeiro 2008

Encarnação, Ana Paula Gama

Geração de Biodiesel pelos Processos de Transesterificação e Hidroesterificação, Uma Avaliação Econômica - Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2007.

XX, 144f.:il.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Escola de Química - EQ, 2007.

Orientador: Donato A.G. Aranda

1. Biodiesel. 2. Transesterificação. 3. Hidroesterificação. 4. Avaliação Econômica. 5. Catálise
I. Aranda, Donato A.G. II.Universidade Federal do Rio de Janeiro - Escola de Química. III. Mestrado (UFRJ/EQ)

Ao meu querido marido Flávio, pela compreensão, pelo carinho, pela motivação, pelas constantes orientações e pelo apoio irrestrito.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela permissão deste momento.

Ao meu mestre Donato Aranda pela extrema paciência e orientação, indispensáveis para a conclusão desta etapa da minha vida.

Aos meus pais Roberto e Vera Encarnação, meus maiores líderes, que sempre me auxiliaram e me incentivaram na busca de meus sonhos.

Ao meu irmão Fábio Encarnação pelo apoio prestado com tanto carinho e dedicação.

À minha irmã Luciana Encarnação pela motivação e estímulos constantes.

Aos meus sogros Julio Cezar e Lenita Souza, pelo carinho e apoio em todos os momentos.

Às amigas de mestrado e de vida, Mariana Niemeyer e Fernanda Ribeiro, pelo incentivo e companheirismo verdadeiro.

Às amigas Denise Gradella, Melina Fumegalli, e Silvia Martins pela compreensão de minhas ausências e pela motivação constante nesta caminhada.

Ao meu marido, Flávio Reis, quem mais me incentivou para a realização desse trabalho, me garantindo total suporte para a realização das pesquisas e de discussões técnicas.

RESUMO

ENCARNAÇÃO, Ana Paula Gama – Geração de Biodiesel pelos Processos de Transesterificação e Hidroesterificação – Uma Avaliação Econômica. Orientador: Donato A.G. Aranda. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007

Os processos de hidroesterificação e transesterificação para produção de biodiesel foram comparados utilizando analise financeira. Três diferentes plantas de 100 mil toneladas por ano foram estudadas. Na primeira comparação, foram utilizadas como matéria prima 50% de óleo vegetal e 50% de gordura animal para a convencional transesterificação e para a hidroesterificação (processo integrado de hidrólise e esterificação). O terceiro caso é a planta de hidroesterificação operando com 45% de óleo vegetal, 30% de gordura animal, 20% de ácidos graxos e 5% de óleo de fritura usado. Apenas a hidroesterificação pode ser utilizada nesse caso, pois a matéria prima com alta acidez não pode ser utilizada em processos de transesterificação devido à formação de sabão. Dados técnicos foram obtidos de plantas comerciais de biodiesel provenientes do processo de transesterificação e a partir de plantas de nacionais de hidrólise e esterificação, para o caso de hidroesterificação. Na avaliação geral, aproximadamente 85% da renda líquida de biodiesel está associada aos custos operacionais. A hidroesterificação possui a vantagem de utilizar catálise heterogênea frente à homogênea, o que significa menores despesas em etapas de lavagem e neutralização com ácidos e bases. Essa vantagem é ainda maior se matérias primas de alto teor de acidez são empregadas. A avaliação dos valores de VPL, TIR e EBITDA mostram que todos os casos estudados são viáveis para condições normais de mercado. A hidroesterificação alimentada com matéria prima de alta acidez (terceiro caso) mostrou-se mais viável apresentando TIR de 32%, VPL de R$ 23 MM e R$ 29 MM de EBITDA no décimo ano. Hidroesterificação operando com apenas óleo vegetal e gordura animal apresentou 22,2% de TIR, R$ 4,1 MM de VPL e R$ 22 MM de EBITDA, valores apenas um pouco maiores a transesterificação, respectivamente: 21,5%, R$ 2,8 MM e R$ 21,5 MM. A análise de sensibilidade demonstrou que o preço de venda do biodiesel e o custo da matéria prima são os parâmetros mais críticos para a viabilidade do negócio. Adicionalmente, o preço mínimo de biodiesel foi avaliado para diferentes cenários de custos de matéria prima.

ABSTRACT

ENCARNAÇÃO, Ana Paula Gama - Production of biodiesel by transesterication and hidroesterificacion processes – an economic evaluation. Thesis Supervisor: Donato A.G. Aranda. Thesis (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007

Hydroesterification and Transesterification processes to biodiesel production were compared using financial analysis. Assessments of three different 100,000 t/year biodiesel plants were studied. In the first comparison, 50% vegetable oil and 50% animal fat are used as feedstocks to conventional transesterification and the so called hydroesterification (which means hydrolysis plus esterification integrated processes). Third case is a hydroesterification plant running with 45% vegetable oil, 30% animal fat, 20% fatty acid and 5% used fried oil. Just hydroesterification can be used in this case since the high acidity of the raw material cannot be worked in the transesterification process due to soap formation. Technical data were obtained from commercial biodiesel plant providers for transesterification and from real brazilian hydrolysis and esterification plants, in the hydroesterification case. In a general evaluation, about 85% of the biodiesel net income are ascribed to operating costs. Hydroesterification has the advantage in using heterogeneous catalysis instead of homogeneous one which means lower expenses in washing and neutralization steps with acid and base chemicals. This advantage is even larger if highly acid feedstocks are employed. Evaluation of NPV, IRR and EBITDA values show all the cases present profitability since some regular market values are taking in account. The highly acid feedstock composition hydroesterification case (3rd case) was the most profitable one presenting 32% for IRR, R$ 23 MM for NPV and R$ 29 MM for EBITDA in the 10th year. Hydroesterification with just vegetable oil and animal fat presented 22.2% for IRR, R$ 4.1 MM for NPV and R$ 22 MM for EBITDA which was a little bit more than transesterification, respectively: 21.5%, R$ 2.8 MM and R$ 21.5 MM. In a sensibility analysis, biodiesel sale prices and feedstock costs are the most critical parameters for the profitability of the business. Additionally, minimum biodiesel sale prices were evaluated for different scenarios of feedstock costs.

Lista de Siglas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ASTM - American Society for Testing and Materials - Sociedade Americana de Ensaios de Materiais
B100 - Mistura combustível contendo 100% de biodiesel em sua composição
B5 - Mistura combustível contendo 5% de biodiesel em sua composição
BM&F - Bolsa de Mercadorias & Futuros
BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BX - Mistura combustível contendo X% de biodiesel em sua composição
CBF - Fundo Bio de Carbono
CBMM - Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração
CCX - Chicago Climate Exchange - Bolsa do Clima de Chicago
CEN - Comité Européen de Normalisation - Comitê Europeu de Normatização
CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da USP
COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COPPE - Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia da UFRJ
COPPEAD - Coordenação de Pós-graduação e Pesquisa em Administração da UFRJ
DOU - Diário Oficial da União
DRE - Demonstração de Resultados do Exercício
EBITDA - Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization - Ganhos Antes de Juros, Impostos,

Depreciação e Amortização

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EU - União Européia
EUA - Estados Unidos da América
EUR - Euro
EVA - Economic Value Added - Valor Econômico Agregado
H-BIO - Combustível gerado do Hidrotratamento de Biocombustiveis ou misturas Biocombustiveis-diesel pela Petrobras
HDT - Hidrotratamento
IBP - Instituto Brasileiro de Petróleo
ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
ICSG - Indústria Campineira de Sabão e Glicerina
INT - Instituto Nacional de Tecnologia
INT - Instituto Nacional de Tecnologia
Irgovel - Indústria Rio Grandense de Óleos Vegetais
ISO - International Organization for Standardization - Organização Internacional de Padronização
LADETEL - Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas
MDA - Ministério de Desenvolvimento Agrário
MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MIC - Ministério da Indústria e Comércio
NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República
NBB - National Biodiesel Board
NREL - National Renewable Energy Laboratory - Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos EUA
OVEG - Programa de Óleos Vegetais
PAC - Programa de Aceleração do Crescimento
PCF - Fundo Protótipo de Carbono

PDO	-	Propanodiol
PIS	-	Programa de Integração Social
PNPB	-	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
Pró-óleo	-	Programa Nacional de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos
RNC	-	Registro Nacional de Cultivares
SEBRAE	-	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SGS	-	Fábrica de Ácidos Graxos por Hidrólise, Ponta Grossa-PR
STI	-	Secretaria de Tecnologia Industrial
TIR	-	Taxa Interna de Retorno
TJLP	-	Taxa deJuros de Longo Prazo
UFO	-	Used Fried Oil - Óleo de Fritura Usado
UFOP	-	Union zur Förderung von Oel und Proteinpflanzen - União para Promoção do Óleo e Proteína Vegetal
UFRJ	-	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USP	-	Universidade de São Paulo
VPL	-	Valor Presente Líquido

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Percentuais de volumes de biodiesel no diesel fixados pela Lei n˚ 11097 8

Figura 2 - Concentração de gás carbônico na atmosfera em Mauna Loa – Hawai 10

Figura 3 - Emissões associadas ao biodiesel 11

Figura 4 - Ciclo Aberto do Carbono do Diesel e Ciclo Fechado do Carbono do Biodiesel 13

Figura 5 - Produção de matérias primas por região 18

Figura 6 - Etapas do processo de transesterificação 22

Figura 7 - Reação de transesterificação 23

Figura 8 - Etapas do processo de hidroesterificação 26

Figura 9 - Reação de hidrólise 27

Figura 10 - Reação de esterificação 27

Figura 11 - Projeções de consumo final de Diesel e Biodiesel – Trajetórias superior e inferior 40

Figura 12 - Projeções de consumo final de biodiesel – Trajetórias superior e inferior 40

Figura 13 - Projeção do potencial de insumos da produção de biodiesel 2007 - 2016 41

Figura 14 - Disponibilidade total de biodiesel dos diversos insumos e expectativas de consumo obrigatório 42

Figura 15 - Principais matérias primas utilizadas na produção de biodiesel 46

Figura 16 - Benchmarking internacional 47

Figura 17 - Pré-tratamento do óleo vegetal: Acidificação e Neutralização..... 57

Figura 18 - Pré-tratamento do óleo vegetal: lavagem 58

Figura 19 - Pré-tratamento do óleo vegetal: Secagem do óleo 58

Figura 20 - Pré-tratamento da gordura animal 59

Figura 21 - Transesterificação: Etapa de reação 60

Figura 22 - Transesterificação: Etapa de Purificação do Biodiesel 60

Figura 23 - Transesterificação: Etapa de Secagem do Biodiesel 61

Figura 24 - Transesterificação: Etapa de Purificação da Glicerina 61

Figura 25 - Transesterificação: Etapa de Recuperação do Metanol 62

Figura 26 - Hidrólise 63

Figura 27 - Esterificação 64

Figura 28 - Hidroesterificação: Concentração da Glicerina..... 64

Figura 29 - Estratégia de compra e venda no primeiro mês de produção..... 70

Figura 30 - Evolução do preço de óleo de soja..... 75

Figura 31 - Evolução dos preços de sebo bovino 75

Figura 32 - Preços de ácidos graxos 76

Figura 33 - Resultado dos quatro primeiros leilões realizados pela ANP..... 85

Figura 34 - Função do Excel para atingir meta 95

Figura 35 - Perfil de VPL 104

Figura 36 - Sensibilidade do preço do vapor 112

Figura 37 - Sensibilidade do preço do catalisador metilato de sódio 112

Figura 38 - Sensibilidade do preço do catalisador ácido nióbico 113

Figura 39 - Sensibilidade do preço do metanol 114

Figura 40 - Sensibilidade do preço da glicerina 114

Figura 41 - Sensibilidade do capital de giro 115

Figura 42 - Sensibilidade do investimento fixo 115

Figura 43 - Sensibilidade do preço de biodiesel 116

Figura 44 - Sensibilidade do preço do óleo vegetal 117

Figura 45 - Sensibilidade do preço da gordura animal 117

Figura 46 - Preço mínimo de biodiesel para diferentes cenários de preços de óleo vegetal 119

Figura 47 - Preço mínimo de biodiesel para diferentes cenários de preços de gordura animal 120

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Composição da matriz energética 09

Tabela 2 - Estimativas dos custos de poluição evitados com o uso de biodiesel 12

Tabela 3 - Potencial de participação anual do agronegócio brasileiro no mercado de créditos de carbono 14

Tabela 4 - Matérias primas para obtenção de biodiesel 16

Tabela 5 - Área agricultável brasileira 17

Tabela 6 - Diversidade de matérias primas para produção de biodiesel 17

Tabela 7 - Produção de óleo de soja no Brasil de Fev-Jan 18

Tabela 8 - Vantangens do etanol sobre o metanol 28

Tabela 9 - Capacidade de produção de biodiesel em outubro/2007..... 44

Tabela 10 - Situação das fábricas de biodiesel no Brasil 44

Tabela 11 - Cargas percentuais de produção no Ano 01 66

Tabela 12 - Custo de investimento para planta de transesterificação.. 68

Tabela 13 - Custos de partida de planta 69

Tabela 14 - Custos operacionais e receitas a diferentes cargas de produção no primeiro ano para planta de transesterificação 71

Tabela 15 - Custos operacionais e receitas a diferentes cargas de produção no primeiro ano para planta de hidroesterificação 72

Tabela 16 - Capital de giro (20 dias de produção) 72

Tabela 17 - Investimentos 73

Tabela 18 - Composição da matéria prima 74

Tabela 19 - Preços e consumos de matéria prima 77

Tabela 20 - Preços e consumo dos insumos 78

Tabela 21 - Preços e consumo de utilidades 79

Tabela 22 - Unidades de consumo e preço de utilidades 80

Tabela 23 - Custos com pessoal 82

Tabela 24 - Prazos e taxas de depreciação..... 83

Tabela 25 - Depreciação anual de imóveis, móveis e máquinas..... 83

Tabela 26 - Preços de biodiesel e glicerina 85

Tabela 27 - Programa de apoio financeiro a investimentos do biodiesel BNDES 87

Tabela 28 - Evolução TJLP 2007 (% aa) 87

Tabela 29 - Estrutura capital 88

Tabela 30 - Pagamento de empréstimo (valores em Mil reais) 88

Tabela 31 - Composição da matéria prima para planta de hidroesterificação 96

Tabela 32 - Percentuais sobre vendas líquidas 97

Tabela 33 - Demonstração de resultados da planta de transesterificação 99

Tabela 34 - Demonstração de resultados da planta de hidroesterificação 100

Tabela 35 - Fluxo de caixa para planta de transesterificação 102

Tabela 36 - Fluxo de caixa para planta de hidroesterificação 102

Tabela 37 - Valor presente líquido 102

Tabela 38 - Índices para análise de viabilidade econômica..... 104

Tabela 39 - Índices para glicerina da hidroesterificação com alto valor agregado 106

Tabela 40 - Margem de lucro 108

Tabela 41 - Cobertura de juros 108

Tabela 42 - Cobertura de caixa 108

Tabela 43 - EBITDA (MR$) 108

Tabela 44 - Cenários de variáveis críticas 110

Tabela 45 - Análise de sensibilidade 111

Tabela 46 - Análise de cenários 118

Tabela 47 - Custos de partida das três plantas (MR$) 121

Tabela 48 - Custos operacionais e receitas a diferentes cargas de produção no primeiro ano para planta de Hidroesterificação C 121

Tabela 49 - Capital de giro das três plantas (MR$) (20 dias de produção) 122

Tabela 50 - Investimento das três plantas (MR$) 122

Tabela 51 - Estrutura Capital (MR$) das três plantas 122

Tabela 52 - Preços (R$/t) e consumos (kt/ano) de matéria prima das três plantas 123

Tabela 53 - Preços (R$/t) e consumo (t/ano) dos insumos das três plantas 123

Tabela 54 - Preços e consumo de utilidades das três plantas 124

Tabela 55 - Percentuais sobre vendas líquidas das três plantas (Ano 10) 124

Tabela 56 - Demonstração de resultados da planta de hidroesterificação C 126

Tabela 57 - Valor Presente Líquido das três plantas 127

Tabela 58 - Margem de lucro das três plantas 127

Tabela 59 - Cobertura de juros das três plantas 127

Tabela 60 - Cobertura de caixa das três plantas 128

Tabela 61 - EBITDA das três plantas 128

Tabela 62 - Índices para análise de viabilidade econômica das três plantas 128

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....4
2.1 Definições Básicas 4
2.2 Histórico.....5
2.3 Matriz Energética.....8
2.4 Aspectos Ambientais.....9
2.5 Aspectos Sociais.....15
2.6 Matéria Prima.....16
2.6.1 Óleos e gorduras vegetais.....16
2.6.2 Óleos e gorduras de animais.....19
2.6.3 Óleos residuais de fritura.....20
2.6.4 Matéria graxa de esgotos.....20
2.7 Processos de Obtenção.....21
2.7.1 Transesterificação.....22
2.7.2 Hidroesterificação.....25
2.7.3 Rotas Tecnológicas.....27
2.7.4 Outros Processos.....29
2.8 Características do Produto.....32
2.8.1 Biodiesel x Diesel……32
2.8.2 Especificação.....33
2.8.3 Mistura 34
2.8.4 Uso de antioxidante.....35
2.8.5 Balanço Energético.....36
2.9 Distribuição e Transporte.....37
2.10 Subprodutos.....37
2.10.1 Novas aplicações para glicerina.....38
2.11 Mercado para Biodiesel no Brasil.....39

2.11.1 Projeção da demanda de biodiesel.....39
2.11.2 Projeção da oferta de matéria prima.....41
2.11.3 Capacidade de processamento industrial.....43
2.11.4 Leilões.....45
2.12 Cenário Mundial.....45
2.12.1 Europa.....47
2.12.2 Estados Unidos.....51
2.12.3 América Latina.....52
2.12.4 Oceania.....52
2.12.5 Ásia.....53
2.13 Viabilidade Econômica.....54
3 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS ESTUDADOS.....57
3.1 Processo de Transesterificação.....57
3.1.1 Pré-Tratamento do óleo vegetal (óleo de soja).....57
3.1.2 Pré-Tratamento da gordura animal (sebo bovino).....59

3.1.3 Reação de transesterificação.....59
3.1.4 Purificação do biodiesel.....60
3.1.5 Secagem.....60
3.1.6 Purificação da glicerina.....61
3.1.7 Recuperação do metanol.....62
3.1.8 Efluentes, resíduos e emissões.....62
3.2 Hidroesterficação.....63
3.2.1 Hidrólise.....63
3.2.2 Esterificação.....63
3.2.3 Concentração da glicerina.....64
3.2.4 Efluentes, resíduos e emissões.....64
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....66
4.1 Orçamento Capital.....67

4.1.1 Investimento.....67
4.1.1.1 Investimento fixo.....67
4.1.1.2 Custos de partida da planta.....68
4.1.1.3 Capital de giro.....69
4.1.2. Custos operacionais.....73
4.1.2.1. Custo variável.....73
4.1.2.2 Custo fixo.....81
4.1.3 Receitas.....84
4.2 Estrutura Capital 86
4.3 Demonstrações financeiras 88
4.3.1 Demonstração dos resultados do exercício (DRE).....89
4.3.2 Fluxo de caixa.....89
4.4 Avaliação Econômica.....89
4.4.1 Valor presente líquido (VPL).....90
4.4.2 Taxa interna de retorno (TIR).....90
4.4.3 Payback.....91
4.4.4 EBITDA.....92
4.4.5 Valor econômico agregado (EVA).....92
4.4.6 Índices auxiliares.....93
4.4.6.1 Medida de rentabilidade.....93
4.4.6.2 Medidas de solvência em longo prazo.....93
4.5 Análise de Sensibilidade.....94
4.6 Análise de Cenários.....95
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....97
5.1 Avaliação Econômica.....97
5.2 Análise de Sensibilidade.....110
5.3 Análise de Cenários 118
6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....131
REFERÊNCIAS.....134

1 INTRODUÇÃO

O progressivo esgotamento dos combustíveis de origem fóssil e o aumento da poluição ambiental nas grandes cidades vêm sendo assuntos de preocupação mundial. A escassez de petróleo e gás natural é prevista ainda para esse século. Essas mesmas fontes energéticas são grandes responsáveis pelas emissões gasosas que tem provocado o aumento da temperatura do planeta e problemas à saúde da população.

Nesse contexto, para que o desenvolvimento não comprometa aspectos ambientais, sociais ou econômicos, vem sendo reavaliado e intensificado o uso de tecnologias de produção de energia provenientes de fontes renováveis, descobertas a mais de um século.

O biodiesel, biocombustível derivado de fonte renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão, contribui para a redução da temperatura global do planeta e dos custos com a saúde, proporciona emprego e renda, é totalmente miscível em óleo diesel mineral, aumenta a lubricidade do combustível melhorando o desempenho do motor, é biodegradável e não-tóxico. Diante de tantas vantagens o governo incluiu o biodiesel na matriz energética Brasileira e definiu volume mínimo obrigatório da mistura do biocombustível no diesel mineral. Dessa forma, o biodiesel inicia um novo ciclo do setor nacional de energia e reforça a promoção do uso de fontes renováveis e a diversificação da matriz energética.

O processo mais comum de obtenção de biodiesel é a transesterificação de óleos vegetais e gorduras animais. Mais recentemente vem sendo estudado também o processo de hidroesterificação, o qual permite a utilização de qualquer matéria prima, incluindo matérias graxas residuais do processamento de óleos.

Atualmente, um dos maiores obstáculos para a comercialização do biocombustível está em seu preço, atualmente em torno de R$ 1,78 por litro, enquanto o diesel custa R$ 1,36 por litro. Esse alto valor para o biodiesel é representado principalmente pelo custo de matéria prima e insumos. A possibilidade de utilização de matérias primas de menor qualidade e, consequentemente, com menores preços, parece favorecer o processo de hidroesterificação.

São objetivos do presente trabalho:

i) avaliar economicamente a obtenção de biodiesel através dos processos de transesterificação e hidroesterificação determinando se os investimentos em tais projetos, uma vez implantados, valem mais que seus custos de aquisição;

ii) Comparar tais estudos verificando qual é mais vantajoso;

iii) Identificar as variáveis críticas para o sucesso dos empreendimentos;

Para isso, o trabalho foi estruturado em seis capítulos, sumarizados a seguir:

O capítulo 1 apresenta a motivação que levou ao desenvolvimento deste trabalho, bem como os objetivos principais do mesmo.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica da literatura abordando as definições básicas, o histórico do biodiesel, a matriz energética mundial, as questões ambientais, as matérias primas e os processos de obtenção, as características dos produtos e subprodutos, o mercado nacional e o cenário mundial.

O capítulo 3 descreve as tecnologias de transesterificação e hidroesterificação bem como as etapas de pré-tratamento da matéria prima para o primeiro processo.

O capítulo 4 descreve a metodologia utilizada no trabalho e as fontes das informações necessárias para a análise de viabilidade econômica da produção de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação. Tal análise abrange o orçamento capital, a estrutura de investimento desse capital, as demonstrações financeiras e finaliza com uma avaliação econômica, utilizando índices financeiros para realizar a comparação entre os processos. Descreve também a análise de sensibilidade utilizada para identificar os fatores críticos para o sucesso dos projetos, e a análise de cenários com os fatores mais críticos.

O capítulo 5 apresenta a avaliação e discutição dos resultados obtidos na avaliação econômica, incluindo todos os índices financeiros, e da análise de sensibilidade e cenários

O capitulo 6 aborda as conclusões obtidas e as sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta uma revisão bibliográfica da literatura abordando as definições básicas, o histórico do biodiesel, a matriz energética mundial, as questões ambientais, as matérias primas e os processos de obtenção, as características dos produtos e subprodutos, o mercado nacional e o cenário mundial.

2.1 Definições básicas

A definição mais usualmente aplicada à palavra biodiesel é a de um combustível biodegradável, produzido a partir de fontes naturais e renováveis, capaz de substituir, diretamente ou em mistura, o diesel derivado de petróleo, na operação de motores ciclo Diesel.

A Lei nº 11.097/2005, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, definiu biodiesel como sendo um "biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustível de origem fóssil". [1]

A Resolução ANP n° 42 de 24/11/2004 delineou a definição contida na lei, como sendo um "combustível composto de alquil-ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais" e estabeleceu as normas e especificações do biocombustível, de forma a garantir que suas características físico-químicas sejam semelhantes ao diesel mineral, para que possa substituí-lo, mesmo que parcialmente. [2]

Na definição americana, segundo a National Biodiesel Board-NBB, o biodiesel é um mono-alquil-éster de cadeia longa de ácidos graxos, derivado de óleos

vegetais ou gorduras animais em conformidade com as especificações ASTM D6751 para uso em motores diesel. [3 e 4]

A Lei Diretiva 2003/30CE, do Parlamento Europeu, definiu o Biodiesel como um éster metílico produzido a partir de óleos vegetais ou animais, com qualidade de combustível para motores diesel, para utilização como biocombustível. [5]

2.2 Histórico

Em 1853, muitos anos antes do primeiro motor a diesel se tornar funcional, os cientistas E. Duffy e Patrick já conduziam estudos de transesterificação de óleos vegetais.[6] No entanto, na Exposição Mundial ocorrida em Paris, em 1900, Rudolf Diesel, o próprio criador do motor, demonstrou seu invento utilizando óleo de amendoim *in natura*.[7] Ele acreditava que a utilização de combustível proveniente da biomassa era o real futuro para o seu motor e já previa a importância dos óleos vegetais dentre os combustíveis, apesar da insignificância que a eles era atribuída naquela época, conforme registrado em seu discurso realizado em 1912.

Essa previsão, em parte, se verifica hoje, através da importância dos biocombustíveis frente aos combustíveis fósseis, seja por questões de escassez ou por questões ambientais. No entanto o óleo vegetal utilizado *in natura* em motores deixa depósitos de carbono nos cilindros e nos injetores, requerendo uma manutenção intensiva e comprometendo a durabilidade do motor. [8, 9]

Durante a década de 20, os fabricantes de motor a diesel alteraram seus motores para utilizar combustíveis fósseis mais baratos e menos viscosos que biomassas alternativas.[6] Na mesma época, o Instituto Nacional de Tecnologia (INT), no Brasil, testava combustíveis alternativos renováveis com o intuito de minimizar as características indesejáveis dos óleos vegetais.[10] Em 1937, G. Chavanne, um cientista belga, patenteou a reação de transesterificação. [11] A

partir daí, começava-se a perceber que a remoção da glicerina da molécula original de óleo vegetal gerava um combustível muito mais apropriado para os motores do tipo diesel.

Provavelmente, em 1938, foi realizado o primeiro teste utilizando o biocombustível em um ônibus urbano que fazia a linha Bruxelas – Louvain e o resultado, relatado em um artigo em 1942, foi satisfatório.[11]

Durante a II Guerra Mundial houve escassez de combustíveis fósseis, aumentando o estímulo à busca de biocombustíveis. Porém, no final da guerra, a abundância de petróleo importado, especialmente do Oriente Médio, com preços muito acessíveis, desestimulou o desenvolvimento e a utilização de combustíveis alternativos.

Os investimentos em desenvolvimento de tecnologias alternativas de energia voltaram a aumentar na década de 70, quando o mercado de petróleo foi marcado por desequilíbrios entre oferta e demandas mundiais. Em resposta a essas crises, o mercado sentiu a necessidade de diminuir a dependência do petróleo, aumentando as pesquisas em outras fontes de energia. Várias universidades brasileiras se dedicaram a estudar a produção de combustíveis substitutivos do diesel que aproveitassem diversas matérias primas de origem vegetal.

Na Universidade Federal do Ceará, os experimentos com transesterificação foram iniciados em 1979, estimulados pelas propostas apresentadas pelo professor Melvin Calvin (Prêmio Nobel de Química) no Seminário Internacional de Biomassa ocorrido em1978, em Fortaleza.

Em 1980, enquanto fazendeiros na Áustria começavam a se organizar em cooperativas para viabilizar a produção de biodiesel,[6] no Brasil, o Conselho Nacional de Energia instituía o Programa Nacional de Produção de Óleos

Vegetais para Fins Energéticos (Pró-óleo). O programa visava à substituição do óleo diesel por óleos vegetais em mistura de 30% em volume, até a total substituição (na época o Brasil produzia 15% do petróleo consumido). Porém, a viabilidade econômica era questionável já que a relação de preços internacionais óleos vegetais/petróleo era 3,81, a depender da oleaginosa. [12]

Também foi lançado, pela Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comércio (STI/MIC), o Programa Nacional de Alternativas Energéticas Renováveis de Origem Vegetal, com linhas de ação que levaram a um programa voltado especificamente para a comprovação técnica do uso dos óleos vegetais em motores ciclo Diesel, o Programa OVEG. [12]

Contudo, entre 1983 e 1985, o aumento da produção do petróleo conduziu a uma acentuada queda de preço do mesmo no mercado internacional. Com o petróleo abundante e barato, o cenário econômico era desfavorável ao uso do biocombustíveis. Como conseqüência, vários países, inclusive o Brasil, tiveram diversos projetos, de produção e uso de energias alternativas, desarticulados.[10]

Em 1988 foi publicado um artigo chinês, o primeiro da literatura que usou o termo biodiesel. O próximo artigo usando o termo só apareceu em 1991,[11] mesmo ano em que a primeira planta de escala industrial de biodiesel foi inaugurada em Aschach, na Áustria, com a capacidade de 10 mil m³ por ano. Após esse marco, o uso do termo biodiesel cresceu exponencialmente nas publicações e diversas plantas foram inauguradas em muitos países europeus, incluindo França e Alemanha e em nações em outras partes do mundo.[6]

Em 2000, o preço do petróleo se estabilizou temporariamente em níveis um pouco mais altos no mercado internacional e, portanto, as fontes de energias renováveis assumiram papel crescente na matriz energética mundial com técnicas mais avançadas e preocupadas com a sustentabilidade ambiental.

Após cinco anos, o biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira, através do Artigo 2º da Lei nº 11.097, de 13.01.2005, que fixou em 5% em volume o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final em qualquer parte do território nacional. A adoção deve ocorrer de forma gradual, começando com a mistura de 2% (B2) até 2008, e chegando a mistura de 5% (B5) até 2013, que pode ser antecipada para 2010 pelo Governo Federal, conforme divulgado pelo Plano Decenal de Expansão de Energia 2007/2016.[13, 14]

Figura 1 - Percentuais de volumes de biodiesel no diesel fixados pela Lei n˚ 11.097 [15]

2.3 Matriz Energética

A maior parte de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo, do carvão e do gás natural. Juntas, essas fontes de carbono fóssil somam aproximadamente 80% na participação da matriz energética mundial.

A matriz também é composta pela energia nuclear, energia hidroelétrica, biomassa tradicional, e novas fontes renováveis que se subdividem em biomassa moderna (incluindo resíduos vegetais, florestais, urbanos e rurais) e outras energias com menor representatividade tais como energia geotermal, eólica, solar, e de correntes marinhas. A Tabela 1 apresenta a composição da matriz energética no mundo e no Brasil.

Segundo o International Energy Outlook 2005 [16], as reservas de carvão totalizam um trilhão de toneladas, quantidade suficiente para suprir o consumo nos níveis atuais por 219 anos. [13] Por outro lado, as reservas mundiais de

petróleo devem durar em torno de 41 anos e as de gás natural, 67 anos, indicando possibilidade de escassez ou esgotamento dessas fontes ainda nesse século.

Nesse cenário de escassez, as fontes renováveis constituem um diferencial positivo, principalmente para o Brasil que atualmente consome 46% de energia de origem renovável enquanto a média mundial é de 14% e nos países desenvolvidos, de apenas 6%. [17]

Tabela 1 - Composição da matriz energética

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

As fontes renováveis estão amplamente disponíveis, garantindo maior segurança do suprimento de energia e reduzindo a dependência das importações de petróleo de regiões politicamente instáveis. Com o biodiesel, o Brasil inicia um novo ciclo do setor nacional de energia e reforça a promoção do uso de fontes renováveis e a diversificação da matriz energética.

2.4 Aspectos Ambientais

Além da possibilidade de esgotamento, o uso de combustível fóssil apresenta graves problemas ambientais. A poluição do ar das grandes cidades é, provavelmente, o mais visível impacto da queima dos derivados de petróleo. Tal poluição é decorrente principalmente da emissão de gases tais como CO_2, CO, NO_x e SO_x.[10]

Nos últimos 50 anos a concentração de CO_2 atmosférico aumentou 31% (Figura 2), atingindo, provavelmente, o nível mais alto dos últimos 20 milhões de anos.

O efeito da maior concentração desses gases na atmosfera é um agravamento do efeito estufa de forma que a temperatura média da Terra tende a aumentar trazendo graves conseqüências para a humanidade.

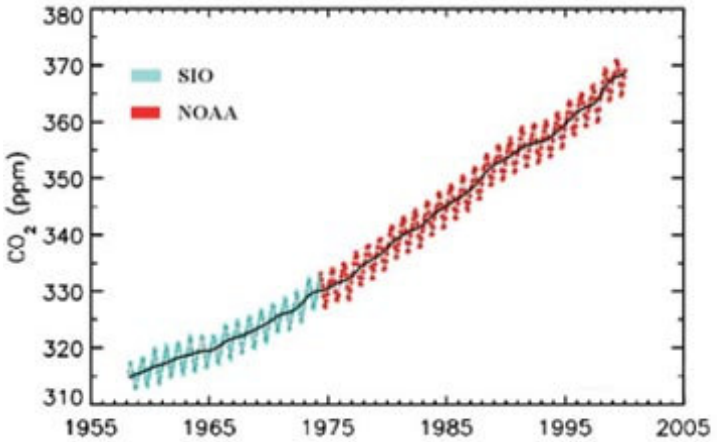


Figura 2– Concentração de gás carbônico na atmosfera em Mauna Loa – Hawai [18]

Segundo relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, a temperatura média do planeta subirá de 1,8 a 4°C até 2100, provocando um aumento do nível dos oceanos, inundações e ondas de calor mais freqüentes.[19]

Dessa forma, o consumo de combustíveis fósseis derivados do petróleo tem um significativo impacto na qualidade do meio ambiente, motivando a busca por fontes renováveis e menos poluidoras.

O uso de biodiesel em um motor diesel convencional, quando comparado com a queima do diesel mineral, reduz substancialmente a emissão de poluentes como monóxido de carbono (CO). Tais compostos são formados pela combustão incompleta do diesel e constituem a chamada “fumaça negra” dos veículos. O biodiesel promove a redução dessas emissões por conter, em sua

estrutura, moléculas de oxigênio, que promovem a combustão completa e minimizam a geração de poluentes.

Um estudo conjunto do Departamento de Energia e do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos mostra que o biodiesel reduz em 78% as emissões líquidas de CO_2.[10] Segundo Aranda, a liberação de material particulado é 50% menor.[20, 21]

Em contrapartida, há pequeno incremento na emissão de NO_x (Figura 3), quando comparado com as reduções de grande magnitude dos outros poluentes. Esse nitrogênio advém do próprio ar, durante a combustão, uma vez que o biodiesel não possui moléculas nitrogenadas. O NO_x é um dos principais precursores do ozônio troposférico, podendo gerar graves problemas de qualidade do ar nas grandes cidades. Há estudos em andamento visando reduzir a formação do NO_x mediante o emprego de catalisadores adequados, a identificação da fonte ou propriedade que pode ser modificada para minimizar as emissões e a mudança do tempo de ignição do combustível, de forma a reduzir a formação de óxido de nitrogênio. [22]

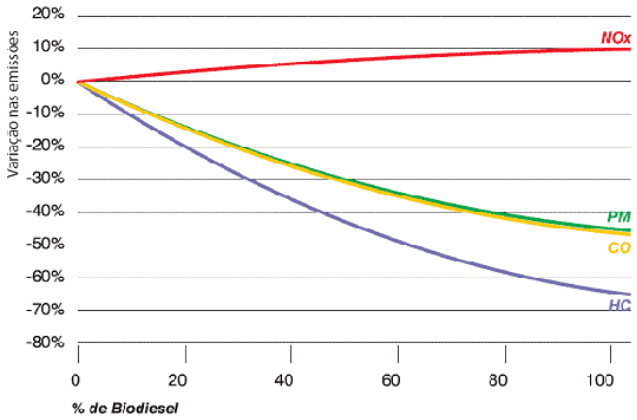


Figura 3 - Emissões associadas ao biodiesel [23]

Todavia, o Grupo de Trabalho Interministerial, encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade do biodiesel, alerta que o ajuste na regulagem dos motores e a instalação de catalisadores são operações simples durante o

processo de produção de veículos novos, mas apresenta maior complexidade quando se trata da frota de veículos em circulação, com número variado de modelos e anos de uso. [22]

Com a redução das emissões, a substituição do diesel de origem fóssil pelo biocombustível pode proporcionar ganhos também à saúde. O Ministério do Meio Ambiente e o Ministério das Cidades estimam que o biodiesel puro (B100) proporcionaria redução de custos à saúde da ordem de R$ 192 milhões anuais, nas dez principais cidades brasileiras, e aproximadamente R$ 873 milhões, em nível nacional. [22]

Tabela 2– Estimativas dos custos de poluição evitados com o uso de biodiesel (R$ milhões/ano) [22]

Percentual de Uso de Biodiesel	**Dez principais cidades brasileiras**	**Brasil**
2% (B2)	5,9	27,3
5% (B5)	16,4	75,6
20% (B20)	65,5	302,3
100% (B100)	191,9	872,8

Além de gerar menos emissões totais de poluentes e menores gastos com a saúde, o biodiesel permite que se estabeleça um ciclo fechado de carbono no qual o CO_2 é absorvido quando a planta cresce e é liberado quando o biodiesel é queimado na combustão do motor (Figura 4). [10]

Assim, a queima de combustíveis obtidos a partir de biomassa não contribui diretamente para o efeito estufa. No caso do biodiesel metílico, no mínimo 78% do CO_2 é reabsorvido, enquanto para o biodiesel etílico esse percentual é de 100%. [24]

Valendo-se dessa vantagem, são grandes as perspectivas de captar financiamentos externos, para a cadeia do novo combustível, através do

mercado de créditos de carbono previsto no Protocolo de Kyoto, e nas diretrizes do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

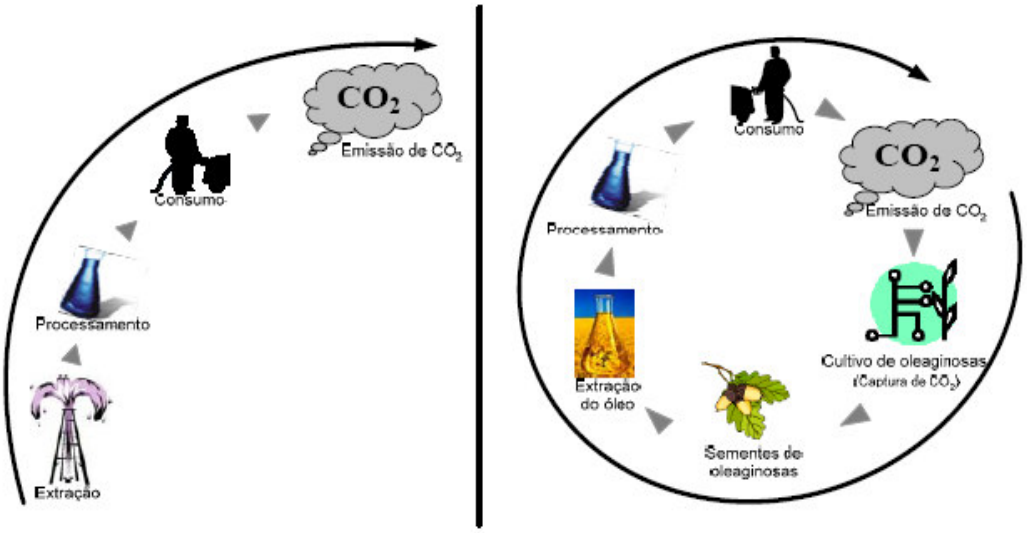


Figura 4 - Ciclo Aberto do Carbono do Diesel e Ciclo Fechado do Carbono do Biodiesel [15]

O protocolo de Kyoto é um tratado internacional, no qual as nações industrializadas do norte se comprometem em reduzir as suas emissões de gases de efeito estufa em pelo menos 5%, relativas ao ano de 1990, entre 2008 e 2012. Entre outras flexibilidades previstas no protocolo, os países poderão comprar créditos de outras nações que possuam projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).[25]

A Comunidade Européia estabeleceu multas para países que não atingirem suas metas. Isto favorece a aquisição de créditos de projetos realizados em outros países, cujos custos de abatimento sejam inferiores.[13]

Segundo o Caderno NAE, a redução das emissões dos gases do efeito estufa para a diminuição da temperatura global devido à utilização de biodiesel pode ser relevante, contudo, os valores monetários associados a possíveis créditos de carbono são ainda pequenos correspondendo a cerca de 3% do custo de produção para valores de crédito entre US$1 e US$5/ t de carbono evitado.[12]

O Plano Nacional de Agroenergia 2006-2010, realizado pela Embrapa, também apresenta preços baixos para a tonelada, em torno de US$ 0,90, para alternativas de comercialização com regras mais flexíveis, tais como a CCX (Chicago Climate Exchange - Bolsa do Clima de Chicago). Porém, para projetos que obedeçam todas as premissas do Protocolo de Kyoto, a tonelada de carbono dos projetos de MDL pode ser vendida em torno de US$ 5,00 a 6,00.[26] Recentemente, em setembro de 2007, a Prefeitura de São Paulo vendeu em leilão na BM&F, 163.784 toneladas de carbono a mais de US$ 22/tonelada.[27]

De acordo com o site biodieselbr.com, no mercado europeu, os créditos de carbono são negociados por volta de US$ 9,25 por tonelada.[28]

Segundo estimativas da Embrapa, o potencial de participação anual do agronegócio brasileiro no mercado de créditos de carbono para o primeiro período de compromisso do Protocolo de Kyoto (2008-2012) deve gerar US$ 160 milhões por ano.[26]

Tabela 3 – Potencial de participação anual do agronegócio brasileiro no mercado de créditos de carbono [26]

Emissão dos países desenvolvidos em 1990		13,7 bilhões de toneladas de CO_2
Redução comprometida = 5,2% do total		714 milhões de toneladas de CO_2/ano
Preço em 2005 = US$ 5,63/toneladas de CO_2		Total = US$ 4,0 bilhões/ano
Estimativa da participação do MDL	(40%)	US$ 1,6 bilhões/ano
Expectativa do Brasil no mercado de MDL	(25%)	US$ 400 milhões/ano
Potencial do agronegócio no MDL Brasileiro	(40%)	US$ 160 milhões/ano

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2007/2016 ressalta que os recursos financeiros provenientes do MDL são suficientes para custear a aquisição e instalação das usinas, removendo eventuais barreiras existentes sob o aspecto financeiro e servindo de incentivo ao processo de implantação dos projetos de

auto-produção de biodiesel, os quais, apesar da atratividade econômica, não vêm ocorrendo.[13]

Portanto, o uso de biodiesel pode não apenas contribuir para a redução da temperatura global do planeta e dos custos com saúde, como também captar financiamentos externos para a cadeia do novo combustível.

2.5 Aspectos Sociais

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), lançado oficialmente pelo governo federal em 6 de dezembro de 2004, é um programa interministerial que objetiva a implementação de forma sustentável, tanto técnica, como economicamente, a produção e uso do Biodiesel, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda.[29]

Regime tributário diferenciado e a criação do Selo Combustível Social para a produção de oleaginosas pela agricultura familiar, principalmente de mamona e dendê nas regiões Norte, Nordeste e no Semi-Árido, são instrumentos do marco regulatório para promover a inclusão social na cadeia de produção do novo combustível.[29]

O Selo, concedido pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA), estabelece as condições para os produtores industriais de biodiesel obterem benefícios tributários e financiamentos. Em contrapartida o produtor industrial adquire matéria-prima de agricultores familiares, estabelece contrato com especificação de renda e prazo e garante assistência e capacitação técnica.[17]

Dessa forma, o biodiesel proporciona empregos tanto no campo, a partir do plantio das matérias-primas e da assistência técnica rural, como na indústria, através da montagem e operação das plantas industriais, do transporte e da distribuição.

2.6 Matéria Prima

A princípio, toda substância que contém triglicerídeos em sua composição pode ser usada para a produção de biodiesel. Os triglicerídeos são encontrados em óleos vegetais e gorduras animais, além de óleos e gorduras residuais.

Além dos triglicerídeos, os ácidos graxos também são fontes para a produção de biodiesel. Holanda classificou as matérias primas para obtenção do biocombustível em 4 categorias: óleos e gorduras de origem animal, óleos e gorduras de origem vegetal, óleos residuais de fritura, e matérias graxas de esgoto.[10]

Tabela 4 – Matérias primas para obtenção de biodiesel [10]

Categoria	Origem	Obtenção
Óleos e gorduras de origem animal	Matadouros, frigoríficos e curtumes	Extração com água e vapor
Óleos e gorduras de origem animal	Agricultura temporária e permanente	Extração mecânica por solvente ou mista
Óleos residuais de frituras	Cocções comerciais e industriais	Acumulações e coletas
Matérias graxas de esgotos	Águas residuais de cidades e industriais	Processo em fase de pesquisa

2.6.1 Óleos e gorduras vegetais

O Brasil, por apresentar clima tropical e subtropical, é favorecido com uma gama de matérias primas para extração de óleo vegetal tais como baga de mamona, polpa de dendê, amêndoa de coco de babaçu, semente de girassol, caroço de algodão, grão de amendoim, semente de canola, grão de soja, nabo forrageiro, e outros vegetais em forma de sementes, amêndoas ou polpas.

Além do clima propício, o país possui aproximadamente 90 milhões de hectares de terras disponíveis para o processo produtivo de oleaginosas.[11] Segundo a Embrapa, o Brasil tem grande oportunidade de tornar a agricultura de energia um componente relevante do seu agronegócio.[30]

Tabela 5 – Área agricultável brasileira [31]

Áreas	**Milhões de ha**	**% do Território**
Disponível	152,5	17,9
Utilizada	62,5	7,3
Disponível não utilizada	90,0	10,5

O mapa (Figura 5), divulgado pelo Sebrae situa a produção de grande parte das matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil.[32] A Tabela 6 mostra as características de algumas oleaginosas.

Tabela 6 – Diversidade de matérias primas para produção de biodiesel [32]

Espécie	**Produtividade (t/ha)**	**Porcentagem de óleo**	**Rendimento (t óleo/ha)**
Algodão	0,86 a 1,4	15	0,1 a 0,2
Amendoim	1,5 a 2	40 a 43	0,6 a 0,8
Dendê	15 a 25	20	3 a 6
Girassol	1,5 a 2	28 a 48	0,5 a 0,9
Mamona	0,5 a 1,5	43 a 45	0,5 a 0,9
Pinhão manso	2 a 12	50 a 52	1 a 6
Soja	2 a 3	17	0,2 a 0,4

A soja é uma das oleaginosas de maiores potenciais para produção de biodiesel no Brasil. Em 2006 o país produziu 5,5 milhões de toneladas de óleo de soja (Tabela 7). Autores que estudaram a conversão de diversas oleaginosas em biodiesel, verificaram que a soja apresentou os melhores rendimentos. [33, 34]

Tabela 7- Produção de óleo de soja no Brasil de Fev-Jan (1000 t) [35]

2000/2001	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007
4.111	4.369	4.355	5.349	4965	5.709	5.512

O dendê se destaca devido ao patamar extraordinário de 4.000 toneladas de óleo por hectare, rendimento 7 vezes maior que o da soja. Porém a soja continua com vantagens devido a sua escala.

Figura 5 – Produção de matérias primas por região [32]

A mamona e o pinhão manso são oleaginosas muito promissoras para as regiões do sudeste, centro-oeste e nordeste do Brasil por existirem de forma espontânea em solos pouco férteis e de clima desfavorável à maioria das culturas alimentares tradicionais. [28]

A semente de mamona possui ainda, como grande diferencial, o alto teor de óleo, em torno de 47%. Porém, o óleo de mamona processado, refinado ou desodorizado, apresenta um preço superior em 50% ao óleo bruto, atendendo ao mercado de lubrificante e cosméticos. Assim, para a mamona, a alternativa de exportação do óleo para usos não energéticos se torna mais viável. [28]

Já o pinhão manso não possui inscrição no RNC (Registro Nacional de Cultivares). Segundo a lei federal nº 10.711/2003 a produção, o beneficiamento e a comercialização de sementes e de mudas ficam condicionados à prévia inscrição do respectivo cultivar no RNC. Portanto se faz necessária a intervenção do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, já prevista na legislação, artigo 16 do decreto nº 5.153/2004, autorizando a inscrição da espécie e do cultivo no RNC, observado o interesse público e desde que não cause prejuízo à agricultura nacional.[28]

2.6.2 Óleos e gorduras de animais

Exemplos de gorduras de animais são sebo bovino, óleos de peixes, óleo de mocotó, banha de porco, gordura de galinha, entre outras matérias graxas de origem animal, e são obtidas em curtumes, frigoríficos e abatedouros de animais de médio e grande porte. [36]

A crescente expansão da produção de carne de frango no Brasil, e a necessidade de produtos de maior qualidade geram maior quantidade de resíduos de gorduras. Um estudo sobre a potencialidade da gordura de frango para a produção de biodiesel revelou que a contribuição da gordura abdominal e da pele do peito de frango é de 12 a 20% da necessidade de matéria prima para a mistura de 2% de biodiesel ao diesel mineral. [37]

O Brasil possui o segundo maior rebanho de gado bovino do mundo, produzindo anualmente centenas de milhares de toneladas de sebo bovino.[38] O preço do sebo é da ordem de R$ 1.300 por tonelada no mercado, de acordo com dados da empresa Aboissa Óleos Vegetais. Considerando a sua alta produção e baixo custo de comercialização, o sebo bovino apresenta-se como uma matéria-prima promissora para a produção de biodiesel.

A produção de biodiesel a partir de sebo bovino já é uma realidade no Brasil. O grupo Bertin inaugurou em agosto desse ano a primeira usina do país a processar sebo bovino e certamente a maior do gênero no mundo.[39]

2.6.3 Óleos residuais de fritura

Os óleos residuais de fritura são resultado do processamento de alimentos em lanchonetes, cozinha industriais, comerciais e domésticas e indústrias que processam frituras de produtos alimentícios. Um levantamento primário da oferta de óleos residuais de frituras com produção superior a 100 kg/mês revela um valor da oferta brasileira superior à 30.000 toneladas anuais.[36]

2.6.4 Matéria graxa de esgotos

Além dos óleos e gorduras virgens, constituem também matéria-prima para a produção de biodiesel, os óleos e gorduras residuais, resultantes de processamentos domésticos, comerciais e industriais como frituras. [40]

Os esgotos municipais possuem uma nata sobrenadante rica em matéria graxa. As águas residuais de processos de indústrias alimentícias, de pescados e de couro também são fontes de matérias graxas. [36, 41]

A produção de biodiesel também pode ser obtida de diferentes ácidos graxos livres presentes nas borras ácidas oriundas do processo de refino de óleos vegetais e em resíduos gordurosos obtidos de outros processos. [42, 43, 44, 45]

Um exemplo da utilização de matérias graxas, residuárias de processos de refino de óleo vegetal, para a obtenção de biocombustível é a Agropalma, em Belém/PA, empresa produtora de óleo de palma. Em parceria com a UFRJ a empresa instalou uma planta de produção de biodiesel a partir da esterificação de ácidos graxos, residuais no processo de refino do óleo. A planta, inaugurada em março de 2005, possui capacidade para produção de 30 milhões de litros de biodiesel por ano, e utiliza o metanol como reagente. Os ácidos graxos de palma, subprodutos do processo de refino do óleo de palma possuem baixo valor agregado, podendo gerar biodiesel de baixo custo de produção. [46, 47]

Outra potencial fonte foi observada na Irgovel Indústria Riograndense de Óleos Vegetais Ltda que possui capacidade de processamento de 250 toneladas de farelo de arroz processado, gerando 20% de óleo, e 10% de ácidos graxos. [48]

2.7 Processos de obtenção

O processo mais comum de produção de biodiesel é transesterificação utilizando catalisadores básicos homogêneos. [9, 49]

Mais recentemente vem sendo estudado também o processo de hidroesterificação, o qual permite a utilização de qualquer matéria prima (óleos e gorduras vegetais e animais e óleos e graxas residuais) independente da acidez e da umidade.

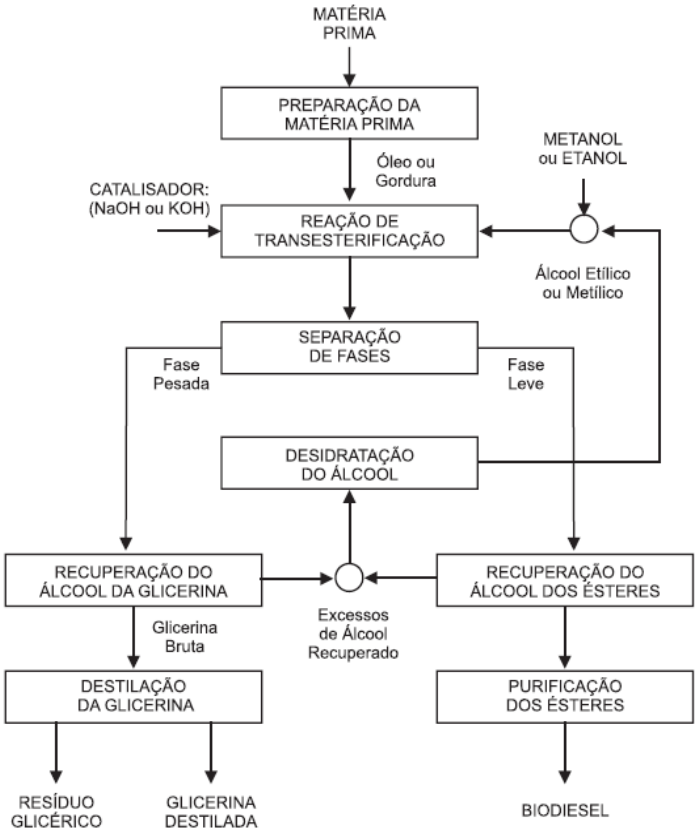
Há ainda outros processos para produção de biodiesel tais como craqueamento térmico, transesterificação enzimática, transesterificação supercrítica, e esterificação de borras ácidas.

As subseções a seguir detalham os processos de transesterificação e hidroesterificação, temas dessa tese e discorrem brevemente sobre os demais processos.

O H-Bio, apesar de não constituir um processo de obtenção de biodiesel, será abordado entre os demais processos por possuir, entre as matérias primas, os óleos vegetais.

2.7.1 Transesterificação

A produção de biodiesel através da transesterificação envolve as etapas de preparação da matéria prima, reação, separação de fases, recuperação e desidratação do álcool, e purificação dos ésteres e da glicerina (Figura 6). [36]



Fonte: Parente (2003)

Figura 6 - Etapas do processo de transesterificação [36]

Preparação da matéria prima

Para obter um resultado satisfatório, os óleos devem ser processados com baixo teor de ácidos graxos livres e umidade de forma evitar a formação de produtos saponificados que diminuem eficiência de conversão.[50] Para adequar a matéria prima a parâmetros de umidade e acidez aceitáveis para o processo, há uma etapa de preparação anterior à 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.[36] Nessa etapa, geram-se resíduos de difícil tratamento, conhecidos como "soapstocks". Quimicamente são sabões, gerados na reação entre os ácidos graxos com os hidróxidos de metais alcalinos, numa emulsão com um pouco de triglicerídeos.

Reação de Transesterificação

Na reação de transesterificação (Figura 7) o triglicerídeo reage com um álcool simples (metanol ou etanol), formando ésteres (metílico ou etílico), que constituem o biodiesel, e glicerol.

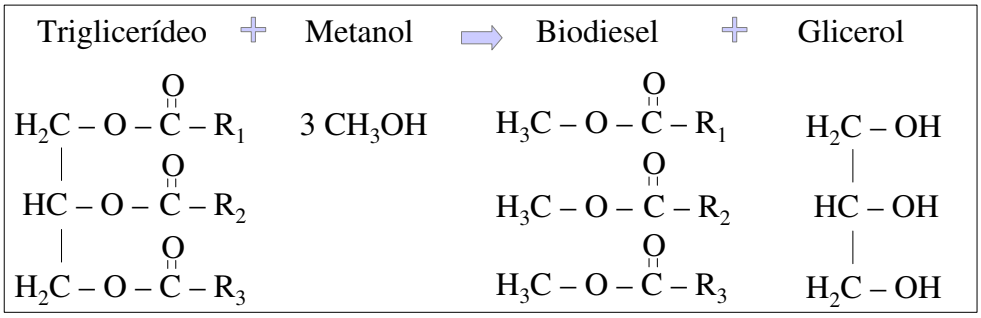


Figura 7– Reação de transesterificação

O álcool é adicionado em excesso a fim de permitir a formação de uma fase separada de glicerol e deslocar o equilíbrio para um máximo rendimento de biodiesel, devido ao caráter reversível da reação.

A reação pode ser catalisada por bases (NaOH, KOH, carbonatos ou alcóxidos), ácidos (HCl, H_2SO_4 e HSO_3-R) ou enzimas (lipases). Ela ocorre de maneira mais rápida na presença de um catalisador alcalino que na presença da mesma quantidade de catalisador ácido, observando-se maior rendimento e seletividade, além de apresentar menores problemas relacionados à corrosão dos equipamentos. Os catalisadores mais eficientes para esse propósito são KOH e NaOH. A catálise básica homogênea é a mais empregada comercialmente.

Separação das fases

O produto da reação possui duas fases na qual a mais pesada é composta pela glicerina e a fase mais leve é o biodiesel. Ambos estão contaminados com excessos de álcool, água e catalisador. A glicerina e o biodiesel são separados por decantação e/ou por centrifugação.

Recuperação e desidratação do álcool

O álcool é recuperado dos produtos formados, biodiesel e glicerina, e é reutilizado no processo. Depois de recuperado o álcool ainda contém quantidades significativas de água, necessitando ser desidratado por destilação. Quando trata-se de etanol essa separação é dificultada devido à formação de azeótropo com a água.

Purificação dos ésteres

O biodiesel produzido deve ser lavado e, posteriormente, desumidificado visando retirar contaminantes como catalisador, glicerol e álcool que possam ainda estar retidos no produto.

Purificação da Glicerina

A glicerina bruta ainda apresenta água, álcool e impurezas inerentes à matéria prima, podendo ser purificada para obter um valor de mercado mais favorável. Caso a reação tenha sido de caráter básico é possível recuperar a glicerina adicionando ácido. O ácido neutraliza o sabão transformando-o em ácido graxo. As duas fases obtidas, uma mais densa composta da glicerina com sais (oriundos da neutralização do catalisador) e outra mais leve que é a oleína (ácido graxo recuperado), são separadas em um decantador ou centrífuga. Após essa etapa a glicerina obtém um grau de pureza de 84%, vulgarmente chamada de glicerina loira, ainda com pouco valor comercial.

Quando a purificação da glicerina é feita por destilação à vácuo, resulta em um produto límpido e transparente, gerando uma glicerina de grau farmacêutico de concentração superior a 99%. Porém poucas plantas de biodiesel no mundo contemplam essa etapa. [36]

2.7.2 Hidroesterificação

O processo, uma das mais novas alternativas na produção de biodiesel, é conhecido no Brasil, onde recentemente foram defendidas duas dissertações de mestrado.[51, 52]

O processo 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) independente da acidez e da umidade que possuem. Esse é um

grande diferencial quando comparado ao processo convencional de transesterificação que gera, inevitavelmente, sabões afetando o rendimento dessas plantas e dificultando a separação biodiesel/glicerina.

A hidroesterificação é um processo que envolve uma etapa de hidrólise seguida de uma etapa de esterificação (Figura 8).

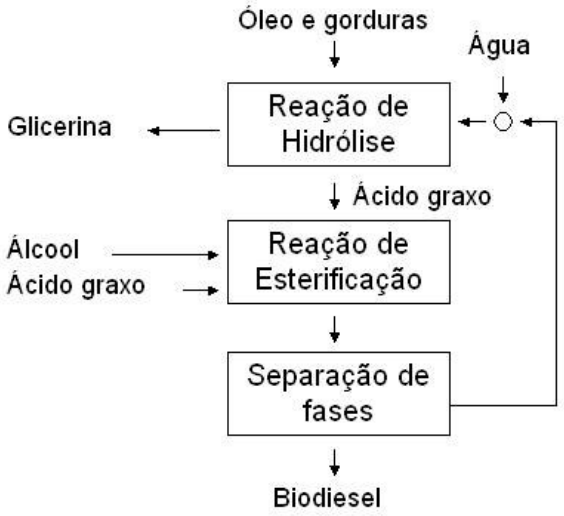


Figura 8 – Etapas do processo de hidroesterificação

A hidrólise consiste numa reação química entre a gordura ou o óleo com a água, gerando-se glicerina e ácidos graxos (Figura 9). Independente da acidez e da umidade da matéria-prima, o produto final da hidrólise possui acidez superior a 99%. Portanto, ao invés de diminuir a acidez através de um refino, a hidrólise aumenta propositadamente a acidez da matéria-prima. Além disso, obtém-se uma glicerina muito mais pura que a glicerina advinda da transesterificação. Matérias-primas de grau alimentício geram glicerinas de grau alimentício a partir da hidroesterificação. Isso jamais ocorre na transesterificação, onde um significativo teor de sais, álcoois e outras impurezas encontram-se presente na glicerina. Atualmente, as três plantas de hidrólise (SGS, em Ponta Grossa-PR; Irgovel – Indústria Rio Grandense de

Óleos Vegetais, em Pelotas-RS; e ICSG – Indústria Campineira de Sabão e Glicerina, em Campinas - SP), em operação no Brasil, atingem conversões superiores a 99%.

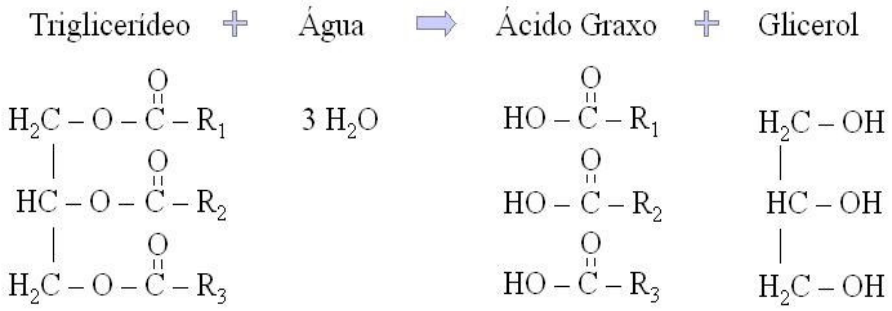


Figura 9 – Reação de hidrólise

Após a hidrólise a glicerina é removida e os ácidos graxos gerados são então esterificados com um álcool que “neutraliza” a acidez presente. (Figura 10) O biodiesel é gerado com elevada pureza, sem necessidade de etapas de lavagem que geram efluentes e elevado consumo de compostos químicos. Na reação também se obtém, como subproduto, a água (Figura 10), que retorna para o processo de hidrólise.

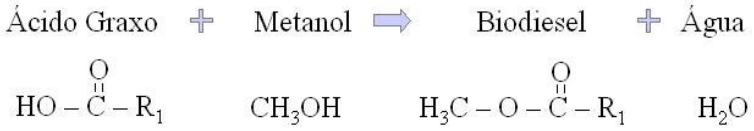


Figura 10 – Reação de esterificação

2.7.3 Rotas Tecnológicas

O biodiesel é obtido através da reação entre matéria graxa e um álcool. O tipo do álcool que vai reagir é que define o tipo de rota. Os álcoois mais comumente utilizados são o metanol e o etanol denominando, respectivamente, os processos de rota metílica e etílica.

O grupo de trabalho interministerial reuniu, em seu relatório final (Tabela 8), vantagens do etanol sobre o metanol dentre as quais destacam-se autosuficiência, baixa toxidez e maior compatibilidade com materiais. [53]

Tabela 8 – Vantagens do etanol sobre o metanol [53]

Características	Etanol	Metanol
Auto-suficiência	sim	não
Dispêndio de divisas com importação	não	sim
Geração de empregos no país	muitos	poucos
Impacto na cadeia produtiva	grande	pequeno
Disponibilidade onde óleos vegetais são produzidos	sim	limitada
Tecnologia de transesterificação dominada	sim	sim
Potencial de exportação da tecnologia	sim	não
Toxidez	moderada	elevada
Compatibilidade com materiais	maior	menor
Impacto em caso de acidentes	baixo	alto
Renovável	sim	não
Viabilidade econômica comparativa	equivalente	equivalente

Além das vantagens descritas, os ésteres etílicos, por possuir um carbono a mais na molécula possuem maior número de cetano que os ésteres metílicos, otimizando a combustão nos motores diesel. [54]

No entanto, o metanol é o álcool mais utilizado devido a seu baixo custo e por reagir mais rapidamente com o óleo vegetal do que os outros álcoois. A literatura é praticamente unânime em dizer que a rota etílica é mais lenta que a metílica. Na verdade, os estudos cinéticos publicados não levam em conta a diferença no teor de água entre o metanol e o etanol. No Brasil o etanol é considerado anidro a partir de 99,3% (7000 ppm de água), enquanto que o metanol é anidro tipicamente com 99,99% (100 ppm de água), e em algumas plantas atinge-se 50 ppm de água. Essa diferença é importante para a velocidade da reação, uma vez que a umidade é um forte promotor da saponificação. Além disso, outra dificuldade apresentada pelo etanol está na

sua recuperação uma vez que o mesmo forma azeótropo com a água, dificultando sua purificação.

No processo de transesterificação, a presença de sabão age como um tensoativo, criando microemulsões que evitam a separação de fases biodiesel/glicerina – a densidade típica do biodiesel (fase apolar) é 0,87 g/cm3 contra 1,25 g/cm3 da glicerina (fase polar). Essa saponificação baixa o rendimento do processo, pois os sabões seqüestram triglicerídeos para sua fase.[55] Esse aspecto é importante para um processo contínuo que normalmente opera com vários reatores em série, com retirada de fase glicerinosa entre cada um dos reatores.

Todavia, empresas experientes do setor alcooleiro estão começando a usar a via etílica para a produção de biodiesel. A usina Barralcool, em Barra dos Bugres, MT, realizou um investimento da ordem de R$ 25 milhões e colocou em operação, em meados de 2006, a primeira planta de biodiesel anexa a uma usina de açúcar e álcool do mundo. A usina, construída em parceria com a Dedini, produz 50 mil toneladas/ano de biodiesel e pode utilizar tanto a rota etílica como a rota metílica, em um processo integrado açúcar/álcool e biodiesel, permitindo uma redução de custos e o aproveitamento de vapor e energia gerados no processo de fabricação de açúcar e álcool.

2.7.4 Outros Processos

Transesterificação em meio supercrítico

A transesterificação também pode ser realizada em condições supercríticas, sendo conduzida em níveis de pressão e temperatura além da pressão crítica e da temperatura crítica do agente de alcoólise (metanol ou etanol). As vantagens deste processo são a obtenção de elevados rendimentos sem a

utilização de catalisador, tempo reduzido de reação e a maior simplicidade na purificação. Tal processo ainda encontra-se em fase de estudo. [36]

Esterificação

A esterificação consiste na obtenção de ésteres a partir da reação entre um ácido graxo e um álcool (metanol ou etanol), com formação de água como subproduto. Difere da transesterificação, pois a matéria prima utilizada são ácidos graxos ao invés de triglicerídeos, o que a torna mais vantajosa devido à possibilidade do uso de matérias primas de baixo valor agregado (tais como resíduos e borras ácidas) e a não formação de glicerol. Difere do processo de hidroesterificação por não necessitar da etapa de hidrólise, já que a matéria prima já é ácido graxo. É caso do processo Agropalma/UFRJ, já citado no item 2.6.4capítulo 2.5, que produz biodiesel a um custo competitivo, pois esterifica ácido graxo de palma para a obtenção do produto.

A grande desvantagem de tal processo é a pouca disponibilidade destes resíduos ácidos para produção em larga escala. [56]

Craqueamento térmico

O processo de craqueamento térmico ou pirólise consiste na quebra das moléculas do óleo ou da gordura através do aquecimento a altas temperaturas envolvendo decomposição térmica e quebra das ligações químicas gerando moléculas menores. [57]

Embora o produto final possua propriedades muito semelhantes às do diesel de petróleo, o processo de craqueamento ainda possui custo elevado. Além disso, geram-se moléculas oxigenadas de elevada acidez exigindo novas reações para especificar o produto.

Transesterificação enzimática

Constitui uma alternativa que não gera rejeito aquoso alcalino, possui menor produção de contaminantes, maior seletividade e reaproveitamento, causando menor impacto ambiental. No entanto, a enzima possui alto custo, se comparada com o catalisador químico, sendo a principal desvantagem do processo enzimático. [58]

"H-Bio"

Lançado pela Petrobrás, em junho de 2006, H-Bio é um processo de produção de óleo diesel (hidrocarbonetos) a partir da hidrogenação de uma mistura entre correntes de petróleo e óleo vegetal. O produto é exatamente igual a qualquer outro diesel, com a vantagem de ter menor teor de enxofre. [59]

O processo para obtenção de H-Bio, o HDT (Hidrotratamento), consiste fundamentalmente em uma reação catalítica entre hidrogênio, óleo vegetal e frações de diesel. Em altas pressões e temperaturas, o hidrogênio retira o enxofre, o nitrogênio e o oxigênio da corrente de diesel e transforma os aromáticos em naftênicos (moléculas cíclicas não-aromáticas). Os átomos de oxigênio presentes nos óleos vegetais também são retirados. Porém, era esse oxigênio da estrutura do óleo vegetal que tornava possível uma combustão mais completa e conseqüentemente mais limpa. A falta de oxigênio também diminui a lubricidade do combustível. [59]

Assim, em termos ambientais, apesar da utilização de fontes renováveis (óleo vegetal), o H-BIO não reduz as emissões de monóxido de carbono (CO) nem material particulado. [59]

2.8 Características do produto

Biodegradável, não-tóxico, apresentando altos índices de cetano, praticamente livre de enxofre e aromáticos, e proveniente de fontes renováveis, o biodiesel é considerado um combustível ecológico. Tais características apresentam-se como grande vantagem ao se comparar o biodiesel e o diesel proveniente do petróleo, tanto pelo melhor desempenho do motor como pela menor emissão de partículas, hidrocarbonetos, CO e CO_2.

2.8.1 Biodiesel x Diesel

O biodiesel é totalmente miscível ao óleo diesel mineral, além de ter características físico-químicas semelhantes a este, tendo inclusive melhor lubricidade. Dados dos fabricantes de autopeças mostram que 2% de biodiesel adicionados ao diesel aumentam em cerca de 50% a lubricidade do combustível, aumentando, conseqüentemente, a vida útil das peças desses motores. [3]

Pelas semelhanças fluido e termodinâmicas, o biodiesel e o diesel de petróleo possuem características de completa equivalência. Os valores de desempenho e consumo são praticamente equivalentes, e não exigem qualquer modificação ou adaptação dos motores, a não ser alguns modelos que utilizam anéis de vedação feitos com borrachas naturais ou outro tipo de material atacado por ésteres.[37] Essa adaptabilidade aos motores do ciclo diesel é uma das grandes vantagens do biodiesel, pois enquanto o uso de outros combustíveis limpos, como o gás natural ou o biogás, requer adaptação dos motores, a combustão de biodiesel pode dispensá-la, configurando-se em uma alternativa técnica capaz de atender toda a frota já existente movida a óleo diesel.[60]

A adição de até 5% de biodiesel ao diesel de petróleo não exigirá alteração nos motores, assim como não exigiu nos países que já utilizam o combustível. A Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea)

reconheceu o resultado das pesquisas e informou que manterá a garantia para os motores abastecidos com a mistura, que começará em 2%, com a perspectiva de chegar a 5% em 2013 ou 2010, caso seja antecipado. [17]

No entanto, os fabricantes ainda apresentam restrições na garantia em relação ao percentual máximo de biodiesel que pode ser usado. O biodiesel puro não é compatível com a borracha comum, podendo atacar mangueiras e vedações dos motores. Entretanto, misturas até B20 têm-se mostrado absolutamente seguras. [10]

2.8.2 Especificação

O biodiesel de qualidade deve ser produzido seguindo especificações industriais restritas tais como ASTM D-6751/02 nos Estados Unidos e EN 14.214 na Europa. A especificação brasileira é similar à européia e à americana, com alguma flexibilização para atender às características de matérias-primas nacionais, sendo empregadas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), da American Society for Testing and Materials (ASTM), da International Organization for Standardization (ISO) e do Comité Européen de Normalisation (CEN). [61]

Através da Resolução 42 24/11/2004, a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustívies estabeleceu as especificações para o biodiesel puro no Brasil. Entre os parâmetros acompanhados estão ponto de fulgor, viscosidade cinemática e número de cetano.

O ponto de fulgor identifica se o combustível é inflamável nas condições normais. No caso do biodiesel o ponto de fulgor é superior à 120 ^{o}C, quando completamente isento de metanol ou etanol, significando que pode ser transportado, manuseado, armazenado e inclusive ser utilizado em embarcações. [61]

A viscosidade expressa a resistência ao escoamento. Seu controle visa garantir um funcionamento adequado dos sistemas de injeção e bombas de combustível, além de preservar as características de lubricidade do biodiesel. De forma geral, o biodiesel possui viscosidade próxima a do diesel mineral. Porém, o biodiesel oriundo do óleo de mamona possui valores mais altos de viscosidade que podem ser corrigidas com misturas com o óleo diesel mineral.[61]

O número de cetano é um indicador da combustão. Quanto maior o índice, melhor a combustão desse combustível num motor diesel. O índice de cetano médio do biodiesel é 60, enquanto para o óleo diesel mineral este índice varia entre 48 a 52, sendo esta a razão pelo qual o biodiesel queima muito melhor num motor diesel que o próprio óleo diesel mineral. [61]

2.8.3 Mistura

O biodiesel pode ser usado puro ou em mistura, com o óleo diesel, em qualquer proporção. A nomenclatura mundial para identificar a concentração do biodiesel na mistura segue o padrão BXX, onde XX é a percentagem em volume do biodiesel na mistura. Por exemplo: B2, B5, B20 e B100 são combustíveis com uma concentração de 2%, 5%, 20% e 100% de biodiesel, respectivamente.

O biodiesel tem sido utilizado no mercado internacional de combustíveis em quatro níveis de concentração: puro (B100), misturas (B20 – B30), aditivo (B5) e aditivo de lubricidade (B2). Nos Estados Unidos e em alguns países da Europa o biodiesel já é utilizado puro em motores à diesel.

No Brasil, a lei 11.097/2005, de 13/01/2005, que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira, fixou em 2% (cinco por cento), em volume, o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel, comercializado ao consumidor final, até o ano de 2008 e 5% até o ano de 2013.

O uso de misturas biodiesel/diesel no transporte coletivo urbano é uma estratégia interessante para potencializar os benefícios ambientais do biocombustível. Estudos da estimativa de consumo de óleo diesel para as frotas de ônibus empregadas no transporte coletivo urbano, no período 2005-2010, identificaram um mercado potencial para o biodiesel, em uma mistura B20. [62]

O transporte ferroviário, segundo a revista biodieselbr, está mais econômico e emitindo menos poluentes. As locomotivas da Estrada de Ferro Carajás e da Estrada de Ferro Vitória – Minas são abastecidas com B-20. A previsão da Companhia Vale do Rio Doce é que até o final de 2007 todas as 511 locomotivas da empresa sejam abastecidas com B-20. [39]

Também novos modelos de tratores da empresa Valtra estão preparados para trabalhar com a mistura de 20% de biodiesel, e recebem garantia de fábrica para o uso do biocombustível. [39]

O biodiesel puro, segundo o grupo de trabalho interministerial de biodiesel, pode ser usado no setor de transformação em geradores de eletricidade e na área agropecuária em tratores. [22]

2.8.4 Uso de antioxidante

Em todas as fases de seu ciclo de vida, da produção à combustão no motor, passando pela estocagem, o biodiesel está sujeito a ser oxidado. Ele degrada-se mais rápido que o diesel convencional, feito a partir de petróleo. O controle desse processo de oxidação é crítico para o bom funcionamento dos motores e para a criação de uma logística adequada para o biodiesel. Uma solução para estabilizar a oxidação do biodiesel é aditava-lo com compostos antioxidantes naturais ou artificiais. Isso é necessário sobretudo quando a matéria-prima

apresenta alto teor de moléculas polinsaturadas como o óleo de soja ou óleo de peixe.

2.8.5 Balanço Energético

Na utilização do novo combustível é importante verificar o balanço energético de sua produção, ou seja, se a energia gasta para gerar tal combustível é menor que a energia que o próprio combustível vai fornecer. Trata-se da relação entre a energia consumida no processo de produção, e a energia disponibilizada pelo combustível produzido.

O balanço energético para um biocombustível considera desde a energia exigida para produzir a matéria prima (fertilizantes, pesticidas, e combustível para transporte da matéria prima), até a fabricação de equipamentos da planta de biodiesel, produção de insumos, e energia necessária para o processo.

No Brasil, alguns estudos precursores do balanço energético na produção de biodiesel foram realizados nos anos 80. Avaliando o biodiesel de soja, determinou-se uma relação produção/consumo de 1,42. Uma avaliação preliminar mais recente para o biodiesel de soja, resultou em uma relação produção/consumo de 1,43.[28] Estudo recente apresentado pelo NREL-USA (National Renewable Energy Laboratory) mostra balanços energéticos um pouco maiores para o biodiesel de soja (quase 3).[63]

Um estudo no sistema de produção de girassol revelou que para cada unidade de energia que entra no sistema, produz-se 2,69 unidades de energia.[64]

Outros estudos chegaram a um balanço energético de aproximadamente 5,6 para o dendê, e de 4,2 para a macaúba, o que confere às palmáceas maior produtividade e disponibilidade de resíduos de valor energético.[28] Outro estudo para o biodiesel de palma chega a um balanço próximo de 8.[65]

2.9 Distribuição e transporte

Após a produção, o biodiesel é enviado às distribuidoras de combustíveis que o adicionam ao diesel e o repassam aos postos. O biodiesel pode ser distribuído pelos terminais marítimos das distribuidoras em todo o país e também pelas bases primárias e secundárias de todas as companhias. As plantas de biodiesel, no entanto, ficam atualmente em locais isolados e o combustível tem de ser transportado até estes centros de distribuição.

Embora possa ser facilmente transportado como outros combustíveis, o biodiesel é mais sensível à oxidação, o que requer a adição de anti-oxidantes para o armazenamento prolongado. Outro fator que merece atenção é o armazenamento a baixas temperaturas que pode levar o combustível ao estado gelatinoso se não for utilizado aditivo ou *blend* apropriado.

2.10 Subprodutos

Uma planta contínua de biodiesel praticamente não gera efluentes. No processo de transesterificação, os principais subprodutos gerados são a glicerina e a oleína (ácido graxo, recuperado após desdobramento dos sabões, que pode ser esterificado para gerar biodiesel). A glicerina representa cerca de 11% e a oleína 1% a 2% do total de biodiesel produzido.

No processo de hidroesterificação os subprodutos são água e glicerina. A primeira etapa do processo gera glicerina equivalente a 10,5% da massa de triglicerídeos utilizados como matéria prima, e possui alta qualidade, dependendo da qualidade do triglicerídeo que a gerou. A segunda etapa gera água que é reusada na primeira etapa.

Atualmente, a glicerina é usada em diversas indústrias. Na indústria farmacêutica, a glicerina é um dos ingredientes mais utilizados na composição de cápsulas, supositórios, anestésicos, xaropes e emolientes para cremes e

pomadas, antibióticos e anti-sépticos. Na indústria de cosméticos é aplicada como emoliente e umectante em pastas de dente, cremes de pele, loções pós-barba, desodorantes, batons e maquiagens por ser não-tóxico, não-irritante, sem cheiro e sabor. Na indústria de cigarros tem sido usada no processamento de tabaco para tornar as fibras do fumo (triacetinas) mais resistentes e evitar quebras. É também utilizada na composição dos filtros de cigarros. Na indústria têxtil é empregada para aumentar a flexibilidade das fibras dos tecidos. Na indústria alimentícia tem sido utilizada na preparação de molhos para salada, coberturas de doces e sobremesas geladas.

As previsões para 2013, com a introdução do B5, são de um excedente de 250 mil ton/ano de glicerina.[66] Assim, o preço da glicerina, que chegou a valer US$ 1.000 a tonelada, pode rebaixar progressivamente. A medida que o preço diminui, novas possíveis aplicações estão sendo viabilizadas, e ainda, com certeza a abundância de glicerina no mercado deverá suscitar aplicações de grandes e novas demandas que deverão segurar os preços em patamares fixos e agregar valor à cadeia produtiva.

2.10.1 Novas aplicações para glicerina

Uma área que pode aumentar o uso de glicerol devido à queda no custo é a de bebidas e alimentos. Ele poderá substituir o sorbitol que atualmente é muito usado para umedecer e conservar bebidas/alimentos como refrigerantes, balas, bolos, pastas de queijo e carne, e ração animal seca. [67]

O sorbitol também é utilizado na indústria farmacêutica e de cosmésticos e poderia ser substituído pelo glicerol em muitas das suas aplicações.[67]

Outra área promissora é a de polímeros, na produção de propanodiol (PDO), percursor de um plástico de alto valor agregado e utilizado na confecção de tapetes e roupas. [39]

Estudos indicam também que a glicerina possui alto potencial para uso como suplemento na produção de biogás. A adição de apenas 5% de glicerina residual melhora o desempenho do biodigestor, aumentando em mais de cinco vezes a produção de biogás e otimizando a capacidade útil do biodigestor. [68]

Pesquisadores do Instituto de Química/UFRJ vêm desenvolvendo novas aplicações de derivados de glicerina como aditivos para combustíveis. [29]

Cientistas do departamento de agricultura dos Estados Unidos estão desenvolvendo protótipos para barreiras biodegradáveis de ervas daninhas e fitas adesivas que seguram as sementes de grama no solo até que elas tenham tempo para germinar. [39]

Uma das alternativas mais drásticas que estão sendo estudadas é a queima da glicerina. Esse processo deve ser controlado a fim de evitar-se a geração de acroleína, subproduto altamente tóxico.

2.11 Mercado para Biodiesel no Brasil

2.11.1 Projeção da demanda de Biodiesel

Uma vez que o consumo obrigatório de biodiesel está vinculado ao de diesel mineral pela regulamentação legal, é necessário prever como se dará o consumo do combustível fóssil no período.

A participação do óleo diesel no mercado brasileiro de combustíveis é bastante significativa, representando 57% do consumo. Segundo a ANP, o Brasil consome cerca de 37 milhões de m^3/ano de óleo diesel e, em 2006, a produção nacional de diesel foi da ordem de 39 milhões de m^3.

Os resultados do Plano Decenal de Expansão de Energia apresentam as projeções de consumo de diesel e, conseqüentemente, de biodiesel, em trajetórias superior e inferior (Figuras 11). A Figura 12 apresenta, em detalhe, as previsões de biodiesel nas trajetórias superior e inferior. Estima-se uma demanda de diesel superior a 60 milhões de m³ no ano de 2016, e a demanda de biodiesel entre 4 e 5 milhões de m³.[13]

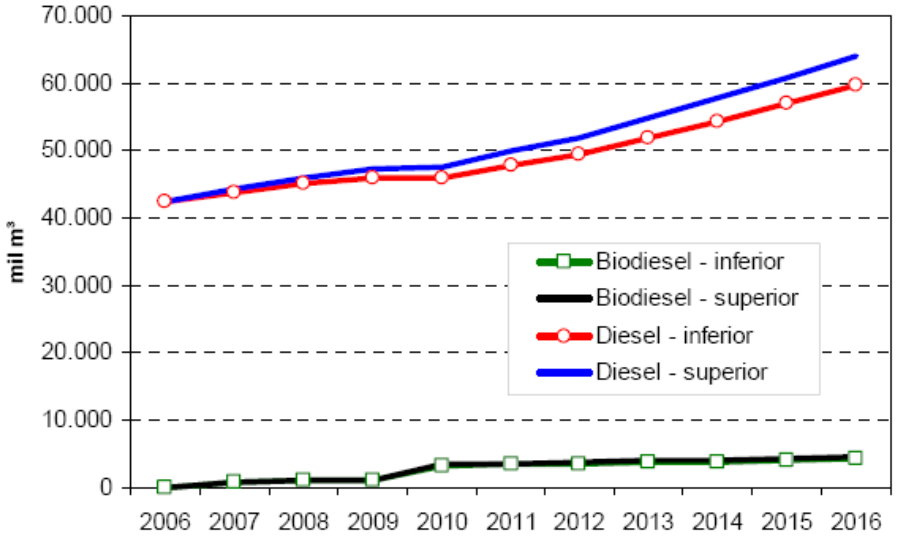


Figura 11– Projeções de consumo final de Diesel e Biodiesel – Trajetórias superior e inferior[13]

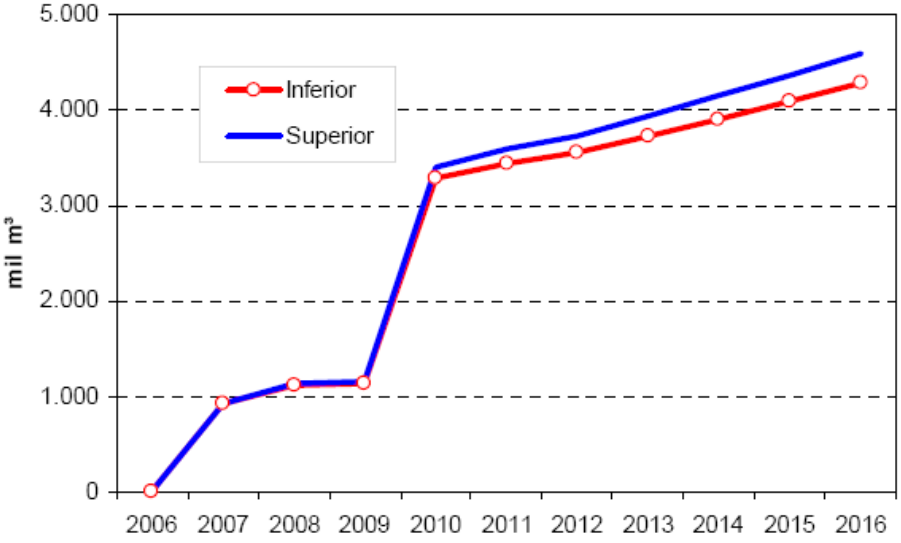


Figura 12 - Projeções de consumo final de biodiesel – Trajetórias superior e inferior[13]

2.11.2 Projeção da oferta de matéria prima

Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2007/2016, a oferta de óleo de soja representa em média 70% do total de matéria prima disponível para a produção de biodiesel (Figura 13). Este percentual equivale ao somatório das projeções da exportação de óleo de soja exportado (cerca de 42%) e do óleo exportado sob a forma de grãos (em média 29%).[13]

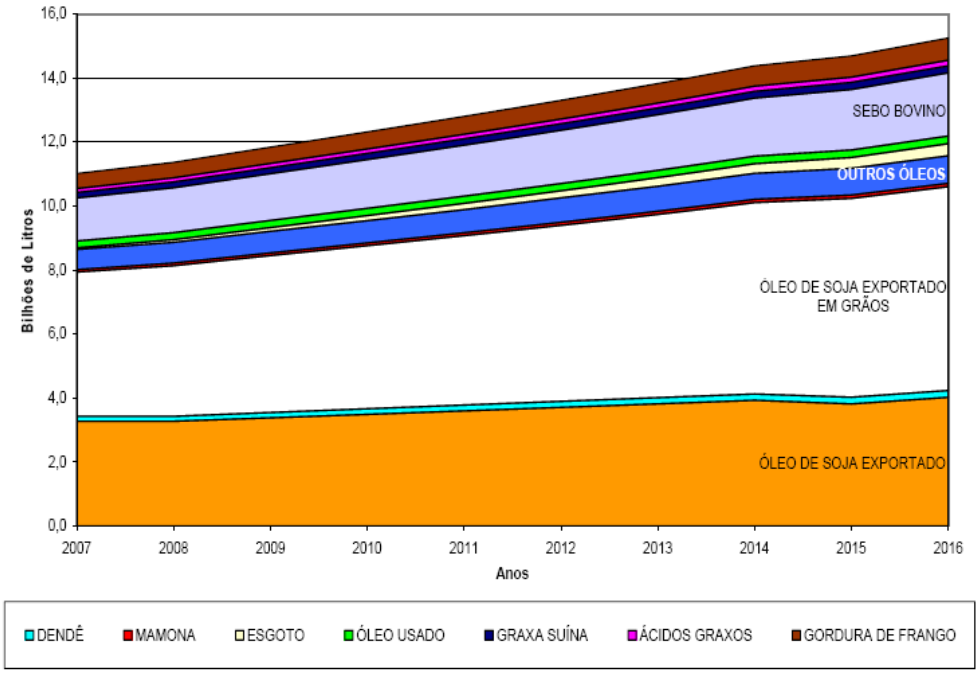


Figura 13 – Projeção do potencial de insumos da produção de biodiesel 2007-2016 [13]

O percentual restante refere-se ao potencial de dendê, mamona e outros óleos vegetais (cerca de 8%) e ao potencial relacionado à matéria-prima de origem residual (aproximadamente 19%), a qual compreende as parcelas relacionadas à gordura animal (até 2,89 MMm³/a), óleo residual de fritura (até 240.000 m³/a), esgoto (até 375.000 m³/a) e borra de ácidos graxos (até 170.000 m³/a).[13]

A Figura 14 apresenta as comparações entre as quantidades totais de biodiesel possíveis de se obter e as quantidades obrigatórias para cada uma das trajetórias.[13]

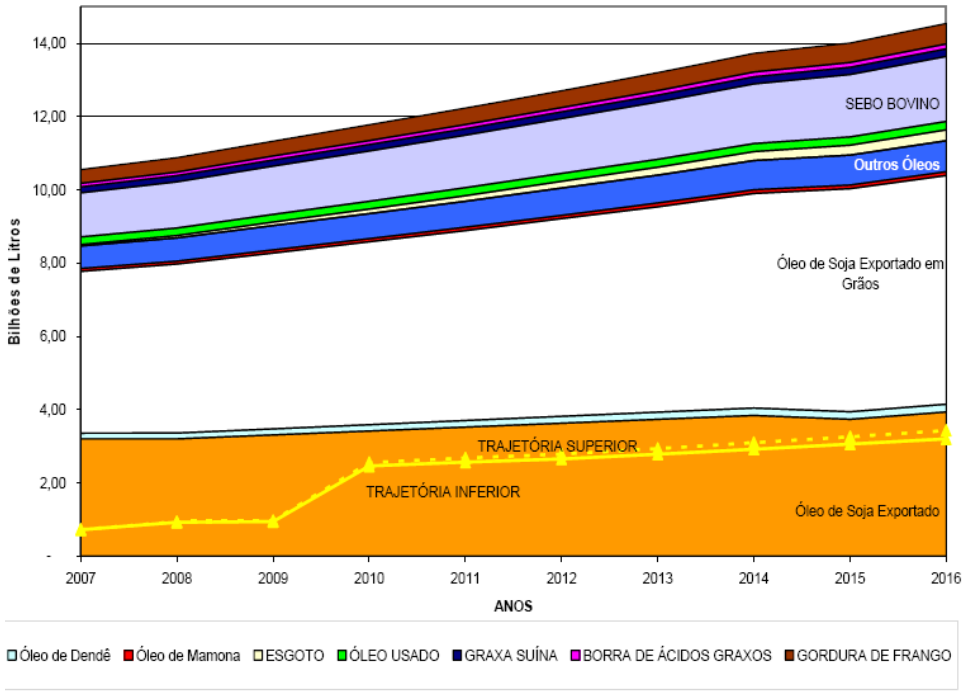


Figura 14 – Disponibilidade total de biodiesel dos diversos insumos e expectativas de consumo obrigatório [18]

Independentemente da origem dos insumos, a oferta atual é superior a 11 vezes a demanda relacionada com a obrigatoriedade estabelecida pela Lei n° 11.097/05. Ao longo dos anos estudados, a estimativa de oferta de insumos tende a ser superior, à demanda relacionada com a obrigatoriedade, mais de 4 vezes. [13]

Metade das gorduras animais e dos ácidos graxos disponíveis são capazes de abastecer toda a demanda obrigatória de B2 (2% de adição ao óleo diesel). No período de vigência do B5 (5% de adição ao óleo diesel), estes insumos utilizados em sua totalidade possibilitam atender a mais de 80% do obrigatório. Os insumos residuais apresentam disponibilidade imediata e preço atraente. Suas ofertas estão concentradas em poucos pontos, o que facilita sua

utilização (ainda que no caso dos óleos residuais seja necessária uma logística mais elaborada e, por isto, mais cara). Seus preços, significativamente abaixo dos outros insumos, permitem a produção de biodiesel mais barato que o óleo diesel. [13]

Além de possuir matéria prima suficiente para atender toda a demanda interna o Brasil também pode exportar o biocombustível. Estudos do National Biodiesel Board, órgão responsável pela implementação de biodiesel nos Estados Unidos, relatam que o Brasil tem potencial de ser o maior produtor mundial de biodiesel, podendo suprir até 60% da demanda mundial. [37] O Plano Decenal de Expansão de Energia 2007/2016 também afirma que a disponibilidade atual de insumos é suficiente para atender além da obrigatoriedade legal ao mercado interno e permitir ainda a exportação. [13]

2.11.3 Capacidade de Processamento Industrial

A atual capacidade instalada de produção de biodiesel (montada e prevista até o primeiro semestre de 2007) é suficiente para atender à obrigatoriedade do B2, ainda que sua distribuição geográfica esteja desequilibrada quanto ao atendimento dos mercados regionais (Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sul produzem excedente, enquanto Sudeste precisa adquirir). [13]

Desde 2005, quando o biodiesel entrou para a matriz energética brasileira, várias usinas vem sendo inauguradas. A primeira usina industrial de biodiesel do país (Grupo Biobras) foi inaugurada em março de 2005 com capacidade de produção de 12 milhões de L/ano, no município de Cássia, Minas Gerais.

A produção de biodiesel das unidades produtoras autorizadas pela ANP em 2005, até o mês de agosto de 2007, já totalizou 191.865 m^3. Esse valor já superou em 178% a produção do ano de 2006, que foi cerca de 69 mil m^3. Em 2005 apenas 736 m^3 de biodiesel foram produzidos. [69]

Atualmente são mais de 40 plantas cujas capacidades de produção autorizadas pela ANP somam quase 2 milhões de m³ por ano, valor que já é suficiente para atender à demanda de 2008 (cerca de 800 mil m³ por ano), quando B2, que determina a adição de 2% de biodiesel ao diesel, passará a ser obrigatório. [69]

Tabela 9 – Capacidade de produção de biodiesel em outubro/2007 [69]

Capacidade de Produção de Biodiesel (10^3 m³/ano)	
Autorizada	**Estimada**
1.980	593

Tal produção também permitiria ao Governo Federal antecipar, de 2013 para 2010, a adição obrigatória de 5% do biodiesel ao diesel. [13, 14]

O site biodieselbr.com fez um levantamento de plantas que já estão construídas sem operar, plantas em construção e em planejamento. A soma das produções esperadas para todos esses empreendimentos, quando estiverem em plena operação, é cerca de 5 milhões de m³ por ano de biodiesel. Porém, não há previsão para esse cenário nem garantia de que os projetos serão efetivados.[28]

Tabela 10 – Situação das fábricas de biodiesel no Brasil [28]

Situação	**10^3 m³/ano**
Construída e produzindo	870
Construída e sem produção	323
Em construção	1.528
Em planejamento	2.870
Piloto	24
Total	**5.615**

O Programa de Aceleração do Crescimento – PAC do Governo Federal, sinaliza investimentos em combustíveis renováveis, visando assegurar a liderança do Brasil na área de biocombustíveis. No que tange ao biodiesel, são

previstas 46 novas usinas e a produção de 3,3 bilhões de litros anuais em 2010. Para tanto, prevê-se um investimento total de R$ 1,2 bilhão, o que representa um acréscimo de cerca de 2,4 bilhões de litros na capacidade instalada de produção. [70]

2.11.4 Leilões

Para garantir os 720 milhões de litros de biodiesel necessários para fazer a mistura de 2% ao diesel a partir de 2008, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis já realizou 7 leilões. Dos 840 milhões de litros comprados pela ANP até o 5° leilão, apenas 261 milhões ficaram prontos. [71]

O fator que mais afetou a indústria brasileira de biodiesel foi a disparada do preço internacional da soja, que é a principal matéria-prima do biocombustível produzido no País. Ao invés de vender essa commodity para as usinas, que pagam menos, os agricultores têm preferido destiná-la à fabricação de óleo.[71] Acontecimento que reafirma a importância da utilização de matérias primas alternativas mais baratas tais como sebo bovino e borra ácida.

Nos dias 13 e 14 de novembro de 2007 foram realizados os 6° e 7° leilões de nos quais foram comprados um total de 304 milhões de litros de produtores de biodiesel autorizados pela ANP que possuíam o selo "Combustível Social" e mais 76 milhões de litros de produtores sem o selo. Em dezembro será realizado o 8° leilão. [69, 72]

2.12 Cenário Mundial

Atualmente, o biodiesel vem sendo utilizado, puro ou em mistura, em vários países. As principais matérias primas são colza, soja, palma, pinhão manso, gorduras, canola e óleos residuais (Figura 15). [73]

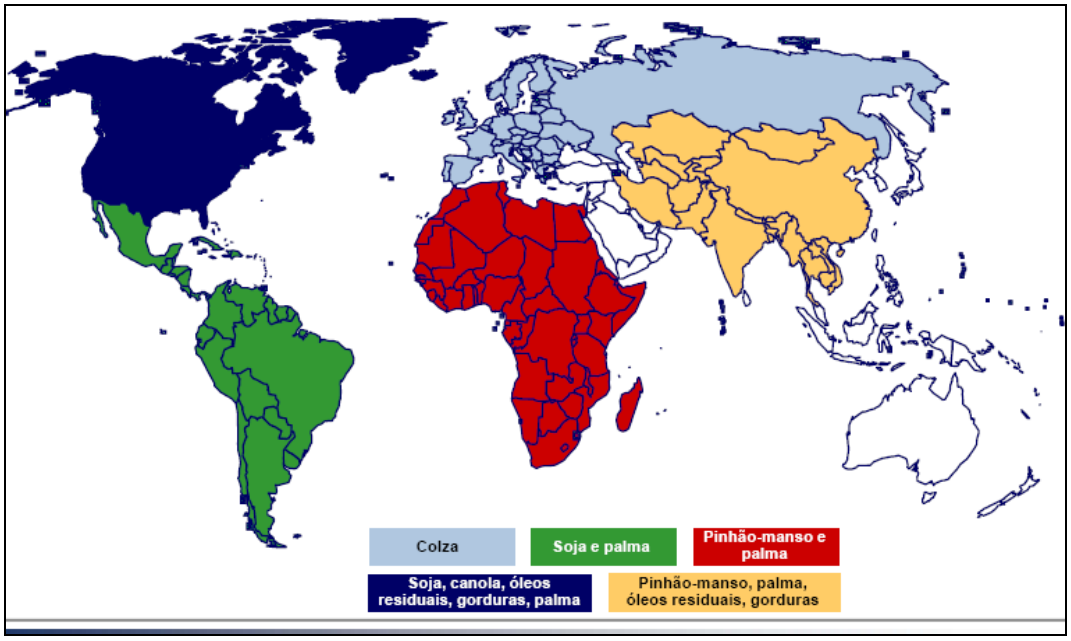


Figura 15 – Principais matérias primas utilizadas na produção de biodiesel [73]

A especificação européia determina expressamente o uso de metanol para produção de biodiesel. A especificação brasileira e a americana não restringem o uso de álcool etílico.

O IBP, a Coppead e a Coppe fizeram um levantamento do benchmarking internacional entre os principais países produtores de biodiesel (Figura 16). Os Estados Unidos da América possuem a maior capacidade instalada com mais de 4 milhões de toneladas de biodiesel por ano. Em seguida estão a Alemanha e a Itália. O Brasil encontra-se na 5° posição. Porém, se forem consideradas as plantas que estão em processo de autorização pela ANP, a capacidade sobe de 1,5 milhões de toneladas por ano para 2 milhões de toneladas por ano, ocupando então a 3° posição mundial em capacidade de produção. [73]

PAÍS	MARCO REGULATÓRIO	PRINCIPAIS MATÉRIAS-PRIMAS	CAPACIDADE DE PRODUÇÃO 2007 (Mil TON/ ANO)	TAMANHO MÉDIO DAS PLANTAS (Mil TON/ ANO)	INCENTIVOS FISCAIS
EUA	Legislações estaduais variando de 2 a 5%	Soja	4.587	33,1	Sim
França	Em 2008, 5,75%; em 2010, 7%; e em 2015, 10%	Colza e Girassol	1.250	178,6	Sim
Alemanha	A partir de 2007, 5% (em volume) ou 4,4% (em valor calorífico)	Colza	4.500	69,7	Sim
Itália	Em 2006, 1% e aumento de 1% por ano até 2010 (5%)	Colza e Soja	1.800	153,0	Sim
Argentina*	5% em 2010	Soja	625	78,2	Sim
Brasil**	Em 2008, 2%; e em 2013, 5%.	Soja	1.055	39,1	Sim

Figura 16 – Benchmarking internacional [73]

As subseções a seguir trazem maiores detalhes sobre a produção de biodiesel no mundo.

2.12.1 Europa

O mercado europeu é visto como um dos mais promissores para as exportações do biodiesel brasileiro, pois é o continente onde o uso desse biocombustível está mais consolidado.

A legislação da União Européia estabelece a substituição de 5,75% dos combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia, até 2010. Porém é enfrentada uma limitação de espaço para produzir biodiesel, correndo o risco de estabelecer uma competição entre agricultura de energia e agricultura de alimentos. [74]

Segundo estimativas da Oil World, até 2010, a União Européia terá capacidade de produzir apenas 9 milhões de metros cúbicos de biodiesel, enquanto a demanda projetada para atender às metas estabelecidas é de 12 milhões de metros cúbicos. [74]

Essa situação representa uma oportunidade crescente para os exportadores de biocombustíveis que tenham condições de produzi-los em maior escala em virtude da maior disponibilidade de terras, como é o caso do Brasil.

A maior parte da produção de biodiesel da EU (cerca de 85%) vem da colza. Também tem sido crescente a utilização do girassol, bem como de óleo de soja importado dos EUA.

O óleo de fritura (UFO, “used fried oil”) e a gordura animal complementam o quadro europeu de uso de sementes oleaginosas na produção de biodiesel. Em alguns casos, como na planta de Livorno-Itália (100.000 ton/ano), construída pelo grupo Desmet-Ballestra para a Novaol, o UFO (10%) é misturado ao óleo virgem (90%). O grupo Desmet-Ballestra construiu uma planta de 18.000 ton/ano que utiliza apenas gordura animal (Barcelona-Espanha).

Alemanha

A Alemanha, apesar de ser o segundo país em capacidade instalada no mundo, é a maior produtora de biodiesel, com produção de 2,7 milhões de toneladas em 2006, mais da metade da produção européia naquele ano. [75]

O país tem centenas de postos que vendem biodiesel puro (B100), com plena garantia dos fabricantes de veículos. O produto também é mais barato do que o óleo diesel, já que há completa isenção dos tributos em toda a sua cadeia produtiva. Devido ao excesso de estoques de glicerina, produzida no processo de transesterificação, o governo alemão suspendeu temporariamente as licenças para expansão ou construção de usinas que utilizem este processo.

Atualmente o país tem 26 plantas em operação utilizando colza como matéria-prima.

Em 01 de agosto de 2006, entrou em vigor uma legislação que elimina gradativamente a isenção concedida a combustíveis alternativos. A primeira conseqüência é um aumento de nove centavos de euro no preço do litro de biodiesel. A partir de 2008, o biodiesel terá um aumento de seis centavos por ano até equiparar seu preço ao do diesel mineral em 2012.

Áustria

Em 2006, a Áustria produziu 123 mil toneladas de biodiesel, um salto de mais de 45% em relação a 2005 quando colocou no mercado 85 mil toneladas do produto. A capacidade total de produção do país chega a 326 mil toneladas por ano. [75]

A Aústria foi um dos precursores na pesquisa, no desenvolvimento e no uso de biodiesel na Europa. Esta iniciativa é fruto da previsão de escassez de óleo mineral nos anos 70 devido à crise do petróleo que levou à procura por fontes alternativas renováveis de energia. Em 1988, com a garantia do uso de todo o biodiesel produzido e os testes realizados em frotas, os fabricantes de tratores a diesel e implementos agrícolas concederam garantia para o uso de biodiesel, fazendo com que a Áustria se tornasse, na época, país líder no know-how de produção e uso de biodiesel.

O país tem isenção de imposto para biocombustíveis puros e para combustíveis fósseis que utilizem 4,4% de combustível renovável sua mistura. Em outubro de 2005, a taxação do diesel mineral foi reduzida para EUR 297 por 1 mil litros (taxa normal: EUR 325). Em outubro de 2007 a taxa para a gasolina será reduzida para EUR 412 por 1 mil litros (taxa normal: EUR 445) para as misturas com 4,4 % de etanol.

França

A França é o segundo maior produtor de biodiesel da UE, com produção de 743 mil toneladas anuais (2006). O biodiesel é adicionado a praticamente todo o diesel para melhorar a lubricidade. As três principais companhias de óleo francesas adicionam 5% de biodiesel ao diesel e todo o diesel vendido como combustível automotivo usa misturas B1 ou B5. Já os ônibus urbanos usam B30 rotineiramente. [75]

Em maio de 2006, o Ministro de Finanças, Economia e Indústria da França, Thierry Breton anunciou um ambicioso plano para o desenvolvimento de biocombustíveis no país, que deverá envolver a indústria automobilística, o setor agrícola e os segmentos energéticos nacionais.

A França tem uma política de impedir importações de biodiesel. Em conseqüência disso, praticamente nenhum produtor de biocombustível estrangeiro, consegue fazer negócios no país.

Itália

O País produziu 447 mil toneladas de biodiesel em 2006. Seu principal segmento de mercado é o aquecimento de residências (uso doméstico), uma vez que o combustível de aquecimento convencional (derivado de petróleo) é bastante taxado, tem qualidade inferior. Há também consumo de biodiesel no setor industrial. [75]

No segmento de transportes, o uso de biodiesel ocorre no transporte público e em empresas de transporte privado. Um reflexo deste uso está na inexistência de uma rede de postos de abastecimento que oferecem biodiesel. Com a Lei Diretiva Européia é possível que a Itália repense sua estratégia de forma a explorar as oportunidades de mercado no setor de transportes.

2.12.2 Estados Unidos

Nos Estados Unidos (EUA), o biodiesel foi o único combustível alternativo a ser integralmente aprovado pelo Clean Air Act de 1990 e autorizado pela Agência Ambiental Americana (EPA) para venda e distribuição. Os óleos vegetais puros não estão autorizados a serem utilizados como óleo combustível nos EUA. A maior experiência americana é com a utilização do B20.

Em 2006 o país produziu mais de 946 milhões de litros, valor 10 vezes maior que o volume produzido em 2004. Em 2007 os produtores esperam ultrapassar a marca de 1,13 bilhão de litros.[71]

O país possui 165 plantas em operação com capacidade produtiva de 7 bilhões de litros do biocombustível por ano. Quatro dessas plantas, inauguradas em agosto de 2007, podem produzir juntas quase 1 bilhão de litros anuais. Outras quatro plantas estão expandindo suas instalações e existem mais oito em construção. Com a concretização desses empreendimentos a capacidade instalada de produção dos Estados Unidos aumentará em aproximadamente 5,2 bilhões de litros por ano.[71]

Em novembro desse ano, o Comitê de Finanças do Senado norte-americano aprovou a chamada lei "4-H Act of 2007", que, entre outras coisas, prolonga o período de duração dos três tipos de incentivos fiscais federais para o biocombustível. Inicialmente, todos eles expirariam em 31 de dezembro de 2008. Com a lei, os créditos de US$ 0,13 por litro para quem mistura o biodiesel ao diesel e de US$ 0,26 por litro para quem produz o biodiesel em si ficarão vigentes por mais dois anos. Já o crédito de US$ 0,026 por litro para os primeiros 56,78 milhões de litros de biodiesel gerados por pequenos produtores (com capacidade para produzir até 227,12 milhões de litros anuais) será válido até 31 de dezembro de 2012.[71]

2.12.3 América Latina

Argentina

A Argentina é a terceira maior produtora de soja do mundo, depois dos EUA e Brasil, o que pode ser uma vantagem para a produção de biodiesel. O Decreto 1.396, de novembro de 2001, criou o "Plan de Competividad para el Combustible Biodiesel" (Plano de Competitividade para o Combustível Biodiesel), que promoveu incentivos aos investidores estrangeiros e locais, sendo que a Resolução no 129/2001 deu isenção de taxas por um período de 10 anos ao biodiesel. A norma de qualidade do Instituto Argentino de Normalização (IRAM - 6515-1) é de 10 de dezembro de 2001 e estabelece o padrão de conformidade do produto, métodos de teste e forma de comercialização.

Em 2005, o governo isentou de taxas uma cota anual de 200 mil toneladas de biodiesel até 2010. Como o diesel é muito barato na Argentina, a tendência é que inicialmente o biodiesel argentino seja voltado para exportação.

2.12.4 Oceania

Austrália

Há três companhias estabelecidas na produção de biodiesel, duas com tecnologia importada da Europa e uma com tecnologia australiana. Neste país, ainda não existe um programa de governo referente ao uso de biodiesel, porém foi determinada isenção tributária quando este for usado puro (B100). Um novo padrão foi instituído e está baseado principalmente na norma norte-americana (NBB), porém o governo australiano também incluiu alguns elementos do padrão europeu (UFOP). A capacidade de produção em 2006 foi de 287 milhões de litros.

2.12.5 Ásia

China

Até 2004, a produção chinesa não passava de 40 mil toneladas por ano. Atualmente, o país tem mais de 100 fábricas de produção do biodiesel, atraindo não somente o setor privado, mas também empresas estatais e investidores estrangeiros.

Tailândia

O País está iniciando um programa de biodiesel similar ao do Brasil, com meta de 2% de biodiesel no diesel. A principal matéria-prima será o óleo de palma, com uma pequena porcentagem de uso de óleo de côco.

Índia

A primeira planta de biodiesel do País teve sua construção iniciada em fevereiro/2005 e emprega pinhão manso como principal matéria-prima.

Malásia

Um programa para produção de biodiesel está sendo implementado a partir de óleo de palma (dendê), do qual o país é o maior produtor mundial. [76] A extração de vitamina A e E como co-produtos comercializáveis de alto valor agregado, permitirá reduzir os custos de comercialização do combustível.

Segundo Datuk Sabri Ahmad, o presidente da associação do óleo de palma da Malásia, o país tem capacidade para produção de pelo menos 1 milhão de toneladas de biodiesel em 2007.

2.13 Viabilidade Econômica

Leiras et al estudaram a viabilidade econômica da cadeia de suprimentos do biodiesel na Bahia, a partir do óleo de dendê. Os estudos realizados revelaram um bom desempenho da cadeia produtiva local, porém algumas considerações foram feitas em relação à necessidade de que a usina de extração de óleo vegetal seja localizada próximo à região produtora devido à perecibilidade do dendê e à acidez do óleo.[77] Tais fatores são imprescindíveis para o processo de transesterificação, considerado no trabalho, que exige matérias primas de baixa acidez. O processo de hidroesterificação não apresenta essa limitação.

Os autores destacaram ainda que a desoneração de impostos em todos os elos da cadeia produtiva é um fator fundamental para que o preço do biodiesel possa ser competitivo com o do diesel de petróleo, além de permitir as margens adequadas para os produtores e industriais. [77]

Também foi analisada a viabilidade econômica da implantação de unidades de produção de biodiesel de pequeno porte, utilizando como matérias primas óleo de mamona, óleo de dendê e óleos e gorduras residuais, tendo como referência a Bahia para a determinação dos custos de produção. Foi verificado que praticamente não há diferença de preço entre o B2 e o diesel de petróleo (R$1,86/litro, valor de julho de 2006, na cidade de Itabuna) mostrando a competitividade do preço do biodiesel no mercado. A análise de sensibilidade demonstrou que variações no preço das matérias-primas não provocaram relevantes alterações no preço da mistura B2. [78]

Mc Lean e Kates estudaram a viabilidade econômica de 4 plantas de transesterificação de pequena escala (I – catálise básica de óleo vegetal; II - catálise básica de óleo residual de fritura; III – catálise ácida de óleo vegetal; IV - catálise ácida de óleo residual de fritura;). O processo I obteve o investimento de capital mais baixo, pois os equipamentos eram relativamente pequenos e

construídos em aço carbono. No entanto, o custo de matéria prima correspondeu à maior porção dos custos totais de produção devido ao preço do óleo vegetal. O processo II requereu unidade de pré-tratamento para reduzir a acidez da matéria prima, no entanto os custos operacionais foram menores. Os processos III e IV se mostraram economicamente competitivos frente aos processos catalíticos básicos. Verificou-se ainda que a venda da glicerina reduz os custos operacionais em aproximadamente 10%. Por fim, a análise de sensibilidade mostrou que a capacidade da planta, o preço do óleo residual de fritura e o preço de biodiesel foram os maiores fatores a afetar a estabilidade econômica de produção de biodiesel.[79]

Araújo delineou rotas de produção de biodiesel em pequena e média escala obtendo, concomitante à produção de biodiesel, co-produtos de glicerol e concluiu que a utilização do óleo de mamona como matéria-prima para a produção do biodiesel e co-produtos mostrou-se mais cara que o uso de óleo de soja. O aproveitamento de co-produtos é indispensável pela necessidade de diminuir custos de matéria-prima que se encontra elevado e para melhorar a economia do projeto. [80]

Carramenha analisou os fatores influentes na produção de biodiesel no Brasil em escala industrial e os resultados das análises apontaram que o custo do biodiesel é cerca de 1,6 a 2,5 vezes superior ao do diesel mineral inviabilizando a sua concorrência direta com o combustível fóssil no curto prazo. O alto custo dos óleos vegetais e a incerteza da cotação dos mesmos no mercado da indústria alimentícia apresentam-se como os principais obstáculos para o sucesso nos investimentos na produção de biodiesel. [81]

O autor verificou ainda que a comercialização de B2 e B5 viabilizam a aplicação do biocombustível no mercado, desde que haja concessão de subsídios governamentais. Para misturas maiores que B5 só será viável no longo prazo com a redução da oferta e o aumento do preço do barril do

petróleo no mercado internacional, além da consolidação da infra-estrutura de produção e popularização do produto no mercado consumidor. [81]

3 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS ESTUDADOS

3.1 Processo de Transesterificação

No processo de transesterificação é essencial, ao bom desempenho da produção de biodiesel, que a matéria-prima esteja isenta de contaminantes que possam gerar produtos saponificáveis, o que exige a realização de etapas de pré-tratamento para a remoção principalmente de acidez.

3.1.1 Pré-Tratamento do Óleo Vegetal (óleo de soja)

Acidificação e Neutralização do Óleo

O óleo é aquecido por vapor e acidificado no misturador (M1). A mistura óleo/ácido é introduzida no reator (R1) onde as gomas não hidratáveis tornam-se hidratáveis.

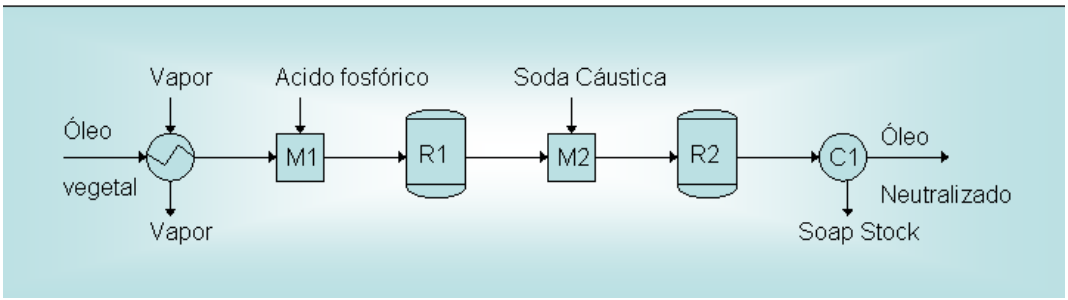


Figura 17 - Pré-tratamento do óleo vegetal: Acidificação e Neutralização

O óleo segue para o misturador (M2) onde é adicionada a soda cáustica que saponifica os ácidos graxos no reator (R2) e facilita a remoção do precipitado, o “soapstock”, junto com o excesso de solução cáustica, o que ocorre na centrífuga (C1).

Lavagem do óleo

O óleo neutralizado ainda contém pequenas quantidades de resíduos de sabão e deve ser lavado. O óleo é aquecido, lavado com água quente no misturador (M3), reage no reator (R3) e é enviado para o separador centrífugo (C2), onde o sabão é separado do óleo.

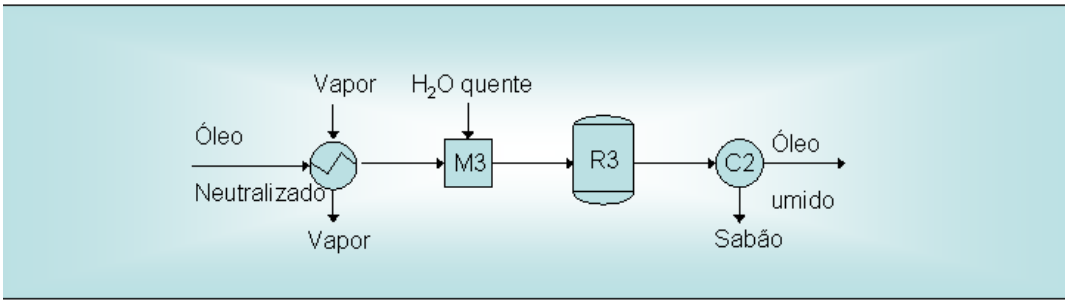


Figura 18 - Pré-tratamento do óleo vegetal: lavagem

Secagem do óleo

Para garantir baixos níveis de contaminação com água, o óleo sofre um processo de secagem sob vácuo e temperatura, no vaso de secagem (VS). O consumo de energia desta operação é minimizado através do pré-aquecimento da carga com o próprio óleo quente e seco que deixa o evaporador.

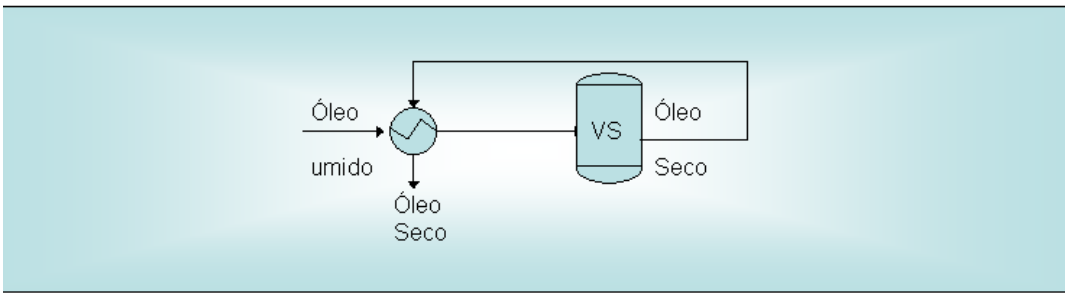


Figura 19 - Pré-tratamento do óleo vegetal: Secagem do óleo

3.1.2 Pré-Tratamento da Gordura Animal (sebo bovino)

O sebo bovino é aquecido com vapor, passa por um desaerador (D1) para retirar umidade e ar e, em seguida, é refinado em uma coluna de refino físico (C3), onde se destila a vácuo os ácidos graxos, gerando um produto neutro no fundo da coluna.

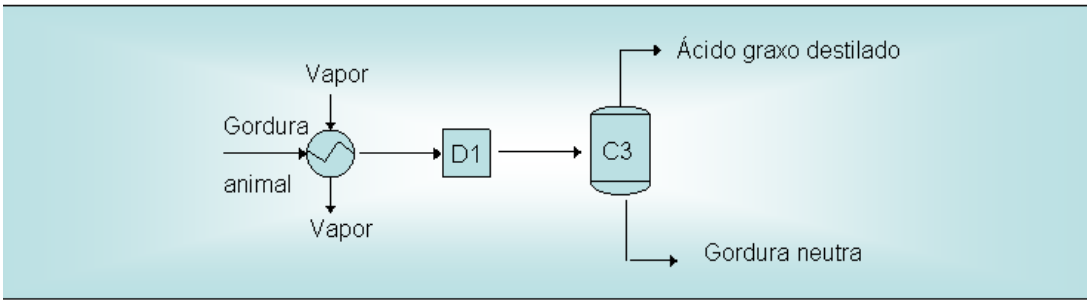


Figura 20 – Pré-tratamento da gordura animal

3.1.3 Reação de Transesterificação

O catalisador metilato de sódio e o metanol são adicionados ao óleo no misturador (M4). A corrente combinada de óleo, metanol e catalisador é aquecida à temperatura de reação antes de ser introduzida no reator (R4). A mistura reagida flui para o decantador (D2), onde as fases de biodiesel e glicerina se separam por diferença de densidade. A fase pesada (corrente de glicerina) é então escoada para o misturador (M7) e será detalhado no item 3.1.6. A fase leve (biodiesel) é transferida para o reator (R5), onde é adicionado mais metanol e catalisador, a fim de completar a reação de transesterificação. A descarga deste reator é feita para o decantador (D3).

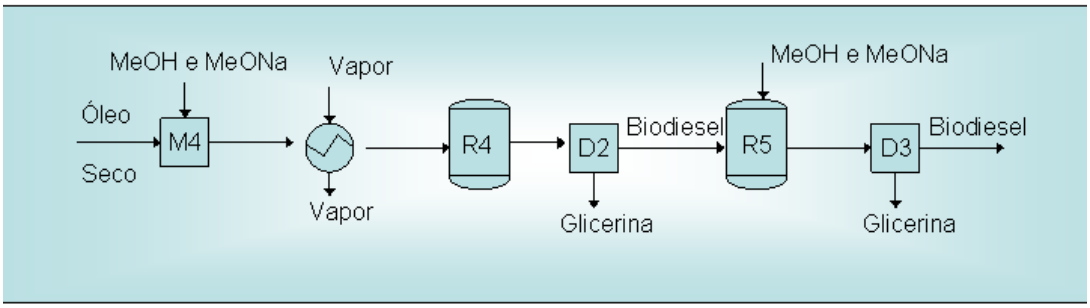


Figura 21 - Transesterificação: Etapa de reação

3.1.4 Purificação do biodiesel

Do decantador D3 o biodiesel segue para o misturador (M5), onde água e ácido são adicionados à corrente de biodiesel para neutralizar qualquer catalisador remanescente e complementar a separação das fases. O misturador de biodiesel é descarregado continuamente no decantador (D4), onde a fase de glicerina, mais pesada, é outra vez separada da fase mais leve de biodiesel. O biodiesel é lavado com água aquecida no misturador (M6) e separado no decantador (D5). A água recuperada nessa etapa é utilizada para diluir o ácido concentrado.

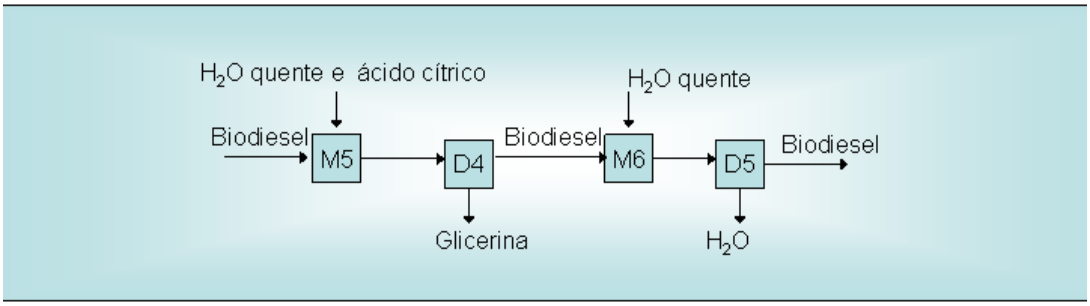


Figura 22 - Transesterificação: Etapa de Purificação do Biodiesel

3.1.5 Secagem

Após a lavagem da fase éster, ainda há pequenos teores de água e metanol no produto que são eliminados através de uma operação de secagem a vácuo (SV). O consumo de energia desta operação é minimizado através do pré-

aquecimento da carga com o próprio óleo quente e seco que deixa o evaporador. O produto, já atendendo à especificação, é enviado ao tanque de produto final.

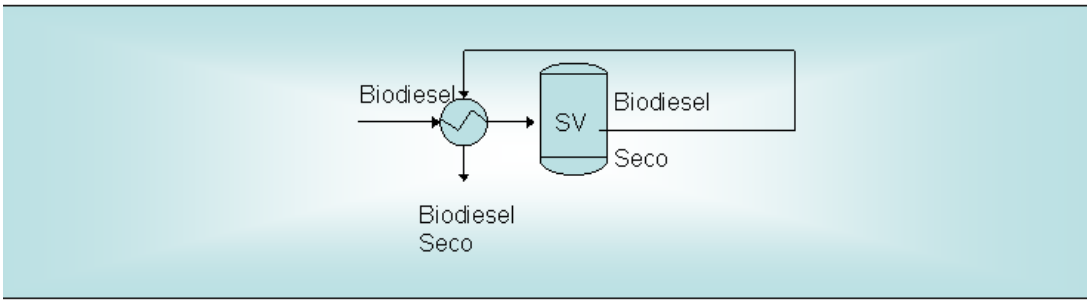


Figura 23 - Transesterificação: Etapa de Secagem do Biodiesel

3.1.6 Purificação da Glicerina

A glicerina contém água, metanol e pequenas quantidades de sabões e ésteres. Para eliminar os traços de sabões e promover uma boa separação entre as fases aquosa e orgânica, a corrente é acidificada no misturador (M7), reage (R6), é neutralizada no misturador (M8), reage (R7), é centrifugada (C3) e concentrada em múltiplas etapas de evaporação (E1), para maximizar o aproveitamento energético. O metanol e a água evaporados seguem para a coluna de destilação (C4), enquanto a glicerina concentrada é enviada para o tanque como produto final.

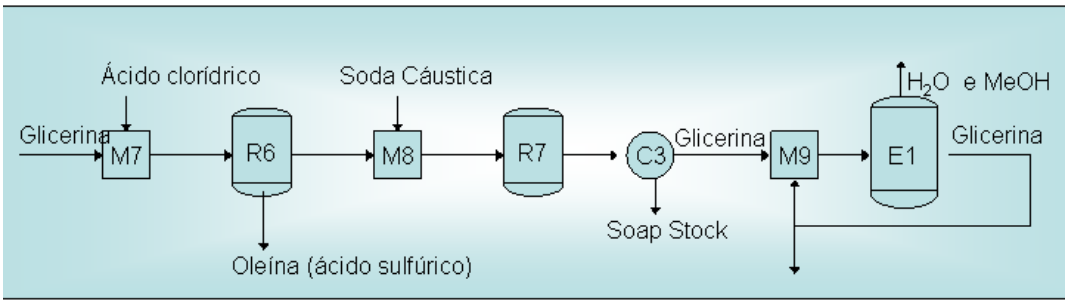


Figura 24 - Transesterificação: Etapa de Purificação da Glicerina

3.1.7 Recuperação do metanol

O metanol proveniente da purificação da glicerina possui elevado teor de água e há a necessidade de uma operação de retificação. Como resultado desta operação, a água destilada pela base, e o metanol sai pelo topo da coluna (C4) e é recuperado, retornando ao processo. A água é utilizada como água de processo na própria planta de biodiesel na preparação de soluções e lavagem.

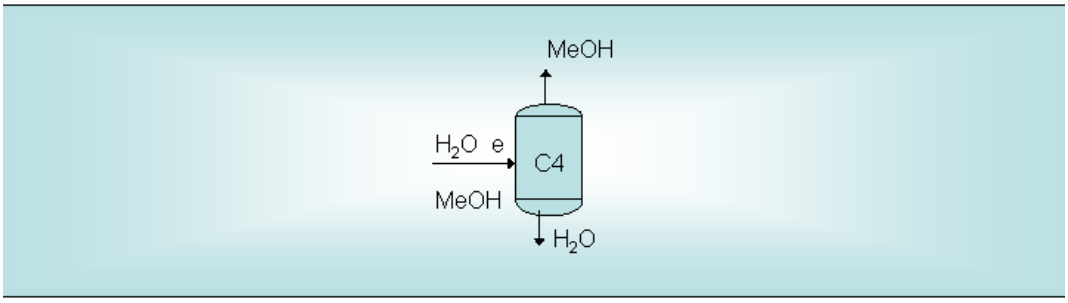


Figura 25 - Transesterificação: Etapa de Recuperação do Metanol

3.1.8 Efluentes, Resíduos e Emissões

O processo de pré-tratamento do óleo vegetal gera 0,1 tonelada de efluente, proveniente da lavagem, por tonelada de óleo vegetal processado e deve ser tratado antes de ser destinado. A borra de neutralização (soapstock) pode ser adicionada ao farelo de soja, na planta de extração ou vendida, como subproduto, para a indústria de sabões.

A produção de biodiesel gera 0,004 toneladas de efluente, provenientes do processo de secagem de óleo, para cada tonelada de biodiesel gerado.

A retificação de metanol gera 0,016 toneladas/hora de efluente por tonelada de biodiesel produzido.

Geração de 10 litros/hora de efluente proveniente da separadora centrífuga.

Emissões gasosas de 20 kg/h de gases, contendo aproximadamente 1,5% de metanol, provenientes dos vents (filtros para respiro) dos tanques sob resfriamento na planta de processo.

3.2 Hidroesterificação

3.2.1 Hidrólise

As matérias graxas são aquecidas e alimentadas na base da coluna (c1). O vapor é alimentado no topo da mesma coluna e são obtidos água e glicerina, de alta pureza na base da torre e ácido graxo no topo. O ácido segue, a uma temperatura de aproximadamente 260 °C, para a coluna de esterificação (c2).[51]

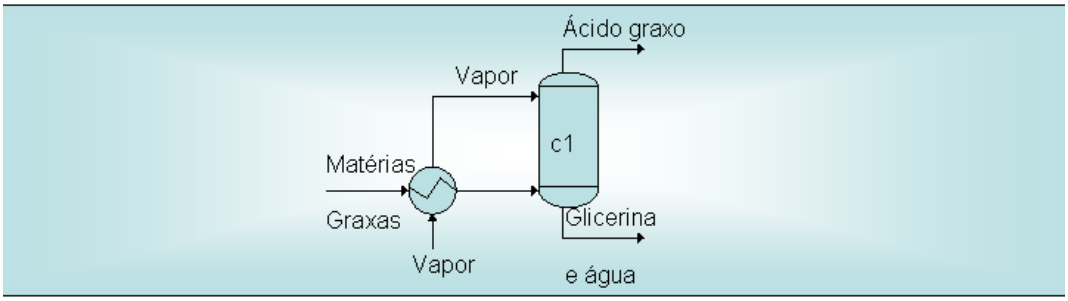


Figura 26 - Hidrólise

3.2.2 Esterificação

Os ácidos graxos são alimentados pelo topo da coluna de destilação reativa (c2), recheada com o catalisador ácido nióbico, em contracorrente com o metanol.[83] A reação de esterificação e a destilação ocorrem simultaneamente no mesmo equipamento. Em contato com o catalisador, os reagentes são transformados em produtos e continuamente separados nos pratos que representam múltiplos estágios de equilíbrio. A reação é continuamente deslocada, podendo-se atingir conversões quase que completas. Não há necessidade de etapas de aquecimento ou resfriamento. O biodiesel é obtido

na base da torre e a água, evaporada, é obtida no topo da coluna e retorna para a etapa de hidrólise. [52]

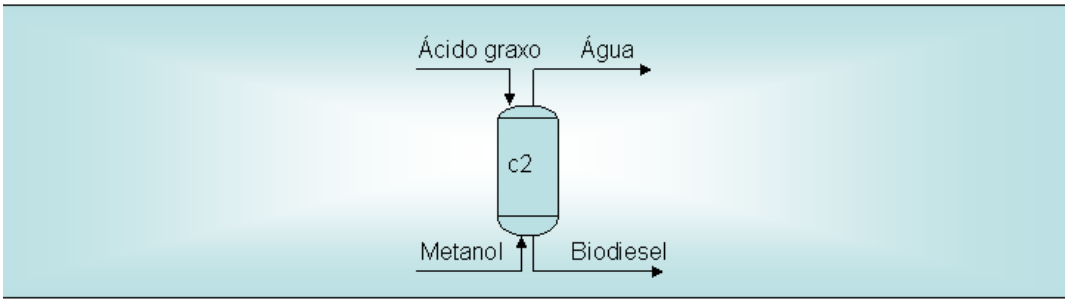


Figura 27 - Esterificação

3.2.3 Concentração da Glicerina

A glicerina proveniente da reação de hidrólise é concentrada em um evaporador (e) onde parte da água é perdida por evaporação e a outra parte a água retorna para a etapa de hidrólise.

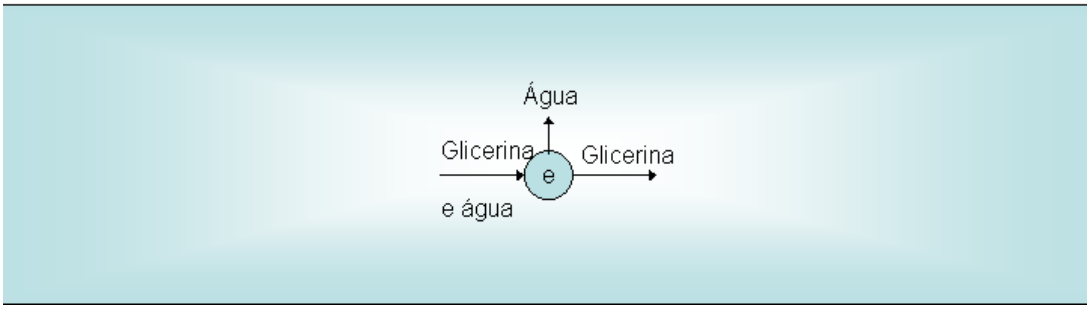


Figura 28 - Hidroesterificação: Concentração da Glicerina

3.2.4 Efluentes, Resíduos e Emissões

O processo de hidroesterificação não gera efluentes ou resíduos. Toda água gerada no processo de esterificação é consumida pelo processo de hidrólise. A glicerina obtida é de alta qualidade.

Emissões gasosas são estimadas em 20 kg/h de gases, contendo aproximadamente 1,5% de metanol, provenientes dos vents sob resfriamento na planta de processo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Um investimento vale à pena quando cria valor para seus proprietários, isto é, quando vale mais no mercado do que seu custo de aquisição. De forma a avaliar economicamente as plantas de biodiesel, pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, foram calculados orçamento capital, estrutura capital e demonstrações financeiras dos projetos.

Os resultados das duas plantas foram comparados e realizou-se uma análise de sensibilidade para definição dos parâmetros críticos e uma análise de cenários com tais parâmetros críticos.

Premissas

Foram estudadas plantas com capacidade de produção de 100 mil toneladas por ano de biodiesel. A partida da planta, no Ano 1, utiliza 50% da capacidade total. A cada mês há um incremento de 5%, alcançando a capacidade plena em novembro (Tabela 11).

Tabela 11- Cargas percentuais de produção no Ano 01

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

O expediente de produção é de 24 horas por dia, durante 330 dias por ano, totalizando anualmente 7920 horas produtivas. Os demais 35 dias são utilizados para manutenção da planta, período em que não há produção. A produção conta com 5 grupos de 4 operadores que revezam em 3 turnos de 8 horas.

Além dos 20 operadores, a planta emprega ainda 8 analistas administrativos, 2 engenheiros e um diretor.

A densidade média do Biodiesel é 0,875g/mL, a 20˚C.

4.1 Orçamento Capital

O orçamento capital diz respeito aos investimentos a serem realizados em longo prazo. Para seu cálculo é necessária a obtenção de todos os custos de implantação e concretização das operações das plantas de biodiesel (investimento e custos operacionais) bem como as receitas que serão geradas.

4.1.1 Investimento

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

4.1.1.1 Investimento fixo

São vários os custos requeridos para construir e operar uma planta. O custo de investimento fixo representa o capital requerido para a fabricação da planta desde a aquisição até a instalação de todos os equipamentos, incluindo as unidades auxiliares. Tais instalações e equipamentos possuem uma vida relativamente longa e representam os ativos permanentes da empresa.

O valor desses ativos no mercado pode variar muito, e depende da tecnologia utilizada, da capacidade instalada e do fabricante. Para o presente estudo, o investimento fixo foi obtido mediante contatos no mercado e propostas sigilosas. O valor para uma planta de produção de 100.000 ton/ano de biodiesel por transesterificação foi estimado em pouco mais que 44 milhões de reais incluindo planta de pré-tratamento, fábrica, laboratório, equipamentos de incêndio, tancagem e caldeiras (Tabela 12). A princípio, o mesmo valor será adotado para a hidroesterficação. A fim de validar o resultado da viabilidade de

ambas as plantas, serão realizadas análises de sensibilidade de seus investimentos.

Tabela 12– Custo de investimento para planta de transesterificação

Investimento Fixo	**MR$**	**%**
Máquinas e Equipamentos	38.536	87%
Planta	31.543	
Tancagem	4.630	
Bombas	110	
Utilidades	1.445	
Laboratório	506	
Sistema Combate a incêndio	302	
Imóveis e Construções	4.884	11%
Obras Civis e Construções	3.854	
Instalações e Outros	1.030	
Estudos e Projetos	905	2%
Engenharia e Projeto	905	
Total	**44.325**	**100%**

4.1.1.2 Custos de Partida da Planta

Para o início de operação das plantas é necessário investir em capacitação de funcionários além de reservar capital para possíveis perdas de rendimento durante adaptações do processo. Assim, foram considerados, para representar os custos de partida da planta, os salários dos funcionários (custo fixo) relativos a um mês de trabalho e aquisição de matérias primas, utilidades e insumos (custos variáveis) relativos a cinco dias de produção (Tabela 13), informação obtida junto a produtores de biodiesel. Os custos fixos e variáveis são custos operacionais e serão detalhados no ítem 4.1.2.

Equação 1: $CP = CV\frac{5}{330} + CF\frac{1+\frac{1}{12}}{13}$

Onde:

CP é o custo de partida de planta

CV é o custo variável de produção da planta utilizando 100% de sua capacidade

CF é o custo fixo de produção da planta utilizando 100% de sua capacidade

330 e 5 referem-se aos dias de expediente produtivo em um ano e dias considerados para o custo de partida da planta, respectivamente

13 e 1+1/12 referem-se ao número de salários anuais e salários para pagamento do mês de treinamento dos funcionários, respectivamente

Tabela 13– Custos de partida de planta

Custo de Partida da Planta (MR$)		
	Transesterificação	Hidroesterificação
Custo Variável	2.613	2.593
Custo Fixo	37	37
Total	**2.650**	**2.630**

A planta de hidroesterificação apresenta custos mais baixos de partida da planta do que a planta de transesterificação. Isso ocorre, pois apesar da planta de hidroesterificação apresentar maior consumo de utilidades, a planta de transesterificação demanda maior quantidade de insumos para as etapas de pré-tratamento e purificação do produto. Tais consumos serão detalhados no ítem 4.1.2.1.

4.1.1.3 Capital de Giro

Capital de giro consiste nos recursos monetários indispensáveis à operação, produção e comercialização da empresa. Visa o financiamento da produção e das vendas. É a diferença entre os ativos circulantes (dinheiro disponível em

caixa, estoque de produtos, e contas a receber em um prazo menor que um ano) e os passivos circulantes (salários, contas a pagar aos fornecedores, impostos, e demais contas a vencer em menos de um ano).

Capital de giro = ativo circulante – passivo circulante

Foi considerado, de forma conservadora, que todas as aquisições de matéria prima e insumos são pagas no ato da compra, e as contas a receber têm um prazo de dez dias para serem pagas. O tempo médio de estocagem de matéria prima e produto é de dez dias.

Conforme a Figura 29, no primeiro mês de produção são realizadas duas compras de matéria prima e insumos, referentes a vinte dias de produção, antes de haver o recebimento pelo primeiro lote de produto vendido.

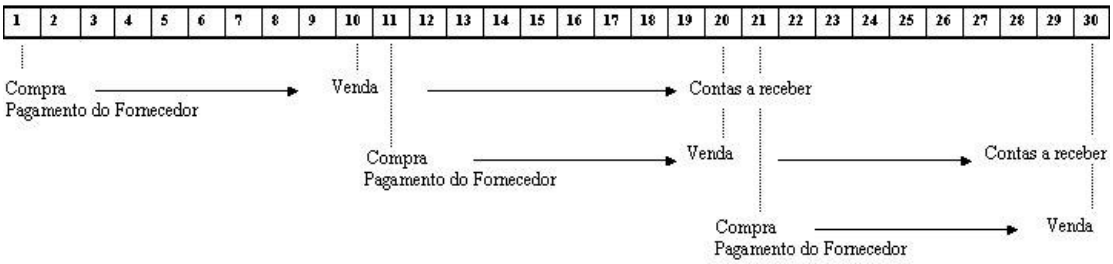


Figura 29 – Estratégia de compra e venda no primeiro mês de produção

As Tabelas 14 e 15 apresentam a soma dos custos operacionais (fixos e variáveis) de produção e a receita dos produtos referente a dez dias, sob as diferentes condições de carga de produção do primeiro ano, para a planta de transesterificação e hidroesterificação.

Equação 2: $Cm = (CV + CF) \times p \frac{10}{330}$

Onde:

Cm é custo operacional de 10 dias de produção no mês m

CV é o custo variável de produção da planta utilizando 100% de sua capacidade

CF é o custo fixo de produção da planta utilizando 100% de sua capacidade

p é a carga percentual de produção no mês m do Ano 01

330 e 10 referem-se aos dias de expediente produtivo em um ano e aos dias de estoque de matéria prima, respectivamente

Equação 3: $Rm = R \times p \times \frac{10}{330}$

Onde:

Rm é a receita de 10 dias de produção no mês m

R é a receita total de produção da planta utilizando 100% de sua capacidade

p é a carga percentual de produção no mês m do Ano 01

330 e 10 referem-se aos dias de expediente produtivo em um ano e prazo de venda do produto, respectivamente

A origem e o detalhamento dos custos operacionais e receitas utilizando 100% da capacidade da planta serão detalhados nos ítens 4.1.2 e 4.1.3, respectivamente.

Tabela 14 – Custos operacionais e receitas a diferentes cargas de produção no primeiro ano para planta de transesterificação

Custos e Receitas no Ano 01 (MR$/10 dias de produção no referido mês)												
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Produção	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	100%
Custos	2.620	2.882	3.144	3.406	3.668	3.930	4.192	4.454	4.715	4.977	5.239	5.239
Receita	3.180	3.498	3.816	4.134	4.452	4.770	5.088	5.406	5.724	6.042	6.360	6.360

Tabela 15– Custos operacionais e receitas a diferentes cargas de produção no primeiro ano para planta de hidroesterificação

Custos e Receitas no Ano 01 (MR$/10 dias de produção no referido mês)												
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Produção	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	100%
Custos	2.600	2.860	3.120	3.380	3.640	3.900	4.160	4.420	4.680	4.940	5.200	5.200
Receita	3.180	3.498	3.816	4.134	4.452	4.770	5.088	5.406	5.724	6.042	6.360	6.360

Conforme explicado anteriormente, a planta de transesterificação apresenta custos mais altos que a planta de transesterificação, por apresentar maior demanda de insumos para as etapas de pré-tratamento e purificação do produto.

Observa-se ainda que, apesar do aumento de carga produtiva, as receitas, em qualquer mês, são sempre maiores que os custos operacionais do mês seguinte. Dessa forma, o cálculo do capital de giro pode ser simplificado para a soma dos gastos referentes aos primeiros vinte dias de produção (Tabela 16). A partir do vigésimo dia, o gasto com matéria prima, insumos, utilidades, salários e manutenção podem ser cobertos com o capital recebido pelas vendas.

Equação 4: $CG = C1 \times 2$

Onde:

CG é o capital de giro

C1 é custo de 10 dias de produção no mês 01 (Janeiro)

2 é o número de vezes que esse custo ocorre antes que seja recebida a venda do primeiro lote de produto

Tabela 16 – Capital de giro (20 dias de produção)

	Transesterificação	Hidroesterificação
Capital de Giro (MR$)	5.239	5.200

Análogo ao custo de partida de planta, o capital de giro é maior para a planta de transesterificação devido ao maior consumo de insumos.

Assim, os investimentos totais a serem realizados nas plantas de transesterificação e hidroesterificação são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17– Investimentos

	Transesterificação	**Hidroesterificação**
Investimento Fixo	44.325	44.325
Custo de Partida de Planta	2.650	2.630
Capital de Giro	5.239	5.200
Total	**52.214**	**52.155**

4.1.2. Custos Operacionais

Os custos operacionais dividem-se em custos variáveis e custos fixos.

4.1.2.1. Custo variável

Os custos variáveis referem-se aos gastos proporcionais à produção e compreendem os custos de matérias primas, insumos (ácidos cítrico, clorídrico, sulfúrico, ácido nióbico, soda cáustica, metilato de sódio) e utilidades (água de processo e de resfriamento, eletricidade, vapor, ar de instrumento e nitrogênio).

Os dados de consumo de matérias primas, insumos e utilidades para a transesterificação foram baseados em índices técnicos das tecnologias Ballestra - Itália e Crown Iron - Estados Unidos. Os dados para a hidroesterificação são baseados em índices de indústrias que hidrolisam gorduras, óleos e resíduos oleosos (SGS, em Ponta Grossa-PR; Irgovel – Indústria Rio Grandense de Óleos Vegetais, em Pelotas-RS; e ICSG – Indústria Campineira de Sabão e Glicerina, em Campinas - SP) e de planta de esterificação de ácidos graxos residuais (Agropalma, Belém-PA).

As matérias primas para a produção de biodiesel são óleo vegetal, gordura animal, ácido graxo e óleo de fritura. Para a produção via transesterificação, em acordo com os índices técnicos utilizados, foi considerado óleo vegetal e gordura animal, com baixos níveis de acidez e umidade. Já a planta de hidroesterificação aceita qualquer matéria prima independente de seu grau de acidez e umidade, contemplando, além de óleo vegetal e gordura animal, ácido graxo e óleo de fritura. Essa robustez parece ser uma grande vantagem do processo.

Para comparar as tecnologias de transesterificação e hidroesterificação foram utilizadas as mesmas composições de matéria prima, sendo 50% de óleo vegetal e 50% de gordura animal (Tabela 18). Adotou-se a mistura óleo/gordura, pois essa tem sido uma prática comum atualmente nas fábricas de biodiesel no Brasil já que, historicamente, o preço do sebo animal sempre foi significativamente menor que o preço dos óleos vegetais.

Tabela 18 – Composição da matéria prima

	Óleo Vegetal	**Gordura Animal**	**Ácido Graxo**	**Óleo de Fritura**
Transesterificação	50%	50%		
Hidroesterificação	50%	50%		

Na análise de cenários (Ítem 4.8) será abordada a avaliação da planta de hidroesterificação com as demais matérias primas (ácido graxo e óleo de fritura usado).

O óleo vegetal utilizado, conforme índices técnicos e disponibilidade de matéria prima, foi óleo de soja. Seu preço foi obtido no CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da USP). As cotações (Figura 30) representam o preço do óleo de soja bruto degomado.[90] Uma média dos últimos dois anos indica o preço de R$ 1.460,00/t. Porém, o gráfico mostra uma tendência de aumento desse valor, já tendo atingido valores superiores a R$ 1.800,00 por

tonelada de soja. Assim, o preço do óleo de soja foi definido em R$1.600,00 por tonelada.

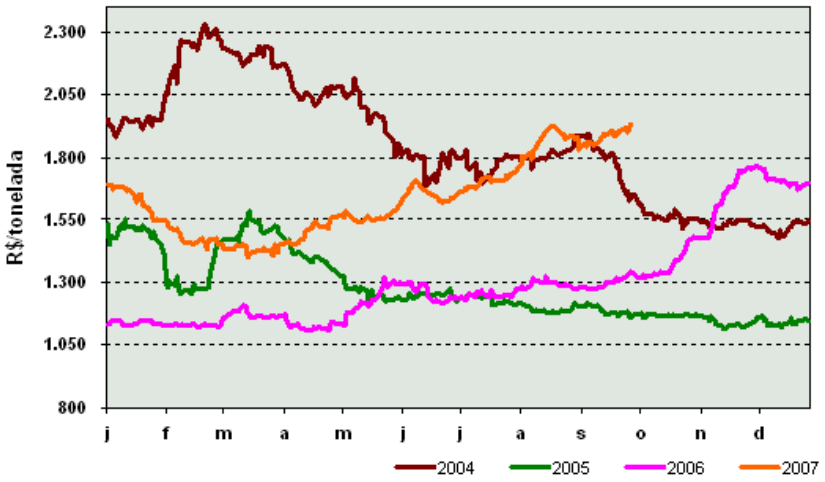


Figura 30 – Evolução do preço de óleo de soja [82]

Dentre as fontes de gordura animal, sebo bovino é a que se apresenta com maior disponibilidade. Os preços de sebo bovino foram obtidos no site Safras & Mercado. A Figura 31 apresenta a evolução dos preços entre os anos 2003 e 2007. A média do ano de 2007 foi R$1.128,00 por tonelada, valor superior às medias dos anos anteriores, exceto o ano de 2003, quando foi registrada a média de R$1.282,00. Considerando a tendência de aumento apresentada no ano de 2007, e os últimos valores registrados, o preço da tonelada do sebo bovino considerado foi de R$1.300,00.

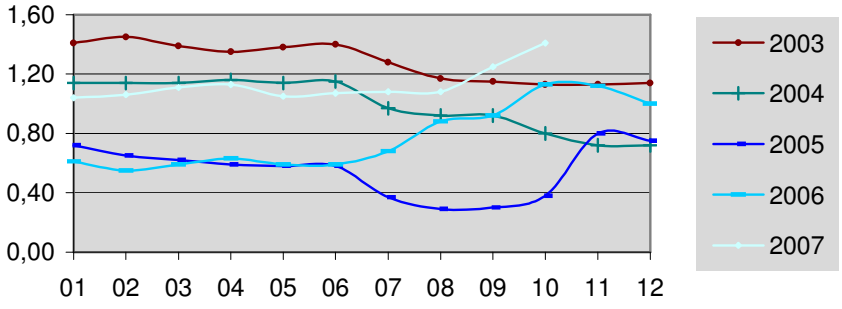


Figura 31– Evolução dos preços de sebo bovino (elaboração própria)

Os preços de ácidos graxos provenientes de diversos vegetais (palma, algodão, soja girassol e milho) foram obtidos por e-mail com a empresa Aboissa [84]. Foi considerado o preço médio de R$ 1.000,00 por tonelada de ácido graxo.

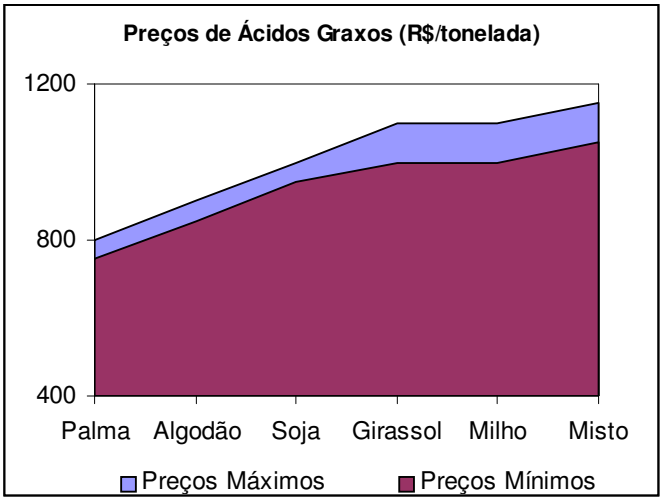


Figura 32 - Preços de ácidos graxos (elaboração própria)[84]

O óleo residual de fritura é obtido através da coleta de cooperativas, redes "*fast food"* e restaurantes. Os preços foram estimados entre R$0,80 e R$1,00/kg. Foi considerado o preço médio de R$900,00 por tonelada de óleo residual, com um nível de acidez similar ao do óleo vegetal degomado. A Tabela 19 resume os preços e os consumos das matérias primas.

O álcool também constitui uma matéria prima para a produção de biodiesel. Os índices técnicos utilizados são de tecnologias que utilizam rotas metílicas. Assim, o álcool utilizado como matéria prima é o metanol, cujo preço foi obtido junto aos fornecedores Prosint e Methanex, através de contato telefônico e consulta ao site, respectivamente.[85,86] A quantidade de álcool utilizada nos processos é idêntica. O consumo mais baixo no processo de transesterificação, descrito na Tabela 19, ainda não contabiliza o volume de metanol incluído na solução do catalisador homogêneo utilizado na reação de transesterificação.

Tabela 19 - Preços e consumos de matéria prima (100 mil toneladas biodiesel/ ano)

	Matéria Prima	Preço (R$/t)	Consumo de Matéria Prima *	
			Transesterficação (kt/ano)	Hidroesterificação (kt/ano)
mp1	Óleo Vegetal	1.600	52	52
mp2	Gordura Animal	1.300	52	52
mp3	Ácido Graxo	1000		
mp4	Óleo de Fritura Residual	900		
Total			**104**	**104**
mp5	Metanol	775	9,9	11,2

* referente à produção anual e 100 mil toneladas biodiesel

O processo de transesterificação consome ácido fosfórico e soda cáustica no pré-tratamento, ácido cítrico na purificação do biodiesel, ácido clorídrico, ácido sulfúrico e soda cáustica para a purificação da glicerina, e metilato de sódio em solução 30% com metanol, para catalisar a reação de transesterificação. Na hidroesterificação não há qualquer pré-tratamento da matéria prima. Além disso, não existem etapas de neutralização do biodiesel nem da glicerina uma vez que apenas catalisadores heterogêneos são utilizados no processo.

Os preços de ácidos e bases foram obtidos através de médias aproximadas, em empresas fornecedoras (Brasinter, Fosbrasil, Basequímica, Riberquímica e Cargil). O preço do metilato de sódio em solução 30% com metanol foi obtido em relatório interno da Greentec-UFRJ.[87] O preço do ácido nióbico foi obtido com a CBMM - Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração.[88] Os dados de consumo dos insumos para a transesterificação e hidroesterificação referem-se, respectivamente, aos índices técnicos e aos valores médios de indústrias, ambos já citados.

Tabela 20 - Preços e consumo dos insumos

	Insumos	Custo (R$/t)	Consumo de insumos (t/ano) *	
			Transesterificação	Hidroesterificação
mp6	Metilato de Sódio	3.080	1.833	
mp7	Ácido Fosfórico	1343	100	
mp8	Ácido Cítrico	2.141	65	
mp9	Ácido Clorídrico	857	800	
mp10	Soda Cáustica	895	421	
mp11	Ácido Sulfúrico	832	20	
mp12	Ácido Nióbico	110.000		20

* referente à produção anual e 100 mil toneladas biodiesel

Para cálculo de custos com matéria prima e insumos foi utilizada a Equação 5.

Equação 5: $Cmp = Dmpi \times Pmpi$

Onde:

CMP é o custo com matéria prima e insumos em MR$/ano

Dmpi é a demanda da matéria prima ou do insumo mpi em kt/ano

Pmpi é o preço da matéria prima ou do insumo mpi em R$/t de biodiesel produzido

O custo total com matérias primas é calculado através da Equação 6.

Equação 6: $CMP = \sum (Cmpi \times nmpi)$

Onde:

CMP é custo total com matérias primas e insumos em MR$/ano

Cmpi é o custo com a matéria prima ou utilidade mpi em MR$/ano

nmpi é a quantidade de matérias primas e insumos mpi utilizadas no processo

Para a operação das plantas são necessários água de processo, água de resfriamento, energia elétrica, vapor de 15kgf/cm², ar de instrumento e

nitrogênio liquido. A água utilizada no processo é desmineralizada. A água utilizada no resfriamento das correntes é clarificada. Ar de instrumento é utilizado em bombas, válvulas e outros equipamentos. O nitrogênio proporciona a inertização de vasos, colunas e demais equipamentos. O vapor é produzido em caldeiras a partir de água desmineralizada e é utilizado para aquecer outras correntes e no processo.

Os custos de utilidades são médias aproximadas, praticadas no Pólo Industrial de Camaçari – BA. Os dados de consumo seguem índices técnicos das tecnologias Ballestra e Crown Iron para a transesterificação, e médias dos valores praticados nas indústrias SGS, Irgovel, ICSG e Agropalma, para a hidroesterificação.

A Tabela 21 apresenta os preços das utilidades e os respectivos consumos dos mesmos nas plantas. Observa-se que o processo de hidroesterificação é mais intensivo em utilidades do que o processo de transesterificação, exigindo maiores consumos, pois trabalha em condições mais drásticas de temperatura e pressão.

Tabela 21- Preços e consumo de utilidades

Utilidades	Preço	Consumo de Utilidades *	
		Transesterificação	Hidroesterificação
Água de processo	R$ 3,24 / t	5.380 t/ano	20.833 t/ano
Água de resfriamento	R$ 1,04 / t	140 t/ano	500 t/ano
Energia Elétrica 60 HZ	R$ 0,25 / kWh	2.150 kWh/ano	39.048 kWh/ano
Vapor de 15kgf/cm²	R$ 87,51 / t	40.908 t/ano	68.724 t/ano
Ar de instrumento	R$ 0,109 / Nm³h	1.049 Nm³h/ano	2.000 Nm³h/ano
Nitrogênio	R$ 2,907 / m³	500.000 m³/ano	500.000 m³/ano

* referente à produção anual e 100 mil toneladas biodiesel

Para cálculo de custos com utilidades foi utilizada a Equação 7.

Equação 7: $Cui = Dui \times Pui \times \frac{1}{1000}$

Onde:

Cui é o custo com a utilidade ui em MR$/ano

Dui é a demanda da utilidade ui conforme unidades na Tabela 27

Pui é o preço da utilidade ui conforme unidades na Tabela 27

1000 refere-se à conversão entre mil e milhão

Tabela 22 - Unidades de consumo e preço de utilidades

Utilidades		Unidade Consumo	Unidade Preço
u1	Água de processo	t/ano	R$/t
u2	Água de resfriamento	t/ano	R$/t
u3	Energia Elétrica 60 HZ	kwh/ano	R$/kwh
u4	Vapor de 15kgf/cm²	t/ano	R$/t
u5	Ar de instrumento	Nm³h/ano	R$/Nm³h
u6	Nitrogênio	m³/ano	R$/m³

Equação 8: $CU = \sum (Cui \times nui)$

Onde:

CU é custo total com utilidades em MR$/ano

Cui é o custo com a utilidade ui em MR$/ano

nui é a quantidade de utilidades ui utilizadas no processo

Os custos com reparo e manutenção de instalações e equipamentos dependem da idade da planta e da periodicidade de manutenções preventiva, preditiva e corretiva. Foi utilizada uma mesma taxa de R$16,95 por tonelada de biodiesel produzido para as plantas de transesterificação e hidroesterificação, estimada atualmente por empresas produtoras de biodiesel. Para cálculo dos custos com reparo e manutenção foi utilizada a Equação 9.

Equação 9: $CM = B \times tr$

Onde:

CM é o custo com reparo e manutenção em MR$/ano

B é a produção de biodiesel em kt/ano

tr é a taxa de reparo e manutenção em R$/t de biodiesel produzida

Finalmente, o custo variável é a soma dos custos com matéria prima, utilidades e manutenção.

Equação 10: $CV = CMP + CU + CM$

Onde:

CV é o custo variável em MR$/ano

CMP é o custo com matéria prima e insumos em MR$/ano

CU é o custo com utilidades em MR$/ano

CM é o custo com reparo e manutenção em MR$/ano

4.1.2.2 Custo fixo

O custo fixo refere-se aos gastos que não variam com o nível de produção. Engloba os custos de caixa e os custos não caixa, porém apenas os custos caixa são desembolsáveis.

Os custos caixa são as despesas com pessoal. As despesas com pessoal são representadas pelos salários e encargos das equipes de trabalho. Os cargos requeridos no horário administrativo são 1 diretor, 2 engenheiros e 8 analistas. Para a operação contínua das plantas são considerados 20 operadores divididos em 5 grupos de quatro pessoas, revezando em 3 turnos de 8h, com dois grupos folgando por dia. O custo anual considera 13° salário e encargos adicionais de 106% do salário. Para o cálculo de salário e encargo foi utilizada a Equação 11.

Equação 11: $Sci = SBci \times 13 \times (1+e)\frac{1}{1000}$

Onde:

Sci é o custo com salários e encargos do cargo ci em MR$/ano

SBci é o salário básico mensal do cargo ci em R$/mês

e é o percentual relativo aos encargos trabalhistas

13 refere-se aos 12 meses do ano mais o13˚salário

1000 refere-se à conversão entre um real e mil reais

Tabela 23 – Custos com pessoal

	Cargo	Quantidade	Salário Base (R$/mês)	Salários e Encargos (MR$/ano)
c1	Diretor	1	10.000	299
c2	Engenheiros	2	4.000	120
c3	Analista Administrativo	8	1.000	30
c4	Operadores	20	1.500	45
	Total	31	16.500	493

Para cálculo do custo com pessoal foi utilizada a Equação 12

Equação 12: $CP = \sum (Sci \times nci)$

Onde:

CP é custo com pessoal em MR$/ano

Sci é o custo com salários e encargos do cargo ci em MR$/ano

Nci é a quantidade de funcionário no cargo ci

Os custos não caixa são decorrentes da depreciação, que é a perda de valor, deterioração ou obsolência dos ativos imobilizados da empresa tais como máquinas, móveis, imóveis e instalações. Ao longo do tempo, com o desgaste natural ou por uso na produção, os ativos vão perdendo seu valor. Essa perda de valor é apropriada pela contabilidade periodicamente até que esse ativo

tenha seu valor reduzido a zero. Embora não seja um custo desembolsado, seu valor permitiria refazer a indústria após o seu prazo de vida útil.

O cálculo da depreciação obedece aos critérios determinados pelo governo, através da Secretaria da Receita Federal, artigo 305 do RIR/99 e, segundo o método linear de depreciação, a taxa é constante ao longo de todo o tempo de vida útil estimado para o bem (Tabela 24). [89]

Tabela 24 - Prazos e taxas de depreciação

Bem	**Prazo de depreciação**	**Taxa de Depreciação**
Veículos	5 anos	20% ao ano
Móveis e máquinas	10 anos	10% ao ano
Imóveis	25 anos	4% ao ano

Também é possível, e muito praticada no mercado, a depreciação de estudos de projetos em implementação que ainda não estejam gerando ganhos, através do diferido, a uma taxa de 4%. Para o cálculo da depreciação foi utilizada a Equação 13.

Equação 13: $Da = I \times td$

Onde:

Da é a depreciação anual

I é o valor do investimento

td é a taxa anual de depreciação

Tabela 25 – Depreciação anual de imóveis, móveis e máquinas

	Investimento (MR$)	Depreciação		
		Taxa anual	Valor anual (MR$)	Duração
Imóveis e Construções	4.884	4%	195	25 anos
Móveis e Máquinas	38.536	10%	3.854	10 anos
Estudos e Projetos	905	4%	36	25 anos

Finalmente, o custo fixo é igual ao custo com pessoal (Equação 14) e custo operacional é a soma dos custos fixo e variável (Equação 15).

Equação 14: $CF = CP$

Equação 15: $CO = CF + CV$

Onde:

CF é o custo fixo

CP é o custo com pessoal

CO é o custo operacional

CV é o custo variável

4.1.3 Receitas

A receita é calculada a partir dos preços e quantidades produzidas de biodiesel e glicerina. Os preços de vendas do biodiesel foram baseados nos resultados dos quatro primeiros leilões realizados pela ANP (Figura 33). Os maiores volumes foram transacionados no 4° Leilão. Os maiores preços foram obtidos no 1° e 2° Leilões, correspondendo, porém, a menos de 30% do volume total contratado. A média dos preços, considerando o volume arremato, ficou em R$1.783 por m³ de biodiesel. Como tem sido regra nos leilões, esse valor já inclui o PIS/COFINS. Os custos de frete e ICMS são assumidos pela Petrobrás.[69]

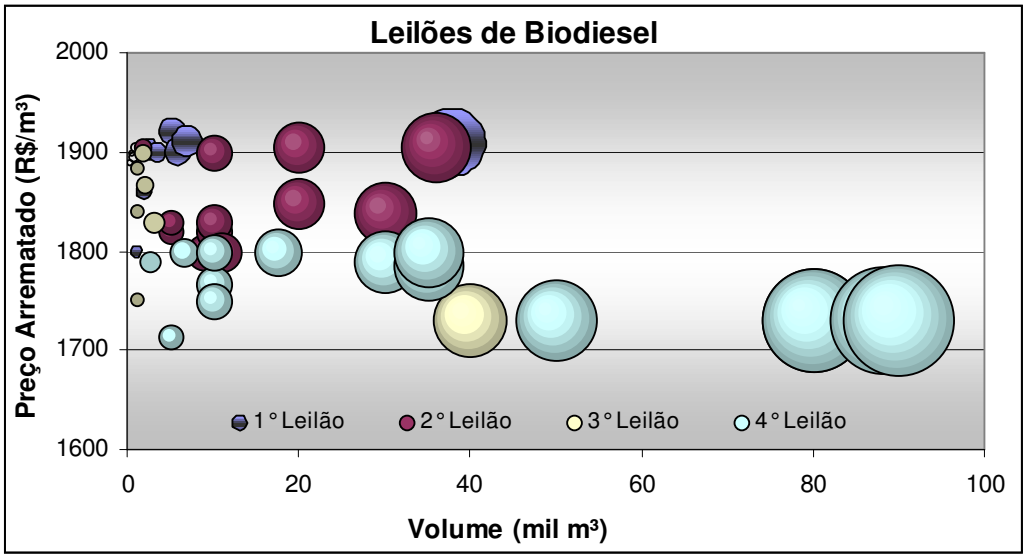


Figura 33 – Resultado dos quatro primeiros leilões realizados pela ANP (elaboração própria)[77]

Os preços da glicerina foram obtidos através de contato por e-mail com Aboissa, e são referentes a glicerina loira, com no mínimo 80% de glicerol e 7% de umidade no máximo.[85] Vale lembrar que a glicerina obtida na hidroesterificação possui valor agregado maior por ser mais pura, não apresentar sais ou cor. A Tabela 26 apresenta os preços dos produtos.

Tabela 26– Preços de biodiesel e glicerina

Biodesel	R$ 1,783 / litro
Glicerina	R$ 450 / t

Na planilha de viabilidade econômica foram utilizadas as seguintes fórmulas para calcular a receita:

Equação 16: $R = Rb + Rg$

Onde:

R é a receita total em MR$/ano

Rb é a receita de Biodiesel em MR$/ano

Rg é a receita de glicerina em MR$/ano

Equação 17: $Rb = B \times Pb \times \frac{1000}{d}$

Onde:

Rb é a receita de Biodiesel em MR$/ano

B é a produção de biodiesel em kt/ano

Pb é o preço do produto em R$/L

d é a densidade do biodiesel em g/mL

1000 corresponde ao fator de conversão entre mL e L

Equação 18: $Rg = G \times Pg$

Onde:

Rg é a receita de glicerina em MR$/ano

G é a produção de glicerina em kt/ano

Pg é o preço da glicerina em R$/ton

4.2 Estrutura Capital

A estrutura de capital refere-se à combinação específica entre capital de terceiros e capital próprio que a empresa utiliza para financiar suas operações.

O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel conta com apoio do Programa de Apoio Financeiro a Investimentos do Biodiesel, implantado pelo BNDES, o qual oferta crédito para custeio, investimento e comercialização.[62]

Tabela 27- Programa de apoio financeiro do BNDES[62]

Finalidade	Participação do BNDES
Investimentos em todas as fases da produção de biodiesel Aquisição de máquinas e equipamentos homologados para uso de biodiesel ou de óleo vegetal bruto Investimentos em beneficiamento de co-produtos e subprodutos do biodiesel.	Até 90% (noventa por cento) dos itens passíveis de apoio, para projetos com Selo Combustível Social. Até 80% (oitenta por cento) dos itens passíveis de apoio, para projetos sem Selo Combustível Social.

O BNDES financia até 80% do valor do investimento (Tabela 27) a ser pago em até 10 anos, com taxa de TJLP (taxas de juros de longo prazo) somada a 3% ao ano, para grandes empresas sem selo social.

A taxa de juros de longo prazo (TJLP) foi instituída pela Medida Provisória nº 684, de 31.10.94, publicada no Diário Oficial da União em 03.11.94, sendo definida como o custo básico dos financiamentos concedidos pelo BNDES. Tal taxa é fixada pelo Conselho Monetário Nacional e divulgada até o último dia útil do trimestre imediatamente anterior ao de sua vigência (Tabela 28). O valor considerado foi a média entre os trimestres do ano de 2007 [82] que somada aos 3% referente ao porte da empresa e ao fato da mesma não possuir selo combustível, obtém-se uma taxa de juros de aproximadamente 10% ao ano.

Tabela 28 - Evolução TJLP em 2007 (% a.a.)[82]

Jan-Mar	**Abr-Jun**	**Jul-Set**	**Out-Dez**	**Média**
6,50%	6,50%	6,25%	6,25%	6,375%

Para capitanear o empreendimento, foi financiado 80% do investimento fixo com o BNDES e o restante (20% do investimento fixo, custo de partida da planta e capital de giro) foi realizado com capital próprio, conforme Tabela 29.

O capital próprio necessário para a implementação da planta de transesterificação é maior, pois o capital de giro e o custo de partida apresentam valores mais altos para a mesma.

Tabela 29 – Estrutura Capital

	Transesterificação (MR$)	**Hidroesterificação** (MR$)
Investimento fixo	44.325	44.325
BNDES (80% Investimento fixo)	35.460	35.460
Capital Próprio	**16.754**	**16.695**

O investimento começa a ser amortizado no ano 2 e é finalizado no ano 10, conforme Tabela 30.

Tabela 30 – Pagamento do empréstimo (valores em Mil reais)

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Dívida	35.460	35.460	31.520	27.580	23.640	19.700	15.760	11.820	7.880	3.940
Pagamento	**3.546**	**7.486**	**7.092**	**6.698**	**6.304**	**5.910**	**5.516**	**5.122**	**4.728**	**4.334**
Amortização		3.940	3.940	3.940	3.940	3.940	3.940	3.940	3.940	3.940
Juros	3.546	3.546	3.152	2.758	2.364	1.970	1.576	1.182	788	394

4.3 Demonstrações financeiras

Demonstrações financeiras são fontes para tomadas de decisões. Foram considerados Demonstração de Resultados do Exercício (DRE) e Fluxo de Caixa.

4.3.1 Demonstração dos Resultados do Exercício (DRE)

A demonstração do resultado mede o desempenho ao longo de um determinado período. Para o presente trabalho foi considerado DRE de um ano.

Os itens divulgados na demonstração de resultados são receitas, despesas das atividades operacionais da empresa, depreciação, despesas financeiras (tais como juros e amortizações), impostos e por fim, o lucro líquido.

Todos os conceitos, a partir do atual capítulo, estão baseados nos princípios de administração financeira.[90]

4.3.2 Fluxo de caixa

É a diferença entre a quantidade de capital que entrou no caixa e a quantidade que saiu, ao longo do tempo. O fluxo de caixa do empreendimento em análise foi obtido a partir da diferença entre o investimento total (investimento fixo, custo de partida da planta e capital de giro) realizado em cada ano e a soma do lucro líquido obtido na DRE e depreciação (que havia sido deduzida na DRE para o cálculo do imposto de renda).

4.4 Avaliação Econômica

Para a análise de viabilidade econômica foram montadas planilhas usando software Excel versão 2003. Foram avaliados valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), payback, ponto de equilíbrio, EBITDA e EVA. Também foram calculados alguns índices auxiliares. Todas as equações que descrevem as variáveis econômicas financeiras estão anexadas no CD no arquivo Viabilidade Econômica do Biodiesel.

4.4.1 Valor presente líquido (VPL)

O valor presente líquido (VPL) representa o valor atual do fluxo de caixa, descontando-se os valores futuros do fluxo de caixa a uma taxa de juros considerada como taxa mínima de atratividade do empreendimento. Se o VPL, a essa taxa mínima de atratividade, apresenta um valor negativo, então o empreendimento não é viável. Valores de VPL positivos, por outro lado, indicam que o empreendimento é economicamente viável. VPL pode ser calculado através da Equação 19.

Equação 19: $VPL = \sum \left(\frac{FCn}{1+tx} \right)^n - FCo$

Onde

VPL é o valor presente líquido

FC_0 é fluxo de caixa no ano 0

FC_n é fluxo de caixa no ano n

tx é a taxa de desconto

No presente projeto, considerou-se 20% a taxa mínima de atratividade. Com relação ao tempo, trabalhou-se com 10 anos.

Os cálculos de valor presente líquido foram realizados no Excel através da função VPL cuja fórmula, aplicada para o presente trabalho, é:

=vpl(tx; FC_1; FC_2; FC_3; FC_4; FC_5; FC_6; FC_7 ; FC_8; FC_9; FC_{10})- FC_0

4.4.2 Taxa interna de retorno (TIR)

É a taxa de resultados capitalizada que a empresa vai obter se ela investir no projeto e receber os fluxos de entrada previstos.

Incorpora as variações da receita e dos custos ao longo do tempo, considera a variação temporal do valor do dinheiro e permite que se façam importantes análises de sensibilidade.

Trata-se da taxa de desconto que faz com que VPL seja igual a zero. Em outras palavras, o ponto de equilíbrio econômico do projeto ocorre quando o VPL é zero porque nesse caso não há criação nem destruição de valor.

Os cálculos de taxa interna de retorno foram realizados no Excel através da função TIR cuja fórmula, aplicada para o presente trabalho, é:
=tir(FC_0; FC_1; FC_2; FC_3; FC_4; FC_5; FC_6; FC_7 ; FC_8; FC_9; FC_{10})

4.4.3 Payback

É o tempo necessário para recuperar o investimento inicial, ou seja, momento em que o investimento se paga. Ocorre quando a soma dos fluxos de caixa de um investimento se iguala a seu custo, conforme Equação 20.

Equação 20: $Py = Aneg - \frac{FCneg \times (Aneg - Apos)}{FCneg - FCpos}$

Onde:

Py é payback

Aneg é o último ano em que o fluxo de caixa acumulado é negativo

FCneg é o último fluxo de caixa acumulado cujo valor é negativo

FCpos é o primeiro fluxo de caixa acumulado cujo valor é positivo

Apos é o primeiro ano em que o fluxo de caixa acumulado é positivo

Para calcular o fluxo de caixa acumulado foi utilizada a Equação 21.

Equação 21: $FCan = \sum_{i=0}^{n} FCi$

Onde:

FCan é o fluxo de caixa acumulado até o ano n

FCi é o fluxo de caixa no ano i, que varia de 0 a n

4.4.4 EBITDA

EBITDA ou LAJIDA é o lucro antes de juros, impostos, depreciação e amortização. Representa a geração operacional de caixa da empresa, sem levar em conta os efeitos financeiros e de impostos, medindo com mais precisão a produtividade e a eficiência do negócio. A Equação 22 define a fórmula do EBITDA.

Equação 22: $EBITDA = R - I - C$

Onde:

R é Receita de vendas

I é imposto sobre a venda

C é o custo operacional

Equação 23: $Me = \frac{EBITDA}{R - I}$

Onde:

Me é a margem de EBITDA em percentual

R é Receita de vendas em MR$

I é imposto sobre a venda em MR$

4.4.5 Valor Econômico Agregado (EVA)

EVA indica a qualidade ou a eficiência com a qual o capital é utilizado. É a uma medida do lucro econômico da empresa depois de descontado o custo de todo o capital empregado, baseado na diferença entre a taxa de retorno sobre o capital investido e o custo desse capital. Para valores positivos de EVA pode-se dizer que a empresa está agregando valor. Valores negativos indicam dinheiro mal investido.

Equação 24: $EVA = \frac{\sum_{i=0}^{n} EBITDAi}{n} - BNDES \times txb - IP \times txs$

Onde:

EBITDAi é o EBITDA no ano i

n é o número de anos em questão

BNDES é o investimento financiado pelo BNDES

txb é a taxa do BNDES

IP é o investimento próprio

txs é a taxa Selic

4.4.6 Índices Auxiliares

4.4.6.1 Medida de Rentabilidade

Rentabilidade é a capacidade de gerar lucros. A margem de lucro (ou margem líquida) representa quanto a empresa lucra para cada R$1,00 em vendas (Equação 25).

Equação 25: $ML = \frac{LL}{VL} \times 100\%$

Onde:

ML é a margem de lucro em %

LL é o lucro líquido em MR$/ano

VL é a venda líquida em MR$/ano

4.4.6.2 Medidas de solvência em longo prazo

Analisa a capacidade da empresa em saldar suas obrigações a longo prazo.

a) cobertura de juros (CJ)

Equação 26: $CJ = \frac{EBITDA - d}{j}$

Onde:

CJ é a cobertura de juros

EBITDA é o lucro antes de depreciação, juros e impostos em MR$/ano
d é a depreciação em MR$/ano
j é pagamento de juros em MR$/ano

b) Cobertura de caixa

Equação 27: $CC = \frac{EBITDA}{j}$

Onde:
CC é a cobertura de caixa
EBITDA é o lucro antes de depreciação, juros e impostos em MR$/ano
j é pagamento de juros em MR$/ano

4.5 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade tem por finalidade avaliar o grau de risco do empreendimento e identificar os componentes mais críticos para o sucesso ou insucesso do projeto.

A análise é feita manipulando apenas uma variável e fixando todas as outras de forma a verificar quão sensível é a estimativa de VPL a mudanças de valores dessa variável.

Os parâmetros críticos são aqueles que, ainda que variem pouco, causam grande perturbação nos resultados da avaliação econômica. No caso da produção de biodiesel, serão considerados, inicialmente para essa análise os preços de matéria prima e produto, investimento fixo, capital de giro, e utilidades e insumos que representem maiores desembolsos. A análise de sensibilidade irá sinalizar quais são as variáveis críticas para o sucesso dos projetos.

Além da sinalização das variáveis críticas, também serão definidos, individualmente, os preços mínimos dos produtos e os custos máximos que viabilizam as plantas de transesterificação e hidroesterificação. Os preços mínimos dos produtos que viabilizam os projetos são os que resultam em VPL igual a zero. Acima desses preços, todo VPL é positivo e os projetos podem ser considerados viáveis. Os custos máximos que viabilizam os projetos são os que resultam em VPL igual a zero. Abaixo desses custos, todo VPL é positivo e os projetos podem ser considerados viáveis.

Para encontrar tais valores de custos máximos ou preços mínimos, foi utilizada uma função do Excel, na barra de ferramentas. A função se chama Atingir Meta. Conforme a Figura 34, o primeiro campo a ser preenchido é a célula onde está o valor resposta que quero corrigir (no caso, o VPL). No segundo campo é digitada a meta a ser alcançada (digita-se o número zero). E no último campo é selecionada a célula onde está a variável que se deseja calcular (cada um dos parâmetros, individualmente).

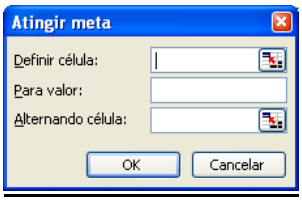


Figura 34 – Função do Excel para atingir meta

4.6 Análise de Cenários

Os resultados das análises de sensibilidade são válidos quando apenas a variável crítica em questão é modificada. Diante das variáveis críticas definidas serão realizadas análises de cenários para os quais serão identificados os preços mínimos de biodiesel que tornem as plantas viáveis. Para esse cálculo será utilizada a função Atingir Meta, do software Excel, conforme apresentado no item 4.6.

Será realizada também uma simulação da planta de hidroesterificação utilizando, como matéria prima, além de óleo vegetal e gordura animal, o ácido graxo e o óleo de fritura usado, conforme as proporções da Tabela 31.

Tabela 31– Composição da matéria prima para planta de hidroesterificação

	Óleo Vegetal	**Gordura Animal**	**Ácido Graxo**	**Óleo de Fritura**
Hidroesterificação C	45%	30%	20%	5%

Para essa planta de hidroesterificação completa, utilizou-se o termo Hidroesterificação C e todos os cálculos de custos, receitas, VPL e demais indicadores foram realizados utilizando as mesmas fórmulas apresentadas anteriormente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Avaliação Econômica

Inicialmente foram projetadas as demonstrações de resultado, partindo das estimativas de vendas, custos fixos e variáveis, investimento fixo, e capital de giro. As plantas iniciam as operações de vendas a partir do Ano 1, de acordo com a tabela 11, com uma produção média de 77% da capacidade total das mesmas. A partir do Ano 2 as plantas já operam em plena capacidade. Um resumo dos percentuais sobre vendas líquidas é apresentado na Tabela 32. As demonstrações completas de resultados das plantas podem ser verificadas nas Tabelas 33 e 34.

Tabela 32 – Percentuais sobre vendas líquidas

Demonstração de Resultados	**% sobre Vendas Líquidas (Ano 10)**	
	Transesterificação	**Hidroesterificação**
Vendas líquidas	**100%**	**100%**
(-) Despesas Operacionais	**88,9%**	**88,6%**
Matéria Prima	81,6%	82,5%
Óleo vegetal	42,9%	43%
Sebo Bovino	34,8%	35%
Metanol	3,9%	4,5%
Insumos	3,6%	1,1%
Despesas com Pessoal	0,2%	0,2%
Utilidades (água, luz e outros)	2,6%	3,9%
Despesas gerais (manutenção)	0,9%	0,9%
EBITDA	**11,1%**	**11,4%**
(-) Depreciação	**2,1%**	**2,1%**
(-) Encargos financeiros (juros)	**0,2%**	**0,2%**
Lucro Operacional (após encargos)	**8,8%**	**9,0%**
(-) Imposto de Renda	**3,0%**	**3,1%**
Lucro (prejuízo) líquido	**5,7%**	**5,9%**

Em ambas as plantas, aproximadamente 89% das vendas líquidas são utilizadas em despesas operacionais, sendo representadas principalmente pelos custos de matéria prima.

O percentual de metanol é menor no processo de transesterificação, pois a outra parcela está incluída na solução do catalisador. Os insumos, utilizados na transesterificação, para pré-tratamento, purificação do biodiesel e da glicerina e catálise da reação, representam 3,6% das vendas líquidas. Já o processo de transesterificação que utiliza como insumo apenas o catalisador, possui 1,1% de representação. Quanto aos custos com utilidades, a hidroesterificação possui os valores mais altos por demandar maiores consumos devido às temperaturas e pressões do processo.

As demais variações entre os percentuais de despesas operacionais entre os processos são observadas, uma vez que o valor líquido de vendas (vendas deduzidas dos impostos) também é diferente entre os processos. Isso pode ser verificado nas Tabelas 39 e 40 e ocorre, pois o valor dos impostos a ser deduzido das vendas é menor para a transesterificação já que a mesma possui mais créditos de ICMS e PIS/COFINS devido à maior demanda de insumos.

O lucro operacional, o imposto de renda e o lucro líquido também apresentam variações entre os processos de transesterificação e hidroesterificação, como conseqüência das variações mostradas anteriormente. Por apresentar menor despesa operacional, a planta de hidroesterificação possui maior ganho antes da dedução de depreciação, juros, impostos e amortizações (EBITDA), ou seja, maior lucro tributável e, consequentemente, maior contribuição para o imposto de renda. Desse modo, o lucro líquido obtido pela mesma supera o valor obtido na planta de transesterificação.

Tabela 33 – Demonstração de Resultados da planta de transesterificação

Demonstração de Resultados (mil R$)	**Ano 1**	**Ano 2**	**Ano 3**	**Ano 4**	**Ano 5**	**Ano 6**	**Ano 7**	**Ano 8**	**Ano 9**	**Ano 10**
Vendas brutas	161.792	209.893	209.893	209.893	209.893	209.893	209.893	209.893	209.893	209.893
(-) Impostos sobre vendas	11.939	15.488	15.488	15.488	15.488	15.488	15.488	15.488	15.488	15.488
Vendas líquidas	**149.853**	**194.404**	**194.404**	**194.404**	**194.404**	**194.404**	**194.404**	**194.404**	**194.404**	**194.404**
(-) Despesas Operacionais	**133.379**	**172.901**	**172.901**	**172.901**	**172.901**	**172.901**	**172.901**	**172.901**	**172.901**	**172.901**
Matéria Prima	122.342	158.714	158.714	158.714	158.714	158.714	158.714	158.714	158.714	158.714
Óleo vegetal	64.236	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333
Sebo Bovino	52.192	67.708	67.708	67.708	67.708	67.708	67.708	67.708	67.708	67.708
Metanol	5.914	7.673	7.673	7.673	7.673	7.673	7.673	7.673	7.673	7.673
Insumos	5.394	6.998	6.998	6.998	6.998	6.998	6.998	6.998	6.998	6.998
Despesas com Pessoal	442	442	442	442	442	442	442	442	442	442
Utilidades (água, luz e outros)	3.894	5.052	5.052	5.052	5.052	5.052	5.052	5.052	5.052	5.052
Despesas gerais (manutenção)	1.307	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695
EBITDA	**16.474**	**21.504**	**21.504**	**21.504**	**21.504**	**21.504**	**21.504**	**21.504**	**21.504**	**21.504**
(-) Depreciação	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085
(-) Encargos financeiros (juros)	3.546	3.546	3.152	2.758	2.364	1.970	1.576	1.182	788	394
Lucro Operacional (após encargos)	**8.843**	**13.873**	**14.267**	**14.661**	**15.054**	**15.448**	**15.842**	**16.236**	**16.630**	**17.024**
(-) Imposto de Renda	3.040	4.769	4.905	5.040	5.176	5.311	5.447	5.582	5.718	5.853
Lucro (prejuízo) líquido	**5.803**	**9.103**	**9.362**	**9.620**	**9.879**	**10.137**	**10.396**	**10.654**	**10.913**	**11.171**

Tabela 34 – Demonstração de Resultados da planta de hidroesterificação

Demonstração de Resultados (mil R$)	**Ano 1**	**Ano 2**	**Ano 3**	**Ano 4**	**Ano 5**	**Ano 6**	**Ano 7**	**Ano 8**	**Ano 9**	**Ano 10**
Vendas brutas	161.792	209.893	209.893	209.893	209.893	209.893	209.893	209.893	209.893	209.893
(-) Impostos sobre vendas	12.560	16.294	16.294	16.294	16.294	16.294	16.294	16.294	16.294	16.294
Vendas líquidas	**149.232**	**193.599**	**193.599**	**193.599**	**193.599**	**193.599**	**193.599**	**193.599**	**193.599**	**193.599**
(-) Despesas Operacionais	**132.379**	**171.604**	**171.604**	**171.604**	**171.604**	**171.604**	**171.604**	**171.604**	**171.604**	**171.604**
Matéria Prima	123.119	159.722	159.722	159.722	159.722	159.722	159.722	159.722	159.722	159.722
Óleo vegetal	64.236	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333	83.333
Sebo Bovino	52.192	67.708	67.708	67.708	67.708	67.708	67.708	67.708	67.708	67.708
Metanol	6.691	8.680	8.680	8.680	8.680	8.680	8.680	8.680	8.680	8.680
Insumos	1.696	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200
Despesas com Pessoal	442	442	442	442	442	442	442	442	442	442
Utilidades (água, luz e outros)	5.816	7.546	7.546	7.546	7.546	7.546	7.546	7.546	7.546	7.546
Despesas gerais (manutenção)	1.307	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695
EBITDA	**16.853**	**21.995**	**21.995**	**21.995**	**21.995**	**21.995**	**21.995**	**21.995**	**21.995**	**21.995**
(-) Depreciação	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085
(-) Encargos financeiros (juros)	3.546	3.546	3.152	2.758	2.364	1.970	1.576	1.182	788	394
Lucro Operacional (após encargos)	**9.222**	**14.364**	**14.758**	**15.152**	**15.546**	**15.940**	**16.334**	**16.728**	**17.122**	**17.516**
(-) Imposto de Renda	3.171	4.938	5.074	5.209	5.345	5.480	5.616	5.751	5.886	6.022
Lucro (prejuízo) líquido	**6.051**	**9.425**	**9.684**	**9.943**	**10.201**	**10.460**	**10.718**	**10.977**	**11.235**	**11.494**

A partir da demonstração de resultados foi projetado o fluxo de caixa para cada planta (Tabelas 35 e 36). O investimento total, ligeiramente maior no fluxo de caixa da planta de transesterificação, já inclui o custo de partida da planta e o capital de giro necessário para o início das operações.

Com as projeções de fluxo de caixa foram obtidos índices para a avaliação econômica. O mais comum dentre eles, o valor presente líquido, é apresentado na Tabela 37. Ambos os projetos originam VPL positivo ao final de 10 anos, indicando que seus respectivos valores de mercado são superiores aos seus custos, gerando valor para os proprietários. No entanto, nas condições estudadas, a planta de hidroesterificação cria cerca de 4,1 milhões de reais em valor, quase 50% a mais que o valor gerado pala planta de transesterificação (2,8 milhões de reais) no mesmo período, apresentando assim maior atratividade.

A Figura 35 apresenta o perfil de VPL plotado a diferentes taxas de atratividade, para cada processo. Acima do eixo das abscissas, a área onde os projetos são mais atrativos, o projeto de hidroesterificação mantém-se mais favorável, com maiores valores de VPL para uma mesma taxa mínima de atratividade. Pode-se ainda verificar os valores de TIR nos pontos em que cada linha pontilhada encontra o eixo das abscissas. Em concordância com os resultados já obtidos, a TIR sugere a realização de ambos os projetos, atendendo à premissa de taxa de atratividade mínima de 20%. A TIR do processo de hidroesterificação, nesse caso, supera em 11% esse valor, contando com uma TIR de 22,2%, enquanto a do processo de transesterificação é 21,5%. Ou seja, para cada unidade de real investido, obtém-se R$ 1,22 de retorno no processo de hidroesterificação e R$1,21 no processo de transesterificação.

Tabela 35 – Fluxo de Caixa para planta de transesterificação

Fluxo de Caixa (mil R$)	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Lucro Líquido		5.803	9.103	9.362	9.620	9.879	10.137	10.396	10.654	10.913	11.171
Depreciação		4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085
Investimento Total	(52.214)										
Fluxo de Caixa Operacional	**(52.214)**	**9.888**	**13.188**	**13.447**	**13.705**	**13.964**	**14.222**	**14.481**	**14.740**	**14.998**	**15.257**
Fluxo de Caixa Acumulado	(52.214)	(42.326)	(29.137)	(15.691)	(1.985)	11.979	26.201	40.682	55.422	70.420	85.676

Tabela 36 – Fluxo de Caixa para planta de hidroesterificação

Fluxo de Caixa (mil R$)	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Lucro Líquido		6.051	9.425	9.684	9.943	10.201	10.460	10.718	10.977	11.235	11.494
Depreciação		4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085
Investimento Total	(52.155)										
Fluxo de Caixa Operacional	**(52.155)**	**10.137**	**13.511**	**13.769**	**14.028**	**14.286**	**14.545**	**14.803**	**15.062**	**15.320**	**15.579**
Fluxo de Caixa Acumulado	(52.155)	(42.018)	(28.508)	(14.739)	(711)	13.575	28.120	42.924	57.985	73.306	88.885

Tabela 37- Valor presente líquido

VPL (mil reais)	**Ano 1**	**Ano 2**	**Ano 3**	**Ano 4**	**Ano 5**	**Ano 6**	**Ano 7**	**Ano 8**	**Ano 9**	**Ano 10**
Transesterificação	(43.974)	(34.815)	(27.033)	(20.424)	(14.812)	(10.049)	(6.008)	(2.580)	0327	2.791
Hidroesterificação	(43.708)	(34.325)	(26.357)	(19.592)	(13.851)	(8.980)	(4.849)	(1.346)	1.624	4.140

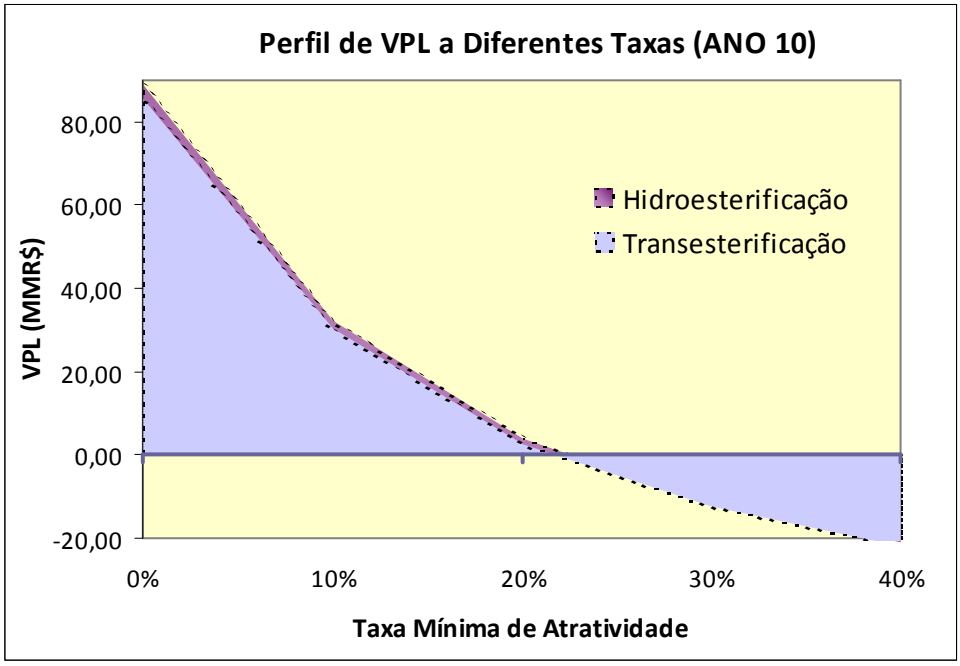


Figura 35 – Perfil de VPL

Da Tabela 44 à 48 são apresentados outros índices com o objetivo de validar o resultado encontrado. O Payback (Tabela 38) mostrou que os fluxos de caixa se igualam ao investimento total no mesmo ano, para as duas plantas. O valor Econômico Agregado (EVA), na mesma tabela, apresenta o retorno monetário, para os investidores, superior na planta de hidroesterificação.

Tabela 38 – Índices para análise de viabilidade econômica

	Transesterificação	**Hidroesterificação**
Payback	4,1 anos	4,1 anos
TIR	21,5%	22,2%
Valor Econômico Agregado (EVA)	R$15 MM	R$16 MM

A margem de lucro, calculada através da equação 25, indica que, no primeiro ano, para o processo de transesterificação, a cada R$1,00 de produto vendido a empresa lucra aproximadamente 3,9 centavos de real, considerando as condições pré-estabelecidas. Para a hidroesterificação esse valor corresponde a

aproximadamente 4,1 centavos, ou seja, 5% superior (Tabela 40). A margem de lucro aumenta a medida que o financiamento é pago, se estabilizando, a partir do Ano 11, em 7,4% para a hidroesterificação e 7,2% para a transesterificação.

As coberturas de juros e caixa, calculados através das Equações 26 e 27, analisam a capacidade da empresa saldar suas obrigações a longo prazo. Na Tabela 46 observa-se que essas obrigações são cobertas 3,5 vezes no Ano 1 e 4,9 vezes no Ano 2, para a transesterificação. Para a hidroesterificação esses valores são 3,6 e 5,1 vezes. A cobertura de caixa (Tabela 41) apresenta valores ainda maiores para a medida de cumprimentos das obrigações financeiras, já que o índice não desconsidera dedução de depreciação (despesa não desembolsavel). No Ano 10 há ainda um pequeno residual antes que empréstimo seja quitado e, por isso, tanto a cobertura de caixa como a cobertura de juros apresentam valores tão superiores às coberturas do primeiro ano. A partir do Ano 11 ambos os índices são zerados, pois a dívida já está quitada.

O EBITDA, calculado pela equação 22, obtido no primeiro ano, sinaliza maior produtividade e eficiência projeto de hidroesterificação para o qual a geração operacional de caixa é de aproximadamente R$17MM, superando em 2,3% o resultado obtido no projeto de transesterificação (Tabela 43). A partir do Ano 2, quando as plantas já operam com 100% da capacidade instalada, os valores de EBITDA se fixam em R$22M para a hidroesterificação e R$21,5M para a transesterificação.

Como os resultados da análise foram muito parecidos para os processos, foi realizada uma simulação considerando o alto valor agregado da glicerina obtida no processo de hidroesterificação, livre de sais e cor. Foram calculados, pelas mesmas equações descritas no capítulo 4, VPL, TIR e EBITDA (Ano 10) da hidroesterificação, tendo como preço da glicerina de alto valor agregado R$900/t. Os índices do processo de transesterificação foram trazidos das Tabelas 33, 37 e

38. Dos resultados (Tabela 39) observa-se que a pureza da glicerina obtida no processo de transesterificação garante VPL mais de 5 vezes maior, TIR 26% superior e EBITDA 21% superior.

Tabela 39 – Índices para glicerina da hidroesterificação com alto valor agregado

	Transesterificação	**Hidroesterificação (Glicerina: R$900/t)**
VPL	R$2.791M	R$14.375M
TIR	21,5%	27%
EBITDA	R$21.405M	R$25.893M

Os índices analisados levam à aceitação de ambos os projetos, com preferência para a tecnologia de hidroesterificação.

Tabela 40 – Margem de lucro

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12
Transesterificação	3,9%	4,7%	4,8%	4,9%	5,1%	5,2%	5,3%	5,5%	5,6%	5,7%	7,2%	7,2%
Hidroesterificação	4,1%	4,9%	5,0%	5,1%	5,3%	5,4%	5,5%	5,7%	5,8%	5,9%	7,4%	7,4%

Tabela 41– Cobertura de juros

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12
Transesterificação	3,5	4,9	5,5	6,3	7,4	8,8	11,1	14,7	22,1	44,2	0,0	0,0
Hidroesterificação	3,6	5,1	5,7	6,5	7,6	9,1	11,4	15,2	22,7	45,5	0,0	0,0

Tabela 42 – Cobertura de caixa

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12
Transesterificação	4,6	6,1	6,8	7,8	9,1	10,9	13,6	18,2	27,3	54,6	0,0	0,0
Hidroesterificação	4,8	6,2	7,0	8,0	9,3	11,2	14,0	18,6	27,9	55,8	0,0	0,0

Tabela 43 – EBITDA (MR$)

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12
Transesterificação	16.474	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504
Hidroesterificação	16.853	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995

5.2 Análise de Sensibilidade

Os resultados obtidos na seção anterior obedecem às premissas definidas no capítulo 4. Porém, caso o mercado sofra modificações, tais resultados podem sofrer alterações a ponto de inviabilizar um ou os dois projetos. Nesse contexto, torna-se imprescindível avaliar o grau de risco das previsões e identificar os componentes mais críticos para o sucesso ou insucesso dos projetos.

Com base nos dados de custos descritos no capítulo 4 e na Tabela 32, podem ser considerados críticos: investimento fixo, preços de matéria prima, produtos e, possivelmente, alguns insumos e utilidades. Os cenários, apresentados na Tabela 44, foram definidos considerando, além do caso mais provável, aqui titulado caso base, também o mais favorável e desfavorável, constituindo melhor caso e pior caso, respectivamente. Cada parâmetro foi estudado isoladamente para a análise de variações de respostas às diferentes perturbações. A Tabela 45 apresenta os resultados dessas análises.

Tabela 44 – Cenários de variáveis críticas

		Pior caso	Caso Base	Melhor caso
Matéria Prima (R$/t)				
A1	Óleo Vegetal	2.300	1.600	1.100
A2	Gordura Animal	1.800	1.300	300
A3	Metanol	950	775	450
Insumos e Utilidades				
A4	Metilato de sódio (R$/t)	3.500	3.080	2.500
A5	Óxido de Nióbio (R$/t)	150.000	110.000	85.000
A6	Vapor (R$/t)	100	87,51	50
Produto				
A7	Biodiesel (R$/litro)	1,65	1,783	1,950
A8	Glicerina (R$/t)	200	450	700
Capital				
A9	Investimento fixo (MR$)	60.000	44.325	28.000
A10	Capital de giro (MR$) Trans	15.000	5.205	1.000
	Hidro		5.027	

Tabela 45 – Análise de Sensibilidade

	Transesterificação			Hidroesterificação		
VPL 10 anos	**Pior**	**Base**	**Melhor**	**Pior**	**Base**	**Melhor**
A1	(93.908)	2.791	57.824	(91.883)	4.140	59.172
A2	(60.610)	2.791	112.856	(58.585)	4.140	114.205
A3	(870)	2.791	9.590	(2)	4.140	11.832
A4	1.164	2.791	5.038			
A5				2.449	4.140	5.196
A6	1.426	2.791	6.890	1.847	4.140	11.026
A7	(32.971)	2.791	47.146	(31.514)	4.140	48.494
A8	(2.896)	2.791	8.477	(1.547)	4.140	9.826
A9	(5.383)	2.791	27.520	(4.069)	4.140	28.834
A10	(6.970)	2.791	7.030	(5.660)	4.140	8.340

Os dados de transesterificação e hidroesterificação de uma mesma variável crítica foram plotados juntos de forma a identificar também a relação entre as sensibilidades das duas tecnologias.

Os insumos (catalisadores metilato de sódio e óxido de nióbio) e utilidade (vapor) analisados, não apresentaram variações importantes às perturbações realizadas. As Figuras 36, 37 e 38 apresentam gráficos com curvas que muito se assemelham a retas com pequenas inclinações, indicando a baixa sensibilidade da variável analisada. Ou seja, ainda que sejam realizadas as perturbações considerando o pior ou o melhor caso, a variável pouco influencia no resultado financeiro do projeto. Além disso, todos os gráficos possuem suas curvas acima do eixo das abscissas, o que significa que para tal intervalo de valores os projetos são viáveis. Por fim, para as perturbações realizadas nas variáveis vapor, metilato de sódio e óxido de nióbio, o processo de hidroesterificação mantém resultados superiores aos obtidos na transesterificação.

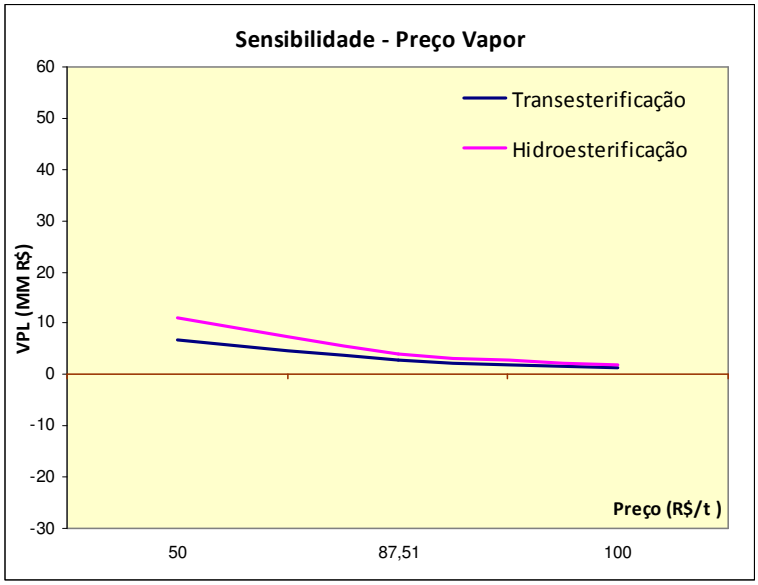


Figura 36 - Sensibilidade do preço do vapor

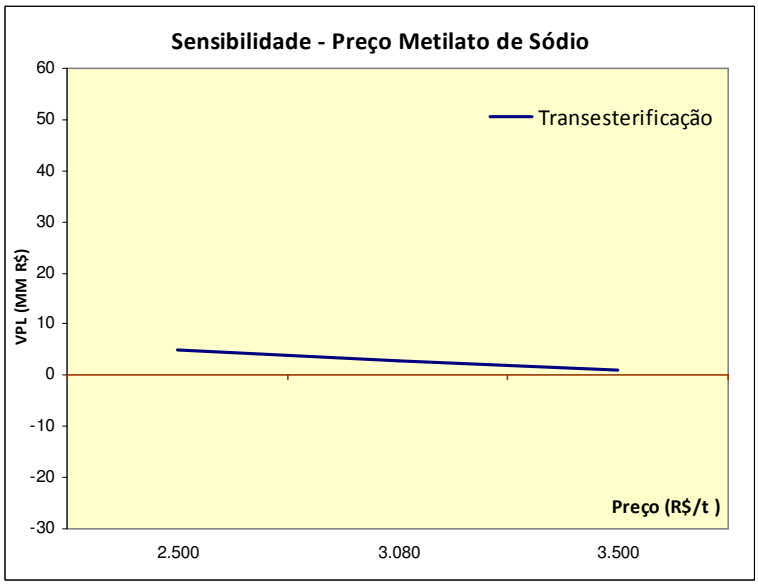


Figura 37 – Sensibilidade do preço do catalisador metilato de sódio

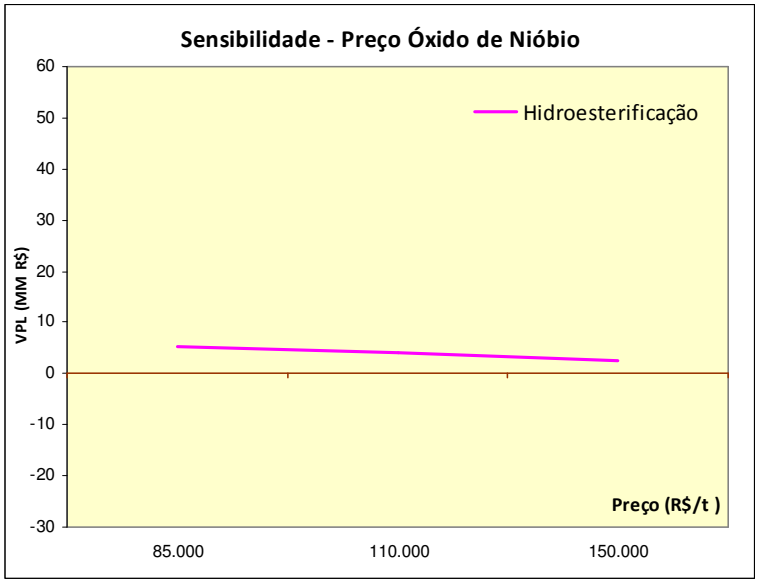


Figura 38 – Sensibilidade do preço do catalisador ácido nióbico

O preço do metanol também se mostrou com baixa sensibilidade apesar de ter apresentado maior variação para o processo de transesterificação devido ao volume de matéria prima utilizada no mesmo (Figura 39). O pior caso apresenta valores de VPL negativos, indicando a inviabilidade do projeto para preços de metanol superiores a R$ 950/t para a hidroesterificação e R$908/t para a transesterificação.

Os piores casos do preço da glicerina e do capital de giro também mostraram resultados indesejáveis. Preços de glicerina abaixo de R$ 327/t na transesterificação e R$ 268/t na hidroesterificação resultaram em valores de VPL abaixo de zero (Figura 40). Gastos, com capital de giro, superiores a R$ 8.030 mil mostram valores de VPL negativos para a transesterificação e R$ 9.340 mil para a hidroesterificação (Figura 41).

Uma análise de similar pode ser feita para investimento fixo que não deve superar R$ 47MM para no projeto de transesterificação e R$ 48MM no projeto de hidroesterificação (Figura 42).

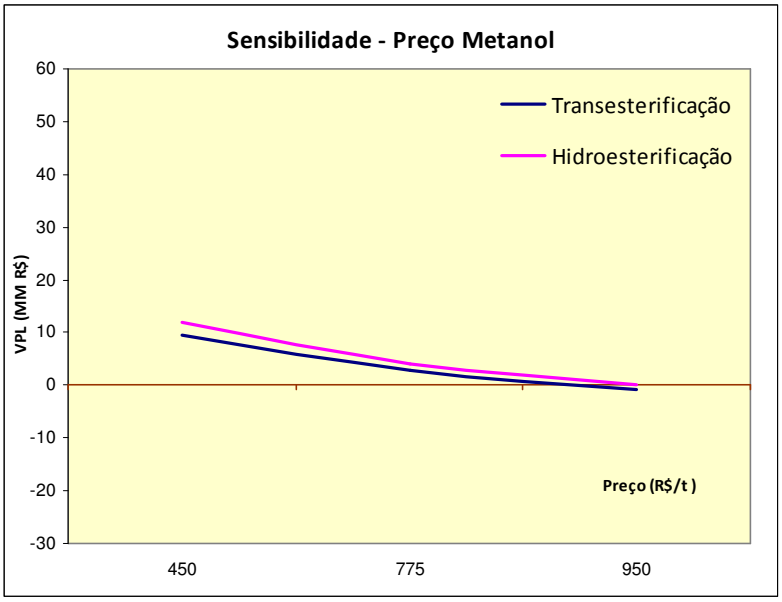


Figura 39 - Sensibilidade do preço do metanol

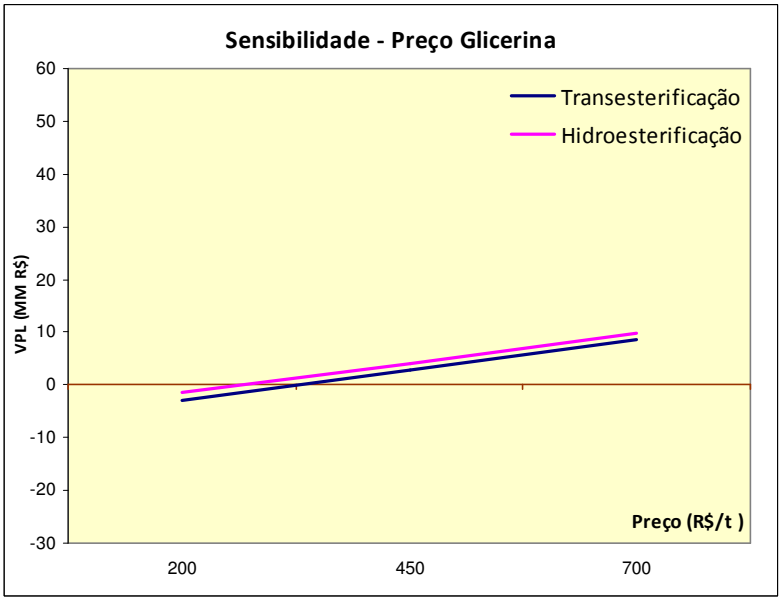


Figura 40 – Sensibilidade do preço da glicerina

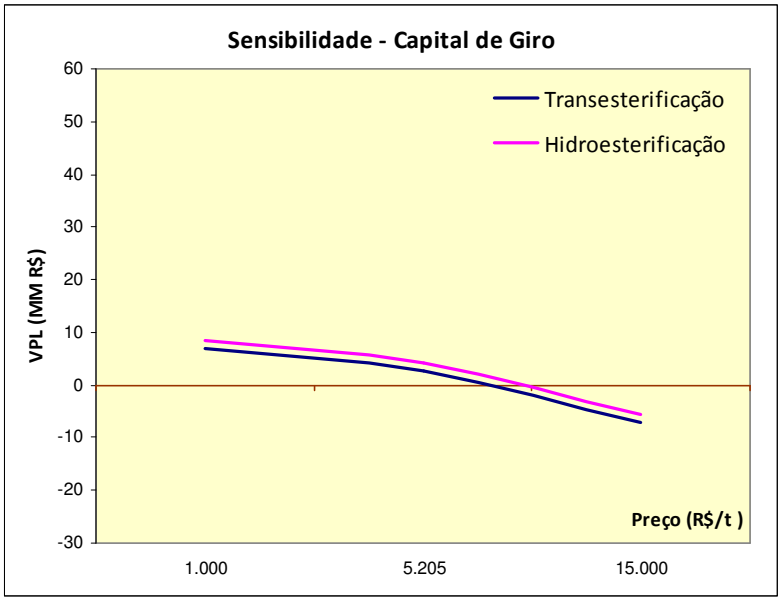


Figura 41 - Sensibilidade do capital de giro

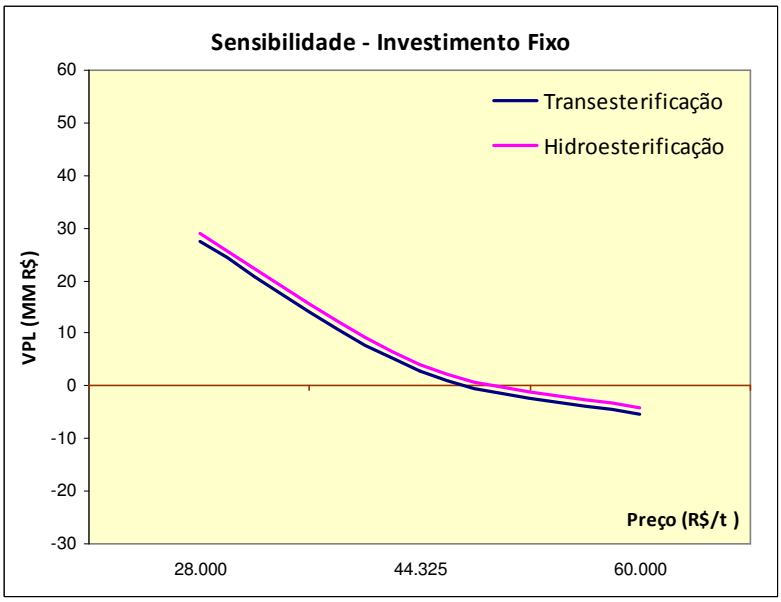


Figura 42 – Sensibilidade do investimento fixo

O preço de venda do biodiesel e os preços de óleo vegetal e gordura animal apresentaram grandes variações ao serem perturbados, tanto no processo de

transesterificação como no processo de hidroesterificação. Pequenas perturbações nessas variáveis causam grandes modificações nos valores de VPL.

Além da alta sensibilidade, preços de biodiesel inferiores a R$1,77/litro nas condições aqui empregadas tornam as plantas de transesterificação e hidroesterificação inviáveis, devido aos valores de VPL negativos (Figura 43).

Incrementos no preço do óleo vegetal interferem intensamente nos resultados financeiros. Valores superiores a R$1.625/t e R$1.638/t podem inviabilizar os projetos de transesterificação e hidroesterificação, respectivamente (Figura 44). Preços de sebo bovino superiores a R$1.325/t e R$1.338/t também inviabilizam o projetos de transesterificação e hidroesterificação, respectivamente (Figura 45).

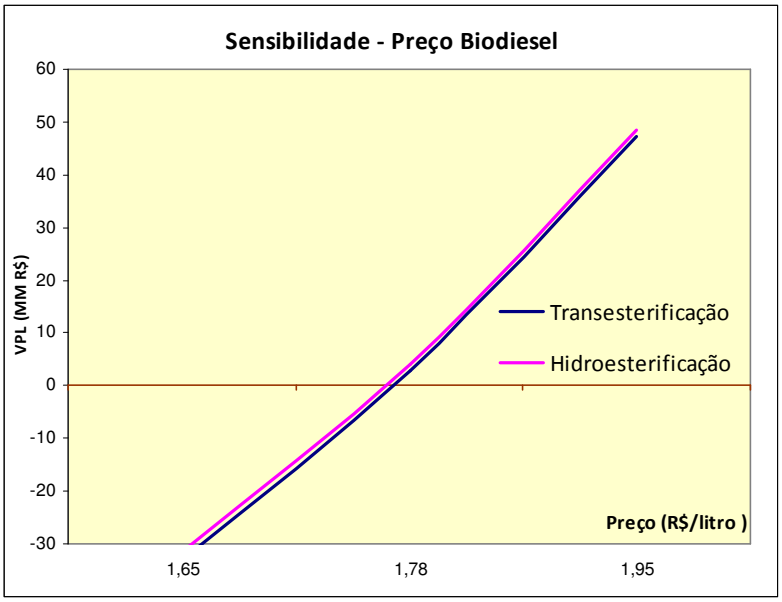


Figura 43 – Sensibilidade do preço de biodiesel

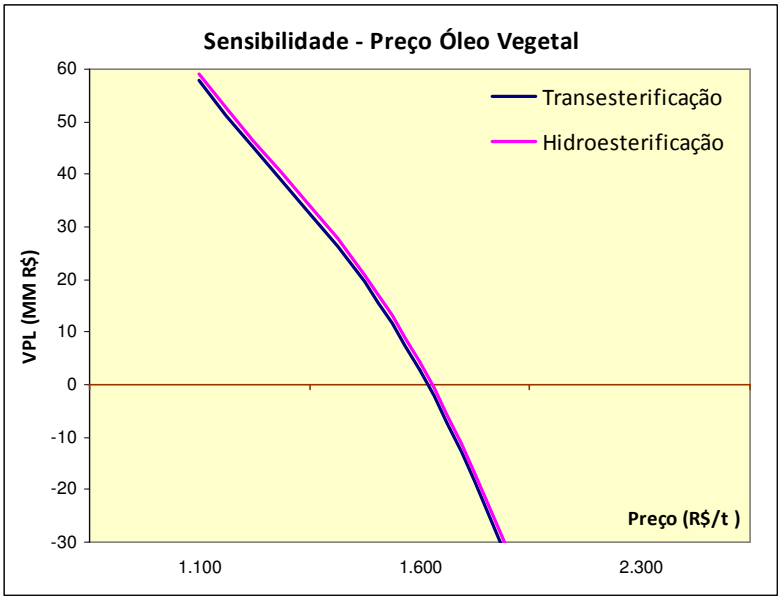


Figura 44 – Sensibilidade do preço do óleo vegetal

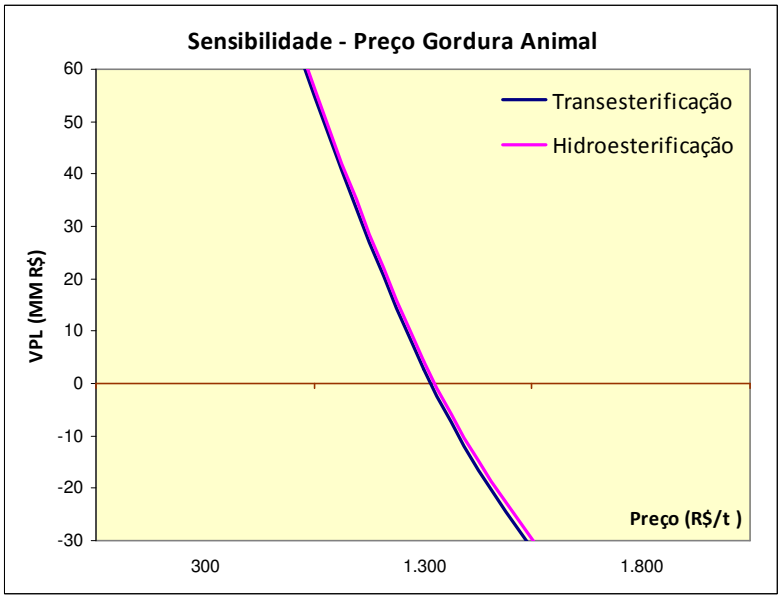


Figura 45 – Sensibilidade do preço da gordura animal

Uma similaridade entre todos os parâmetros analisados é que independente do cenário ser favorável ou desfavorável, a planta de hidroesterificação responde melhor às perturbações que a planta de transesterificação, resultado já esperado uma vez que seu custo operacional total é menor.

Analisando a inclinação dos gráficos, observa-se que a sensibilidade é maior para os preços de biodiesel, sebo bovino e óleo vegetal. Ou seja, uma pequena variação nessas variáveis pode trazer resultados desastrosos para a viabilidade econômica do projeto.

5.3 Análise de Cenários

Uma vez verificada a importância dos preços do óleo vegetal, do sebo bovino e do biodiesel para a viabilidade do negócio, foram estudados 5 cenários de preços de cada matéria prima e os respectivos preços mínimos de venda do biodiesel que garantam a viabilidade das plantas nessas condições. Os resultados são apresentados na Tabela 46 e nas Figuras 46 e 47.

Tabela 46 – Análise de Cenários

	Óleo Vegetal	Preço mínimo de Venda Biodiesel (R$/litro)	
	(R$/t)	Transesterificação	Hidroesterificação
C1	1.100	1,570	1,560
C2	1.300	1,650	1,640
C3	1.600	1,770	1,770
C4	2.000	1,940	1,930
C5	2.300	2,060	2,060
	Sebo Bovino	Preço mínimo de Venda Biodiesel (R$/litro)	
	(R$/t)	Transesterificação	Hidroesterificação
C6	300	1,360	1,350
C7	700	1,520	1,520
C8	1.300	1,770	1,770
C9	1.500	1,860	1,850
C10	1.800	1,980	1,970

Observa-se, no cenário C6, que a queda do preço do sebo bovino pode tornar o biodiesel competitivo com o óleo diesel (R$ 1,36/litro) quando utilizado nas proporções de pelo menos 50% de sebo bovino, tanto no processo de hidroesterificação como no processo de transesterificação. Os demais cenários estudados não se mostraram competitivos frente ao óleo diesel.

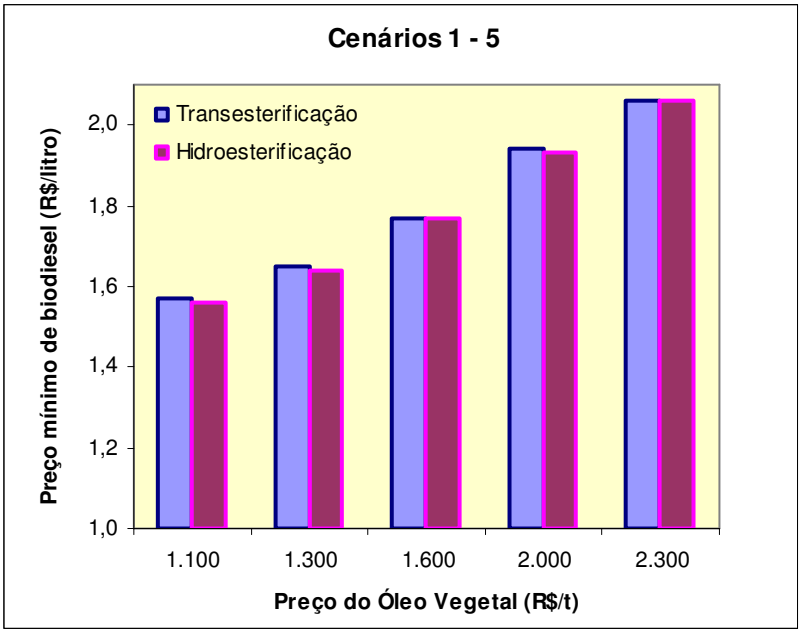


Figura 46 – Preço mínimo de biodiesel para diferentes cenários de preços de óleo vegetal

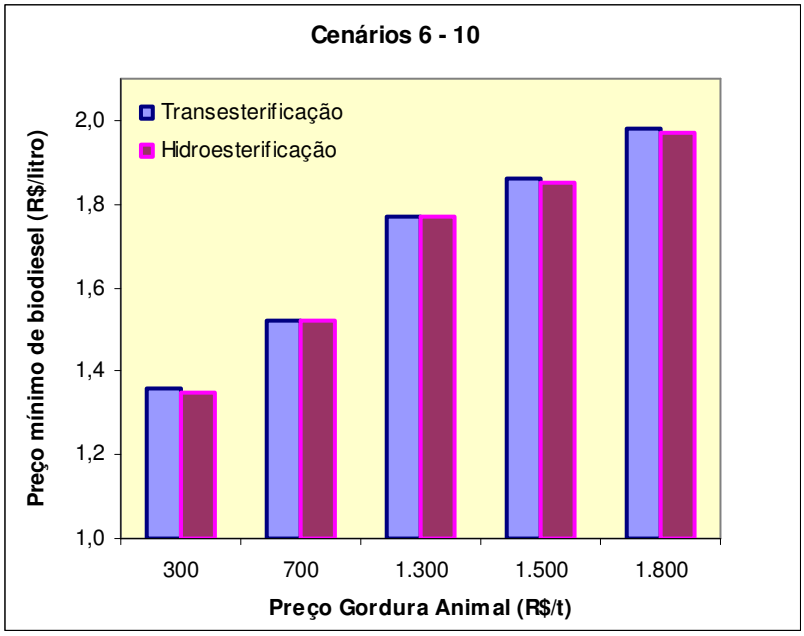


Figura 47 – Preço mínimo de biodiesel para diferentes cenários de preços de gordura animal.

Além da análise de cenários das variáveis críticas, também foram estudados os resultados da utilização das matérias primas ácido graxo e óleo de fritura no processo de hidroesterificação (a transesterificação é restrita quanto à acidez e umidade das matérias primas). A composição das matérias primas, descrita na Tabela 31, constitui-se de 45% de óleo vegetal, 30% de sebo animal, 20% de ácido graxo e 5% de óleo de fritura. As mesmas premissas definidas no capítulo 4 foram utilizadas nesse novo cenário nomeado Hidroesterificação C. As cargas percentuais de produção no Ano 01 seguem a Tabela 11 e o investimento fixo segue à Tabela 12. Os custos com pessoal e manutenção seguem os descritos no capítulo 4. O custo de partida da planta, o capital de giro e demais custos operacionais apresentam valores são diferentes já que a composição da matéria prima é distinta das já simuladas. Os resultados para Hidroesterificação C são apresentados da Tabela 47 à Tabela 62. Alguns dos resultados anteriores dos processos de transesterificação e hidroesterificação utilizando apenas óleo vegetal e sebo bovino são repetidos apenas para facilitar a comparação.

Os custos de partida da planta (Tabela 47) bem como o capital de giro (Tabela 48), possuem valores menores na planta de Hidroesterificação C quando comparada às plantas de transesterificação e hidroesterificação que utilizam apenas óleo vegetal e sebo animal como matéria prima. Além das vantagens de custos operacionais do processo de hidroesterificação que utiliza como insumo apenas o catalisador heterogêneo, dispensando pré-tratamentos da matéria prima ou refinos dos produtos, a utilização de matéria primas de baixo preço, como óleo de fritura usado e ácido graxo, reduz ainda mais os custos operacionais (Tabelas 51, 52 e 55).

Tabela 47 – Custos de Partida das três plantas (MR$)

	Transesterificação	Hidroesterificação	Hidroesterificação C
Custo Variável	2.613	2.593	2.443
Custo Fixo	37	37	37
Total	**2.650**	**2.630**	**2.480**

As receitas (Tabela 48) obtidas no processo de hidroesterificação com ácido graxo na composição da matéria prima são menores que as receitas dos processos de transesterificação e hidroesterificação que possuem apenas óleo vegetal e sebo animal como matérias primas. Isso ocorre porque o ácido graxo não gera glicerina. Em contrapartida, os custos do processo que contempla ácido graxo são mais baixos já que o ácido graxo é mais barato que óleo vegetal e sebo bovino.

Tabela 48 – Custos operacionais e receitas a diferentes cargas de produção no primeiro ano para planta de hidroesterificação C

	Custos e Receitas no Ano 01 (MR$/10 dias de produção no referido mês)											
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Produção	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	100%
Custos	2.450	2.695	2.940	3.185	3.430	3.675	3.920	4.165	4.410	4.655	4.900	4.900
Receita	3.165	3.482	3.798	4.115	4.431	4.748	5.064	5.381	5.697	6.014	6.330	6.330

Tabela 49 – Capital de Giro das três plantas (MR$) (20 dias de produção)

Transesterificação	5.239
Hidroesterificação	5.200
Hidroesterificação C	4.900

O investimento fixo foi considerado idêntico ao apresentado no capítulo 4. Com capital de giro e custo de partida de plantas mais baixos, o investimento total se torna menor que os estudados nos processos anteriores (Tabela 50).

Tabela 50 – Investimento das três plantas (MR$)

	Transesterificação	Hidroesterificação	Hidroesterificação C
Investimento Fixo	44.325	44.325	44.325
Custo de Partida de Planta	2.650	2.630	2.480
Capital de Giro	5.239	5.200	4.900
Total	**52.126**	**51.859**	**51.705**

Com o investimento total menor e o financiamento pelo BNDES no mesmo valor, o capital próprio a ser investido na planta de hidroesterificação que utiliza também ácido graxo e óleo de fritura usado é menor que dos outros dois processos (Tabela 51).

Tabela 51– Estrutura Capital (MR$) das três plantas

	Transesterificação	Hidroesterificação	Hidroesterificação C
Investimento fixo	44.325	44.325	44.325
BNDES (80% Investimento fixo)	35.460	35.460	35.460
Capital Próprio	16.754	16.695	16.245

Tabela 52 – Preços (R$/t) e consumos (kt/ano) de matéria prima das três plantas

	Matéria Prima	Preço	Transesterificação	Hidroesterificação	Hidroesterificação C
mp1	Óleo Vegetal	1.600	52	52	47
mp2	Gordura Animal	1.300	52	52	31
mp3	Ácido Graxo	1000			21
mp4	Óleo de Fritura Residual	900			5
	Total		**104**	**104**	**105**
mp5	Metanol	775	9,9	11,2	11,2

* referente à produção anual e 100 mil toneladas biodiesel

Tabela 53 - Preços (R$/t) e consumo (t/ano) dos insumos das três plantas

	Insumos	Preço	Transesterificação	Hidroesterificação	Hidroesterificação C
mp6	CH_3ONa	3.080	1.833		
mp7	Ácido Fosfórico	1343	100		
mp8	Ácido Cítrico	2.141	65		
mp9	HCl	857	800		
mp10	Soda Cáustica	895	421		
mp11	H_2SO_4	832	20		
mp12	Óxido de Nióbio	110.000		20	20

* referente à produção anual de 100 mil toneladas biodiesel

Os consumos de utilidades na planta de Hidroesterificação C são idênticos ao consumo da planta de hidroesterificação operando apenas com óleo vegetal e sebo bovino (Tabela 54).

Tabela 54 - Preços e consumo de utilidades das três plantas

Utilidades	Preço	Transesterificação	Hidroesterificação	Hidroesterificação C
Água de processo		5.380 t/ano	20.833 t/ano	20.833 t/ano
Água de resfriamento	R$ 1,04 / t	140 t/ano	500 t/ano	500 t/ano
Energia Elétrica 60 HZ	R$ 0,25 / kwh	2.150 kWh/ano	39.048 kWh/ano	39.048 kWh/ano
Vapor de 15kgf/cm²	R$ 87,51 / t	40.908 t/ano	68.724 t/ano	68.724 t/ano
Ar de instrumento	R$ 0,109 / Nm³h	1.049 Nm³h/ano	2.000 Nm³h/ano	2.000 Nm³h/ano
Nitrogênio	R$ 2,907 / m³	500.000 m³/ano	500.000 m³/ano	500.000 m³/ano

(referente à produção anual e 100 mil toneladas biodiesel)

Tabela 55 – Percentuais sobre vendas líquidas das três plantas (Ano 10)

Demonstração de Resultados	Transesterificação	Hidroesterificação	Hidroesterificação C
Vendas líquidas	**100%**	**100%**	**100%**
(-) Despesas Operacionais	**88,9%**	**88,6%**	**84,8%**
Matéria Prima	**81,6%**	**82,5%**	**78,6%**
Óleo vegetal	42,9%	43%	39,3%
Sebo Bovino	34,8%	35%	21,3%
Ácido Graxo	0%	0%	10,9%
Óleo de Fritura	0%	0%	2,5%
Metanol	3,9%	4,5%	4,6%
Insumos	**3,6%**	**1,1%**	**1,2%**
Despesas com Pessoal	**0,2%**	**0,2%**	**0,2%**
Utilidades (água, luz e outros)	**2,6%**	**3,9%**	**4,0%**
Despesas gerais (manutenção)	**0,9%**	**0,9%**	**0,9%**
EBITDA	**11,1%**	**11,4%**	**15,2%**
(-) Depreciação	2,1%	2,1%	**2,1%**
(-) Encargos financeiros (juros)	0,2%	0,2%	**0,2%**
Lucro Operacional (após encargos)	8,8%	9,0%	12,9%
(-) Imposto de Renda	3,0%	3,1%	4,4%
Lucro (prejuízo) líquido	**5,7%**	**5,9%**	**8,4%**

Na Tabela 55, além das diferenças entre os processos de Hidroesterificação e Hidroesterificação C em relação à matéria prima, as demais variações ocorrem devido às vendas liquidas e brutas (Tabela 56) serem diferentes das receitas dos processos de transesterificação e hidroesterificação.

Tabela 56 – Demonstração de resultados da planta de hidroesterificação C

Demonstração de Resultados (mil R$)	**Ano 1**	**Ano 2**	**Ano 3**	**Ano 4**	**Ano 5**	**Ano 6**	**Ano 7**	**Ano 8**	**Ano 9**	**Ano 10**
Vendas brutas	161.029	208.903	208.903	208.903	208.903	208.903	208.903	208.903	208.903	208.903
(-) Impostos sobre vendas	14.018	18.186	18.186	18.186	18.186	18.186	18.186	18.186	18.186	18.186
Vendas líquidas	**147.011**	**190.716**	**190.716**	**190.716**	**190.716**	**190.716**	**190.716**	**190.716**	**190.716**	**190.716**
(-) Despesas Operacionais	**124.751**	**161.708**	**161.708**	**161.708**	**161.708**	**161.708**	**161.708**	**161.708**	**161.708**	**161.708**
Matéria Prima	115.491	149.826	149.826	149.826	149.826	149.826	149.826	149.826	149.826	149.826
Óleo vegetal	57.813	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000	75.000
Sebo Bovino	31.315	40.625	40.625	40.625	40.625	40.625	40.625	40.625	40.625	40.625
Ácido Graxo	16.059	20.833	20.833	20.833	20.833	20.833	20.833	20.833	20.833	20.833
Óleo de Fritura	3.613	4.688	4.688	4.688	4.688	4.688	4.688	4.688	4.688	4.688
Metanol	6.691	8.680	8.680	8.680	8.680	8.680	8.680	8.680	8.680	8.680
Insumos	1.696	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200
Despesas com Pessoal	442	442	442	442	442	442	442	442	442	442
Utilidades (água, luz e outros)	5.816	7.546	7.546	7.546	7.546	7.546	7.546	7.546	7.546	7.546
Despesas gerais (manutenção)	1.307	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695	1.695
EBITDA	**22.259**	**29.008**	**29.008**	**29.008**	**29.008**	**29.008**	**29.008**	**29.008**	**29.008**	**29.008**
(-) Depreciação	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085	4.085
(-) Encargos financeiros (juros)	3.546	3.546	3.152	2.758	2.364	1.970	1.576	1.182	788	394
Lucro Operacional (após encargos)	14.628	21.377	21.771	22.165	22.559	22.953	23.347	23.741	24.135	24.529
(-) Imposto de Renda	5.029	7.349	7.485	7.620	7.756	7.891	8.027	8.162	8.298	8.433
Lucro (prejuízo) líquido	**9.599**	**14.028**	**14.286**	**14.545**	**14.803**	**15.062**	**15.320**	**15.579**	**15.837**	**16.096**

Tabela 57- Valor Presente Líquido das três plantas

VPL (mil reais)	**Ano 1**	**Ano 2**	**Ano 3**	**Ano 4**	**Ano 5**	**Ano 6**	**Ano 7**	**Ano 8**	**Ano 9**	**Ano 10**
Transesterificação	(43.974)	(34.815)	(27.033)	(20.424)	(14.812)	(10.049)	(6.008)	(2.580)	0.327	2.791
Hidroesterificação	(43.708)	(34.325)	(26.357)	(19.592)	(13.851)	(8.980)	(4.849)	(1.346)	1.624	4.140
Hidroesterificação C	(40.302)	(27.723)	(17.092)	(8.108)	(517)	5.896	11.311	15.885	19.746	23.005

Tabela 58 – Margem de lucro das três plantas

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12
Transesterificação	3,9%	4,7%	4,8%	4,9%	5,1%	5,2%	5,3%	5,5%	5,6%	5,7%	7,2%	7,2%
Hidroesterificação	4,1%	4,9%	5,0%	5,1%	5,3%	5,4%	5,5%	5,7%	5,8%	5,9%	7,4%	7,4%
Hidroesterificação C	6,5%	7,4%	7,5%	7,6%	7,8%	7,9%	8,0%	8,2%	8,3%	8,4%	9,9%	9,9%

Tabela 59 – Cobertura de juros das três plantas

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12
Transesterificação	3,5	4,9	5,5	6,3	7,4	8,8	11,1	14,7	22,1	44,2	0,0	0,0
Hidroesterificação	3,6	5,1	5,7	6,5	7,6	9,1	11,4	15,2	22,7	45,5	0,0	0,0
Hidroesterificação C	5,1	7,0	7,9	9,0	10,5	12,7	15,8	21,1	31,6	63,3	0,0	0,0

Tabela 60 – Cobertura de caixa das três plantas

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12
Transesterificação	4,6	6,1	6,8	7,8	9,1	10,9	13,6	18,2	27,3	54,6	0,0	0,0
Hidroesterificação	4,8	6,2	7,0	8,0	9,3	11,2	14,0	18,6	27,9	55,8	0,0	0,0
Hidroesterificação C	6,3	8,2	9,2	10,5	12,3	14,7	18,4	24,5	36,8	73,6	0,0	0,0

Tabela 61 – EBITDA das três plantas

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12
Transesterificação	16.474	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504	21.504
Hidroesterificação	16.853	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995	21.995
Hidroesterificação C	22.259	29.008	29.008	29.008	29.008	29.008	29.008	29.008	29.008	29.008	29.008	29.008

Tabela 62 – Índices para análise de viabilidade econômica das três plantas

	Transesterificação	Hidroesterificação	Hidroesterificação C
Payback	4,1 anos	4,1 anos	3,1 anos
TIR	21,5%	22,2%	32%
Valor Econômico Agregado (EVA)	R$15 MM	R$16 MM	R$23 MM

Todos os projetos originam VPL positivo ao final de 10 anos, gerando valor para os proprietários. A planta de hidroesterificação C cria cerca de R$ 23 MM em valor, 8,2 vezes mais que o valor gerado pela planta de transesterificação no mesmo período e 5,8 vezes mais que a planta de hidroesterificação. Dessa forma, a planta de hidroesterificação C apresenta maior atratividade.

A margem de lucro, calculada através da equação 25, indica que, no primeiro ano, para o processo de Hidroesterificação C, a cada R$ 1,00 de produto vendido a empresa lucra aproximadamente 6,5 centavos de real, ou seja, 58% e 67% superior às margens de lucro dos processos simples de hidroesterificação e transesterificação (Tabela 58). A margem de lucro, a partir do Ano 11, se estabiliza no valor de 9,9% para a Hidroesterificação C.

A capacidade da empresa em saldar suas obrigações a longo prazo é observada nas Tabelas 59 e 60. Essas obrigações são cobertas, através da cobertura de juros, 5,1 vezes no Ano 1 para a hidroesterificação C, superando em 46% e 42% respectivamente essa capacidade nos processos de transesterificação e hidroesterificação que utilizam apenas óleo vegetal e sebo bovino como matérias primas. Cobertura de caixa apresenta valores de 6,3 para a hidroesterificação, superando em 37% e 31% os processos de transesterificação e hidroesterificação, respectivamente. A partir do Ano 11 ambos os índices são zerados, pois a dívida já está quitada.

O EBITDA (Tabela 61) obtido no primeiro ano sinaliza geração operacional de caixa de aproximadamente R$ 22 MM, superando em 35% o resultado obtido no projeto de transesterificação e 32% o resultado obtido na hidroesterificação. A partir do Ano 2, quando as plantas já operam com 100% da capacidade instalada, os valores de EBITDA se fixam em R$ 29 MM para a hidroesterificação C.

Para a planta de hidroesterificação C o Payback (Tabela 62) mostrou que os fluxos de caixa se igualam ao investimento total antes dos fluxos dos processos

de transesterificação e hidroesterificação (3,1 anos ao invés de 4,1). O valor Econômico Agregado (EVA), na mesma tabela, apresenta retorno monetário, para os investidores, superior na planta de hidroesterificação C.

Em concordância com os resultados já obtidos, a TIR (Tabela 62) sugere a realização de todos os projetos, com preferência para o processo de hidroesterificação C que obteve um valor de TIR de 32%, superando os demais processos em 49% e 44% (hidroesterificação e transesterificação).

Os índices analisados levam à aceitação dos três projetos, com preferência para a tecnologia de hidroesterificação utilizando como matéria prima óleo vegetal, sebo animal, ácido graxo e óleo de fritura usado.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Apesar de ser tão dependente do custo da matéria-prima, a escolha do processo de obtenção de biodiesel pode influenciar significativamente a viabilidade do projeto. A hidroesterificação apresenta vantagens não apenas pela possibilidade do uso de matérias-primas mais baratas, mas também pelo menor custo com insumos.

Mais de 85% das receitas líquidas de vendas da planta de biodiesel, seja pelo processo de transesterificação ou pelo processo de hidroesterificação, referem-se a gastos operacionais. O processo de hidroesterificação por utilizar como insumo apenas o catalisador heterogêneo, e dispensar pré-tratamentos da matéria prima ou refinos dos produtos, possui vantagens de custos operacionais, além de aceitar a utilização de matéria primas de baixo preço, como óleo de fritura usado e ácido graxo. A planta de 100kton/ano de biodiesel obtido por transesterificação, utilizando 50% de óleo vegetal e 50% de sebo animal, apresenta-se com custos operacionais 4% (em relação em relação às vendas líquidas) maiores quando comparados com os custos do processo de hidroesterificação que utiliza além de óleo vegetal e gordura animal, também ácido graxo e óleo de fritura usado.

Através da análise de índices tais como VPL, TIR, e margem de lucro, conclui-se que os três projetos estudados são viáveis dentro de premissas razoáveis de custos de matéria-prima e venda de produtos. De toda forma cabe ressaltar que a planta de hidroesterificação utilizando óleo vegetal, sebo bovino, ácido graxo e óleo de fritura usado, apresenta resultados mais favoráveis em todas as análises. Em seguida o melhor desempenho é da planta de hidroesterificação que utiliza apenas óleo vegetal e sebo bovino. Por fim, e com valores mais baixos, porém muitos similares à ultima, está a transesterificação utilizando óleo vegetal e sebo animal. Dentre os principais resultados obtidos

pelo processo de hidroesterificação das quatro matérias primas e o processo de transesterificação, estão:

- VPL de R$ 23 milhões, ou 8,2 vezes o valor gerado pala planta de transesterificação
- TIR de 32%, contra 21,5% da transesterificação
- Margem de lucro é 67% superior à margem da transesterificação
- EBITDA 35% superior à da transesterificação

Logicamente, tais resultados não são absolutos e estão sujeitos a modificações devido a perturbações do mercado.

Preços de utilidades e insumos não apresentaram grande sensibilidade às possíveis perturbações de mercado. O mesmo vale para glicerina, investimento fixo, capital de giro.

No entanto, variáveis tais como preço de biodiesel, e preços de óleo de soja e sebo bovino, ao serem perturbadas isoladamente, apresentaram maiores variações de sensibilidade nos resultados financeiros.

Foi observado que o preço de venda do biodiesel, e os preços de óleo vegetal e gordura animal são os fatores críticos para o sucesso das plantas e foram obtidos os preços mínimos de biodiesel para vários cenários de preços de óleo vegetal e gordura animal.

Conclui-se de forma sumária que os projetos estudados são viáveis nas condições atuais de mercado, e que o processo de hidroesterificação é, sem dúvida, mais atrativo do que o processo de transesterificação.Os fatores críticos para o sucesso do empreendimento são: preço de biodiesel, preço de óleo vegetal e preço de sebo bovino.

Durante a realização deste trabalho, alguns aspectos não foram abordados por limitações de tempo e serão levados como sugestões para futuros trabalhos,

contribuindo para o enriquecimento nesta área. Dentre as sugestões acerca deste assunto estão:

- Avaliar Economicamente a rota etílica. Comparar a viabilidade das rotas etílicas e metílica.

- Estudar a viabilidade econômica de uma planta de biodiesel desde a originação da matéria prima, passando pelos custos agrícolas e pela extração de óleo.

REFERÊNCIAS

1 D.O.U. de 14.01.2005. *Lei nº 11.097/2005,* disponível em http://www.planalto.gov.br, último acesso em janeiro de 2007

2 D.O.U. de 09.12.2004. *Resolução ANP n° 42 de 24/11/2004*, disponível em http://www.anp.gov.br, último acesso em janeiro de 2007

3 Portal da Associação Americana de Biodiesel, *http://www.biodiesel.org*, último acesso em outubro de 2007

4 Grupo de trabalho Interministerial, *A Viabilidade de Utilização de óleo Vegetal - Biodiesel como fonte Alternativa de Energia*, Relatório Final - Anexo III. Brasília, 2003

5 Parlamento e Conselho Europeu, *Lei Directiva 2003/30/CE*, 8 de maio de 2003, disponível no portal http://www.ebb-eu.org, último acesso em fevereiro de 2007

6 Portal Biodiesel Logic, *http://www.biodiesellogic.com,* último acesso em agosto de 2007

7 ALTÝNA, Recep; ÇETINKAYA , Selim; YÜCESUC, Hüseyin Serdar. *The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines.* Energy Conversion and Management, Volume 42, Issue 5 , March 2001, 529-538

8 FERRARI, Roseli Aparecida; OLIVEIRA, Vanessa da Silva; SCABIO, Ardalla. *Biodiesel de soja – taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização*

físicoquímica e consumo em gerador de energia. Ponta Grossa - PR, 2005. Química Nova, Vol. 28, No. 1, 19-23

9 MA, F.; HANNA, M.A., *Biodiesel production: a review*, Bioresource Technology 70, 1999, 1-15.

10 O Biodiesel e a inclusão social. Brasília: Câmara dos deputados, Coordenação de Publicações, Série de estudos científicos e tecnológicos, n.1, 2003. 1-24 ISBN 85-7365-339-6

11 KNOTHE, G., *Perspectivas históricas de los combustibles diesel basados em aceites vegetales*, Revista A&G, 47, Tomo XII, No. 2, 2001

12 Núcleo de Assuntos Estratégicos do Presidente da República, *Cadernos NAE* , número 2, Julho de 2004, Brasília

13 MME/EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2007/2016*. Brasília: MME/EPE, 2007. Disponível em http://www.mme.gov.br

14 SEBRAE, Leilões garantem mercado para a agricultura familiar, Revista SEBRAE Agronegócios, nº 5, julho de 2007

15 CARVALHO, L. C., *Política Nacional para o Biodiesel*, apresentação em Salão Nacional dos Territórios Rurais, 29.11.2006, Brasília

16 EIA/DOE, 2005. *International Energy Outlook 2005.* Disponível em http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html.

17 Ministério de Minas e Energia, *Biodiesel. O novo combustível do Brasil. Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel,* Brasília, 2006

18 TANS, Pieter. *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide - Mauna Loa*. NOAA/ESRL. Disponível em http//: www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends, último acesso em setembro de 2007.

19 RICHARDS, A. ; Bernstsen, T. ; BINDOFF N. L. et al. *Intergovermental Panel On Climate Change*, 2007

20 Aranda, D. A. G.; Rosa, L. P.; Oliveira, L. B et al *Geração de Energia a partir de Resíduos do Lixo e Óleos Vegetais: Fontes Renováveis de Energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003

21 Grupo de trabalho Interministerial, *A Viabilidade de Utilização de óleo Vegetal - Biodiesel como fonte Alternativa de Energia*, Relatório final – Cap 4. Brasília, 2003

22 Grupo de trabalho Interministerial, *A Viabilidade de Utilização de óleo Vegetal - Biodiesel como fonte Alternativa de Energia*, Relatório final – Cap 5. Brasília, 2003

23 United States Environmental Protection Agency, *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions, Draft Technical Report.*, Washington, 2002

24 PACHECO, F.; Biodiesel: será o combustível do futuro? Bahia: Conjuntura e Planejamento, SEI BA, 2003

25 *Protocolo de Quioto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima,* disponível em: *http://www2.mre.gov.br*, último acesso em fevereiro de 2007

26 EMBRAPA, Plano *Nacional de Agroenergia 2006-2011*, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia. 2. ed. rev. - Brasília, DF, 2006

27 Portal Carbon Market Consulting , *http://www.carbonmarket.com.br*, último acesso em setembro de 2007

28 Portal biodieselbr, *http://www.biodieselbr.com*, último acesso em outubro de 2007

29 Portal oficial do governo federal sobre o programa nacional de biodiesel, *http://www.biodiesel.gov.br*, último acesso em setembro de 2006

30 CAMPANHOLA, Clayton. *Novos significados e desafios*. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 1-51. Disponível em http://www.embrapa.com.br, último acesso em junho de 2007

31 MARQUES, E. S. *O estado da arte da agricultura brasileira.* Rio de Janeiro, Secretaria de Política Agrícola, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2004. Disponível em http://www.bndes.gov.br, último acesso em agosto de 2007.

32 SEBRAE, *Cartilha Biodiesel.* 2007, 1-59, disponível em http://www.biodiesel.gov.br/, último acesso em junho de 2007

33 BILICH, Feruccio; DASILVA, Ricardo. *Análise da produção de biodiesel utilizando multicriterio.* 1º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel, 2006. Disponível em http://www.rbb.ba.gov.br, último acesso em agosto de 2007

34 ABREU, F.R ; LIMA, D.G ; HAMÚ, E.H.; et al; Utilization of metal complexes as catalysts in the transesterification of brazilian vegetable oils with different alcohols. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical 209, 2004

35 Portal Abiove disponível em *http://www.abiove.com.br*, último acesso em setembro de 2007

36 PARENTE, E.J., Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza, TECBIO, 2003, 1-66

37 RODRIGUES, K. F. ; FRAGA, A. C. ; CASTRO NETO, P. ; MACIEL, A. J. S.; LOPES, O. C. *POTENCIALIDADE DA GORDURA DE FRANGO COMO MATÉRIA*. In: II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 2005, Varginha, MG. Anais do II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 2005. v. I. p. 847-851.

38 BRANDÃO, K. S. R. ; MOURA, K. M. ; SILVA, F. C. ; SOUZA, A. G. ; CONCEIÇÃO, M. M. da . *Estabilidade térmica do sebo bovino e do biodiesel metílico e caracterização fisico-química.* Revista Biodiesel, v. 13, p. 34-36, 2007.

39 Revista biodieselbr. Ano 1, n1, outubro de 2007, Curitiba, p. 9,18.

40 SAMPAIO, A.G., *Reaproveitamento de óleos e gorduras residuais de frituras: tratamento das matérias-primas para a produção de biodiesel*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento regional e meio ambiente)- Universidade Estadual de Santa Cruz, Bahia, 2003

41 ARANDA, D. A. G.; FAGUNDES, M. V. M. ; OLIVEIRA, L. B. ; VIEIRA, E. C.; *Processo para Extração e Esterificação Catalítica dos Ácidos Graxos Presentes na Escuma de Esgoto* - PI0301254-9. 2003

42 Xue, F., Zhang, X., Luo, H., Tan, T.; *A new method for preparing raw material for biodiesel production,* Process Biochemistry. 2006. v. 41, p. 1699-1702.

43 ARANDA, D. A. G., *Produção de ácidos graxos catalisada por lipases não purificadas de sementes ou frutos vegetais para subsequente esterificação por catálise ácida* - PI 0603824-7, 2006.

44 ARANDA, D. A. G; ANTUNES, O. A. C.; *Processo Catalítico para Esterificação de Ácidos Graxos* - PI0500333-4. 2005

45 ARANDA, D. A. G.; *Processo para a produção de Biodiesel a partir da esterificação de Ácidos Graxos Livres* - PI0500417-9. 2005

46 GONÇALVES, Raquel G ; CARVALHO, Leonard Guimarães ; BRITTO, Patricia Pereira ; ARAUJO, Pedro Machado de ; SOUZA, Mariana M V M ; SANTOS, Rafael Thomaz Pergentino ; RODRIGUES, Luciana Camacho ; ARANDA, Donato Alexandre Gomes. *Estudo de catalisadores homogêneos na produção de biodiesel a partir da esterificação de ácidos graxos.* In: 13º Congresso Brasileiro de Catálise / 3º Congresso de Catálise do Mercosul, 2005, Foz do Iguaçu. 1-4.

47 ARANDA, D. A. G.; ANTUNES, O. A. C.; *Catalytic process to the esterification of Fatty Acids Presentes in the Acid Grounds of the Palm Using Acide Solid Catalysts*, 2004

48 CARVALHO, Leonard Guimarães ; CASTOLDI, Márcia Cibele Martins ; CAMACHO, Luciana ; ARANDA, Donato Alexandre Gomes . *Produção de*

Biodiesel a partir de Materiais Graxos. In: 14º Congresso Brasileiro de Catálise, 2007, Porto de Galinhas. Anais do Congresso Brasileiro de Catálise - 2007, 2007.

49 Körbitz, W. *Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect.* Renewable Energy, v. 16, p. 1078-1083, 1999

50 BENDER, M. *Economic feasibility review for community-scale farmer cooperatives for biodiesel.* Biores. Technol., v. 70, p. 81-87, 1999

51 LIMA, L. L.; *Produção de biodiesel a partir de hidroesterificação dos óleos de mamona e soja*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 2007

52 GONÇALVES, J. A.; *Esterificação de Compostos Modelos sobre Ácido Nióbico para Produção de Biodiesel.* Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

53 Grupo de Trabalho Interministerial, *Biodiesel Relatório Final Anexo II Atas das Reuniões do Grupo de Trabalho Interministerial*, Brasília, 2002

54 STERN, R.; HILLION, G.; ROUXEL, J.; LEPORG, S., *Process for the production of esters from vegetable oils or animal oils alcohols*. US patent 5908946, 1999

55 FARIA, Davi. ; PRATES, J. ; SIENRA, R. ; ARANDA, Donato Alexandre Gomes ; LEITE, S. C. ; GOMES, Armando. ; SAPIN, C. ; VIANNA, Natália. M. .

Oportunidades e Desafios da Produção, Comercialização e Utilização do Biodiesel no Brasil e no Mundo. Relatório Setorial, 2006

56 SANTOS, R.; JOÃO, R., SILVA C.; SANTANA, C.; ARANDA, D. A. G.; *Estudo cinético aplicado na obtenção de biodiesel a partir de matérias-primas de baixa acidez*. 14º Congresso Brasileiro de Catálise, Anais do Congresso Brasileiro de Catálise, 2007

57 Sonntag, N.O.V. Reactions of fats and fatty acids. Bailey's industrial oil and fat products, vol. 1, 4th edition, ed. Swern, D., John Wiley & Sons, New York, 1979 p. 99.

58 URIOSTE D.; *Produção de biodiesel por catálise enzimática do óleo de babaçu com álcoois de cadeia curta.* Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Química de Lorena, 2004

59 ARANDA, D.G.; *A diferença entre o H-Bio e o Biodiesel*, 2006. Disponível em: http://mbdobrasil.com.br, último acesso em março de 2007

60 ARANDA, D. A. G.; ROSA, L. P.; OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O.; PIMENTEIRA, C. A. P.; MATTOS, L. B. R.; HENRIQUES, R. M.; MOREIRA, J. R. *Geração de Energia a partir de Resíduos do Lixo e Óleos Vegetais: Fontes Renováveis de Energia no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.

61 Portal Revista Biodiesel, disponível em *http://www.revistabiodiesel.com.br,* último acesso em fevereiro de 2007

62 MONTEIRO, Nehemias ; ARANDA, Donato Alexandre Gomes . O uso do biodiesel no transporte coletivo urbano: Estimativa do mercado potencial para uma mistura B20 no período 2005-2010. Petro & Quimica, v. 1, p. 1, 2006.

63 Portal National Renewable Energy Laboratory, disponível em *http://www.nrel.gov*; último acesso em setembro de 2007

64 Gazzoni, D.; *Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel*. Embrapa Soja, Londrina

65 Portal Svebio, disponível em *http://www.svebio.se*, último acesso em janeiro de 2007

66 GONÇALVES, V L C ; PINTO, B. P. ; MUSGUEIRA, L. ; SILVA, J. C. ; MOTA, Claudio J. A. . *Biogasolina: Produção de Éteres e Ésteres da Glicerina.* In: I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 2006, Brasília. Artigos Técnicos-científicos - coprodutos e produção, 2006. v. II. p. 14-19.

67 CASTOLDI, M. C. M.; NIEMEYER, M. A. L.; CÂMARA, L. D. T.; BORSCHIVER, S.; ARANDA, D. A. G. *The Potential of Brazilian Market in Sorbitol / Mannitol.* Agro-Industry Hi-Tech, v. 6, p. 16-18, 2006.

68 ROBRA, Sabine ; SANTOS, J.V.S. ; OLIVEIRA, A. M. ; da CRUZ, Rosenira S.. *Usos alternativos para a glicerina proveniente da produção de biodiesel: Parte 2 - Geração de biogás.* In: I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 2006, Brasília. I Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel: artigos técnico-científicos. v. II. p. 58-62.

69 Portal ANP, disponível em http://*www.anp.com.br,* último acesso em outubro de 2007

70 DOU de 22.1.2007. *Programa de Aceleração do Crescimento PAC 2007 – 2010*, Brasília, 2007

71 Inovação Unicamp. Energia de Fontes Renováveis. Jornal Eletrônico Inovação Unicamp, edição 91 de 14/11/2007. Disponível em *http://www.inovacao.unicamp.br,* último acesso em novembro de 2007

72 Donato Alexandre Gomes Aranda, informação pessoal

73 Planejamento Estratégico Tecnológico e Logístico para o Programa Nacional de Biodiesel Módulo I - Perfil do Sistema Logístico Atual e Perspectivas Futuras Rio de Janeiro, 05/07/2007

74 SEBRAE, *Brasileiro é pioneiro no biodiesel – Cenário: Europa é mercado potencial para o biodiesel* Revista SEBRAE Agronegócios – nº 5, 2007

75 Portal da Associação Européia de Biodiesel - EUROPEAN BIODIESEL BOARD, *http://www.ebb-eu.org/biodiesel.php*, último acesso em julho de 2006

76 A promessa do combustível verde. 2006. Disponível em: *http://www.polobio.esalq.usp.br*, último acesso em junho de 2007

77 LEIRAS, A.; HAMACHER, S.; SCAVARDA, L. F., *Avaliação econômica da cadeia de suprimentos do biodiesel: estudo de caso da dendeicultura na Bahia,* Bahia

78 SOUSA, G. S.; PIRES, M. M.; ALVES, J. M. *Estudo da viabilidade econômica e do risco de se produzir biodiesel em sistema de produção contínua na Bahia.* In: XII Seminário de Iniciação Científica da UESC, 2006, Ilhéus. Anais do XII Seminário de Iniciação Científica da UESC. Ilhéus: PROPP/UESC, 2006. p. 434-435.

79 Zhang, Y.; Dub, M.A.; McLean, D.D. ; M. Kates; *Biodiesel production from waste cooking oil. Economic assessment and sensitivity analysis*, Department of Chemical Engineering, University of Ottawa, Ottawa, Ont., Canada, 2002

80 ARAÚJO, K.M; OLIVEIRA, A.K.C; COSTA, G.B; QUEIROGA, R. N. G. e PANNIR SELVAM, P.V.; *Estudo Comparativo Técnico e Econômico de Diferentes Óleos Vegetais Brasileiros para Produção de Biocombustível,* Rio Grande do Norte

81 Carramenha, F.; *Estudo de viabilidade técnica e econômica da produção de biodiesel em escala industrial no Brasil.* Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto de Pesquisas Tecnológica. 2007

82 Portal CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, disponível em *http://www.cepea.esalq.usp.br,* último acesso em novembro de 2007

83 Taylor, R.; Krishna, R.; *Review Modelling reactive distillation*, Chemical Engineering Science, 2000. 5183-5229

84 Portal Aboissa, disponível em *http://www.aboissa.com.br;* último acesso em outubro de 2007

85 Prosint – contato por telefone

86 Portal Methanex, disponível em *http://www.methanex.com,* último acesso em outubro de 2007

87 Relatório interno da Greentec-UFRJ

88 CBMM - Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração – contato por telefone

89 Portal Receita Federal, disponível em *http://www.receita.fazenda.gov.br,* último acesso em junho de 2007

90 ROSS, WESTERFIELD, JORDAN, *Princípios de administração financeira*, segunda edição, editora atlas. São Paulo, 2002