UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE – IEE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA – PPGE

VANESSA PECORA GARCILASSO

ANÁLISE ENTRE PROCESSOS E MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

São Paulo
2014

VANESSA PECORA GARCILASSO

ANÁLISE ENTRE PROCESSOS E MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientadora: Profª Drª Suani Teixeira Coelho

Versão Corrigida
(versão original disponível na Biblioteca da Unidade que aloja o Programa e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP)

São Paulo
2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Garcilasso, Vanessa Pecora.

Análise entre processos e matérias–primas para a produção de biodiesel./ Vanessa Pecora Garcilasso; orientadora : Suani Teixeira Coelho. –São Paulo, 2014.

373f.: il.; 30 cm.

Tese (Doutorado em Ciência) – Programa de Pós-Graduação em Energia– Instituto de Energia e Ambiente daUniversidade de São Paulo

1. Sustentabilidade. 2. Políticas públicas. 3. Biodielsel. Título

Janus

Universidade de São Paulo

RELATÓRIO DE DEFESA

Relatório de defesa pública de Tese do(a) Senhor(a) Vanessa Pecora Garcilasso no Programa: Energia, do(a) Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

Aos 05 dias do mês de dezembro de 2014, no(a) realizou-se a Defesa da Tese do(a) Senhor(a) Vanessa Pecora Garcilasso, apresentada para a obtenção do título de Doutora Intitulada:

"Análise entre processos e matérias-primas para a produção de biodiesel"

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra ao candidato para exposição e a seguir aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Função	Sigla da CPG	Resultado
Suani Teixeira Coelho	Presidente	IEE - USP	Aprovada
Gil Anderi da Silva	Titular	EP - USP	Aprovada
Patricia Helena Lara dos Santos Matai	Titular	EP - USP	Aprovada
Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas	Titular	UFRJ - Externo	APROVADO
Murilo Tadeu Werneck Fagá	Suplente	IEE - USP	APROVADO

Resultado Final: Aprovada

Parecer da Comissão Julgadora *

Eu, Adriana Fatima Pelege _____, lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as). São Paulo, aos 05 dias do mês de dezembro de 2014.

Gil Anderi da Silva

Patricia Helena Lara dos Santos Matai

Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Murilo Tadeu Werneck Fagá

Suani Teixeira Coelho
Presidente da Comissão Julgadora

* Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

A defesa foi homologada pela Comissão de Pós-Graduação em _____ e, portanto, o(a) aluno(a) faz jus ao título de Doutora em Ciências obtido no Programa Energia.

_____
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo e, em especial,
ao meu filho.
Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, Profª Drª Suani Teixeira Coelho, pela confiança, aprendizado e oportunidade.

À equipe do CENBIO, em especial a Cristiane Lima Cortez e a Naraisa Esteves Coluna, e à equipe do projeto BIOACV/CNPq, em especial a Renata Grisoli, que muito contribuíram com meu trabalho.

Aos meus pais e à minha avó pelo incentivo e por tudo que fizeram e fazem por mim até hoje.

Ao meu esposo Anderson pelo amor, companheirismo, dedicação, paciência e compreensão.

Ao meu filho Nathan, meu presente de Deus, que me alegra, me dá forças, me incentiva, me inspira, me renova, me orgulha... Obrigada meu filho por você existir em minha vida!

Ao CNPq e ao Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCTI n. 04 pelo apoio financeiro.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Para ter algo que você nunca teve,
é preciso fazer algo que você nunca fez”

Chico Xavier

RESUMO

GARCILASSO, V. P. **Análise entre processos e matérias-primas para a produção de biodiesel**.2014. 373 p. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo - PPGE.

A busca por alternativas ao uso de combustíveis fósseis vem se tornando cada vez mais necessária. Neste sentido, os biocombustíveis vêm se destacando por ser uma fonte de energia alternativa de grande viabilidade para o setor de transporte, maior consumidor de energia. O desafio é viabilizar a produção de biocombustíveis em larga escala, de maneira sustentável. Nesse contexto, o biodiesel apresenta-se como opção interessante para substituição/mistura ao diesel, com vantagens ambientais, pois emite menos gases como o CO, CO_2 e SO_2 na atmosfera. Nos últimos anos, políticas de incentivo à produção deram início à inserção do biodiesel na matriz energética nacional através do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel. Em 2005, a Lei nº. 11.097 determinou a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira e, recentemente, fixou o valor em 7% para o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel. Apesar do importante avanço proporcionado pela introdução legal do biodiesel no país, existem ainda muitas questões relacionadas à sua produção que precisam ser discutidas, tais como as diferentes condições de cultivo de matérias-primas e os diferentes processos para a obtenção do mesmo. Neste sentido o objetivo deste trabalho é analisar as matérias-primas e os processos de produção de biodiesel, bem como analisar as políticas e propor adequações para o programa de biodiesel existente, visando a sustentabilidade do biodiesel no Brasil. As análises são feitas com base no estudo de ACV da produção de biodiesel a partir das duas matérias-primas mais utilizadas no país: soja e gordura animal, contemplando as duas rotas de produção: etílica e metílica (Projeto BIOACV). Apesar da soja e da gordura animal representarem mais que 95% das matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel, seria importante a inserção de outras matérias-primas que possuam possibilidades de serem efetivamente incorporadas a sua produção. Entretanto, para isso, também são necessárias pesquisas adicionais e avanços tecnológicos para uma cadeia produtiva bem desenvolvida. Além disso, ainda há necessidade de resolver os gargalos na produção de biodiesel a partir de etanol. Os estímulos à pesquisa de

produção de biodiesel etílico praticamente não existem mais e o uso de etanol para este fim atualmente ainda é em pequena escala. Além de apresentar dificuldades na produção, como maior consumo no processo e dificuldades na recuperação do excesso de álcool utilizado, é preciso investimentos em pesquisa e desenvolvimento para viabilizar técnica e economicamente o processo de produção de biodiesel pela transesterificação via rota etílica.

Palavras-chaves: biodiesel, processos, matérias-primas, sustentabilidade, políticas públicas.

ABSTRACT

GARCILASSO, V. P**. Analysis of processes and raw materials used for biodiesel production**. 2014. 373 p. Doctoral Thesis - Graduate Program in Energy at the University of São Paulo - PPGE.

The quest for alternatives to replace fossil fuels is becoming crucial. In this sense, biofuels have stood out for being an alternative energy source with high potential for the transport sector, one of the largest consumers of energy. The challenge is not only to enable biofuel production on a large scale but also to produce biofuels in a sustainable manner. In this context, biodiesel is presented as interesting option for diesel replacement and/or admixture due to its environmental advantages since emits fewer greenhouse gases such as CO_2 and SO_X in the atmosphere. In recent years, polices such as the National Program for Production and Use of Biodiesel fostered the biodiesel production. In 2005, the Federal Law no. 11097 came into force and established the mandate for biodiesel in the Brazilian energy matrix and, recently, set the value at 7% for the required minimum volume of biodiesel added to diesel oil. Despite the significant advances provided by the legal framework for biodiesel introduction in the country, there are still many questions related to its production system that need to be discussed, such as the different conditions of raw material cultivation and the different production processes for obtaining the same output. In this sense the objective of this study is to analyze raw materials and biodiesel production processes and to evaluate policies so as to propose adjustments to existing biodiesel program aiming at sustainability of biodiesel production and use in Brazil. The analysis conducts a LCA study based on the main raw materials used in the country for biodiesel production: soy and animal fat. The study comprises both production routes: methyl and ethyl routes (i.e. BIOACV Project). Although soy and animal fat accounted for more than 95% of raw materials used for biodiesel production, the inclusion of other raw materials that have the potential to be effectively incorporated into biodiesel production would be important. However, for doing so, the study would require additional research on technological advances and a well-developed supply chain, which were not established during the conclusion of the study. Furthermore, there was a pressing issue that is the need on solving bottlenecks in the current biodiesel production from ethanol. On the one

hand, the incentives to research on ethyl biodiesel production practically no longer exist and the use of ethanol for this purpose is still on a small scale. On the other hand, the process presents difficulties during production, such as increased consumption and difficulties in recovering the excess alcohol used. In short, it is necessary investments in research and development to facilitate technical and economic production of biodiesel by transesterification process via ethyl route.

Keywords: biodiesel, processes, materials, sustainability, public policy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Consumo total de energia no mundo em 2011.....33
Figura 2.2. Evolução do consumo de energia no mundo, por combustível, de 1971 a 2011 (Mtep).....34
Figura 2.3. Consumo mundial de energia, por combustível, de 1990 a 2040 (TWh).....35
Figura 2.4. Produção global de etanol e biodiesel entre 2000 e 2012.....36
Figura 2.5. Evolução da produção de etanol, biodiesel e HVO entre 2000 e 2013.....37
Figura 2.6. Taxas médias de crescimento anual da capacidade de energias renováveis e produção de biocombustíveis entre 2008 e 2013.....37
Figura 2.7. Evolução da produção de biodiesel no Brasil.....47
Figura 2.8. Mapa das plantas de biodiesel autorizadas por capacidade de produção (m3/dia) – Março de 2014.....48
Figura 2.9. Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil – 2005 a 2012.....50
Figura 2.10. Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil durante o mês de março de 2014.....50
Figura 2.11. Evolução histórica do percentual das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel na região Norte.....51
Figura 2.12. Evolução histórica do percentual das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel na região Nordeste.....52
Figura 2.13. Evolução histórica do percentual das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel na região Centro-Oeste.....52
Figura 2.14. Evolução histórica do percentual das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel na região Sudeste.....53
Figura 2.15. Evolução histórica do percentual das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel na região Sul.....54
Figura 3.1. Consumo mundial de soja em grão – Safras 2009/10 a 2013/14.....59
Figura 3.2. Evolução de área plantada de soja em cada uma das cinco grandes regiões brasileiras - Safras 1976/77 a 2011/12.....60
Figura 3.3. Evolução histórica da produção de soja no Brasil - Safras 1976/77 a 2011/12.....62

Figura 3.4. Evolução histórica da produtividade de soja no Brasil - Safras 1976/77 a 2011/12.....63
Figura 3.5. Fluxograma dos produtos derivados da soja.....64
Figura 3.6. Histórico da oferta e demanda da soja em grão no Brasil, nas últimas 5 safras.....66
Figura 3.7. Histórico da oferta e demanda de farelo de soja no Brasil – Safras 2008/09 a 2012/13.....67
Figura 3.8. Histórico da oferta e demanda de óleo de soja no Brasil – Safras 2002/03 a 2012/13.....68
Figura 3.9. Distribuição espacial do efetivo bovino brasileiro: 2002 - 2012.....71
Figura 3.10. Evolução da utilização de pastagens em cada uma das grandes regiões e no Brasil: 1970 a 2006.....73
Figura 3.11. Densidade de bovinos no território brasileiro no ano de 2006.....75
Figura 3.12. Histórico das exportações brasileiras de carne bovina – 1996 a 2013.....77
Figura 3.13. Evolução do número de animais abatidos entre os anos de 1995 e 2013.....78
Figura 3.14. Ranking e variação anual do abate de bovinos nos principais estados brasileiros - primeiros trimestres de 2013 e 2014.....79
Figura 3.15. Localização dos principais frigoríficos do Brasil sob controle do Sistema de Inspeção Federal (SIF).....80
Figura 3.16. Reforma a Vapor do Gás Natural.....92
Figura 3.17. Concentração das plantações e usinas de açúcar e álcool.....94
Figura 3.18. Série histórica da produção de cana-de-açúcar (103 t) entre 2000/2001 e 2012/2013.....97
Figura 3.19. Série histórica da produção de etanol anidro e hidratado (1000 m3) entre 2004/2005 e 2012/2013.....97
Figura 3.20. Exportação de etanol entre jan/2000 e abril/2014.....98
Figura 4.1. Processo de transesterificação para a produção de biodiesel.....111
Figura 4.2. Processo de Hidroesterificação para a produção de biodiesel.....115
Figura 4.3. Desenho simplificado de um reator de batelada.....121
Figura 4.4. Esboço de um reator CSTR individual.....123
Figura 4.5. Esboço de dois reatores CSTR´s ligados em série.....123

Figura 4.6. Esboço de reatores CSTR´s ligados em série de forma compartimentada.....123
Figura 4.7. Coluna de destilação Reativa.....125
Figura 4.8. Coluna de destilação reativa com enchimento.....126
Figura 4.9. Coluna de destilação reativa com pratos perfurados.....126
Figura 4.10. Diagrama esquemático da coluna de destilação reativa.....131
Figura 4.11. Fotografia da coluna de destilação reativa.....131
Figuras 4.12 e 4.13. Fotografias dos componentes da coluna de destilação reativa.....132
Figura 5.1. Representação do sistema de produto do biodiesel de óleo de soja pela rota etílica.....148
Figura 5.2. Representação do sistema de produto do biodiesel de gordura animal pela rota metílica.....150
Figura 5.3. Representação do sistema de produto do biodiesel de óleo de soja pela rota metílica.....152
Figura 5.4. Representação do sistema de produto do biodiesel de gordura animal pela rota etílica.....153
Figura 5.5. Contribuição dos subsistemas para a composição do perfil ambiental do Éster Etílico de Óleo de Soja.....162
Figura 5.6. Contribuição dos subsistemas para a composição do perfil ambiental do Éster Metílico de Óleo de Soja.....164
Figura 5.7. Contribuição dos subsistemas para a composição do perfil ambiental do Éster Etílico de Gordura Bovina.....166
Figura 5.8. Contribuição dos subsistemas para a composição do perfil ambiental do Éster Metílico de Gordura Bovina.....168
Figura 5.9. Comparação dos indicadores de categoria de impacto para cada tipo de biodiesel.....170
Figura 5.10. Resultados finais dos indicadores da categoria de Mudanças Climáticas para produção de biodiesel de óleo de soja, sem MUT no cultivo de grãos.....176
Figura 5.11. Resultados finais dos indicadores da categoria de Mudanças Climáticas para cada alternativa de biodiesel estudada, sem MUT no cultivo de grãos de soja.....176

Figura 5.12. Contribuição dos subsistemas para a composição do perfil ambiental do Éster Etílico de Gordura Bovina, cenário *cut off*.....177
Figura 5.13. Contribuição dos subsistemas para a composição do perfil ambiental do Éster Metílico de Gordura Bovina, cenário *cut off*.....178
Figura 5.14. Comparação dos indicadores de categoria de impacto para produção de biodiesel de gordura bovina, cenário de referência e *cut off*.....179
Figura 5.15. Comparação dos indicadores de categoria de impacto para cada tipo de biodiesel.....179
Figura 5.16. Emissões de GEE na produção de biodiesel de soja no Brasil.....181
Figura 6.1. Gastos com metanol importado no Brasil entre 2000 e 2009 – Milhões de US$ (FOB).....189

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Consumo mundial de energia, por combustível, de 1990 a 2040 (TWh).....35
Tabela 2.2. Os 5 maiores produtores de biodiesel de 2008 a 2013.....39
Tabela 2.3. Quantidade de biodiesel produzido entre 2008 e 2013 pelos principais produtores.....40
Tabela 2.4. Mandatos de mistura de biodiesel ao diesel de petróleo em 17 países.....42
Tabela 2.5. Percentual das matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel, por região – Março 2014.....51
Tabela 3.1. Principais países produtores de soja e quantidade de soja produzida (milhões de toneladas).....58
Tabela 3.2. Área plantada de soja no Brasil nas safras de 1976/77 a 2011/12...60
Tabela 3.3. Proporção de soja transgênica cultivada em alguns países.....70
Tabela 3.4. Efetivo do rebanho bovino em 2002 e 2012. Crescimento do rebanho em cada uma das grandes regiões e no Brasil.....72
Tabela 3.5. Destino da gordura bovina no Brasil em % - 2000 e 2007.....81
Tabela 3.6. Características de culturas oleaginosas no Brasil.....83
Tabela 3.7. Comparação de custos de oportunidade entre os óleos de mamona, soja e dendê.....85
Tabela 3.8. Propriedades químicas da mamona, soja e dendê.....86
Tabela 3.9. Propriedades Físicas do Metanol.....89
Tabela 3.10. Propriedades Químicas do Metanol.....90
Tabela 3.11. Evolução do consumo anual de metanol, segundo grandes regiões.....90
Tabela 3.12. Metanol importado para o Brasil por país.....91
Tabela 3.13. Número de plantas e a capacidade de produção de etanol autorizada por Estado.....95
Tabela 3.14. Vantagens e desvantagens no uso do metanol e etanol para a produção de biodiesel.....101
Tabela 4.1. Ácidos graxos saturados comumente encontrados em óleos e gorduras.....103

Tabela 4.2. Ácidos graxos insaturados comumente encontrados em óleos e gorduras.....103
Tabela 4.3. Composição em % de ácidos graxos para diferentes tipos de óleo.....104
Tabela 4.4. Evolução anual da quantidade de glicerina gerada na produção de biodiesel (B100) no Brasil, segundo as grandes regiões.....133
Tabela 5.1. Perfil ambiental do Éster Etílico de Óleo de Soja.....161
Tabela 5.2. Perfil ambiental do Éster Metílico de Óleo de Soja.....163
Tabela 5.3. Perfil Ambiental de Éster Etílico de Gordura Bovina.....166
Tabela 5.4. Perfil ambiental do Éster Metílico de Gordura Bovina.....168
Tabela 5.5. Fatores de alocação – biodiesel de soja via rota metílica.....181
Tabela 6.1. Produção, importações, custos e balança comercial da cadeia de produção de biodiesel no Brasil em 2009.....189

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ac	Acidificação
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ASTM	American Society for Testing Materials
AUS	Alterações da ocupação do solo
BEM	Balanço Energético Nacional
BIOACV	Projeto “Comparação da ACV de Biodiesel Produzido a partir de Óleo de Soja e Gordura Bovina via Rota Metílica e Etílica” (CNPq nº 558733/2010-7)
CENBIO/IEE/USP	Centro Nacional de Referência em Biomassa do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
CSTR	Continuous Stirred Tank Reactor
DCF	Depleção dos combustíveis fósseis
DOU	Diário Oficial da União
EIA	Energy Information Administration
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	Environmental Protection Agency
EPAct	Energy Policy Act
Eu	Eutrofização
GEE	Gases de Efeito Estufa
IAC	Instituto Agronômico de Campinas

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IEA	International Energy Agency
IEO	International Energy Outlook
ILUC	Indirect Land Use Change, mudança indireta no uso da terra
IMEA	Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISSO	International Organization for Standardization
MAPA	Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MC	Mudanças Climáticas
MCTI	Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
MME	Ministério de Minas e Energia
MTBE	Metil-tér-butil-éter
MUT	Mudança do Uso da Terra ou Mudança da Ocupação do Solo
NBR	Norma Técnica
Oc	Ocupação do solo
OPEP	Países Produtores de Petróleo
PCI	Poder Calorífico Inferior
PEFF	Ponto de Entupimento de Filtro a Frio
PIB	Produto Interno Bruto
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel
PROÁLCOOL	Programa Nacional do Álcool
Proerg	Empresa Cearense Produtora de Sistemas Energéticos
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
Pro-óleo	Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos
RNV	Registro Nacional de Cultivares
SIF	Serviço de Inspeção Federal
Tox	Toxicidade
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
USDA	United States Department of Agriculture. Oilseeds

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
% vol.	Porcentagem em volume
animais/ha	Animais por hectare
C_2H_6OH	Etanol
cal/g	Calorias por grama
CH_3OH	Metanol
CH_4	Metano
CN	Número de cetano
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
-COOH	Ácidos monocarboxílicos
g/kg	Grama por quilograma
H_2	Hidrogênio
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
ha	Hectare
HC	Hidrocarboneto
HCl	Ácido clorídrico
kg	Quilograma
kg/ha	Quilograma por hectare
km	Quilometro
km^2	Quilometro quadrado
KOH	Hidróxido de potássio
kW	kilowatt
m/m	% em massa - massa de soluto por massa de solução
m^3	Metros cúbicos
m^3/dia	Metros cúbicos por dia
MJ	Megajoule
MJ/kg	Megajoule por quilograma
mm HG	Milímetros de mercúrio

mm/ano	Milímetros por ano
MP	Material particulado
NaOH	Hidróxido de sódio
NOx	Óxido de nitrogênio
ºC	Graus célsius
R$	Real (moeda brasileira)
$R\text{-}SO_3H$	Ácido sulfônico
SO_2	Dióxido de enxofre
SOx	Óxido de enxofre
t/ha	Toneladas por hectare
TWh	Terawatt-hora
US$	Dólar (moeda americana)
US$/l	Dólar por litro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 25

1.1 Relevância da Pesquisa 30
1.2 Objetivo Geral 32

2. PANORAMA GERAL SOBRE O BIODIESEL 33

2.1 Biodiesel no Mundo 33
2.2 Biodiesel no Brasil 43

3. MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL 56

3.1 Óleo Vegetal e Gordura Animal 56
3.1.1 Óleo de Soja 56
3.1.1.1 Considerações sobre a Soja Transgênica 69
3.1.2 Gordura Animal 70
3.1.3 Demais Tipos de Óleo 82
3.2 Principais Álcoois Utilizados no Processo de Produção do Biodiesel 88
3.2.1 Álcool Metílico (Metanol) 89
3.2.1.1 Produção de Metanol 92
3.2.2 Álcool Etílico (Etanol) 93
3.2.3 Metanol versus Etanol na Produção de Biodiesel no Brasil 99

4. ASPECTOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS DAS ROTAS DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL 102

4.1 Conceitos Básicos 102
4.2 Processos de Obtenção de Biodiesel 106
4.2.1 Transesterificação de Óleos Vegetais e Gordura Animal 106
4.2.2 Esterificação de Ácidos Graxos 112
4.2.2.1 Hidrólise seguida de Esterificação (Hidroesterificação) 114
4.2.2.2 Esterificação seguida de Transesterificação (Processo Integrado) 116
4.2.3 Craqueamento 116
4.2.4 Destilação Reativa 118
4.3 Tecnologias Utilizadas para Produção de Biodiesel 119
4.3.1 Tecnologias Convencionais 119
4.3.1.1 Reatores de Batelada – Processo Descontínuo ou Batelada 120
4.3.1.2 Reatores de Fluxo Contínuo – Processo Contínuo 122
4.3.2 Coluna de Destilação Reativa 125
4.4 Glicerina como Subproduto da Transesterificação 132
4.5 Propriedades do Biodiesel 135

5. ESTUDO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL 140

5.1 Utilização de ACV para biocombustíveis 141
5.2 Estudo da Avaliação do Ciclo de Vida – Projeto BIOACV 145
5.2.1 Definição de Objetivo 145
5.2.2 Definição de Escopo 146
5.2.2.1 Função 146
5.2.2.2 Unidade Funcional e Fluxo de Referência 147
5.2.2.3 Sistemas de Produto 147

5.2.2.3.1 Sistema de Produto Biodiesel de Soja - Rota Etílica.....147
5.2.2.3.2 Sistema de Produto Biodiesel de Gordura Animal - Rota Metílica 149
5.2.2.3.3 Sistema de Produto Biodiesel de Soja - Rota Metílica.....151
5.2.2.3.4 Sistema de Produto Biodiesel de Gordura Animal - Rota Etílica153
5.2.2.4 Fronteiras do Sistema.....154
5. 2.2.5 Procedimento de Alocação.....154
5.2.2.6 Método de Avaliação de Impacto e Categorias de Impacto.....155
5.2.3 Modelo e Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel produzido a partir de Óleo de Soja (rota etílica).....156
5.2.4 Modelo e Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel produzido a partir de Gordura Bovina (rota metílica) 157
5.2.5 Modelo e Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel de Soja (rota metílica) e de Gordura Bovina (rota etílica) 158
5.3 Resultados da Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV) do Biodiesel 160
5.3.1 Resultados obtidos no estudo BIOACV para a AICV 160
5.3.1.1 Biodiesel de Soja via Rota Etílica 161
5.3.1.2 Biodiesel de Soja via Rota Metílica.....163
5.3.1.3 Biodiesel de Gordura Bovina via Rota Etílica 165
5.3.1.4 Biodiesel de Gordura Bovina via Rota Metílica.....168
5.3.1.5 Comparação do Desempenho Ambiental dos Tipos de Biodiesel 170
5.3.1.5.1 Mudanças Climáticas (MC) 171
5.3.1.5.2 Toxicidade (Tox) 172
5.3.1.5.3 Acidificação (Ac) 172
5.3.1.5.4 Eutrofização (Eu) 173
5.3.1.5.5 Ocupação do Solo (Oc).....173
5.3.1.5.6 Depleção de Combustíveis Fósseis (DCF) 174
5.3.2 Análise de Sensibilidade 174
5.3.2.1 Desconsideração da Mudança de Ocupação do Solo 175
5.3.2.2 Análise cut off da Gordura Animal 177
5.3.3 Fatores de Alocação – Biodiesel Metílico de Soja Produzido no Brasil...180

6. BARREIRAS E PROPOSTAS DE POLÍTICAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL SUSTENTÁVEL NO PAÍS 183

6.1 Introdução.....183
6.2 Barreiras Econômicas e Sociais 185
6.3 Barreiras Ambientais.....192
6.4 Propostas de Políticas para maior Sustentabilidade na Produção de Biodiesel no Brasil.....195

7. CONCLUSÕES.....200

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....206

ANEXO A – CAPACIDADE INSTALADA DE BIODIESEL EM 2014, SEGUNDO UNIDADES PRODUTORAS 246

ANEXO B - RESUMO DOS LEILÕES REALIZADOS PELA ANP DE 2005 A 2014 248

ANEXO C – OUTROS TIPOS DE ÓLEOS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL 249

ANEXO D - ESPECIFICAÇÕES DO BIODIESEL (B100).....267

ANEXO E – CONCEITOS BÁSICOS DE ACV 269

ANEXO F – ICV COMPLETO DO BIODIESEL PRODUZIDO A PARTIR DO ÓLEO DE SOJA VIA ROTA ETÍLICA.....282

ANEXO G – ICV COMPLETO DO BIODIESEL PRODUZIDO A PARTIR DA GORDURA BOVINA VIA ROTA METÍLICA.....341

1. INTRODUÇÃO

A busca por alternativas ao uso de combustíveis fósseis vem se tornando cada vez mais necessária. O crescente aumento do preço do petróleo1, somado aos problemas ambientais causados pela intensificação do efeito estufa, compõe um cenário no qual a utilização de fontes renováveis de energia se torna fundamental para garantir a sustentabilidade das futuras gerações e o equilíbrio do ambiente.

Neste sentido, os biocombustíveis vêm se destacando por serem uma fonte de energia alternativa de maior viabilidade para o setor de transporte, que é um dos setores onde há maior consumo de energia.

A utilização de biocombustíveis tem sido guiada, principalmente nos países desenvolvidos, por diversos fatores, podendo-se destacar a redução da dependência de combustíveis fósseis na matriz energética e a redução das emissões de gases causadores do efeito estufa.

Com isso, os biocombustíveis, em especial o biodiesel, tornaram-se uma importante alternativa para a substituição, total ou parcial, dos combustíveis não renováveis, acarretando na diminuição dos impactos causados pela utilização de combustíveis fósseis.

No Brasil, a utilização de biocombustíveis líquidos já faz parte da realidade nacional há várias décadas, desde a introdução do PROÁLCOOL em 1975, o que garantiu posição de destaque ao país, ainda mais recentemente com a introdução dos automóveis bicombustíveis (veículos flex).

Entretanto, considerando que a matriz brasileira de transportes é majoritariamente rodoviária, o desafio atual é viabilizar a produção em larga escala, de maneira sustentável, de biocombustíveis líquidos para uso em motores diesel, uma vez que as barreiras para a utilização do etanol em motores ciclo OTTO já foram quase todas superadas.

De acordo com a ANP, o consumo nacional de combustíveis cresceu 5% em 2013, em comparação a 2012, totalizando cerca de 132 bilhões de litros. O

[1] O petróleo que já chegou a custar menos que US$ 2,00 em 1970 e, atualmente, custa US$ 102,43 o barril (preço referente ao petróleo Brent em agosto de 2014 – Fonte: ACIONISTA.COM.BR, 2014). Em 2013 o preço médio do óleo diesel ao consumidor foi R$ 2,319 por litro (ANP, 2014).

consumo de óleo diesel cresceu 4,6% entre 2012 e 2013, passando de 55,9 bilhões de litros para 58,4 bilhões de litros (EBC, 2014).

De acordo com a Petrobras, a importação de óleo diesel estava entre 150 e 160 mil barris por dia em 2012 (aproximadamente 24 milhões de litros por dia = 8,7 bilhões de litros por ano), podendo chegar entre 280 e 300 mil barris por dia em 2014 (aproximadamente 45 milhões de litros por dia = 16,3 bilhões de litros por ano), ou seja, um aumento de 87% em um curto período de tempo. Em 2015, a tendência é que as importações diminuam devido ao início de operação de novas refinarias, podendo atingir o volume de 100 mil barris por dia (EXAME.COM, 2012).

Além de ser utilizado no setor de transporte, representando cerca de 80% do consumo brasileiro, cerca de 5% do óleo diesel consumido no Brasil ainda é destinado ao setor energético, principalmente para a geração de energia em comunidades isoladas da Amazônia (EPE, 2013).

A utilização de biodiesel evita a poluição do ar melhorando a saúde das pessoas, ao contrário do diesel comum que lança toneladas de dióxido de enxofre, hidrocarbonetos pesados oriundos da queima incompleta, sem falar na enorme emissão de dióxido de carbono e outras partículas que causam problemas respiratórios e dermatológicos.

Além disso, a produção desse biocombustível aumenta o número de empregos tanto no campo quanto na indústria em virtude de sua fabricação reclamar mão de obra especializada e cuidados com as culturas que fornecem a matéria-prima.

Além dos ganhos ambientais e sociais, o biodiesel ainda apresenta ganhos tecnológicos, pois é um ótimo lubrificante para o motor, podendo aumentar sua vida útil. Para a utilização deste biocombustível, não precisa de nenhuma adaptação em caminhões, tratores ou máquinas. Sua utilização pode ser direta e não deixa qualquer tipo de resíduos que possa comprometer o desempenho do motor.

Neste contexto, a produção e uso do biodiesel justifica-se como opção interessante para substituição/mistura ao diesel comum, com vantagens ambientais, sociais e tecnológicas.

Nos últimos anos, políticas de incentivo à produção deram início à inserção do biodiesel na matriz energética nacional através do PNPB. No ano de 2005, a Lei nº. 11.097 determinou a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira e,

atualmente, fixa o valor em 6%[2] para o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor final.

Apesar do importante avanço proporcionado pela introdução legal do biodiesel no país, existem ainda muitas questões relacionadas à sua produção e uso que precisam ser discutidas, tais como as diferentes condições de cultivo de matérias-primas e as diferentes rotas tecnológicas para a obtenção do mesmo.

A diversidade de espécies de plantas oleaginosas existentes e outras matérias-primas com potencial de aproveitamento para produção de biodiesel no Brasil foram vistas como vantagens no que se refere à segurança de abastecimento no país por ocasião da introdução do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel.

Entretanto, apesar da grande variedade de oleaginosas no país, de acordo com ANP (2013a), a soja é a principal matéria-prima utilizada para produção de biodiesel no âmbito do Programa Nacional Brasileiro, com 77,4% de participação, seguida pela gordura bovina (16,8%) e o óleo de algodão (4,3%), além da utilização marginal de outras fontes.

Os produtores da cadeia produtiva da soja exerceram papel fundamental para o êxito do programa de biodiesel, pois quando foi lançado, o setor da soja era o que se encontrava mais bem preparado para atender o mercado de biodiesel, pois já produzia em escala e era competitivo no mercado internacional.

Inicialmente, o principal objetivo do programa foi introduzir o biodiesel na matriz energética nacional com foco na inclusão social e no desenvolvimento regional. Os produtores que adquirirem percentuais mínimos de matéria-prima de agricultores familiares recebem o Selo Combustível Social e podem usufruir dos benefícios de redução dos tributos federais incidentes sobre os biocombustíveis, conforme discutido nos capítulos adiante.

Quanto à utilização de outras culturas como girassol, dendê, mamona, etc., para a produção de biodiesel, um dos problemas está relacionado à questão agronômica pela falta de informação científica e comercial da cultura a ser utilizada, ou na questão da caracterização dos óleos a serem utilizados, como por exemplo, a viscosidade, entre outros. Além disso, as barreiras econômicas relativas aos outros usos finais dessas culturas, que apresentam altos custos de oportunidades, podem

[2]A Medida Provisória nº 647, de maio de 2014, implica na ampliação da mistura obrigatória de biodiesel ao óleo diesel, de 5% para 6% a partir 1º de julho/2014 e para 7% em 1º de novembro/2014.

inviabilizar sua utilização para a produção de biodiesel, conforme discutido no Capítulo 3.

A variedade de matérias-primas para produção de biodiesel, a competição entre produção de culturas energéticas *versus* cultura de alimentos, as condições socioeconômicas de cultivo e sustentabilidade ambiental da obtenção/cultivo das matérias-primas, dentre outros, impactam de maneiras diferentes os sistemas energéticos e ambientais relacionados.

Com relação à parte tecnológica, atualmente no Brasil a rota convencional para produção de biodiesel é a transesterificação metílica, reflexo também da tendência adotada no mundo, principalmente em países que possuem projetos de biodiesel em estágio mais avançado, como a Alemanha.

No contexto brasileiro a possibilidade de utilização de álcool etílico na produção de biodiesel é de grande interesse, considerando as condições particulares do Brasil, onde são produzidos volumes expressivos de uma maneira sustentável. Entretanto o uso de etanol para este fim ainda é pouco difundido. Apesar de tratar-se de um combustível renovável, com vantagens reconhecidas, são poucos os estudos que analisaram sua viabilidade do ponto de vista da sustentabilidade de sua cadeia produtiva, refletindo poucos investimentos em projetos de grande porte para essa rota.

Além disso, conforme apresentado adiante, o uso de etanol como reagente para a produção de biodiesel ainda apresenta alguns inconvenientes quando comparado ao metanol, como maior consumo no processo além de proporcionar formação de emulsões com facilidade, o que torna o processo de purificação dos produtos finais mais complicado.

A preocupação recorrente com os aspectos de sustentabilidades dos produtos faz com que cada vez mais sejam necessários estudos de ACV, a fim de que toda a cadeia produtiva seja considerada e os diferentes impactos ambientais sejam analisados.

Conceitualmente, a ACV é uma metodologia utilizada para avaliar os impactos ambientais causados por um produto ou serviço durante todo o seu ciclo de vida ou cadeia de produção. Por meio de uma abordagem conhecida como "do berço ao túmulo”, a ACV avalia todos os estágios do ciclo de vida de um produto, desde a extração das matérias-primas dos sistemas naturais até seu uso final, incluindo as

etapas de transporte de matérias-primas e insumos, além de disposição dos resíduos.

Nesse sentido, a fim de permitir a comparação entre as matérias-primas disponíveis no país e processos de produção, visando identificar as oportunidades de melhorias para a cadeia produtiva do biodiesel, foi desenvolvido este trabalho.

A originalidade do trabalho está na comparação dos processos e matérias-primas para a produção de biodiesel, realizada a partir das análises e resultados do estudo de ACV do projeto BIOACV (mencionado adiante na estrutura do capítulo 5), além da análise e proposição de políticas públicas para um biodiesel sustentável no Brasil.

Após a introdução e a contextualização, o capitulo 2 “Panorama Geral sobre o Biodiesel” descreve a situação do biodiesel no Brasil e no mundo além das vantagens sociais e ambientais, energéticas e estratégicas da utilização de biodiesel como combustível no Brasil.

No capítulo 3 “Matérias-Primas para a Produção de Biodiesel” são discutidas as diferentes matérias-primas para a produção de biodiesel no Brasil, incluindo as principais oleaginosas, a gordura animal e os principais álcoois utilizados. Este capítulo também aborda a questão da utilização de solo para produção de matérias-primas e sua evolução no Brasil, além de considerações sobre a possibilidade de produzir biodiesel por meio de óleos residuais.

Em sequência, o capítulo 4 “Aspectos Científicos e Tecnológicos da Produção de Biodiesel” apresenta os processos de obtenção de biodiesel e as principais tecnologias utilizadas. Este capítulo também aborda as propriedades do biodiesel, baseadas em dados de literatura, além de apresentar as considerações sobre a glicerina obtida no processo de transesterificação.

O capítulo 5 “Estudo da Avaliação do Ciclo de Vida para a Produção de Biodiesel” apresenta uma revisão a cerca da utilização da metodologia de ACV para avaliação de biocombustíveis, bem como as definições do estudo de ACV para a produção de biodiesel, de acordo com as fases da execução previstas pela ABNT (2009a), considerando o objetivo e escopo do projeto, detalhamento dos sistemas de produto, as fronteiras do sistema, procedimentos de alocação e métodos de avaliação de impactos.

Foram analisados os sistemas de produção de biodiesel utilizando o óleo de soja e a gordura animal, a partir de duas rotas: etílica e metílica (Projeto BIOACV).

Para a elaboração deste estudo foram utilizados dados reais de operação de duas plantas de biodiesel, sendo uma localizada em Catanduva/SP, que produz biodiesel etílico a partir de diversas matérias-primas, e a outra localizada em Lins/SP, que produz biodiesel a partir de gordura animal.

Foi realizada análise comparativa das diferentes rotas de produção e das matérias-primas consideradas, bem como a determinação dos impactos ambientais decorrentes da metodologia de ACV, pois até então não há estudos que consideram dados do processo em escala industrial e comparam seus desempenhos ambientais.

Este capítulo apresenta também os detalhes do levantamento de dados considerados para elaboração dos ICV's, bem como os resultados obtidos para os sistemas analisados.

O capítulo 6 "Barreiras e Políticas para a Produção de Biodiesel Sustentável no País" apresenta uma breve discussão sobre as barreiras e políticas para efetivar a utilização do biodiesel na matriz energética brasileira.

E, finalmente, no capítulo 7 "Conclusões" são apresentadas as conclusões do estudo desenvolvido, incluindo as principais contribuições do mesmo, além de seus impactos finais. São também apresentadas as interfaces entre os resultados obtidos e as contribuições no que se refere à sustentabilidade, às limitações existentes e as possibilidades futuras para desdobramentos do tema.

1.1 Relevância da Pesquisa

O crescente consumo de petróleo e o aumento na demanda mundial de energia fez com que vários stakeholders contribuíssem para o desenvolvimento de novas, renováveis e viáveis fontes de energia. Com o desafio da substituição total ou parcial dos combustíveis fósseis na matriz energética mundial, surgiu um grande interesse dos pesquisadores sobre o uso de biocombustíveis, por sua renovabilidade, e na maioria dos casos, menor emissão de poluentes para atmosfera.

O alto índice de emissões de GEE no Brasil é devido à atividade agropecuária, desde a emissão de metano pelos ruminantes até o desmatamento e mudança na

ocupação do solo causados pela expansão da atividade. Entretanto, nas grandes cidades e regiões metropolitanas, os altos índices de emissões referem-se ao setor de transporte devido a sua dependência dos combustíveis tradicionais, causando problemas ambientais e na saúde da população.

O Brasil vem atuando de forma expressiva no uso de fontes alternativas de energia. Assim como o etanol, que já se consolidou como uma alternativa à gasolina, o biodiesel apresenta significativo potencial para ser a opção renovável frente ao diesel mineral, proporcionando a redução da dependência do setor de transportes em relação aos derivados do petróleo (SUGAWARA, 2012).

O biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira , quando o governo federal considerou estratégico para o Brasil promover um combustível renovável que pudesse fomentar o desenvolvimento regional, gerar emprego e renda no campo, além de reduzir a necessidade da elevada importação de diesel (BNDES Setorial, 2007). Desde 2005 o Brasil vem aumentando significativamente a sua produção de biodiesel. Apesar da intenção do Governo Federal em basear o programa no sistema de agricultura familiar, o uso da mamona e da palma como matéria-prima não se concretizou por diversos problemas (OBERMAIER et al., 2010), concentrando a atual produção principalmente no óleo de soja (74,5%) e na gordura animal (15,6%) (MME, 2012), que são subprodutos da exportação de carne e farelo.

A utilização de forma sustentável do biodiesel como aditivo no óleo diesel contribui não apenas para a redução das emissões atmosféricas, mas também permite reduzir o consumo de óleo diesel no país. Considerando que o Brasil ainda importa diesel puro para atender à demanda do país, a adição de 7% (ou mais) de biodiesel no diesel contribui para minimizar este impacto nas importações e no balanço de pagamentos do país.

Por meio da determinação dos impactos ambientais decorrentes das rotas de produção e das matérias-primas consideradas no estudo de ACV apresentado no Capítulo 5, espera-se que este trabalho contribua para o cenário técnico e científico por utilizar uma abordagem ainda não realizada, pois até então não há estudos que consideram dados do processo em escala industrial e comparam seus desempenhos ambientais.

O resultado deste estudo ainda permitirá a avaliação da situação atual do biodiesel no Brasil, incluindo as barreiras existentes quanto à utilização de outras

matérias-primas, além da soja e gordura animal, para a produção de biodiesel, bem como seu uso de forma sustentável no país a partir da análise de políticas públicas e propostas adequadas para o programa de biodiesel existente.

1.2 Objetivo Geral

Esta tese tem por objetivo analisar as matérias-primas e os processos de produção de biodiesel, bem como analisar as políticas e propor adequações para o programa de biodiesel existente, visando sua sustentabilidade no Brasil.

As análises são realizadas com base no estudo de ACV ambiental da produção de biodiesel a partir das duas matérias-primas mais utilizadas no país: soja e gordura animal, contemplando as duas rotas de produção: etílica e metílica (Projeto BIOACV – CNPq, desenvolvido pelo IEE/USP[3], conforme apresentado no Capítulo 5).

Esta pesquisa objetiva também alguns temas específicos como a análise do panorama geral do biodiesel no Brasil e no mundo, análise dos aspectos científicos e tecnológicos da produção de biodiesel, bem como análise do conceito, metodologia e abordagens da ACV.

Este trabalho pretende contribuir com a produção e uso de biodiesel no Brasil em função das matérias-primas utilizadas e processos de produção, considerando os principais impactos dessa cadeia, se forma a subsidiar a sustentabilidade do biodiesel no país e políticas públicas para biocombustíveis.

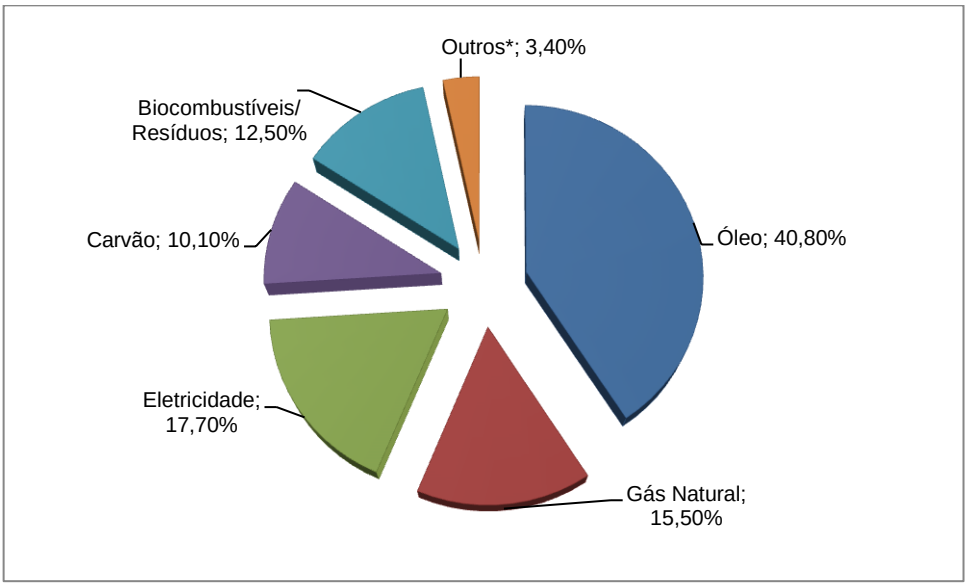
[3] Sob coordenação da Profª Drª Suani T. Coelho e parceiros,

2. PANORAMA GERAL SOBRE O BIODIESEL

Este capítulo procura abordar a situação do biodiesel no Brasil e no mundo além das vantagens socioambientais, energéticas e estratégicas da utilização de biodiesel como combustível no Brasil.

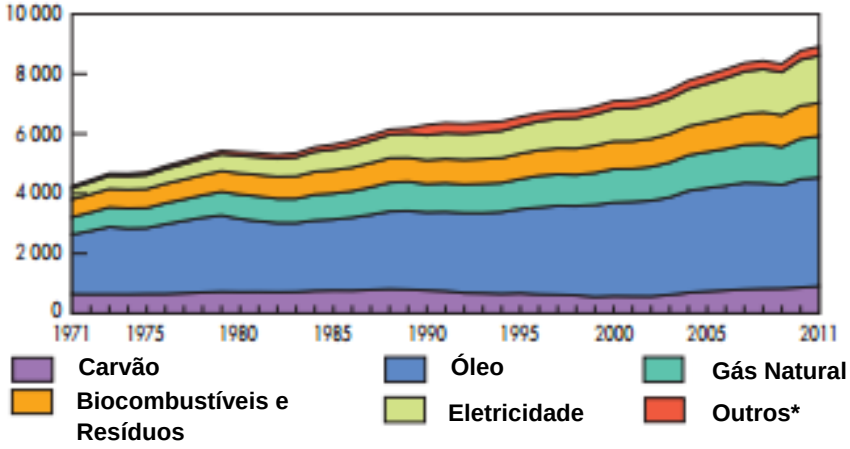
2.1 Biodiesel no Mundo

O sistema energético mundial continua significativamente dependente dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás), o que deveria nortear a utilização de biodiesel. As Figuras 2.1 e 2.2 apresentam, respectivamente, o consumo e a evolução do consumo final de energia no mundo entre 1971 e 2011.



*outros: inclui energia geotérmica, solar, vento, calor, etc.
Figura 2.1. Consumo de energia final no mundo em 2011.
Fonte: IEA, 2013.

A Figura 2.1 mostra que 66,4% da energia consumida no mundo se originam das fontes não renováveis, ou seja, de origem fóssil, sendo: óleo (40,8%); gás natural (15,5%) e carvão (10,1%).



*outros: inclui energia geotérmica, solar, vento, calor, etc.
Figura 2.2. Evolução do consumo de energia final no mundo, por combustível, de 1971 a 2011 (Mtep)[4]
Fonte: IEA, 2013.

Apesar do aumento do consumo de combustíveis entre os anos de 1971 e 2011, de acordo com os dados do IEA (2013), nesse mesmo período o consumo de óleo e de carvão diminuiu, respectivamente, 7,3% e 3,6%.

O IEO (2013), publicado pela EIA dos Estados Unidos, conclui que o consumo mundial de energia deverá crescer 56% entre 2010 e 2040, passando de 153.510 TWh em 2010 para 184.540 TWh em 2020 e 240.156 TWh em 2040 (EIA, 2013). A Tabela 2.1 apresenta o consumo mundial de energia por combustível entre 1990 e 2040, e a Figura 2.3 representa a evolução do consumo nesse período.

Conforme apresentado na Tabela 2.1, ocorrerá o seguinte aumento no consumo de cada combustível:

- Combustíveis líquidos: aumento de 32% entre 2010 e 2040;
- Carvão: aumento de 49% entre 2010 e 2040;
- Gás natural: aumento de 64% entre 2010 e 2040;
- Renováveis: aumento de 112% entre 2010 e 2040;
- Nuclear: aumento de 110% entre 2010 e 2040.

[4] Segundo o IEA (2013), os números relativos à produção de electricidade, comércio e consumo final são calculados utilizando a seguinte relação: 1 TWh = 0,086 Mtep . Produção de energia a partir de hidro e outros meios não-térmicos (eólica, maré/oceano, fotovoltaica, etc) também são contabilizadas seguindo essa mesma relação (1 TWh = 0,086 Mtep). A energia nuclear é calculada a partir da geração bruta, assumindo uma eficiência de conversão de 33%, ou seja, 1 TWh = (0,086 / 0,33) Mtep . Para geotérmica e solar térmica, se nenhuma informação específica do país é relatada, os equivalentes de energia primária são calculados da seguinte forma: 10 % para a electricidade geotérmica; 50% para o calor geotérmico; 33% para a eletricidade solar térmica e 100% para o calor solar térmico.

Tabela 2.1. Consumo mundial de energia primária, por combustível, de 1990 a 2040 (TWh)

Ano	Líquidos (TWh)	Carvão (TWh)	Gás natural (TWh)	Renováveis (TWh)	Nuclear (TWh)	TOTAL (TWh)
1990	39906,6	26104,5	22082,2	9911,0	5964,6	103969,0
1995	41796,7	25750,5	23784,3	11350,6	6814,8	109496,8
2000	45560,2	27044,2	26655,8	12183,4	7515,9	118959,5
2005	49890,3	35765,6	30143,8	13472,1	8044,3	137316,2
2010	51607,0	43202,3	34223,9	16481,0	7995,7	153509,7
2015	54361,2	48224,3	36397,9	19704,3	8911,0	167598,6
2020	57048,0	52818,5	39835,1	23737,7	11100,9	184540,2
2025	59226,4	57425,1	43497,3	26214,7	12983,4	199346,9
2030	61779,6	60916,5	47639,2	28809,8	14506,4	213651,5
2035	64783,8	63487,5	51987,0	31780,5	15661,4	227700,3
2040	68148,9	64315,6	56056,8	34882,5	16752,3	240156,0

Fonte: Adaptado de EIA, 2013.

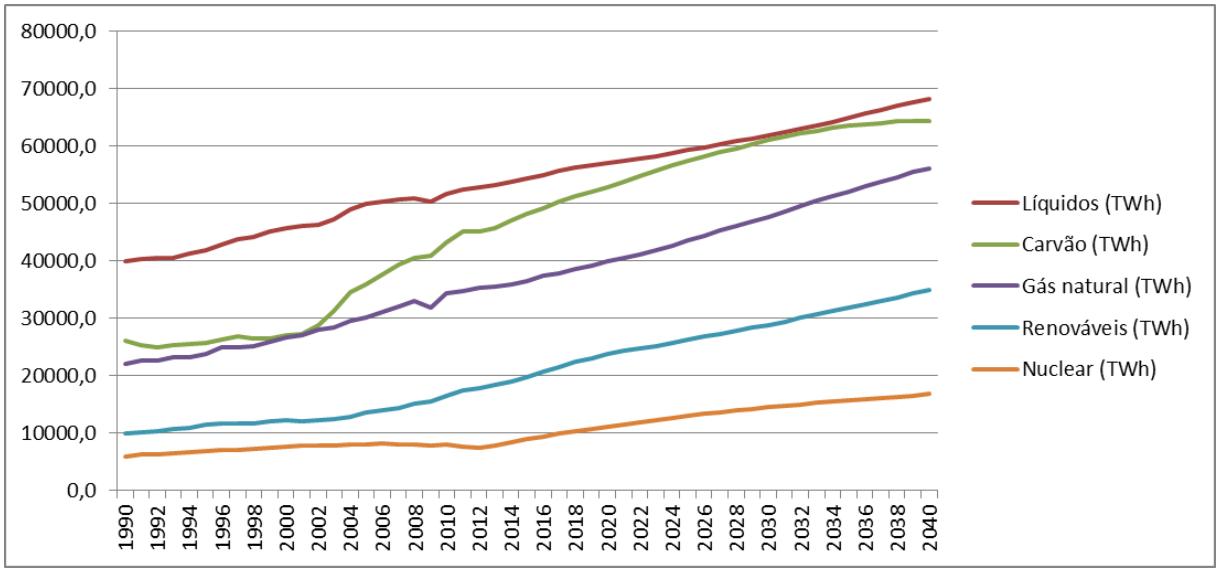


Figura 2.3. Consumo mundial de energia primária, por combustível, de 1990 a 2040 (TWh)
Fonte: Adaptado de EIA, 2013.

De acordo com as projeções realizadas pela EIA (2013), os combustíveis fósseis continuarão a fornecer a maior parte do total da energia consumida no mundo em 2040. Embora os combustíveis líquidos – grande parte a base de petróleo – permanecem como a maior fonte de energia, sua participação no consumo mundial total vai cair de 34% em 2010 para 28% em 2040, pois a alta nos preços de petróleo acaba incentivando os consumidores de energia a optarem por outros tipos de combustíveis alternativos, quando viável. Já a participação de carvão e gás natural irá representar em 2040 praticamente o mesmo percentual que em 2010 (carvão: 28% em 2010 e 27% em 2040; gás natural: 22% em 2010 e 23% em 2040). As fontes de maior crescimento no consumo são as energias renováveis,

que irá subir de 11% em 2010 para 15% em 2040, e a nuclear, que cresce de 5% em 2010 para 7% em 2040.

Diante do exposto observa-se que o mundo procura novas fontes de energia que sejam renováveis e menos poluentes, e que possam contribuir para a redução da intensidade do aquecimento global causado, principalmente, pela emissão de CO_2 na atmosfera.

Entre as alternativas existentes para a substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia, destacam-se os biocombustíveis utilizados no setor de transporte, que é um dos setores que mais consome energia.

Entre os biocombustíveis líquidos estão o etanol e o biodiesel. Um reflexo da importância desses biocombustíveis é o aumento na produção global, conforme apresentado nas Figuras 2.4 e 2.5.

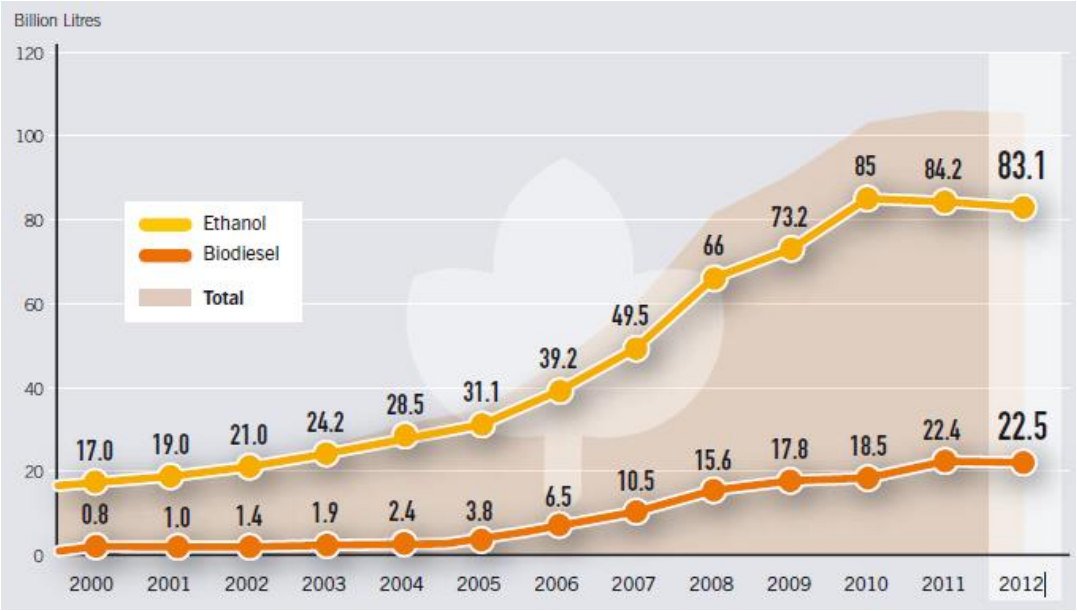


Figura 2.4. Produção de etanol e biodiesel no mundo entre 2000 e 2012.
Fonte: REN21, 2013.

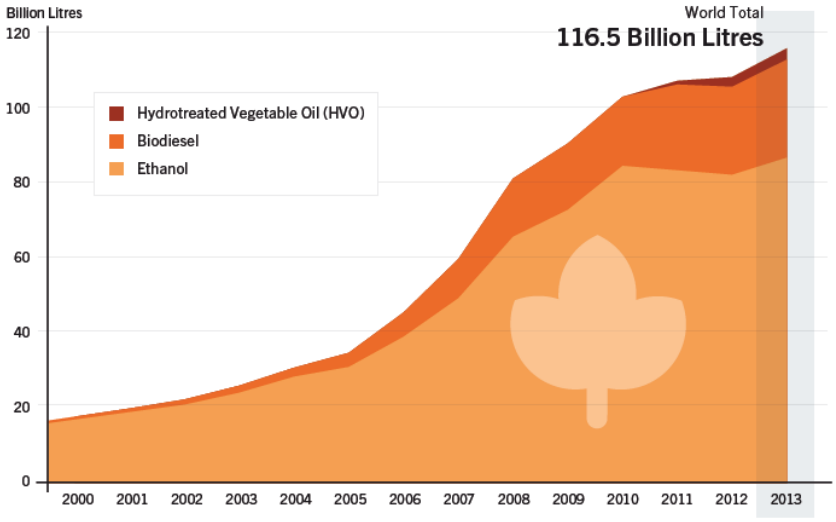


Figura 2.5. Evolução da produção de etanol, biodiesel e HVO entre 2000 e 2013.
Fonte: REN21, 2014.

As Figuras 2.4 e 2.5 mostram que a produção de biocombustíveis para uso no setor de transporte desacelerou entre 2010 e 2012, apesar da alta dos preços do petróleo, mas aumentou novamente em 2013. A produção mundial de etanol e biodiesel aumentou pouco mais de 7% em 2013, comparado a 2012, atingindo um total de 113,5 bilhões de litros. O volume de etanol cresceu em torno de 5%, atingindo 87,2 bilhões de litros, e a produção de biodiesel cresceu quase 17%, passando para 26,3 bilhões de litros (REN21, 2014). A taxa média de crescimento anual da produção dos biocombustíveis pode ser observada na Figura 2.6.

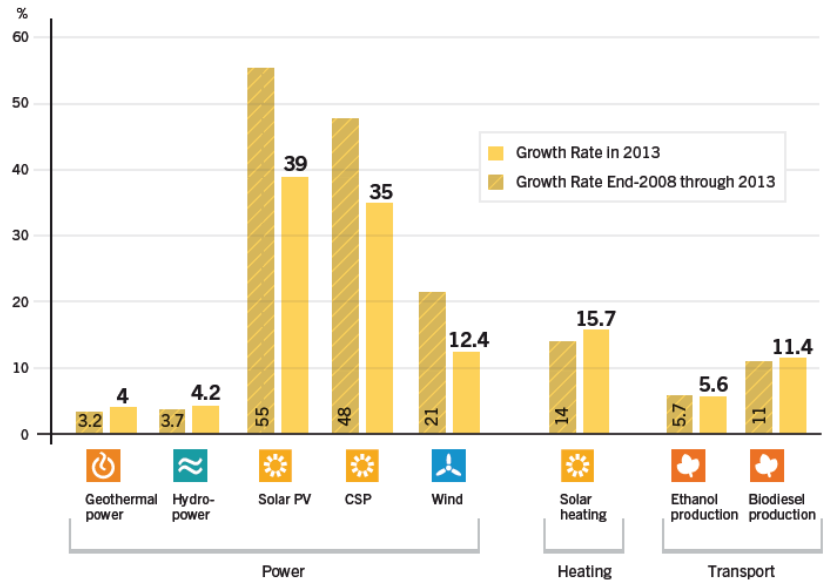


Figura 2.6. Taxas médias de crescimento anual da capacidade de energias renováveis e produção de biocombustíveis entre 2008 e 2013
Fonte: REN21, 2014.

Além do etanol, que possui bases tecnológicas consolidadas em todo o mundo e que corresponde ao maior consumo de biocombustíveis, o biodiesel também surgiu como uma alternativa promissora aos combustíveis fósseis. O caráter renovável deste combustível o torna uma importante fonte de energia.

O biodiesel é definido pela ASTM, como um combustível líquido sintético, originário de matéria-prima renovável e constituída por mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos de cadeias longas, derivados de óleos vegetais ou gorduras animais. Também pode ser definido como derivado de biomassa renovável que pode substituir, parcial ou totalmente, combustíveis de origem fóssil em motores a combustão interna ou para geração de outro tipo de energia, de acordo com a definição para biodiesel adotada na Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005 (CASA CIVIL, 2005), que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira.

O mundo possui grande interesse na produção e comercialização de biocombustíveis, principalmente, em face da crescente exigência pela redução das emissões de GEE no âmbito do Protocolo de Kyoto; o setor de transporte e responsável por 13% das emissões de GEE no mundo (IDELT, 2013) e as outras alternativas existentes [5], na maioria dos casos, ainda não são viáveis economicamente.

O biodiesel permite que se estabeleça um ciclo fechado de carbono, ou seja, a planta que servirá de matéria-prima, enquanto em fase de crescimento, absorve o CO_2 e o libera novamente quando o biodiesel é queimado na combustão do motor. De acordo com BIODIESELBR (2006), com esse ciclo fechado estabelecido, o biodiesel reduz em até 78% as emissões líquidas de CO_2. Além disso, o uso deste biocombustível reduz as emissões de enxofre (20%), anidrido carbônico (9,8%), hidrocarbonetos não queimados (35%), material não particulado (55%) e compostos sulfurados e aromáticos (100%).

Vale lembrar também que os materiais não particulados são os principais causadores de problemas respiratórios e os compostos sulfurados são os precursores do câncer e da chuva ácida (BIODIESELBR, 2006).

Outra variável que exerce pressão na busca por combustíveis alternativos é a instabilidade política e social nos países produtores de petróleo, como o Oriente Médio.

[5] Biogás, biometano, biocombustíveis sintéticos, biohidrogênio, entre outras.

Até o ano de 2010 a União Europeia foi o maior produtor mundial de biodiesel. Em 2010 produziu mais de 10 bilhões de litros, representando cerca de 53% da produção total. A Alemanha foi a maior produtora mundial de biodiesel nesse ano, seguida do Brasil, Argentina, França e Estados Unidos (REN21, 2011).

A partir de 2011 os Estados Unidos se tornaram o maior produtor mundial, ultrapassando a Alemanha, Brasil, Argentina e França, e encontra-se nessa posição até os dias de hoje. Produziu cerca de 1,2 bilhões de litros em 2010, chegando a 4,8 bilhões de litros em 2013.

Em 2013 os Estados Unidos foram seguidos pela Alemanha e Brasil, que aumentaram sua produção de biodiesel em 16% e 5%, respectivamente, para 3,1 e 2,9 bilhões de litros. A Argentina foi o quarto maior produtor com 2,3 bilhões de litros (REN21, 2014).

A Tabela 2.2 apresenta os 5 maiores produtores de biodiesel desde 2008 e a Tabela 2.3 apresenta a quantidade de biodiesel produzido por esses países nesse mesmo período.

Tabela 2.2. Os 5 maiores produtores de biodiesel de 2008 a 2013.

Ano	**1º**	**2º**	**3º**	**4º**	**5º**
2008	Alemanha	Estados Unidos	França	Argentina	Brasil
2009	França/Alemanha		Estados Unidos	Brasil	Argentina
2010	Alemanha	Brasil	Argentina	França	Estados Unidos
2011	Estados Unidos	Alemanha	Argentina	Brasil	França
2012	Estados Unidos	Argentina	Alemanha/Brasil	França	Indonésia
2013	Estados Unidos	Alemanha	Brasil	Argentina	França

Fontes: REN21, 2009; REN21, 2010; REN21, 2011; REN21, 2012; REN21, 2013 e REN21, 2014

Tabela 2.3. Quantidade de biodiesel produzido entre 2008 e 2013 pelos principais produtores.

Ano	Produtor	Quantidade produzida por país (bilhões de litros)	Total produzido no mundo (bilhões de litros)	Representatividade (%)
2008	Alemanha	2,2		18,3
	Estados Unidos	2,0		16,7
	França	1,6	12	13,3
	Argentina	1,2		10,0
	Brasil	1,2		10,0
2009	França	2,6		15,3
	Alemanha	2,6		15,3
	Estados Unidos	2,1	17	12,4
	Brasil	1,6		9,4
	Argentina	1,4		8,2
2010	Alemanha	2,9		15,7
	Brasil	2,3		12,4
	Argentina	2,1	18,5	11,4
	França	2,0		10,8
	Estados Unidos	1,2		6,5
2011	Estados Unidos	3,2		15,0
	Alemanha	3,2		15,0
	Argentina	2,8	21,4	13,1
	Brasil	2,7		12,6
	França	1,6		7,5
2012	Estados Unidos	3,6		16,0
	Argentina	2,8		12,4
	Alemanha	2,7	22,5	12,0
	Brasil	2,7		12,0
	França	1,9		8,4
	Indonésia	1,5		6,7
2013	Estados Unidos	4,8		18,25
	Alemanha	3,1		11,79
	Brasil	2,9	26,3	11,03
	Argentina	2,3		8,75
	França	2,0		7,60

Fontes: Adaptado de REN21, 2009; REN21, 2010; REN21, 2011; REN21, 2012; REN21, 2013 e REN21, 2014.

Estes (e outros) países estabeleceram políticas para a adição de biodiesel ao diesel de petróleo. Os países possuem suas próprias legislações e em muitos deles

existe a legislação específica para cada estado ou província (NASCHE, 2012). Durante 2013 essas políticas continuaram a ser decretadas e/ou revisadas por uma série de países que empregam incentivos e regulamentos fiscais. As políticas incluem subsídios à produção de biocombustíveis e obrigações de mistura biodiesel ao diesel.

Na Europa, por exemplo, para incentivar a demanda de biodiesel, alguns países promovem a redução de tarifas sobre o consumo deste combustível. Para estimular a produção doméstica, muitos países adotam políticas de subsídios e tarifas de importação para proteger os produtores europeus (FIGUEIRA, 2011).

Novos mandatos de mistura biodiesel/diesel foram introduzidos por alguns países em 2013, como o Equador, que estabeleceu o B5 (5% de biodiesel misturado ao diesel) e para o futuro (ainda sem data), pretende aumentar para B10 (REN21, 2014). No início de 2014, as obrigações de mistura de biodiesel ao diesel existiam em 17 países, conforme apresentado na Tabela 2.4.

A partir dos mandatos estabelecidos os países devem obedecer as prerrogativas da mistura de biodiesel ao diesel que, além de focar a menor dependência dos combustíveis fósseis na matriz energética, procura proporcionar melhorias ambientais, sociais e econômicas.

O programa americano de biodiesel é bem menor que o europeu e apresenta diferenças importantes. A principal matéria-prima utilizada é a soja, complementada com óleos residuais (BIODIESELBR, 2013; EXAME.COM, 2013).

Como o diesel americano possui uma menor carga tributária, apenas a renúncia fiscal não permite viabilizar o biodiesel. Além das medidas de caráter tributário, têm sido adotados incentivos diretos à produção como o Commodity Credit Corporation Bioenergy Program, que subsidia a aquisição de matérias-primas para fabricação de etanol e biodiesel, e atos normativos que determinam um nível mínimo de consumo de biocombustíveis, por órgãos públicos e frotas comerciais, como definido no Energy Policy Act (EPAct) (BIODIESELBR, 2013).

Tabela 2.4. Mandatos de mistura de biodiesel ao diesel de petróleo em 17 países

País	Mandatos[6]
Argentina	10%
Austrália	2% em Nova Gales do Sul
Bélgina	4%
Brasil	5%*
Canadá	Nacional: 2%; Províncias: 4% em Colúmbia Britânica; 2% em Alberta, Saskatchewan e Manitoba
Coreia do Sul	2,5%
Costa Rica	20%
Estados Unidos	Estado: 2% em Louisiana; 3% em Washington; 5% em Massachusetts, Novo México e Oregon; 10% em Minnesota - e 20% até 2015; 2% após uma ano da produção de biodiesel atingir 40 milhões de litros, 5% um ano depois de 100 milhões de litros, 10% um ano depois de 200 milhões de litros e 20% um ano depois de 400 milhões de litros na Pensilvânia
Equador	5% - 10% no futuro (ainda sem data)
Indonésia	2,5%
Malásia	5%
Paraguai	1%
Peru	2%
Filipinas	5%
Tailândia	5%
Uruguai	5%
Zâmbia	5%

*No início de 2014 o B5 era obrigatório no Brasil. A partir de 01 de julho de 2014 a mistura passou a 6% (B6) com previsão de aumento para 7% a partir de 01 de novembro de 2014.
Fonte: Adaptado de REN21, 2014.

Apesar do aumento na produção global de biocombustíveis vários mercados enfrentaram desafios em 2013. Esses desafios incluem a sustentabilidade dos biocombustíveis, a redução da demanda de combustível no setor de transporte devido ao aumento da eficiência dos veículos, além do crescente interesse por veículos híbridos e movidos a gás (REN21, 2014).

No início de 2014, pelo menos 63 países usaram políticas regulatórias para promover a produção ou o consumo de biocombustíveis no setor de transporte. Entretanto, alguns países diminuíram o apoio aos biocombustíveis de primeira geração devido a preocupações com a sustentabilidade ambiental e social. Embora

[6]Os demais países (África do Sul, Angola, China, Colômbia, Etiópia, Guatemala, Índia, Jamaica, Malávi, Moçambique, Panamá, Sudão, Turquia, Ucrânia, Vietnã e Zimbábue) possuem mandatos apenas para mistura de etanol a gasolina.

a maioria das políticas relacionadas com os transportes concentrar-se em biocombustíveis, muitos governos continuam a explorar outras opções, como veículos alimentados a biometano (REN21, 2014).

2.2 Biodiesel no Brasil

O Brasil, apesar de apresentar uma matriz energética onde 42,4% da oferta interna de energia é suprida por energias renováveis (EPE, 2013), pelo fato de utilizar majoritariamente recursos hídricos para a geração de eletricidade e percentuais crescentes de combustíveis renováveis no setor de transporte como o etanol de cana-de-açúcar, ainda apresenta gargalos importantes a serem resolvidos. Um desses gargalos é a utilização de biodiesel, que tem alcançado destaque significativo na última década.

O Brasil vem atuando de forma expressiva no uso de fontes renováveis de energia. Assim como o etanol, que já se consolidou como uma alternativa à gasolina, o biodiesel apresenta significativo potencial para ser a opção renovável frente ao diesel mineral, proporcionando a redução da dependência do setor de transportes em relação aos derivados do petróleo (SUGAWARA, 2012), se conseguir resolver os gargalos existentes, como será discutido nos próximos capítulos deste trabalho.

Em 1980, como forma de adicionar a matriz energética do país novas fontes, o governo brasileiro criou o programa do Pro-óleo o qual contemplava o Prodiesel[7] como subprograma. Neste mesmo ano foi criada a Proerg a qual produziu óleos utilizados como combustíveis oriundos de vegetais ou gorduras animais. Em 1983 a mesma empresa em parceria com a aeronáutica desenvolveu o Prosene e neste mesmo ano uma aeronave fez um voo experimental testando o combustível, mas nos anos seguintes, com a crise do petróleo diminuindo, o programa foi perdendo forças até a extinção (MATTEI, 2008).

[7] O combustível derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais, que pode substituir o diesel de petróleo, foi patenteado pelos cientistas do Ceará com o nome de Prodiesel, que é o mesmo biodiesel conhecido atualmente.

Na década de 90 após a reestruturação do setor energético do Brasil, a ANP autorizou por meio da Resolução 180 de 1998, a realização de testes e comercialização de combustíveis não especificados, sendo a UFRJ, através da COPPE, a primeira instituição que solicitou realização de testes com o Biodiesel. Diante dos resultados obtidos, em 2001 foi realizado o seminário “Potencial do Biodiesel no Brasil” onde concluiu-se a viabilidade econômica de uma política nacional que buscasse a substituição gradativa do diesel mineral pelo biodiesel a partir de produtos vegetais e da biomassa (MATTEI, 2008).

Em 2003, foram iniciados os primeiros estudos para a criação de uma política de biodiesel no Brasil. As informações necessárias ao processo decisório concentravam-se em avaliar a produção e o uso do biodiesel de diversas oleaginosas, o potencial mercado e as oportunidades para a inserção do biodiesel, a definição da logística de distribuição deste combustível, o desempenho dos motores e os efeitos da adição de biodiesel ao diesel de petróleo, a localização dos produtores de biodiesel, além da estruturação de modelo tributário capaz de garantir competitividade ao biodiesel (FLEXOR & KATO, 2008).

Antes do lançamento do programa e com os resultados dos estudos, ainda havia incertezas quanto à viabilidade econômica do programa, pois os estudos indicaram que os custos de produção do biodiesel eram maiores que do diesel derivado de petróleo. Além disso, havia a incerteza de que os produtores de oleaginosas (soja, dendê, mamona, etc) optassem por vender suas produções para as indústrias alimentícias ou para o mercado externo de óleos, o que inviabilizaria a implementação do programa (FLEXOR & KATO, 2008).

Diante desses problemas foram criados instrumentos econômicos (linhas de financiamentos, incentivos e subsídios) para tentar viabilizar a oferta de biodiesel.

Em dezembro de 2004, foi lançado o PNPB. Inicialmente, o principal objetivo desta política foi introduzir o biodiesel na matriz energética nacional com foco na inclusão social e no desenvolvimento regional.

O PNPB institucionalizou a base normativa para a produção e comercialização do biodiesel no Brasil, incluindo a definição do modelo tributário para este combustível, que foi concebido com o propósito de conferir redução total ou parcial dos tributos federais incidentes sobre os biocombustíveis (CIDE, PIS/PASEP e COFINS) para produtores de biodiesel, de modo a viabilizar a inclusão social e a geração de emprego e renda na agricultura brasileira. Portanto, os produtores de

biodiesel que adquirem matérias-primas de agricultores familiares podem ter maior redução nos tributos federais do que se adquirirem de agricultores não familiares (SOUZA, 2010).

Para usufruir desse benefício os produtores de biodiesel precisam possuir o certificado: Selo Combustível Social, que é concedido aos produtores que adquirirem percentuais mínimos de matéria-prima de agricultores familiares; celebrem contratos com agricultores familiares, estabelecendo prazos e condições de entrega da matéria-prima; e prestem assistência técnica aos agricultores. Dentre outras diretrizes políticas da base normativa, destacam-se a segurança no abastecimento e a garantia de qualidade para o consumidor (SOUZA, 2010).

A coordenação do PNPB é realizada pelo MME, no entanto o Selo Combustível Social e o PRONAF, que possui diferentes linhas de créditos para os agricultores, são de responsabilidade do Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA). Já o MAPA é responsável pelo Plano de Zoneamento de Matérias-Primas, Programa de Produção Sustentável da Palma e Câmeras Setoriais de Matérias-Primas. E para finalizar o Programa de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel é gerido pelo MCTI.

Em janeiro de 2005, por meio da Lei 11.097, foi determinada a adição de biodiesel ao diesel mineral consumido no país.

A partir da publicação da lei até o ano de 2007, a mistura de 2% (B2) de biodiesel ao diesel mineral foi autorizada de forma não compulsória, ou seja, de forma voluntária. O período de obrigatoriedade da mistura B2 iniciou em janeiro de 2008, tendo de passar a 5% (B5) até 2013. No segundo semestre de 2008, o governo elevou a mistura para 3% (B3), e no segundo semestre de 2009 para 4% (B4). Embora a mistura B5 estava prevista inicialmente para vigorar em 2013, durante o ano de 2009 esse prazo foi revisto, antecipando a obrigatoriedade de B5 a partir de janeiro de 2010, conforme Resolução nº 6/2009 do CNPE, publicada no DOU em 26 de outubro de 2009.

Em maio de 2014, foi publicada no Diário Oficial da União a Medida Provisória nº 647, que implica na ampliação da mistura obrigatória de biodiesel ao óleo diesel, de 5% para 6% a partir 1º de julho/2014 e para 7% em 1º de novembro/2014.

A utilização de biodiesel como combustível vem crescendo nos últimos anos. As razões para esta tendência são: aumento da procura por combustíveis alternativos

e renováveis; aumento de demanda de combustíveis fósseis (principalmente diesel); e alta nos preços do petróleo no mercado mundial.

A adição de biodiesel ao óleo diesel, além de colaborar para reduzir o consumo (e a subsequente importação) do mesmo, permite a redução de forma significativa das emissões poluentes, principalmente CO, HC e MP, com um pequeno incremento nas emissões de NOx, sem mencionar que o biodiesel não contem enxofre e contribui para reduzir as emissões de enxofre considerando o elevado teor deste componente no óleo diesel no Brasil (TEIXEIRA, 2010; ECYCLE, 2012). O efeito é proporcional à quantidade de biodiesel adicionada ao diesel. Estudos realizados pelo MAPA indicam que o uso de 5% de biodiesel ao diesel, por exemplo, reduz em 5% as emissões de HC e em 4% as emissões de CO e MP, mantendo as emissões de NOx praticamente estáveis. Os dados mostram que as reduções nas emissões diretas, em especial na emissão de hidrocarbonetos e materiais particulados, podem ser significativamente ampliadas com o aumento da mistura de biodiesel ao diesel mineral (MAPA, 2013a).

Desde 2005 o Brasil vem aumentando a produção de biodiesel e permaneceu durantes todos esses anos entre os cinco maiores produtores mundiais, juntamente com a Alemanha e os Estados Unidos. Sua produção passou de 69 milhões de litros em 2006 (ANP, 2013a) para 2,9 bilhões de litros em 2013 (REN21, 2014). A Figura 2.7 apresenta a evolução da produção de biodiesel no Brasil de 2005 a 2013 e a Figura 2.8 apresenta o mapa das plantas de biodiesel autorizadas por capacidade de produção (m^3/dia), referente a março de 2014.

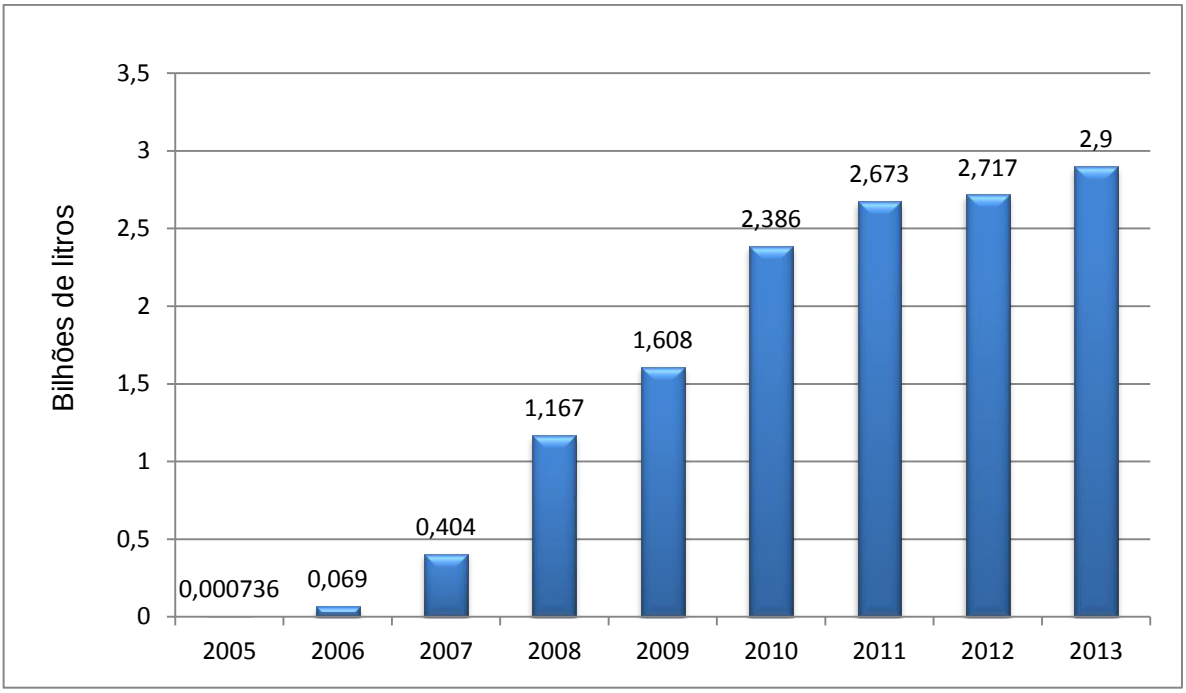
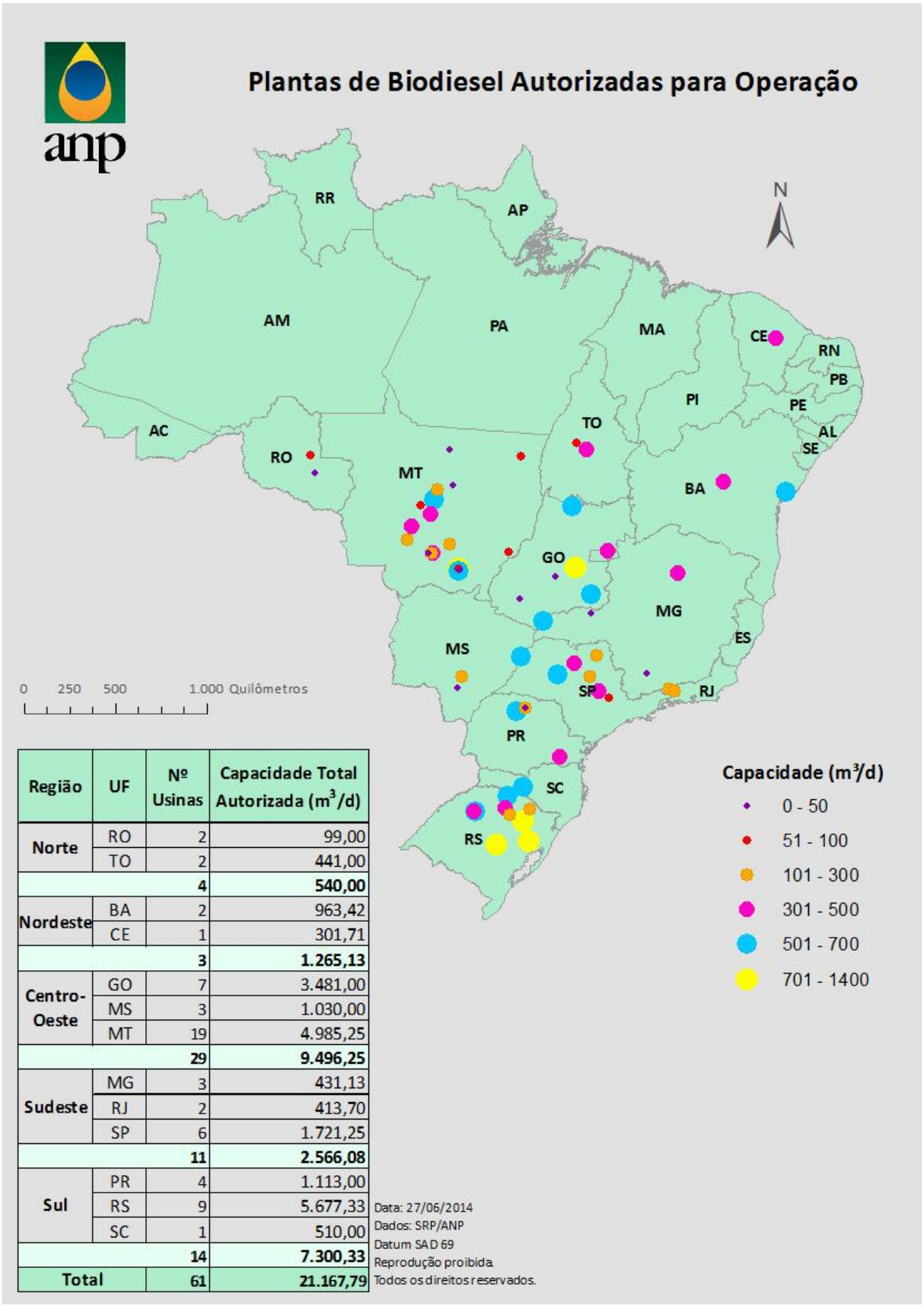


Figura 2.7. Evolução da produção de biodiesel no Brasil.
Fonte: Adaptado de ANP, 2013a e REN21, 2014.

Destaca-se também a rápida evolução da capacidade industrial de produção de biodiesel. Até maio de 2014, 61 unidades estavam autorizadas a produzir e a comercializar o biocombustível, com uma capacidade total autorizada de 21.167,79 m^3/dia. (ANP, 2014c). O Anexo A apresenta a capacidade instalada de biodiesel em maio de 2014, segundo unidades produtoras.

Entretanto, de acordo com a ANP (2014,) em 2013 a capacidade nominal de produção de biodiesel foi de 22 bilhões de litros e, conforme apresentado anteriormente, o Brasil produziu 2,9 bilhões de litros de biodiesel em 2013, o que significa cerca de 13% da sua capacidade nominal de produção. Esta capacidade ociosa pode ser vista como um investimento, pois permite que o produtor de adeque rapidamente ao crescimento da demanda.



Região	UF	Nº Usinas	Capacidade Total Autorizada (m^3/d)
Norte	RO	2	99,00
	TO	2	441,00
		4	**540,00**
Nordeste	BA	2	963,42
	CE	1	301,71
		3	**1.265,13**
Centro-Oeste	GO	7	3.481,00
	MS	3	1.030,00
	MT	19	4.985,25
		29	**9.496,25**
Sudeste	MG	3	431,13
	RJ	2	413,70
	SP	6	1.721,25
		11	**2.566,08**
Sul	PR	4	1.113,00
	RS	9	5.677,33
	SC	1	510,00
		14	**7.300,33**
Total		**61**	**21.167,79**

Figura 2.8. Mapa das plantas de biodiesel autorizadas por capacidade de produção (m^3/dia) – Março de 2014.
Fonte: ANP, 2014b.

As matérias-primas vegetais utilizadas para a produção do biodiesel são derivadas de óleos vegetais como soja, mamona, colza (canola), palma, girassol, entre outros, e as de origem animal são provenientes da gordura bovina, suína e de aves. Como alternativa de matéria-prima inclui-se o óleo utilizado para a cocção de alimentos (fritura).

Na verdade, apesar da grande variedade de matérias-primas, a produção de biodiesel no país ainda é concentrada na soja e gordura animal, ao contrário das expectativas iniciais do programa de contribuir para a melhoria de qualidade de vida nas regiões mais pobres do país como o semiárido (FLEXOR & KATO, 2008).

Na Figura 2.9 são apresentadas as quantidades das diferentes matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil até 2012. O óleo de soja continua sendo a principal matéria-prima utilizada na produção de biodiesel pelo fato de ser a de menor custo, em virtude de que o óleo de soja é subproduto da produção de farelo de soja para exportação. Analogamente a gordura animal é subproduto da produção de carne pelo país.

Entretanto, segundo Padula (2012), o custo referente ao óleo de soja *in natura* é semelhante ao custo do diesel produzido a partir do petróleo já com os impostos incluídos. Assim, o biodiesel a partir de óleo de soja só se torna economicamente competitivo com o diesel convencional, se um sistema de redução de tarifas for adotado.

Em 2012 foram consumidos cerca de 2,1 milhões m^3 de óleo de soja, 3% a menos que em 2011. Em segundo lugar vem a gordura animal, cujo consumo em 2012 foi de 458 mil m^3, aproximadamente 28% a mais que em 2011, pelos motivos mencionados acima. Em terceiro lugar, o óleo de algodão (117 mil m^3 consumidos em 2012, 19% a mais que em 2011) (ANP, 2013a).

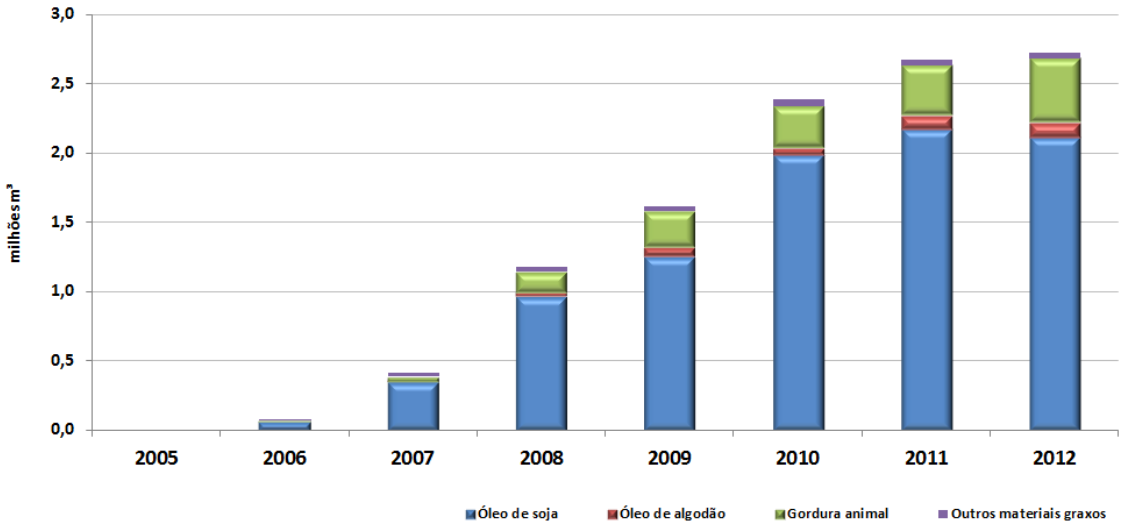


Figura 2.9. Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil – 2005 a 2012.
Fonte: ANP, 2013a.

A Figura 2.10 apresenta o percentual das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel durante o mês de março de 2014, onde se observa a expressiva participação da soja e da gordura animal.

.

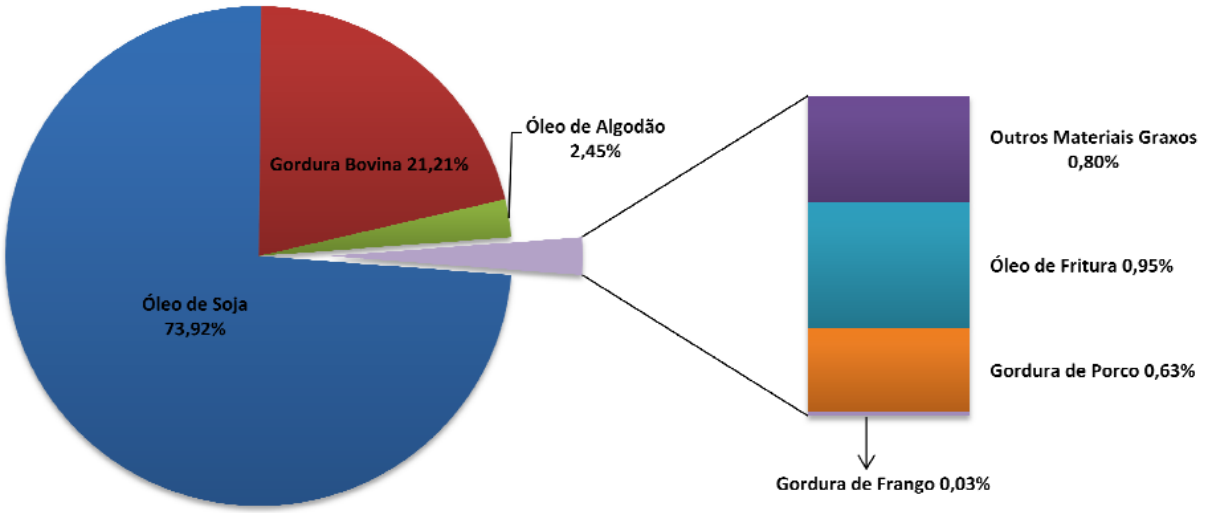


Figura 2.10. Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil durante o mês de março de 2014.
Fonte: ANP, 2014b.

A Tabela 2.5 apresenta o percentual dessas matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel no Brasil em março de 2014 por região.

Tabela 2.5. Percentual das matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel, por região – Março 2014.

Matéria-Prima	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul
Óleo de soja	64,61%	67,17%	87,81%	42,86%	64,86%
Gordura bovina	24,96%	12,60%	8,98%	52,26%	31,77%
Óleo de algodão		20,12%	1,32%	1,89%	
Outros materiais graxos	10,43%		0,74%	0,62%	0,83%
Óleo residual de fritura		0,11%	1,08%	2,37%	0,50%
Gordura de porco			0,07%		1,94%
Gordura de frango					0,10%
Óleo de palma/dendê					

Fonte: ANP, 2014b.

Observa-se que o óleo de soja para a produção de biodiesel é predominante nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sul. Na região Sudeste predomina a gordura bovina. Na verdade a palma e a mamona, inicialmente previstas como sendo grandes fornecedoras de matéria-prima para o biodiesel, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, não conseguiram ocupar um espaço nesta área, por vários motivos discutidos adiante neste trabalho (Capítulo 3).

As Figuras de 2.11 a 2.15 apresentam o histórico do percentual das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel em cada região, desde janeiro de 2013 até maio de 2014.

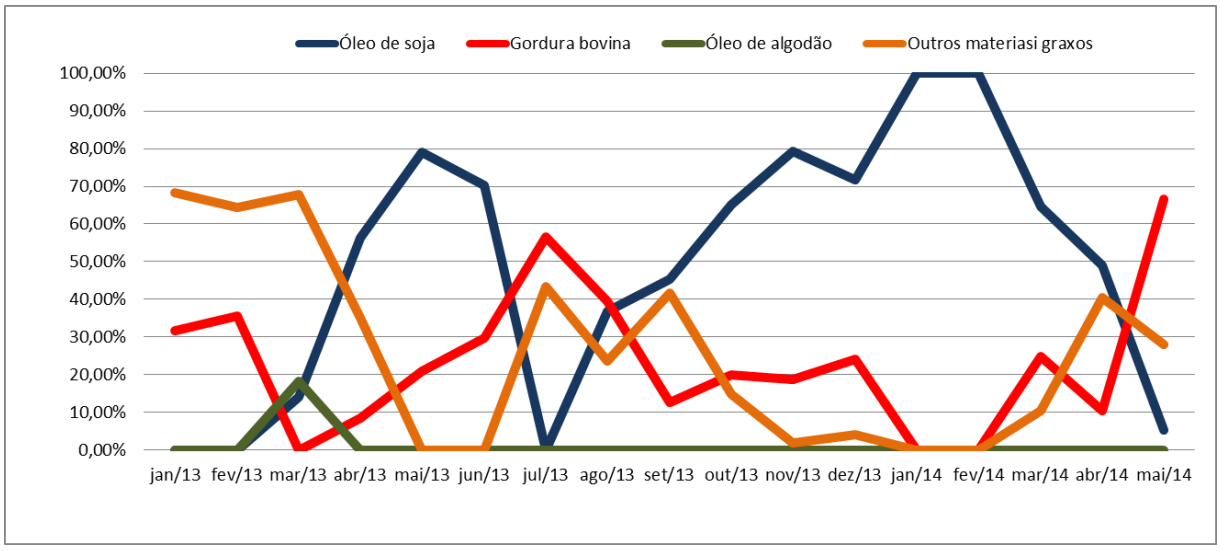


Figura 2.11. Evolução histórica do percentual das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel na região Norte.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do ANP, 2013b.

Apesar das oscilações no consumo das matérias-primas na região Norte, no início de 2014, 100% da matéria-prima utilizada para a produção de biodiesel foi o óleo de soja. A partir daí seu consumo começou a declinar, dando espaço para a gordura bovina e outros materiais graxos. Em maio de 2014 predominou o uso da gordura bovina (67%), seguido por outros materiais graxos (28%) e óleo de soja (5%).

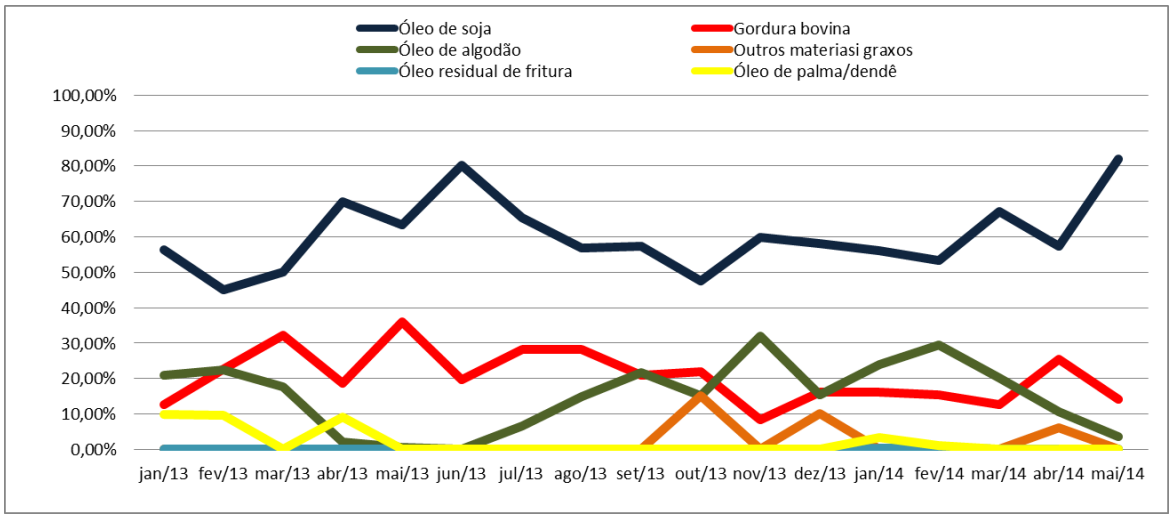


Figura 2.12. Evolução histórica do percentual das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel na região Nordeste.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do ANP, 2013b.

Na região Nordeste o consumo das matérias-primas é mais estável, prevalecendo o óleo de soja com 82%, seguido pela gordura bovina com 14% e pelo algodão com 4% em maio de 2014.

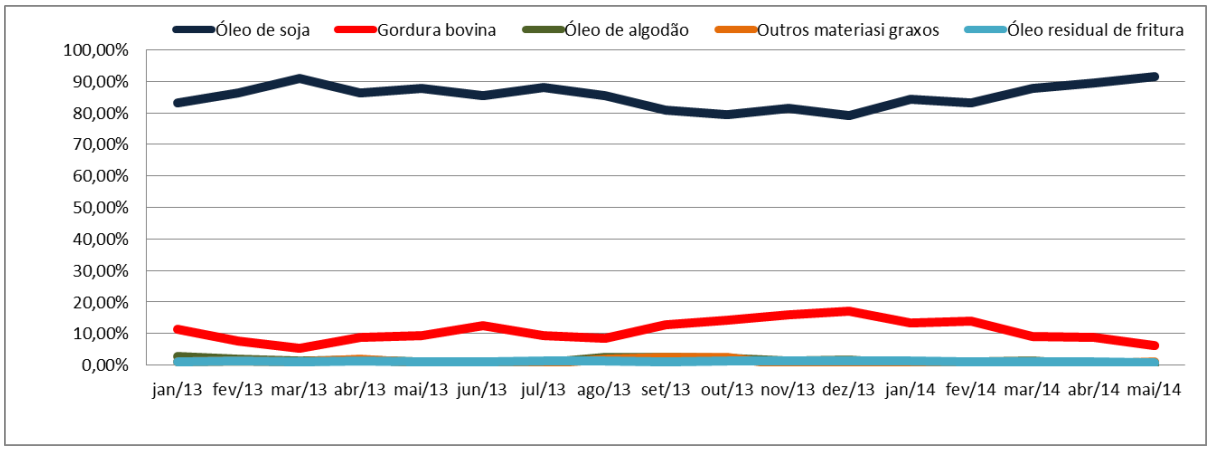


Figura 2.13. Evolução histórica do percentual das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel na região Centro-Oeste.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do ANP, 2013b.

Na região Centro-Oeste o consumo de óleo de soja predominou durante todo o período analisado, atingindo marcas superiores a 80%. Em maio de 2014 o consumo foi de 92%, seguido pela gordura bovina (6%).

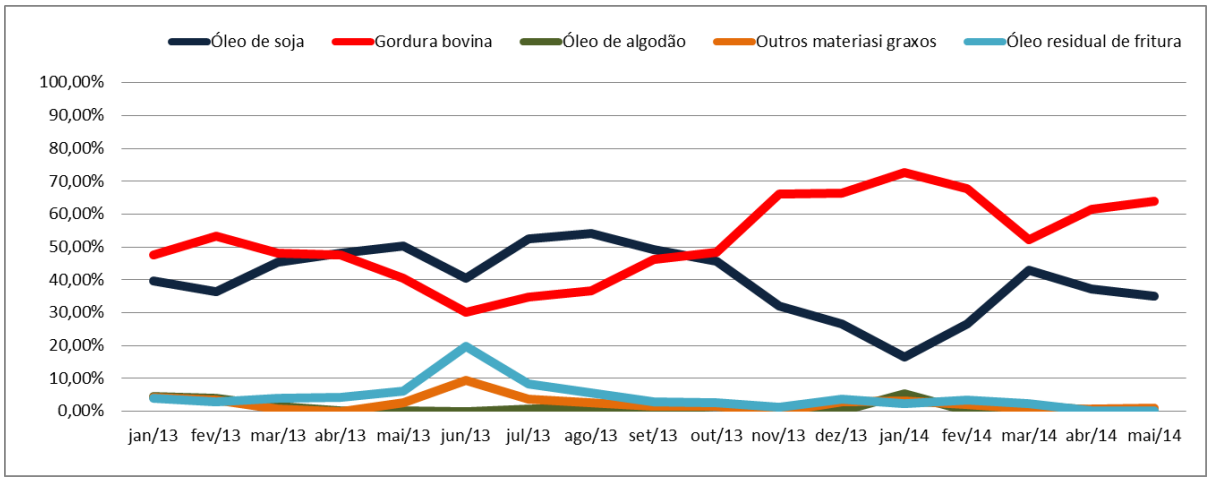


Figura 2.14. Evolução histórica do percentual das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel na região Sudeste.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do ANP, 2013b.

Na região Sudeste prevalece o consumo de óleo de soja e gordura bovina e uma pequena representatividade do óleo residual de fritura, sendo que em junho de 2013 atingiu a marca de 20% no consumo, período em que o óleo residual permaneceu como a terceira matéria-prima mais utilizada para a produção de biodiesel no Brasil, conforme discutido no Capítulo 3 deste trabalho. Em maio de 2014 a região Sudeste consumiu 64% de gordura bovina, 35% de óleo de soja e apenas 0,13% de óleo residual.

A região Sul segue a mesma linha da região Centro-Oeste. O consumo de óleo de soja predominou durante todo o período analisado, atingindo marcas superiores a 65%. Em maio de 2014 o consumo foi de 69%, seguido pela gordura bovina (24%).

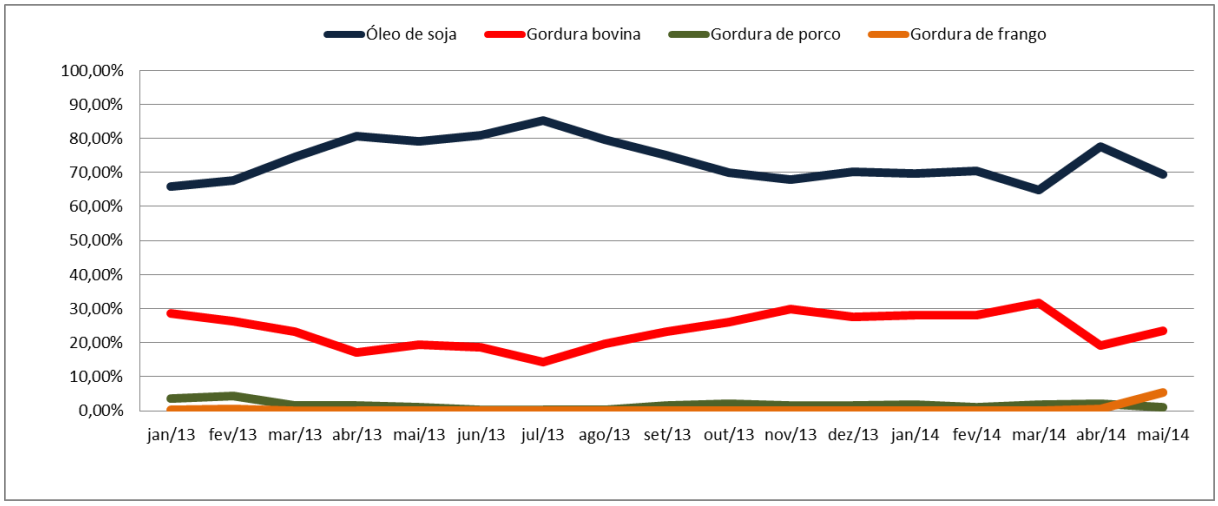


Figura 2.15. Evolução histórica do percentual das matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel na região Sul.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do ANP, 2013b.

Diante dos gráficos apresentados pode-se observar que o óleo de soja é a matéria-prima mais utilizada nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sul. Na região Sudeste prevalece o uso de gordura bovina, pelo simples fato da produção agrícola de soja ser menos expressiva, quando comparada às regiões Sul e Centro-Oeste, conforme apresentado no próximo capítulo. O óleo de algodão tem uma representatividade maior apenas na região Nordeste e chegou a atingir a marca de 32% no consumo em novembro de 2013.

De acordo com o MAPA (2014d) a decisão do aumento do percentual de biodiesel ao óleo diesel em 2014 vai propiciar melhor aproveitamento das matérias-primas e maior utilização da capacidade instalada de produção, sem causar grandes alterações no processo produtivo. Entretanto há necessidade de ser discutida como realizar a inserção de outras matérias-primas além da soja e da gordura animal.

Ainda de acordo com o MAPA (2014d) o consumo de biodiesel que em 2013 foi de 2,9 bilhões de litros, irá aumentar para 4,2 bilhões de litros em 2015 devido a mistura de B7, o que significa um aumento de quase 45%. Mas é necessário que se desenvolvam políticas que permitam o uso de outras matérias-primas na sua produção.

No Brasil, a comercialização do biodiesel é realizada por meio de leilões promovidos pela ANP a partir de orientações/diretrizes específicas estabelecidas pelo MME. Atribui-se aos leilões o objetivo de fornecer suporte econômico à cadeia

de produção do biodiesel e contribuir para o atendimento das diretrizes do programa brasileiro de biodiesel, além de criar condições para a consolidação do setor.

Os leilões de biodiesel asseguram a participação da agricultura familiar, pois pelo menos 80% do volume comercializado nos leilões deve ser proveniente dos detentores do Selo Combustível Social (MME, 2012). O Anexo B apresenta o resumo dos leilões realizados pela ANP no período de 2005 a 2014.

Com a produção brasileira de biodiesel, o objetivo principal era consolidar a cadeia produtiva e gerar emprego e renda, tanto na fase agrícola, nos mercados de insumos e serviços, como também em outras atividades como transporte, armazenamento, mistura e comercialização. Além disso, a produção de biodiesel no país teria por finalidade agregar valor às oleaginosas utilizadas como matérias-primas no Brasil. Entretanto, conforme será discutido mais adiante neste trabalho, a PNPB não alcançou seus objetivos iniciais, principalmente, quanto a inclusão social e inserção de matérias-primas alternativas ao óleo de soja e gordura animal.

3. MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Neste capitulo, a partir da contextualização anterior, são discutidas as diferentes matérias-primas para a produção de biodiesel no Brasil,incluindo as principais oleaginosas, a gordura animal e os principais álcoois utilizados. Este capítulo também aborda a questão da utilização de solo para produção de matérias-primas e sua evolução no Brasil, além de considerações sobre a possibilidade de produzir biodiesel por meio de óleos residuais.

3.1 Óleo Vegetal e Gordura Animal

3.1.1 Óleo de Soja

A soja chegou ao Brasil em 1882 e em 1892, 10 anos depois, o IAC, no Estado de São Paulo, deu início aos primeiros estudos para obtenção de cultivares suscetíveis à região. Naquela época o interesse pela cultura não era pelo grão e sim pela própria planta, utilizada como forrageira e na rotação de culturas. Os grãos por sua vez eram utilizados como alimentação animal, pois ainda não havia emprego na indústria (AGROLINK, 2012).

No início do século XX, o IAC passou a distribuir as sementes da soja para os produtores rurais do Estado. Foi nesse período que produtores do Rio Grande do Sul começaram a cultivar a soja, pois foi a região que apresentou melhores condições para o desenvolvimento da cultura, por ter um clima parecido com o dos Estados Unidos, local de origem dos primeiros genótipos da soja brasileira. Somente a partir dos anos 40 que o cultivo de soja adquiriu alguma importância econômica. A primeira indústria de processamento de soja foi instalada no país em 1941, no município de Santa Rosa, Rio Grande do Sul. Em 1949, pela primeira vez, o Brasil figurou como produtor de soja nas estatísticas internacionais, com produção de 25 mil toneladas (AGROLINK, 2012).

No final da década de 60, o Brasil começou a enxergar a soja como um produto comercial devido a dois fatores: na época o trigo era a principal cultura do Sul do país e a soja surgia como uma opção de verão, em sucessão ao trigo. Nesse mesmo período o Brasil empenhava-se na produção de suínos e aves, provocando a demanda por farelo de soja. Em 1960 o Brasil produzia cerca de 206 mil toneladas de soja. Em 1966, a produção comercial já havia se tornado uma necessidade estratégica, com produção de 500 mil toneladas. Em 1969 a produção atingiu 1,056 milhões de toneladas. Grande parte desse volume (cerca de 98%) foi produzido nos três Estados do Sul, onde prevalecia a dobradinha, trigo no inverno e soja no verão (EMBRAPA SOJA, 2012; AGROLINK, 2012).

Em meados de 1970, a explosão do preço da soja no mercado mundial fez com que os agricultores e o próprio governo brasileiro despertassem para esta *commodity*.

O país se beneficiou diante da competitividade com os outros países produtores, pois o escoamento da safra brasileira ocorre na entressafra americana, quando os preços atingem as maiores cotações. Desde então, o Brasil passou a estudar e investir em tecnologias para adaptar a cultura às condições brasileira. Graças às novas tecnologias disponibilizadas aos agricultores, além do aumento da área cultivada (de 1,3 milhões de ha em 1970 para 8,8 milhões de ha em 1979) e o significativo incremento na produtividade (de 1,14 t/ha em 1970 para 1,73 t/há em 1979), a produção de soja passou de 1,5 milhões de toneladas em 1970 para mais de 15 milhões de toneladas em 1979 (EMBRAPA SOJA, 2012; AGROLINK, 2012).

As pesquisas conseguiram avançar para a tropicalização da soja, permitindo que fosse plantada em regiões de baixas latitudes, entre o trópico de capricórnio e a linha do equador. Essa conquista revolucionou a história mundial desta cultura e no final da década de 80, mais notoriamente na década de 90, seu impacto começou a ser notado no mercado devido à queda nos preços dos grãos (EMBRAPA SOJA, 2012).

A soja adapta-se bem em uma ampla faixa de clima, sendo que as temperaturas ótimas para o melhor desenvolvimento da soja estão entre 20 e 35 °C. Precipitações pluviométricas anuais de 700 a 1.200 mm bem distribuídas preenchem perfeitamente suas necessidades hídricas. Regiões com excessiva umidade não são adequadas para o seu cultivo (MOURAD, 2006).

A soja, além de ser a principal oleaginosa cultivada no mundo, faz parte do conjunto de atividades agrícolas com maior destaque no mercado mundial. A produção de soja está concentrada, principalmente, em três países: Estados Unidos, Brasil e Argentina, que juntos responderam por quase 80% da soja produzida no mundo na safra de 2012/13. A Tabela 3.1 apresenta os principais países produtores de soja e a evolução da produção desde a safra de 1998/99.

Tabela 3.1. Principais países produtores de soja e quantidade de soja produzida (milhões de toneladas)

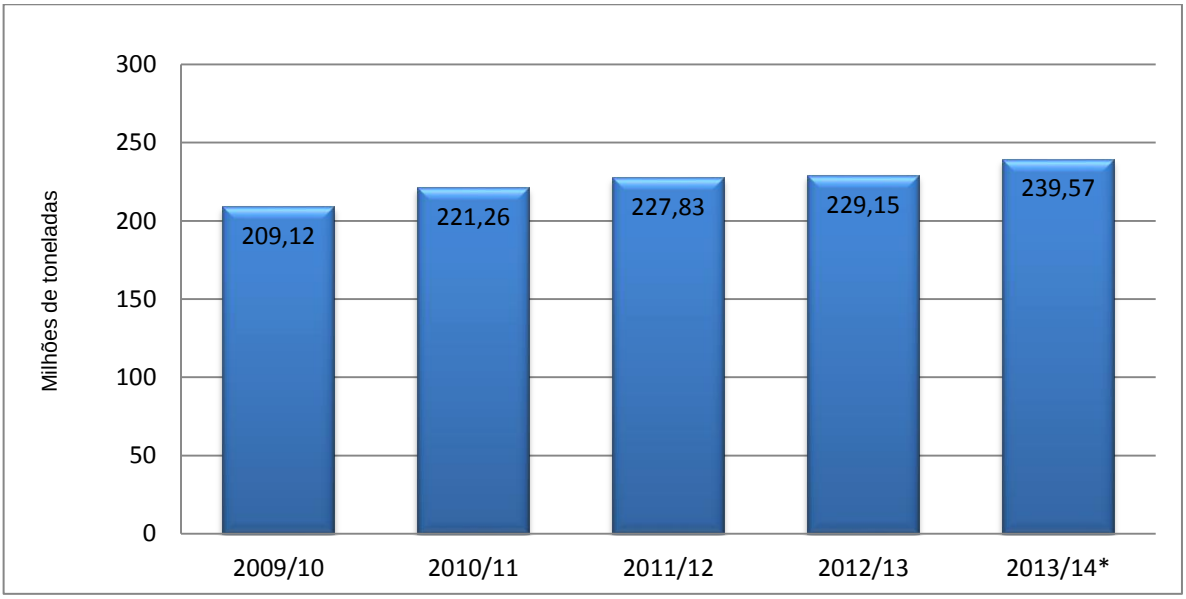
Safras	Países							
	Estados Unidos	Brasil	Argentina	China	Índia	Paraguai	Demais países	Mundo
1998/99	74,60	30,77	20,00	15,15	6,00	3,05	9,72	159,29
1999/00	72,22	32,34	21,20	14,29	5,20	2,90	9,84	157,99
2000/01	75,06	38,43	27,20	15,40	5,25	3,40	9,18	173,92
2001/02	78,67	41,92	30,00	15,41	5,40	3,55	8,31	183,26
2002/03	75,01	52,02	35,50	16,51	4,00	4,50	9,26	196,80
2003/04	66,78	49,79	33,00	15,39	6,80	3,91	9,63	185,30
2004/05	85,01	51,45	39,00	17,40	5,85	4,05	11,41	214,17
2005/06	83,37	55,03	40,50	16,35	6,30	4,00	12,38	217,93
2006/07	86,77	58,39	48,80	15,97	7,69	6,20	12,83	236,65
2007/08	72,86	60,02	46,20	14,00	9,47	6,90	10,58	220,03
2008/09	80,75	57,17	32,00	15,54	9,10	4,00	12,77	211,33
2009/10	91,42	68,69	54,50	14,98	9,70	7,20	14,04	260,84
2010/11	90,61	75,32	49,00	15,10	9,80	8,37	16,49	264,69
2011/12	83,17	66,68	42,50	13,50	11,00	4,00	16,02	236,87
2012/13	82,56	82,00	49,30	12,80	11,50	9,37	20,35	267,88
2013/14*	88,66	88,00	53,50	12,20	11,80	9,00	20,38	283,54

*Estimativas de acordo com SEAB, 2013.
Fontes: MAPA, 2012a e SEAB, 2013.

O grande aumento na produção de soja nos últimos anos deve-se a diversos fatores, dentre eles pode-se destacar (EMBRAPA SOJA, 2011):

- A soja apresenta elevado teor de proteínas (cerca de 40%) de ótima qualidade, tanto para alimentação animal quanto humana;
- Possui considerável teor de óleo (em torno de 18%), que pode ser utilizados para diversos fins, principalmente associados à alimentação humana e à produção de biodiesel;
- Aumento expressivo da oferta de tecnologias de produção nas últimas décadas, que permitiram a expansão significativa da área e da produtividade da oleaginosa.

O consumo mundial de soja em grãos cresceu nos últimos anos. Na safra 2009/10 foram consumidas cerca de 209,12 milhões de toneladas. A previsão de consumo para a safra 2013/14 é de 239,57, ou seja, um crescimento de quase 15%. A abertura do mercado chinês bem como a perspectiva de que alguns países também possam aumentar sua demanda interna, como a Índia, tem feito com que as previsões de consumo sejam ainda maiores para as próximas safras. Entretanto, esse aumento no consumo preocupa especialistas e técnicos da área, pois a produção de soja mundial deve acompanhar essa expansão (SEAB, 2013). A Figura 3.1 apresenta o consumo mundial de soja em grão nas últimas 5 safras.



*Estimativas
Figura 3.1. Consumo mundial de soja em grão – Safras 2009/10 a 2013/14.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SEAB, 2013.

A soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas três décadas e corresponde a 49% da área plantada para produção de grãos do país (MAPA, 2013b). A Tabela 3.2 apresenta a área plantada de soja desde a safra de 1976/77 até 2011/2012. A Figura 3.2 apresenta a evolução de área plantada em cada uma das cinco grandes regiões brasileiras.

Tabela 3.2. Área plantada de soja no Brasil nas safras de 1976/77 a 2011/12.

Safras	Área plantada (milhões de hectares)	Safras	Área plantada (milhões de hectares)
1976/77	6,9	1994/95	11,7
1977/78	7,8	1995/96	10,7
1978/79	8,2	1996/97	11,4
1979/80	8,8	1997/98	13,2
1080/81	8,7	1998/99	13
1981/82	8,4	1999/00	13,5
1982/83	8,4	2000/01	14
1983/84	9,2	2001/02	16,3
1984/85	10,1	2002/03	18,5
1985/86	9,6	2003/04	21,4
1986/87	9,2	2004/05	23,3
1987/88	10,7	2005/06	22,7
1988/89	12,3	2006/07	20,7
1989/90	11,6	2007/08	21,3
1990/91	9,7	2008/09	21,74
1991/92	9,6	2009/10	23,47
1992/93	10,7	2010/11	24,18
1993/94	11,5	2011/12	25,02

Fonte: MAPA, 2012a.

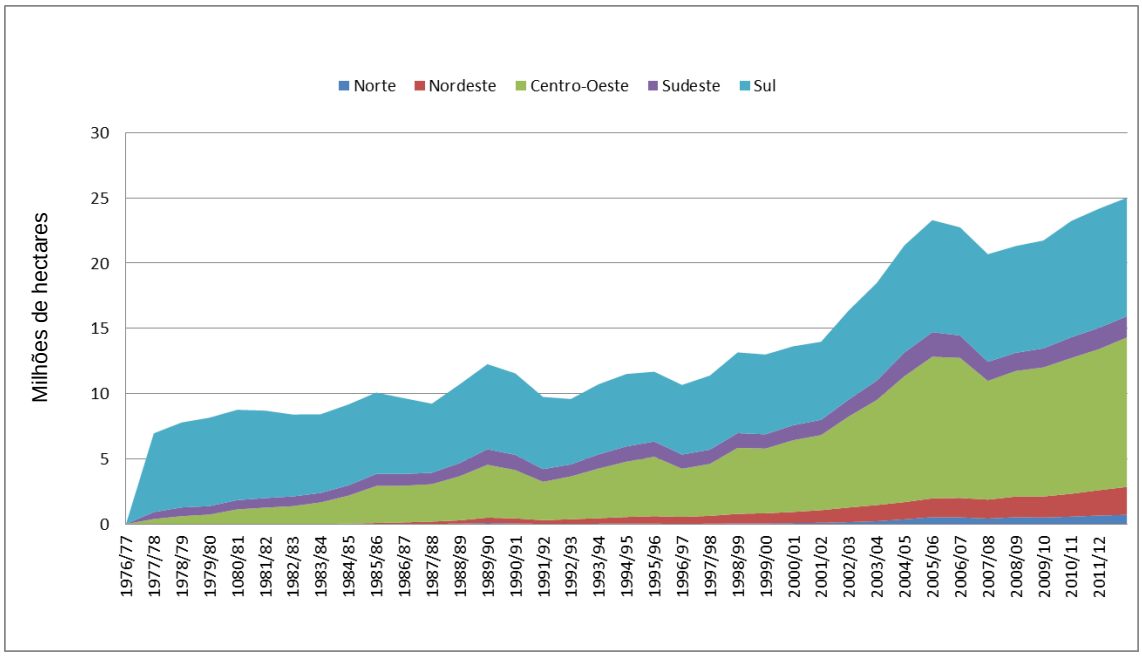


Figura 3.2. Evolução de área plantada de soja em cada uma das cinco grandes regiões brasileiras - Safras 1976/77 a 2011/12.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

Verifica-se que o maior crescimento ocorreu nos últimos 10 anos e que desde a safra 2000/01 a área plantada de soja cresceu 79%.

A expansão da área plantada de soja, verificada sobretudo nas regiões Norte e Centro-Oeste, deve-se, principalmente, ao fato de a soja ser um dos produtos agrícolas com maior crescimento de renda (SNA, 2013). De acordo com as projeções de expansão da área plantada de soja (MAPA, 2012b), a área deve passar de 25 milhões de hectares em 2011/12 para 29 milhões de hectares em 2021/2022, representando um aumento de 16%.

A expansão da soja deve ocorrer pela combinação de expansão de fronteiras em regiões onde há mais terras disponíveis, ocupação de terras de pastagens e pela substituição de lavouras onde não há terras disponíveis para serem incorporadas. Estimativas do MAPA são de que a expansão aconteça em áreas de grande potencial produtivo, como as áreas de cerrados, devido às condições fisiográficas favoráveis (topografia e clima), nos estados de Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (região conhecida como Matopiba). O Mato Grosso deverá perder força nesse processo de expansão de novas áreas devido aos custos das terras, que são superiores aos apresentados na região Matopiba (MAPA, 2012b).

A expansão da área mostra que o Brasil é bastante competitivo na produção de soja, pois possui condições climáticas e tecnológicas que favorecem a cultura. Por outro lado, a expansão da soja faz com que a agricultura brasileira se torne cada vez mais condicionada a essa oleaginosa (SNA, 2013). Outro ponto negativo está relacionado ao desmatamento direto e indireto provocado pela expansão da fronteira agrícola como discutido adiante nesta tese.

À medida que a produção de soja se expande, aumenta a pressão sobre os ecossistemas naturais importantes. Nos últimos anos, amplas áreas de floresta, pastagem e savana deram espaço para uso agrícola, principalmente nos países em desenvolvimento, acarretando em diversos danos ao ambiente. A perda florestal é um fator chave para as mudanças climáticas e, segundo a WWF (2014 apud Taylor, 2011), responde por cerca de 20% das emissões mundiais de gases de efeito estufa.

Segundo a WWF (2014), os maiores impactos e mais destrutivos da mudança no uso direto da terra para a plantação de soja ocorrem nos ecossistemas de pastagens, savanas e florestas secas, como é o caso do Cerrado. Plantar soja em áreas que já tenham sido degradadas pelo gado, por exemplo, em lugar de novas

áreas de florestas desmatadas, pode ser uma forma de reduzir o impacto sobre os ecossistemas naturais. Hoje boa parte da expansão da soja no Brasil já ocorre em terras que anteriormente já foram ocupadas pelos gados. Entretanto, permanece a questão de que a pastagem, que saiu dali para dar lugar a soja, se estabeleça em outro lugar e possa contribuir indiretamente para o desmatamento, por meio da transferência da produção de gado para a floresta, sendo esta a principal causa de desmatamento na floresta (WWF, 2014) – o chamado *ILUC*.

A Figura 3.3 apresenta a evolução histórica da produção de soja no Brasil, em milhões de toneladas, em cada uma das cinco grandes regiões brasileiras. Apesar das oscilações na produção de soja, de 2000/01 a 2010/11 a produção aumentou 96%, caindo em aproximadamente 12% em 2011/12.

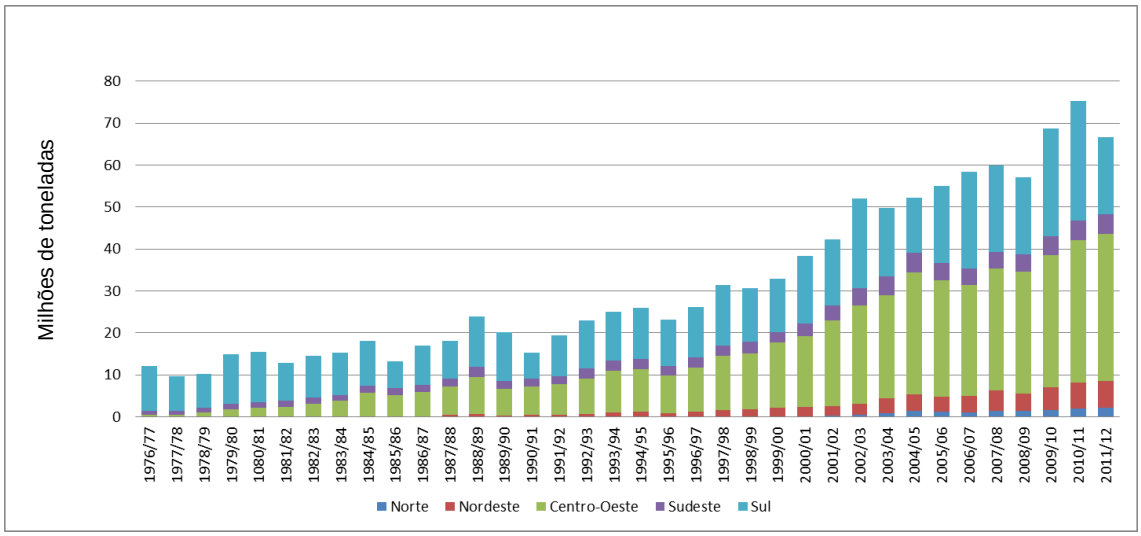


Figura 3.3. Evolução histórica da produção de soja no Brasil - Safras 1976/77 a 2011/12.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

A Figura 3.4 apresenta a evolução histórica da produtividade de soja, indicando que o aumento de área plantada foi acompanhado por um aumento da produtividade, associado essencialmente aos avanços tecnológicos, ao manejo e à eficiência dos produtores (MAPA, 2013b).

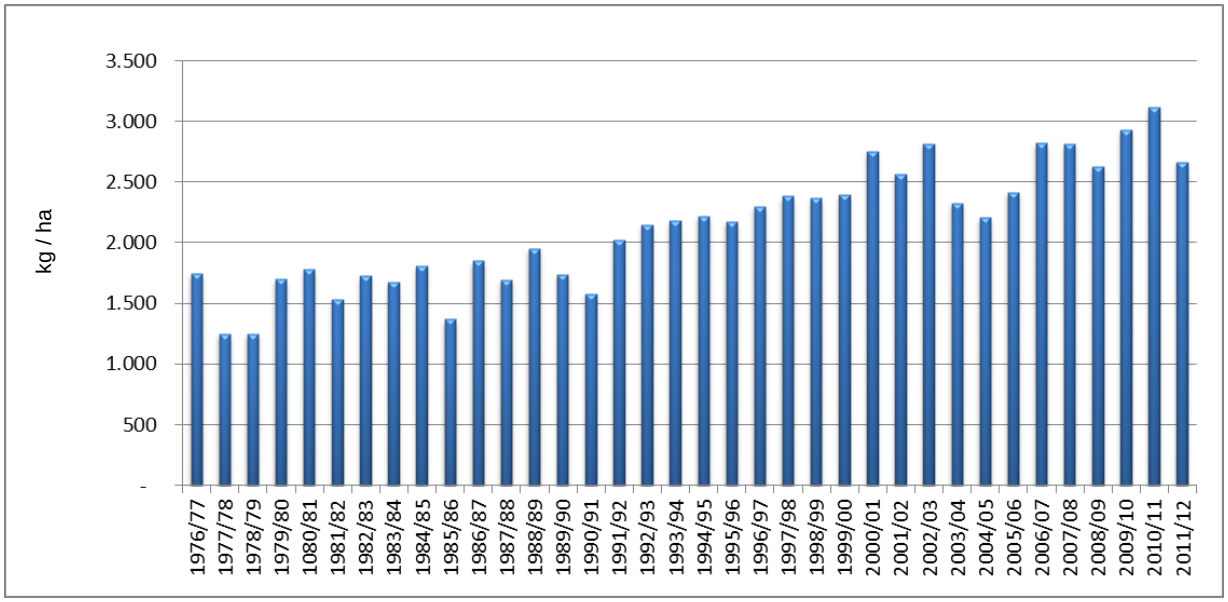


Figura 3.4. Evolução histórica da produtividade de soja no Brasil - Safras 1976/77 a 2011/12.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

A produção brasileira de soja apresentou grande expansão, impulsionada não apenas pelo aumento da área de produção – como discutido acima, mas também pelo incremento de produtividade.

Cultivada especialmente nas regiões Centro-Oeste e Sul do país, a soja se firmou como um dos produtos mais destacados da agricultura nacional e na balança comercial (MAPA, 2013b). Entre as safras 2008/09 e 2010/11, 83% da soja foi produzida nas regiões Centro-Oeste (51%, 46% e 45%) e Sul (32%, 37% e 38%). Na última safra (2011/12) essa produção caiu para 80% (52% Centro-Oeste e 28% Sul).

A região Sul é a segunda maior produtora de soja, perdendo a liderança para a região Centro-Oeste na safra 1998/99. Na ultima safra (2011/12) verificou-se que 71,2% da soja foi produzida nos principais Estados produtores brasileiros: Mato Grosso (32,5%), Paraná (16,2%), Goiás (12,7%) e Rio Grande do Sul (9,8%).

A soja constitui a mais importante lavoura do Brasil, tanto na área de cultivo, quanto no valor agregado de suas colheitas, formando ainda o complexo – grão, farelo e óleo. A maior parte da soja é moída e transformada em farelo para a produção de ração animal. O óleo é utilizado para a alimentação humana e na indústria de cosméticos e sabonetes, além de cada vez mais ser utilizado para a produção de biodiesel. A Figura 3.5 apresenta o fluxograma dos produtos derivados da soja.

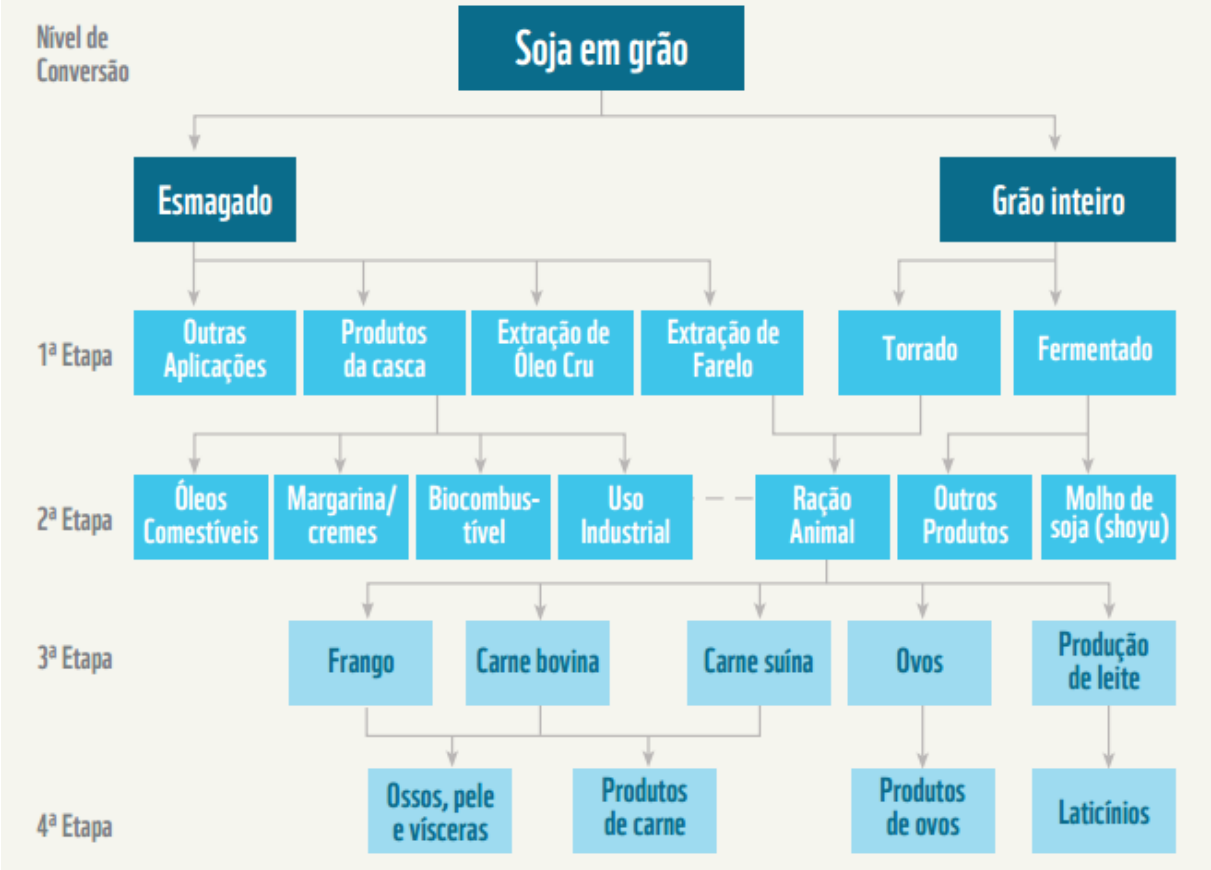


Figura 3.5. Fluxograma dos produtos derivados da soja.
Fonte: WWF, 2014.

O grão e o farelo também são componentes importantes da entrada de divisas para o país em função da sua exportação. De acordo com o MAPA (2014a), as exportações do agronegócio brasileiro atingiram US$ 9,61 bilhões em junho de 2014. O principal setor exportador foi o *complexo soja*, com vendas externas de US$ 4,62 bilhões. A soja em grãos foi o produto de maior receita do complexo, atingindo US$ 3,57 bilhões.

De agosto de 2013 a julho de 2014 as exportações do agronegócio alcançaram US$ 99,51 bilhões, com o *complexo soja* na liderança atingindo US$ 33,85 bilhões no período (34% do total). O setor de carnes veio em segundo lugar com US$ 16,82 bilhões (16,9%), seguido pelo complexo sucroalcooleiro com US$ 11,98 bilhões (12%) e pelo setor de produtos florestais com US$ 9,84 bilhões (9,9%) (MAPA, 2014a).

Durante o ano de 2013 as exportações do *complexo soja* ultrapassaram o faturamento obtido com as vendas externas de petróleo e derivados. As vendas da soja em grão, óleo e farelo somaram US$ 30,96 bilhões, enquanto os embarques de

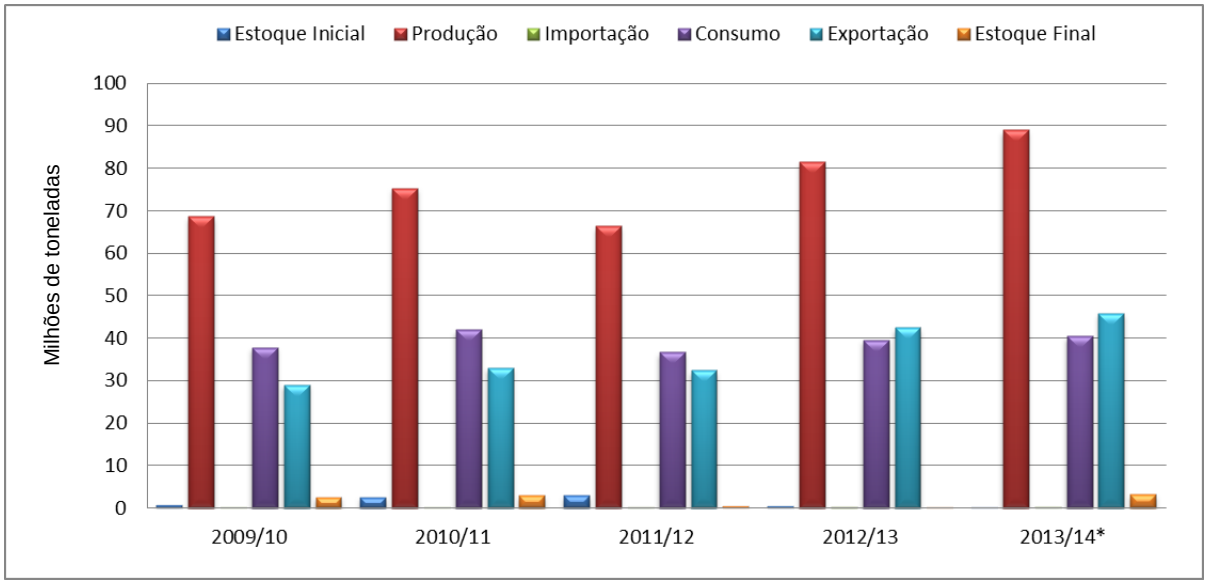
petróleo e derivados atingiram US$ 22,37 bilhões. O crescimento de 4,3% das exportações do agronegócio, que totalizaram cerca de US$ 100 bilhões em 2013, é quase duas vezes maior que a expansão do PIB em 2013 (2,3%) (MAPA, 2014a; ESTADÃO, 2014).

Mas permanece a questão da expansão da fronteira agrícola como discutido acima.

A Figura 3.6 apresenta o histórico da oferta e demanda da soja em grão no Brasil nas últimas 5 safras. As informações que constam na Figura referem-se às quantidades de soja produzidas, importadas, exportadas, consumidas e em estoques. O Brasil é autossuficiente na produção de soja, abastecendo o mercado interno e enviando o excedente ao mercado externo. A previsão da taxa de crescimento anual de produção de soja em grão é de 2,43% até 2019, próxima da taxa mundial, estimada em 2,56% para os próximos seis anos (MAPA, 2013b).

De acordo com as estimativas da CONAB o consumo brasileiro de soja na safra 2013/14 irá aumentar em aproximadamente 1 milhão de toneladas em relação a safra anterior. Na safra de 2012/13 o país consumiu cerca de 39,52 milhões de toneladas de soja. Na última safra estima-se um consumo de 40,50 milhões de toneladas (SEAB, 2013).

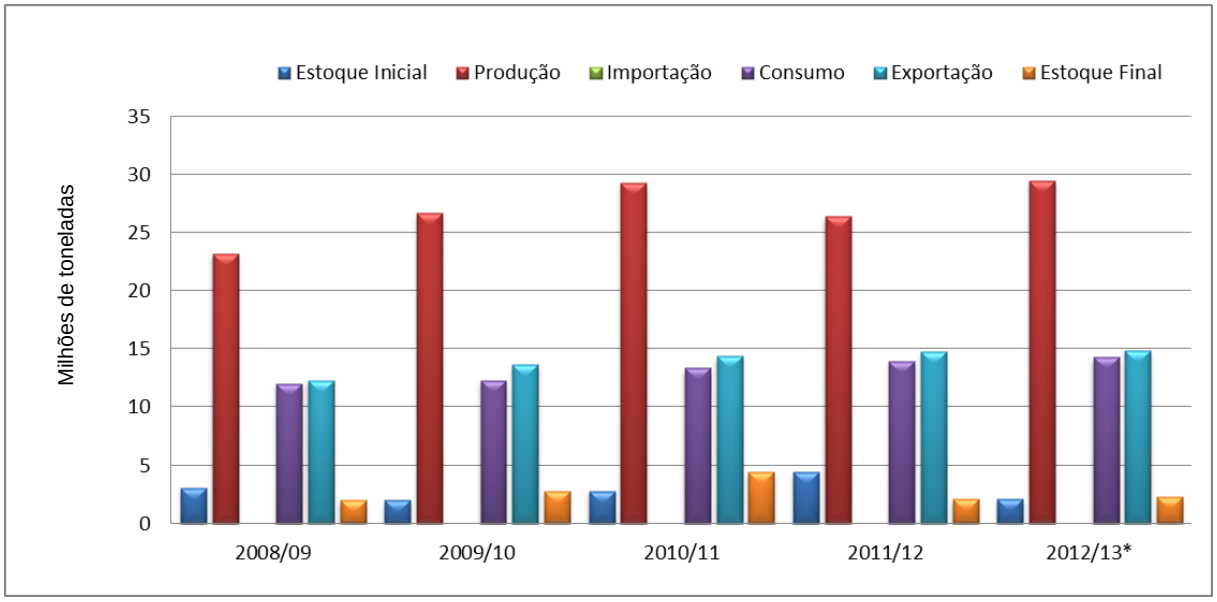
Espera-se também um aumento nas exportações brasileiras de soja em grão. Ainda segundo a CONAB, até dezembro de 2013 o Brasil exportou 42,10 milhões de toneladas de soja em grão, aumento de 29,7% em relação ao ano de 2012 inteiro. Em relação ao ano de 2009, o aumento na exportação é ainda mais significativo, correspondendo a 69,0%. O aumento nas exportações deve-se, basicamente, à diminuição da oferta internacional, pois os principais produtores mundiais de soja foram afetados por problemas climáticos, ocasionando a redução do volume ofertado (SEAB, 2013).



*Estimativas de acordo com SEAB, 2013.
Figura 3.6. Histórico da oferta e demanda da soja em grão no Brasil, nas últimas 5 safras.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a e SEAB, 2013.

A quantidade de farelo de soja produzido no Brasil também vem crescendo nos últimos anos, com exceção da safra 2011/12, quando o total produzido foi 9,9% inferior a safra anterior. Mesmo com essa diminuição, a quantidade de farelo exportado pelo país na safra 2011/12 foi aproximadamente 3% superior ao exportado na safra anterior, representando 14,8 milhões de toneladas. A quantidade consumida no país foi de 14,0 milhões na safra 2011/12 (SEAB, 2012).

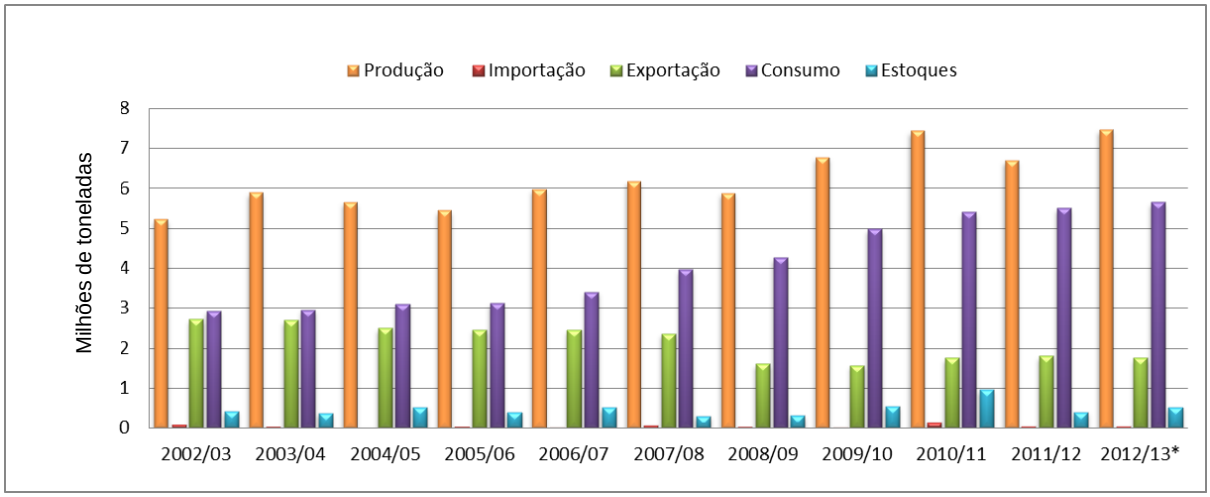
A Figura 3.7 apresenta o histórico da oferta e demanda do farelo de soja no Brasil entre as safras 2008/09 e 2012/13. As informações que constam na Figura referem-se à produção, importação, consumo, exportação e estoques de farelo de soja.



*Estimativas.
Figura 3.7. Histórico da oferta e demanda de farelo de soja no Brasil – Safras 2008/09 a 2012/13.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do SEAB, 2012.

Assim como o grão e o farelo, a produção de óleo de soja também tem crescido nos últimos anos. Entretanto, na safra 2011/12, devido a quebra na safra de grãos, a quantidade de óleo de soja produzido caiu quase 10% em relação a safra anterior, sendo produzido cerca de 6,69 milhões de toneladas. Apesar disso, o consumo interno foi maior nessa safra. Foram consumidas 5,50 milhões de toneladas de óleo de soja, cerca de 2% a mais que na safra anterior. De acordo com a CONAB, para a safra 2012/13, a produção está estimada em 7,46 milhões de toneladas e o consumo em 5,64 milhões de toneladas (SEAB, 2013).

A Figura 3.8 apresenta o histórico da oferta e demanda do óleo de soja no Brasil, entre as safras 2002/03 e 2012/13. As informações que constam na Figura referem-se às quantidades de óleo produzidas, importadas, exportadas, consumidas e em estoques. Assim como acontece com o grão, o Brasil é autossuficiente na produção de óleo de soja, abastecendo o mercado interno e enviando o excedente ao mercado externo. Observe-se que nestes valores de consumo interno esta incluído o consumo para produção de biodiesel (2%, segundo a WWF, 2014).



*Estimativas de acordo com SEAB, 2012.
Figura 3.8. Histórico da oferta e demanda de óleo de soja no Brasil – Safras 2002/03 a 2012/13.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a e SEAB, 2012.

Para o Brasil, o complexo soja (grão, farelo e óleo) tem expressiva importância econômica, pois envolve inúmeras organizações ligadas aos diversos setores econômicos, além de desempenhar papel essencial para o PIB e para a geração de divisas.

Embora o Brasil tenha registrado aumento significativo nas produções de farelo e óleo de soja, ainda precisa expandir o processamento interno desta oleaginosa, a fim de agregar maior valor aos produtos e dinamizar um maior conjunto de organizações e agentes econômicos (EMBRAPA SOJA, 2011).

Um dos grandes desafios do cultivo da soja é sua produção sustentável[8], seja pelos avanços tecnológicos nos elos da cadeia produtiva, pela gestão eficiente do seu processo produtivo, pela minimização de custos, otimização da utilização do espaço produtivo e até mesmo do aumento dos níveis de produtividade.

O óleo de soja utilizado na produção de biodiesel representa apenas 2% da produção total de soja. Como a maior parte da soja cultivada é destinada à produção de ração animal ou usada diretamente na alimentação humana, o óleo de soja que resta representa menos troca de alimente por combustível do que a que

[8] A produção sustentável da soja inclui o sistema integração lavoura-pecuária, cujos principais objetivos são: recuperação ou reforma de pastagens degradadas; correção química e a adubação dos solos, recuperando a fertilidade perdida na pastagem; utilização de pastagem em áreas degradadas de lavoura para a melhoria das condições físicas e biológicas dos solos, pela presença de palha e raízes da pastagem, aumentando níveis de carbono e contribuindo para as condições de aeração e capacidade de infiltração de água; além de produção de pasto, forragem e grãos para a produção animal. É uma prática fundamental para a sustentabilidade e produtividade do sistema agropecuário, possibilitando a redução de custos pelo menor uso de insumos, diversificação das atividades agrícolas e pecuárias, aumento de renda e diminuição de problemas ambientais (EMBRAPA, 2007).

ocorre entre os demais biocombustíveis. Apesar disso o interesse pela soja como fonte de combustível tem ajudado a expandir seu cultivo, segundo a WWF (WWF, 2014).

3.1.1.1 Considerações sobre a Soja Transgênica

A soja transgênica, ou geneticamente modificada, chegou ao mercado em 1996 para tornar o plantio de soja resistente aos herbicidas. Embora tenha encontrado resistências em algumas regiões, em especial na Europa, a soja transgênica hoje é plantada em várias regiões do mundo, incluindo a China, Estados Unidos e Brasil.

A Lei de Biossegurança, de 2005, autorizou definitivamente a produção e a comercialização de sementes de cultivares de soja geneticamente modificada, bem como o plantio das sojas tolerantes ao glifosato, registradas no RNV do MAPA (BRASIL, 2005).

De acordo com o MAPA e informações do setor privado, em 2007/2008 foram plantados por volta de 11-13 milhões de hectares de soja transgênica (52-61% do total da área plantada com soja), o que correspondeu a produção de aproximadamente 29-35 milhões de toneladas sendo os maiores produtores os Estados de Mato Grosso do Sul, Goiás, Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Paraná e a região do cerrado nordestino (COMISSÃO EUROPEIA, 2009).

De acordo com a WWF (2014), até 2009, 77% da produção mundial de soja eram com sementes transgênicas e responderam por 69 milhões de hectares, representando um aumento de quase 5% em relação a 2008. A Tabela 3.3 apresenta a proporção de soja transgênica cultivada em alguns países.

Conforme observado na Tabela 3.3, a China e a Índia não utilizam sementes transgênicas. De acordo com a WWF (2014), a China pretende ser o maior produtor mundial de soja não-transgênica, tanto para seu consumo interno como para exportação. Na Argentina, ao contrário, a produção de soja é quase totalmente de soja transgênica. Já no Brasil, quase 90% da soja cultivada é proveniente de sementes transgênicas.

Tabela 3.3. Proporção de soja transgênica cultivada em alguns países.

País/Ano	% de soja transgênica
Estados Unidos (2009)	91
Argentina (2009)	99
Brasil (2010)	88,8
Paraguai (2010)	95
Bolívia (2011)	93
Índia (2009)	0
China (2009)	0

Fonte: WWF, 2014 apud GMO COMPASS, 2010; CÉLERES, 2012; GUEREÑA, 2013; IBCE, 2011.

Um levantamento realizado pela empresa de consultoria Safras & Mercado (2012) sobre a evolução da transgenia, constatou um avanço significativo na safra 2011/12, confirmando a tendência estabelecida desde a liberação oficial em 2005. Assim, de acordo com estes números, a área semeada com variedades transgênicas alcançou 85% da área total na safra 2011/12 de soja no Brasil, atingindo 21,32 milhões de hectares. Esse total é 15% superior aos 18,62 milhões de ha cultivados na safra anterior. Em termos estaduais o avanço foi generalizado, com destaques para os incrementos de 14% em Goiás, 13% no Mato Grosso, 11% no Paraná, e 10% no Mato Grosso do Sul e em São Paulo. Na liderança quanto ao nível de utilização temos o Rio Grande do Sul, com 99% da área, Santa Catarina com 93%, Paraná com 91%, Mato Grosso do Sul com 90% e Goiás com 88%.

Em relação à área destinada à soja transgênica em Mato Grosso, de acordo com IMEA, na safra 2011/12 foram ocupados 70% dos 6,98 milhões de hectares reservados. Em 2010/11, a transgenia estava presente em 57% das lavouras, ou 3,7 milhões de hectares. Segundo Castro et al (2010) este aumento significativo já era previsto.

3.1.2 Gordura Animal

A grande participação de gorduras animais para a produção de biodiesel está relacionada com gordura bovina. Apesar de ser utilizada apenas a gordura animal no processo, o que corresponde a um subproduto, os impactos decorrentes da expansão da pecuária se refletem no estudo de impacto ambiental em termos de

ACV do biodiesel de gordura animal, de forma semelhante ao óleo de soja. Por este motivo nesta seção é apresentado um resumo da bovinocultura no Brasil.

A bovinocultura de corte é desenvolvida em todos os Estados e ecossistemas do Brasil, com grande variabilidade, expressa na densidade dos bovinos nas diferentes regiões, nas taxas de crescimento dos rebanhos e nos sistemas de produção praticados. Estes desenvolvem as fases de cria, recria e engorda, de forma isolada ou em combinação, e utilizam pastagens nativas e cultivadas, associadas ou não à suplementação alimentar em pastagem e em confinamento (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2005).

Independentemente do grau de intensidade tecnológica, os sistemas de produção de gado de corte no país são fundamentalmente alicerçados na utilização de pastagens. Entretanto, sistemas mais intensivos, sejam por meio de suplementação alimentar em regime de pasto ou pelo uso de confinamento, têm se tornado cada vez mais importante nas regiões Centro-Oeste e Sudeste (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2005).

Na Figura 3.9 encontra-se a distribuição espacial do efetivo bovino brasileiro, observando-se que em 2012 quase 53% do rebanho esteve concentrado nas regiões Centro-Oeste (34,26%) e Sudeste (18,56%).

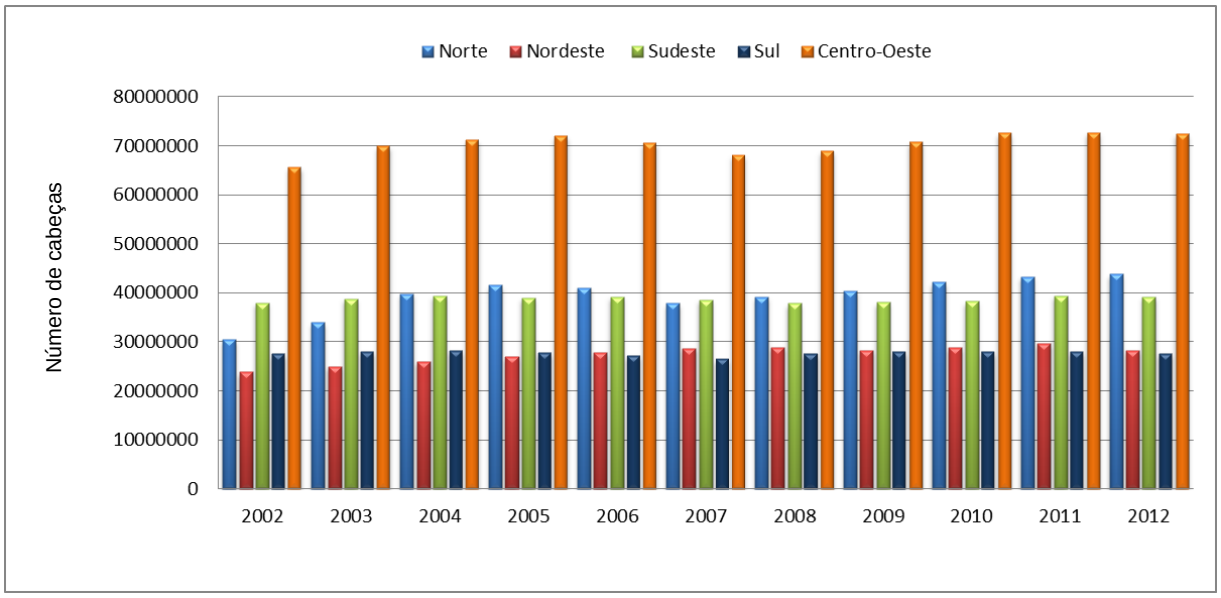


Figura 3.9. Distribuição espacial do efetivo bovino brasileiro: 2002 - 2012.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE, 2002 a 2012.

A Tabela 3.4 apresenta-se a taxa de crescimento do efetivo do rebanho em cada uma das grandes regiões e no Brasil entre 2002 e 2012.

Tabela 3.4. Efetivo do rebanho bovino em 2002 e 2012. Crescimento do rebanho em cada uma das grandes regiões e no Brasil

Região	2002		2012		Crescimento
	Nº de cabeças	%	Nº de cabeças	%	2002-2012(%)
Norte	30.428.813	16%	43.815.346	21%	44%
Nordeste	23.890.540	13%	28.244.899	13%	18%
Sudeste	37.923.575	21%	39.206.257	19%	3%
Sul	27.537.047	15%	27.627.551	13%	0,33%
Centro-Oeste	65.567.223	35%	72.385.029	34%	10%
Brasil	185.347.198		211.279.082		14%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE, 2002 a 2012.

Embora a região Centro-Oeste detenha cerca de 34% do efetivo total, o maior crescimento do rebanho no período de 2002 a 2012 ficou por conta da região Norte, com 44%. Isto tem acontecido em virtude das regiões Norte e Centro-Oeste constituírem as áreas de fronteira agrícola brasileira, onde tem tido expansão horizontal das áreas de pastagens (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2005).

As áreas de pastagens são os componentes mais importantes da produção de carne bovina em todas as regiões do país. Essas áreas constituem-se, basicamente, por pastagens perenes (nativas e cultivadas) e, ocorrendo em menor escala, pastagens cultivadas de ciclos anuais (EMBRAPA GADO DE CORTE, 2005).

De acordo com o último Censo Agropecuário (IBGE, 2006), a área de pastagens passou de aproximadamente 154 milhões de hectares, em 1970, para mais de 172 milhões de hectares em 2006, o que significa um incremento de aproximadamente 12% em 36 anos. A área de pastagens ocupa, aproximadamente, 20% da área agriculturável do nosso território. A Figura 3.10 mostra a área total ocupada pelas pastagens em cada uma das grandes regiões e no Brasil, de 1970 a 2006.

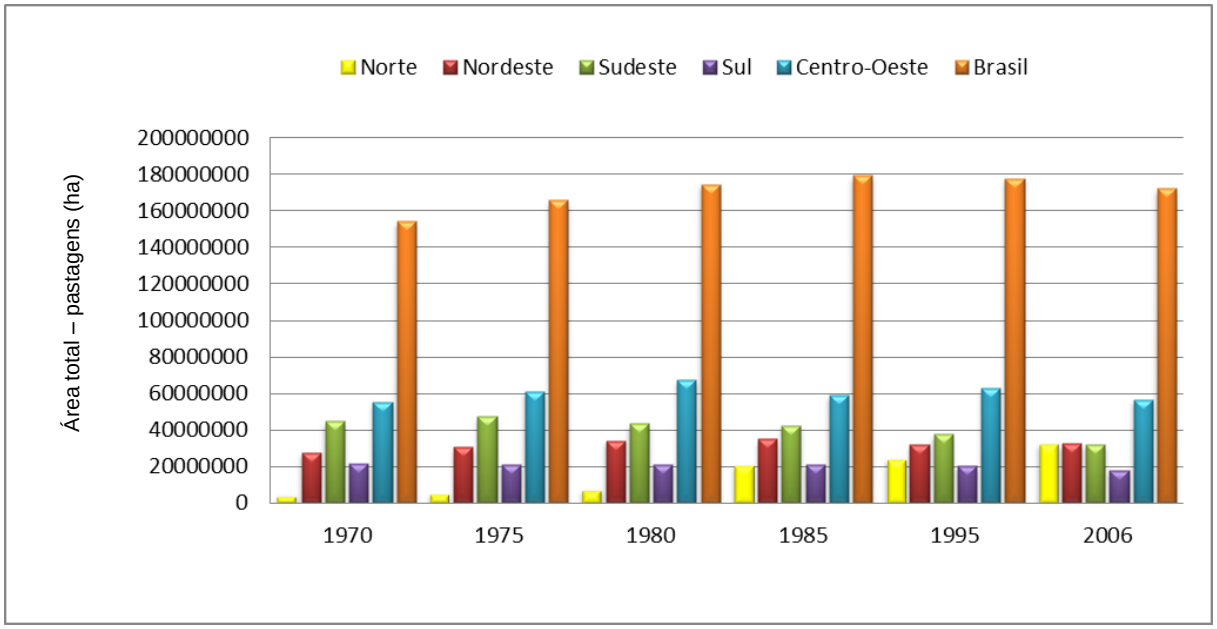


Figura 3.10. Evolução da utilização de pastagens em cada uma das grandes regiões e no Brasil: 1970 a 2006.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE, 2006.

Observa-se que a região Centro-Oeste é a que ocupa a maior área de pastagens, pois é a região que possui o maior rebanho bovino do Brasil. Entretanto, a área ocupada pelas pastagens que mais expandiu nesses anos todos foi na região Norte, passando de 44 milhões de hectares em 1970 para 326 milhões em 2006, o que significa um aumento de mais de 600%.

Como no caso da soja, a expansão pecuária também provoca impactos ambientais. Exercícios de modelagem sobre a Amazônia estabeleceram a ligação entre a mudança indireta no uso da terra e o desmatamento, bem como calcularam que a substituição de pastagens por cultivos, como a soja, irá continuar a provocar a conversão; muito embora um pastoreio mais intensivo e um melhor aproveitamento do uso da terra poderiam minimizar esse risco (WWF, 2014 apud BARONA et. al., 2010; LAHL, 2010; LAPOLA et. al., 2010; ARIMA et. al., 2011).

Por meio do aumento da produtividade do gado em áreas de criação de baixa intensidade seria possível liberar mais terra para o cultivo agrícola, como a soja por exemplo. Entretanto, é preciso ter cautela para que não ocorra mais conversão de terras para a criação de gado, que é a principal causa de desmatamento na Amazônia e em outras regiões (VILLELA, 2014).

Hoje o Brasil possui 200 milhões de hectares de pastagens e 70 milhões de hectares de cultivos e plantações de árvores. Estimativas indicam que no mínimo

30% dessas pastagens estão degradadas ou com um nível de produtividade bem abaixo do considerado razoável (média de 0,95[9] cabeça por hectare segundo dados oficiais). Elevando 30% a produtividade média das pastagens, poderia aumentar a área de cultivo sem a necessidade de fazer mais conversões da vegetação natural, além de ter terras degradadas disponíveis para restauração da vegetação natural (WWF, 2014). Resultado semelhante foi obtido em estudo do CENBIO/IEE/USP, indicando que poderia ser disponibilizado ate 60 milhões de hectares a partir do aumento de intensidade de 0,92 para 1,52 cabeça/ha.

De acordo com o INPE (2013), mais da metade da área desmatada na Amazônia contém pastagens. Com o aumento de produtividade na pecuária, pode-se triplicar a capacidade de estocagem de gado nos pastos (VILLELA, 2014).

De uma maneira geral, os pecuaristas brasileiros ainda não se conscientizaram quanto à necessidade de manejo dos animais. Como consequência, é possível notar que a pecuária brasileira é obsoleta, sendo que ainda persistem práticas baseadas na exploração dos recursos naturais (CORREA e SANTOS, 2003; DIAS-FILHO, 2010; PRIMAVESI, 2007).

Um exemplo é o uso do sistema extensivo de criação de bovinos em pastagens, o que é dominante na realidade brasileira. É reconhecido que este é o sistema mais comum no Brasil (CORREA e SANTOS, 2003; PRIMAVESI, 2007; CEDERBERG et al., 2009; ALMEIDA, 2010; DIAS-FILHO, 2010; MARTHA JR et al., 2011; CARDOSO, 2012; RUVIARO, 2012). A estimativa mais recente foi apresentada por Cederberg et al. (2009), indicando que 80% da pecuária nacional ocorre segundo o sistema extensivo em pastagens, mesmo com todos os impactos ambientais decorrentes.

Por um lado, o sistema extensivo baseado em pastagem pode ser visto como um ponto positivo, pois possibilita que os animais tenham mais liberdade, e diminui-se o risco de transmissão de doenças entre os bovinos. Entretanto, os pecuaristas que optam por este modelo não se preocupam com a qualidade e a taxa de renovação das pastagens, que são exploradas até o limite de sua capacidade de regeneração (CORREA e SANTOS, 2003; PRIMAVESI, 2007; ALMEIDA, 2010; DIAS-FILHO, 2010; ZUCCHI, 2010).

[9] Calculado a partir da área destinada a pastagens (200.000.000 de hectares, segundo a WWF, 2014) e o número de cabeças de bovinos (211.279.082 cabeças em 2012 - Produção de Pecuária Municipal – IBGE, 2012)

Há, ainda, os inúmeros casos mais graves, em que a exploração excessiva e a ausência de cuidados leva à degradação total da área, deixando-a até mesmo imprópria para a pecuária. Desta forma, os cuidados mínimos e a degradação das áreas de pastagens faz com que a área necessária para se atender a demanda de carne seja muito ampla, conforme observado na Figura 3.10 (CORREA e SANTOS, 2003; PRIMAVESI, 2007; ALMEIDA, 2010; DIAS-FILHO, 2010; ZUCCHI, 2010).

Apesar da grande área ocupada pelas pastagens, a produtividade não é elevada. Conforme apresentado anteriormente, a média comum no Brasil é de 0,95 cabeças por hectare, em sistemas extensivos, embora este número possa aumentar para entorno de 10, dependendo do nível de tecnologia e intensificação empregados pelos pecuaristas (CORREA e SANTOS, 2003; PRIMAVESI, 2007; ALMEIDA, 2010; DIAS-FILHO, 2010; MARTHA JR et al., 2011; CARDOSO, 2012; RUVIARO, 2012).

A Figura 3.11 apresenta a densidade de animais no território brasileiro no ano de 2006 (IBGE, 2006). Deve-se chamar a atenção para o fato de que o mapa indica o número de animais por km^2, de modo que a conversão para animais/ha pode ser feita dividindo-se os números pelo fator 100.

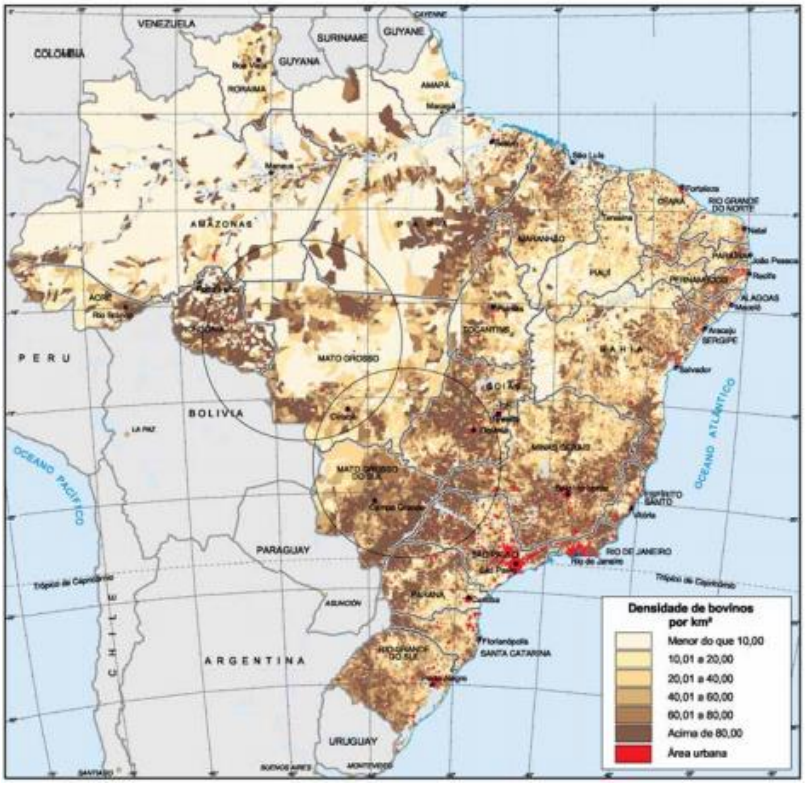


Figura 3.11. Densidade de bovinos no território brasileiro no ano de 2006.
Fonte: IBGE, 2006.

É possível observar que a pecuária praticada na região Nordeste ainda é pouco desenvolvida, dado o baixo nível de intensificação. Já nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, a densidade de animais é maior, comparativamente. Ainda assim, considera-se que o potencial de aumento de produtividade em todo o país continua muito grande, de modo que seria possível obter bons resultados a partir de pequenas ações (CORREA e SANTOS, 2003; PRIMAVESI, 2007; ALMEIDA, 2010; DIAS-FILHO, 2010; MARTHA JR et al., 2011; CARDOSO, 2012; RUVIARO, 2012).

De uma maneira geral, as mudanças de produtividade na pecuária brasileira serão substanciais quando os fazendeiros se conscientizarem de que a manutenção das pastagens exige tanto esforço e recursos quanto qualquer tipo de lavoura (CORREA e SANTOS, 2003; PRIMAVESI, 2007; DIAS-FILHO, 2010; MARTHA JR et al., 2011).

Atividades como o manejo adequado do solo, controle do escoamento de águas pluviais, adubação e escolha de espécies de pastagens mais adequadas a cada região são fundamentais para que a pecuária seja mais eficiente, ou seja, com maior ganho de peso, em menor período, sem a necessidade de novas áreas (CORREA e SANTOS, 2003; PRIMAVESI, 2007).

Nos últimos anos, o Brasil tornou-se o maior exportador mundial de carne bovina. Vários são os fatores para o aumento das exportações, dentre eles a baixa cotação do real, os baixos custos de produção (comparados aos do mercado externo) e a ocorrência da Encefalopatia Espongiforme Bovina, (conhecida como EEP ou Mal da Vaca Louca) em outras regiões do mundo. Por outro lado, alguns entraves também aconteceram, como as barreiras levantadas pela Rússia às exportações de carne brasileira e os recentes e frequentes episódios relativos à febre aftosa. A Figura 3.12 mostra o histórico das exportações brasileiras de carne bovina desde 1996.

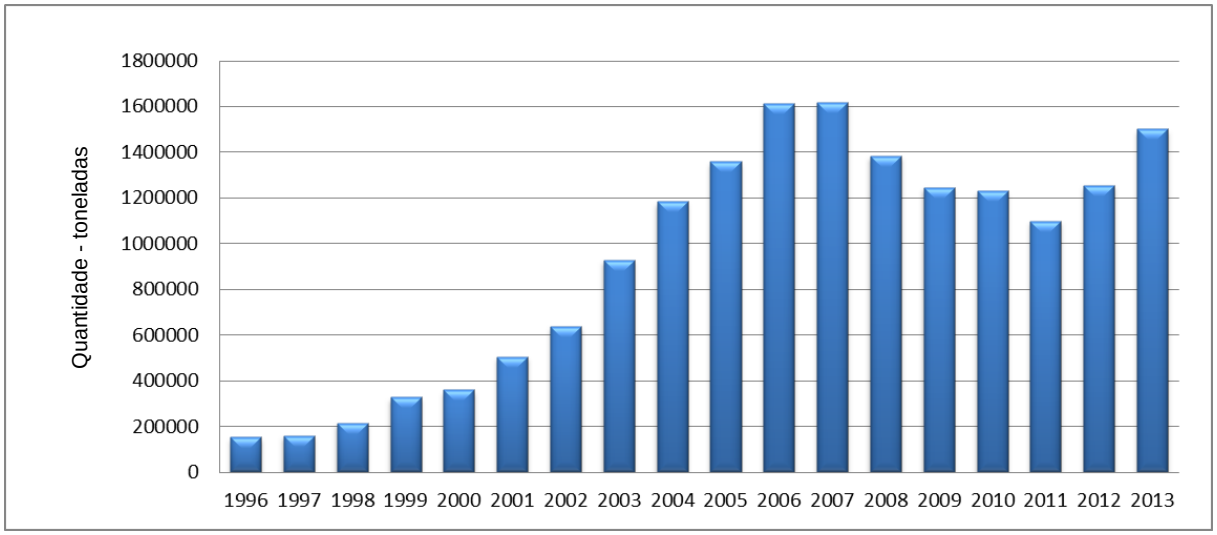


Figura 3.12. Histórico das exportações brasileiras de carne bovina – 1996 a 2013.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do ABIEC, 1998; 2000; 2002; 2004; 2006; 2008; 2010; 2012 e 2014.

Apesar das oscilações ocorridas nas exportações desde 2006, é notável o enorme aumento das exportações de carne bovina brasileira. Em 1996 a quantidade de carne exportada chegou a quase 0,152 milhões de toneladas. Já em 2013 essa quantidade foi de 1,5 milhões de toneladas, o que significa um aumento de 900% em 17 anos.

De acordo com o MAPA (2014e), a expectativa é que até 2020 a produção nacional de carne bovina suprirá 44,5% do mercado mundial. Essas estimativas indicam que o Brasil pode manter posição de maior exportador mundial de carne bovina nos próximos anos.

Após passarem pelo ciclo completo da atividade pecuária (etapas de cria, recria e engorda), os bovinos são então encaminhados para a abate em matadouros. Assim como a pecuária, a agroindústria do processamento de bovinos (com foco tradicionalmente voltado para a produção de carne) também tem grande importância para a economia brasileira. Segundo Goloni e Moita (2010), este setor movimentou mais de 19 bilhões de reais no ano de 2008, o que equivaleu a uma participação de 0,982% de todo o PIB nacional.

A evolução do número de animais abatidos entre os anos de 1995 e 2013 é apresentada na Figura 3.13.

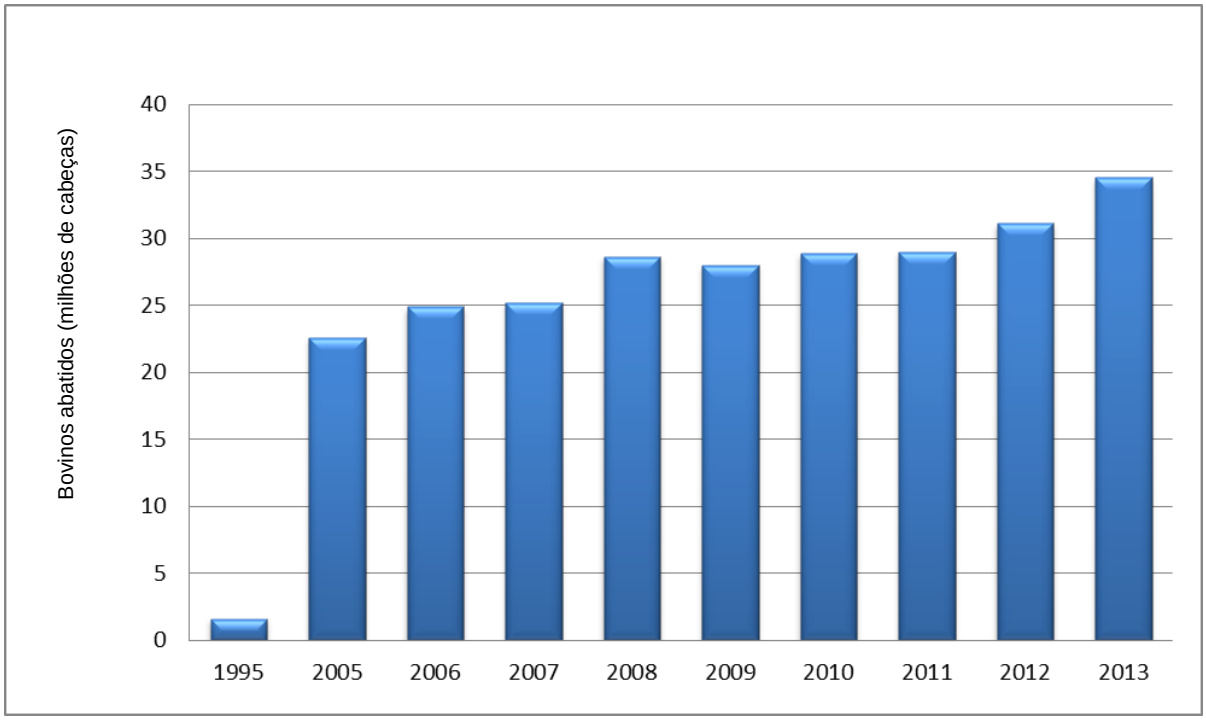


Figura 3.13. Evolução do número de animais abatidos entre os anos de 1995 e 2013.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE, 1995, IBGE, 2013 e MAPA, 2014b.

No 1º trimestre de 2014 o abate de bovinos registrou aumento de 2,9% em relação ao mesmo período de 2013, atingindo 8,4 milhões de cabeças abatidas, e foi o maior abate para um primeiro trimestre na série histórica da pesquisa realizada pelo IBGE – Pesquisa Trimestral do Abate de Animais (BEEF POINT, 2014).

Diferente do setor da pecuária, os abatedouros vêm se estruturando de uma forma peculiar. No fim da década de 1970, este setor era caracterizado por unidades pequenas e pulverizadas em todo o território nacional. Já na última década, observou-se a desativação das pequenas instalações, e o aumento no número de grandes estabelecimentos, que se localizaram estrategicamente nos estados de maior produção e consumo de carnes (RABELO, 2007; GOLONI e MOITA, 2010; ZUCCHI, 2010).

A Figura 3.14 apresenta o *ranking* e variação anual do abate de bovinos nos principais estados brasileiros, referentes aos primeiros trimestres de 2013 e 2014.

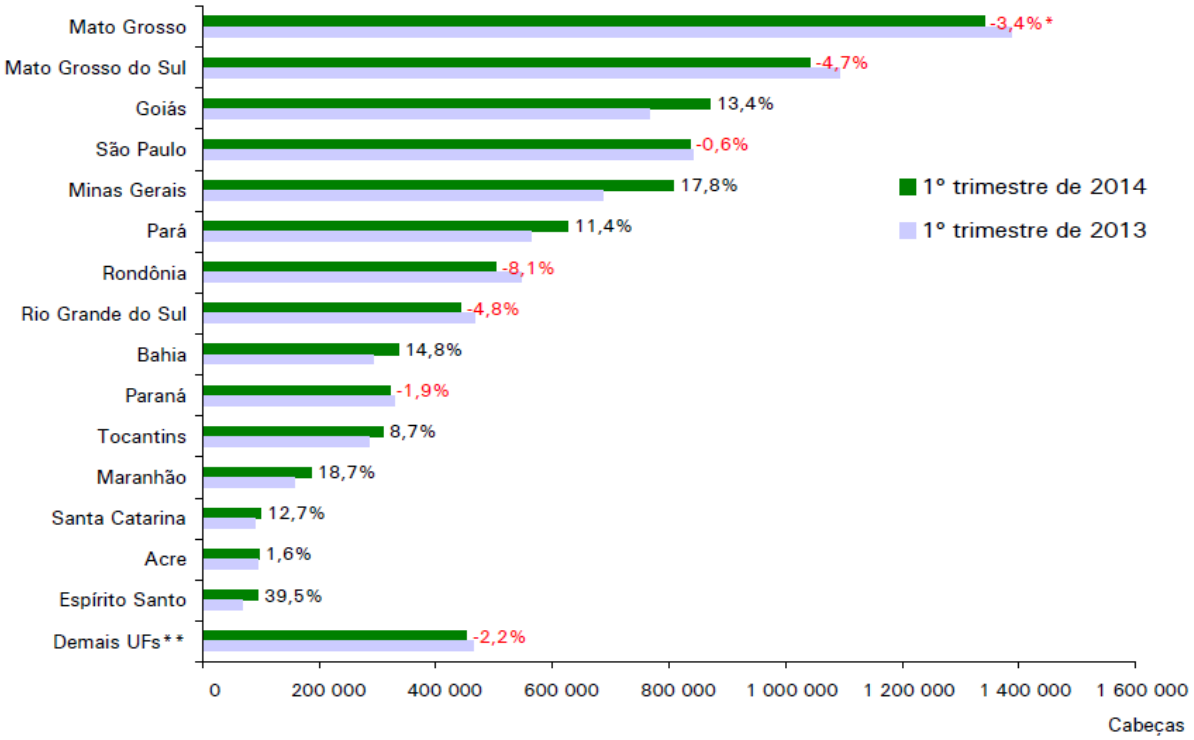


Figura 3.14. Ranking e variação anual do abate de bovinos nos principais estados brasileiros - primeiros trimestres de 2013 e 2014.
Fonte: IBGE, 2014.

Apesar da queda dos abates nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo nesse período de referência, é possível notar que os estados brasileiros de maior relevância no abate de bovinos estão localizados na região Centro-Oeste e Sudeste.

Segundo o MAPA (2012c), um total de 312 estabelecimentos estavam cadastrados para o abate de bovinos no ano de 2010. Porém, deve-se salientar que apenas os estabelecimentos controlados pelo SIF são indicados na Figura 3.15.

Figura 3.15. Localização dos principais frigoríficos do Brasil sob controle do SIF.
Fonte: MAPA, 2012c.

A Figura 3.15 indica a tendência de concentração das unidades industriais em torno dos grandes centros criadores de animais e consumidores de carne, conforme destacado por Goloni e Moita (2010) e também por Zucchi (2010).

Por um lado, esta concentração pode causar distorções do ponto de vista econômico, uma vez que os abatedouros (em menor número, porém poderosos) acabam por exercer uma influência muito grande sobre os pecuaristas (mais espalhados e menos articulados), o que caracteriza um contexto de oligopsônio[10] (CARVALHO, 2007; GOLONI e MOITA, 2010; ZUCCHI, 2010).

Por outro lado, a consolidação dos grandes grupos facilita a disseminação das boas práticas de terminação de bovinos e processamento da carne, bem como a fiscalização destas atividades. Assim, considera-se que o ganho de escala contribui para uma maior eficiência e, consequentemente, melhor desempenho ambiental do setor (CNTL, 2003; PAIVA, 2008; CAMPOS e CUNHA, 2010).

[10] Em economia, oligopsônio é uma forma de mercado com poucos compradores e inúmeros vendedores. É um tipo de competição imperfeita, inverso ao caso do oligopólio, onde existem apenas alguns vendedores e vários compradores.

De acordo com Bueno et. al. (2012), o aproveitamento do boi é quase que total. O fracionamento do bovino abatido permite que várias partes do animal, além da carne, tenham um valor comercial.

Os subprodutos do abate de bovinos são utilizados em diversos seguimentos industriais, tais como o couro pela indústria de calçados, as glândulas pela indústria farmacêutica e a gordura para a produção de sabão e sabonetes, além da forte demanda energética (produção de biodiesel). O resíduo seco, composto por ossos triturados, aparas de carne e vísceras moídas, é industrializado e destinado a fabricação de ração animal (BUENO et. al., 2012).

A obtenção da gordura é feita a partir dos resíduos do abate gerados na limpeza da carcaça e dos cortes de carnes, dos ossos, vísceras e resíduos gordurosos presentes na água utilizada para lavar os cortes ao longo da linha de processamento. A retirada da gordura pode ser feita por prensagem ou centrifugação (BUENO et. al., 2012).

De acordo com Martins et. al. (2011), cada boi de 450 kg abatido, gera em torno de 23 kg de gordura bovina, o que corresponde a 5% do peso do boi. Considerando o número de bovinos abatidos em 2013 (34 milhões de cabeças) e todos com o mesmo peso (450 kg), a produção de gordura bovina alcançaria 782 mil toneladas.

Conforme citado anteriormente, o destino tradicional da gordura animal proveniente do abate de bovinos é a indústria de sabão e sabonetes (segmento de higiene e limpeza). Em 2000, essa indústria era o destino de 70% da gordura bovina produzida no Brasil, sendo o restante dividido entre combustível (queima em caldeiras) e ração animal. Em 2007 este cenário mudou e a indústria de sabão e sabonete passou a consumir 61% da gordura produzida (MARTINS et. al., 2011). A Tabela 3.5 apresenta o destino da gordura bovina em 2000 e 2007.

Tabela 3.5. Destino da gordura bovina no Brasil em % - 2000 e 2007

Segmentos	2000	2007
Higiene e limpeza	70	61
Combustível	15	4
Ração animal	10	10
Óleoquímica	0	13
Biodiesel	0	12

Fonte: Martins et. al., 2011.

O cenário de utilização da gordura bovina mudou, principalmente, com a implantação da produção de biodiesel. Perspectivas futuras é que os 12% da gordura consumida para a produção de biodiesel, representados em 2007, possa subir em até 40% nos próximos anos (MARTINS et. al., 2011).

Entretanto, o setor de higiene pessoal e limpeza e as indústrias de biodiesel têm disputado a gordura bovina, e isso tem alterado as condições de mercado. De acordo com o BiodieselBR (2014f), em abril de 2014 houve valorização da gordura bovina no Rio Grande do Sul e Brasil Central. O valor de R$ 1,90 por kg de gordura representou uma alta na comparação ano a ano de 5,6% no Brasil Central e 2,7% em RS. Embora a demanda seja boa para o setor de higiene pessoal e limpeza, o setor de biodiesel tem diminuído as compras de biodiesel nesses patamares mais altos.

3.1.3 Demais Tipos de Óleo

Conforme citado no capitulo anterior, além da soja e da gordura animal, outros tipos de óleo podem ser utilizados para a produção de biodiesel, como algodão, amendoim, palma, girassol, mamona, entre outras oleaginosas existentes no país, bem como os óleos residuais.

Embora o Brasil possua ampla diversidade de insumos agrícolas para a produção de óleos vegetais, e consequentemente para a produção de biodiesel, muitas culturas ainda possuem caráter extrativista, sem plantios comerciais que permitam avaliar suas reais potencialidades.

Dependendo da região em que é cultivada e das condições climáticas e de solo, cada oleaginosa apresenta características específicas na produtividade (kg/ha) e no percentual de óleo obtido, como indica a Tabela 3.6 a seguir. A produtividade das oleaginosas também está associada às tecnologias de cultivo, à qualidade da semente e às tecnologias de processamento praticadas (SOUZA, et. al., 2010).

É importante ressaltar que a expansão da produção de oleaginosas, bem como de qualquer cultura para produção de bioenergia, pode e deve ser realizada sem competição com alimentos e sem provocar desmatamento.

De forma geral, para a produção de biodiesel são necessários investimentos em outras fontes (cultura vegetal tradicional ou algas), preferencialmente que não sejam destinadas a alimentos, a fim de minimizar qualquer possibilidade da produção de biodiesel afetar, de alguma maneira, os preços dos óleos vegetais, ou até mesmo dos grãos utilizados como alimento. Dado o tamanho do mercado de combustível, independentemente do percentual de mistura de biodiesel ao diesel, impactaria o mercado de óleos vegetais e toda a sua cadeia produtiva, pois, segundo a USDA (2010), o consumo mundial de diesel é cerca de 10 vezes a produção mundial dos principais óleos vegetais.

Ao se utilizar um óleo vegetal alimentar para fins energéticos, aumenta-se a demanda desse óleo e, consequentemente, há uma pressão de alta de seu preço, uma vez que a quantidade afetada nem sempre aumenta no mesmo ritmo da demanda. O emprego desse tipo de óleo para produzir combustível pode diminuir sua oferta no mercado de alimentos, ocasionando um aumento de preço, caso não haja, simultaneamente, aumento suficiente de sua oferta para atender a demanda do mercado de alimentos e de combustível.

Além disso, os óleos vegetais possuem outros tipos de uso que podem acabar sendo mais rentáveis que para a produção de biodiesel.

A Tabela 3.6 apresenta algumas características de culturas oleaginosas com potencial de uso para fins energéticos.

Tabela 3.6. Características de culturas oleaginosas no Brasil.

Espécie	Origem do óleo	Teor de óleo (%)	Colheita (meses/ano)	Rendimento (t óleo/há)
Dendê/Palma	Amêndoa	22	12	3,0 - 6,0
Coco	Fruto	55 - 60	12	1,3 - 1,9
Babaçu	Amêndoa	66	12	0,1 - 0,3
Girassol	Grão	38 - 48	3	0,5 - 1,9
Colza/Canola	Grão	40 - 48	3	0,5 - 0,9
Mamona	Grão	45 - 50	3	0,5 - 0,9
Amendoim	Grão	40 - 43	3	0,6 - 0,8
Soja	Grão	18	3	0,2 - 0,4
Algodão	Grão	15	3	0,1 - 0,2

Fonte: MAPA/EMBRAPA, 2006.

Óleo de Algodão

O óleo de algodão traz a vantagem de ser mais barato que o da soja e possuir quase a mesma disponibilidade. Apesar da baixa representatividade (2,5%), ocupa o terceiro lugar entre as matérias-primas mais utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil, estando atrás apenas da soja e da gordura animal.

Entretanto, o óleo de algodão é mais impuro, sendo necessário um pré-tratamento específico, acarretando no aumento de custos da sua utilização. Além disso, este óleo apresenta outras desvantagens para a produção de biodiesel, que é o baixo teor de óleo por caroço e sua larga aplicação na indústria alimentícia (BELTRÃO& AMORIM, 2007).

Mesmo assim o óleo de algodão continuará sendo uma importante matéria-prima para a produção de biodiesel no Brasil, principalmente na entressafra da soja, que é quando sua oferta é maior.

Óleo de Palma

O dendezeiro requer uma cultura em solos profundos, não compactos, médias mínimas de temperatura superiores a 24ºC, precipitações acima de 2000 mm/ano, distribuídos durante todos os meses. Requer baixa mecanização e pequena quantidade de defensivos agrícolas. Tais características fazem do Estado do Amazonas um potencial perfeito para prática de tal cultura, pois possui todas as características climáticas necessárias a seu pleno estabelecimento (MOURAD, 2006).

A palma ou dendê foi (e talvez ainda seja) visto como uma das grandes opções para produção de biodiesel, considerando suas características e possibilidades na região Norte e a sua grande produtividade de óleo. De acordo com a BIODIESELBR (2005), com 5 milhões de hectares de soja, é possível responder por 5% do consumo de diesel do Brasil. Com a mesma área de dendê, responde-se por 100% do consumo. Diante deste cenário, pode-se dizer que maiores plantios de palma poderiam garantir a produção de biodiesel mais seguro no Brasil.

Essa cultura pode ser utilizada na recuperação de áreas degradadas, aproveitando um solo antes improdutivo sem acarretar em novas derrubadas na floresta (BIODIESELBR, 2014b; VILLELA, 2014).

Entretanto verifica-se a existência de barreiras econômicas relativas aos outros usos finais do óleo de palma, que apresentam altos custos de oportunidade e fazem com que seja difícil o seu uso para a produção de biodiesel.

O óleo de dendê apresenta diversas aplicações na indústria, desde frituras industriais, chocolates, massas, margarinas, biscoitos, sorvetes, cosméticos, detergentes, sabões e sabonetes até produção de graxas e lubrificantes e artigos vulcanizados. Essas diversas utilizações podem ser mais rentáveis que seu uso para a produção de biodiesel, como mostrado na Tabela 3.7 de comparação de custos de oportunidade, que acaba prejudicando o seu uso para produção de biodiesel.

Tabela 3.7. Comparação de custos de oportunidade entre os óleos de mamona, soja e dendê.

Matéria-prima	**Custo de Produção (US$/l)***		**Custo de Oportunidade (US$/l)***	
Mamona	0,43	0,57	0,92	0,94
Soja			0,37	0,46
Dendê	0,17	0,2	0,44	0,52
Referência				
Diesel Mineral	0,24	0,26		

*Referência do dólar em 2005: R$ 2,48 (SECRETARIA DA FAZENDA, 2005).
Fonte: MACEDO & NOGUEIRA, 2005.

O óleo de palma é largamente utilizado na indústria alimentícia, em substituição à gordura *trans*, na indústria de higiene e química. Sua produtividade diferenciada resulta em menores custos de produção, que se reflete em menor preço nos mercados de *commodities* (VILLELA, 2014).

Apesar do crescimento da produção de dendê, o Brasil ainda importa óleo de dendê da Malásia para outros usos e parece difícil conseguir que haja disponibilidade suficiente para o biodiesel, apesar de alguns autores considerarem esta uma excelente opção para a região Norte[11]. Com a expansão da área plantada de dendê, provavelmente em 2015 o Brasil se tornará o 5º maior produtor mundial desta oleaginosa, ficando atrás apenas da Indonésia, Malásia, Tailândia e Nigéria. Mesmo assim a produção não seria suficiente para atender a demanda da indústria

[11] Na região Norte, quase seis milhões de litros de diesel consumidos em 2012 (representando 88% do consumo total) foram provenientes de outras regiões, sendo que mais de ¼ deste total foi destinado a alimentar os sistemas isolados. Por conta do uso intensivo de combustíveis fósseis, os sistemas isolados emitem proporcionalmente mais GEE do que a sua contribuição na geração elétrica (VILLELA, 2014). Assim, o uso de biodiesel poderia contribuir para minimizar estas dificuldades.

brasileira para os fins tradicionais e o crescente mercado voltado a agroenergia (VILLELA, 2014).

A expansão da área cultivada com a palma nas áreas já desmatadas da Amazônia é reconhecida por ser uma excelente alternativa para a produção de óleo para fins alimentares e energéticos, além de diminuir a pressão sobre as áreas de florestas nativas. Com isso, constitui-se suporte para a diversificação da matriz energética e para a criação de empregos e aumento de renda da população envolvida nessa atividade (EMBRAPA, 2010a).

Óleo de Mamona

O uso da mamona para a produção de biodiesel enfrentou várias dificuldades, fazendo com que o mesmo fosse descartado. O elevado custo de oportunidade para outros usos (conforme Tabela 3.7) e as dificuldades de capacitação dos agricultores familiares no semiárido do Nordeste foram as principais dificuldades[12].

Além disso, existem ainda problemas técnicos quanto a produção de biodiesel com óleo de mamona. As propriedades químicas, tanto do óleo como do biodiesel de mamona, são muito diferentes das apresentadas por outras oleaginosas usuais, como pode ser visto na Tabela 3.8.

Tabela 3.8. Propriedades químicas da mamona, soja e dendê.

	Viscosidade a 37,8 ºC (cSt)		**Densidade a 20 ºC (g/cm^3)**	
	OMe	**OEt**	**OMe**	**OEt**
Mamona	17,02	19,75	0,9144	0,9095
Soja	4,08	4,41	0,884	0,881
Dendê	6,25	6,39	0,8603	0,8597
Óleo Diesel	2,5 a 5,5		0,82 a 0,88	

Notas: OMe – biodiesel metílico; OEt – Biodiesel etílico
Fonte: BIODIESELBR, 2006.

De acordo com os valores apresentados na Tabela 3.8, percebe-se que os combustíveis dos óleos de soja e dendê apresentam valores aceitáveis para as propriedades estudadas, enquanto que o derivado de mamona não. Portanto, o uso do óleo de mamona dificulta todas as etapas do processo de produção de biodiesel,

[12] Referência pessoal – Profª Drº Suani Teixeira Coelho - agosto/2014.

tanto na velocidade da reação, quanto na separação e purificação dos produtos (biodiesel e glicerina).

Certamente esses fatos, associados a um preço mais elevado desse óleo em relação aos demais, certamente foram os responsáveis pelo fato de que este biodiesel é menos competitivo economicamente (BIODIESELBR, 2006).

Óleos Residuais

Outra possibilidade é a utilização dos óleos residuais de fritura para a produção de biodiesel, podendo ser uma alternativa para o descarte desse resíduo evitando, assim, contaminação de água e solo.

Por ser um óleo de baixa qualidade, há necessidade de realizar um pré-tratamento para remover as impurezas presentes, antes de ser utilizado como matéria-prima na produção de biodiesel, o que pode acarretar em custos adicionais ao processo.

De acordo com CHRISTOFF (2006), além da vantagem ambiental caracterizada pela destinação adequada de um resíduos que, em geral, é descartado inadequadamente, impactando diretamente o meio ambiente, a utilização de óleos residuais para a produção de biodiesel ainda apresenta vantagens de cunho tecnológico, caracterizada pela dispensa do processo de extração do óleo, e de cunho econômico, caracterizada pelo custo da matéria-prima, pois por se tratar de um resíduo, o óleo residual de fritura tem seu preço de mercado estabelecido, principalmente o óleo proveniente da área comercial, que é comercializado para a produção de sabão. Entretanto o óleo residual proveniente de residências pode ter espaço para crescer e alavancar a produção de biodiesel a partir desta matéria-prima.

As desvantagens de se utilizar os óleos residuais para a produção de biodiesel estão relacionadas, principalmente, à coleta e armazenamento do óleo.

As principais características dos óleos aqui apresentados e suas possíveis aplicações para a produção de biodiesel no Brasil encontram-se no Anexo C deste trabalho.

EPA (2012) analisa o ouso de óleos residuais para produção de biodiesel, em particular com as vantagens ambientais decorrentes. Também Mittelbach (2008)

estuda desde 1986 o uso de óleos residuais para a produção de biodiesel na Universidade de Graz.

Felizardo et. al. (2005) estudaram as condições ideais para a produção de biodiesel utilizando óleos residuais de fritura, coletados de cantinas escolares, população e restaurantes locais. A produção de biodiesel foi feita por transesterificação via rota metílica.

GNANAPRAKASAM et. al. (2013) analisaram o processo de produção de biodiesel a partir de óleos residuais por esterificação com catálise ácida. Foram analisados vários parâmetros que influenciaram o processo de produção, como taxa de reação, concentração do catalisador, álcool utilizado, razão de álcool e óleo, conteúdo de ácidos graxos livres e teor de água.

Esses são alguns dos vários autores que analisam o processo de produção de biodiesel a partir de óleos residuais de fritura. No Brasil, em SP, a planta de biodiesel de Catanduva/SP, parceira do projeto BIOACV descrito no capitulo 5, já utiliza óleos residuais para a produção de biodiesel, via rota etílica, em sua planta multifuncional. Esta é a única usina que opera exclusivamente com etanol anidro.

3.2 Principais Álcoois Utilizados no Processo de Produção do Biodiesel

A produção de biodiesel na maior parte dos processos comercializados no Brasil e no mundo se faz através do processo de transesterificação via rota metílica (discutido adiante no Capítulo 4). Para tal é necessário a reação química com um álcool, que pode ser o metanol ou o etanol.

No Brasil quando o Programa de Biodiesel foi introduzido pelo Governo Federal, as empresas utilizaram basicamente o processo em uso na União Europeia, que utiliza o metanol como o álcool para a reação e não o etanol, apesar de ser produzido no país em grande escala.

Como discutido adiante, o uso de etanol ainda é em pequena escala (apenas duas empresas no estado de SP produzem biodiesel via rota etílica) e ainda apresenta dificuldades, como maior consumo no processo.

Nesta secção apresenta-se uma breve revisão dos usos do metanol e etanol para a produção de biodiesel. Maiores detalhes sobre cada um encontram-se nos anexos referentes ao Capítulo 5.

3.2.1 Álcool Metílico (Metanol)

O metanol (CH_3OH) ou álcool metílico é um composto químico encontrado na forma líquida, incolor, volátil, inflamável e possui uma chama invisível. É miscível em água, álcoois, ésteres e na maioria dos solventes orgânicos, além de possuir uma razoável solubilidade em óleos e gorduras. O metanol é utilizado como matéria-prima da indústria química e na produção de biodiesel. A Tabela 3.9 apresenta as propriedades físicas e a Tabela 3.10 as propriedades químicas do metanol.

Tabela 3.9. Propriedades Físicas do Metanol

Propriedades	**Valores**
Densidade (20°/20°C), máx. (g/cm^3)	0,7932
Densidade do vapor (20°C), 760 mm HG	1,11
Ponto inicial de ebulição, 760mm HG, °C	64,6 +-0,1
Faixa de destilação, 760mm HG, °C máx.	1,0 incluindo 64,6 +- 0,1
Limite de inflamabilidade inferior, % vol.	6,0
Limite de inflamabilidade superior, % vol.	36,5
Calor de combustão, cal/g, gas., 25°C	5683
Calor de combustão, cal/g, liq., 25°C	5420
Calor de fusão, cal/g	0,76
Calor de vaporização, cal/g (ponto normal de ebulição)	262,8
Ponto de congelamento, °C	- 97,34
Solubilidade em água, álcool e éter	Completa
Calor específico do liq., cal/g/°C a 20°C	0,599
Temperatura crítica (ºC)	240,0
Temperatura de auto-ignição, °C	464
Ponto de fulgor (vaso aberto), ºC	16,1

Fonte: GPC, 2012.

Tabela 3.10. Propriedades Químicas do Metanol

Propriedades	Valores
Teor de Metanol (% m/m mín.)	99,85
Acidez (como Ácido Acético) (% m/m máx.)	0,003
Aldeídos e Cetonas (% m/m máx.)	0,003
Aspecto	Claro, livre de materiais em suspensão ou sedimentos
Odor	Característico
Umidade (% m/m máx.)	0,15

Fonte: COPENOR, 2012.

O metanol, usado preferencialmente nas indústrias de biodiesel no Brasil, é industrialmente obtido a partir do gás natural, em geral. O Brasil possui duas unidades principais de produção de metanol: uma delas localizada no Rio de Janeiro e a outra no Polo Petroquímico de Camaçari / Bahia. Entretanto ainda há necessidade de importação, o que é feito a partir do Chile, Venezuela e EUA, como analisado a seguir.

O consumo de metanol no Brasil aumenta a cada ano e a capacidade produtiva nacional não é suficiente para atender a demanda, restando como opção a sua importação. O consumo anual de metanol destinado à produção de biodiesel é apresentado na Tabela 3.11. Em 2012 o consumo atingiu 305,2 mil m^3, 1,1% maior que em 2011.

Tabela 3.11. Evolução do consumo anual de metanol, segundo grandes regiões

Grandes Regiões	Consumo anual de metanol (m^3)								12/11
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	%
Brasil	**133**	**9.998**	**57.495**	**136.043**	**199.111**	**278.650**	**301.890**	**305.223**	**1,11**
Região Norte	94	496	4.694	3.847	8.021	17.816	15.883	10.742	-32,37
Região Nordeste	27	5.519	31.986	20.931	25.319	23.837	20.186	32.672	61,85
Região Sudeste	8	2.732	5.082	23.016	43.240	48.441	47.690	31.074	-34,84
Região Sul	4	13	6.009	38.024	55.845	79.624	103.538	102.064	-1,42
Região Centro-Oeste	-	1.237	9.724	50.226	66.686	108.932	114.592	128.681	12,29

Fonte: ANP, 2013a.

Segundo a Petrobras, em 2012 a importação de metanol correspondeu a 68% do consumo interno brasileiro (PETROBRAS, 2012). A Tabela 3.12 apresenta a quantidade de metanol importado para o Brasil (kg), por país, de 2008 a 2013.

Diante dos dados apresentados na Tabela 3.12, observa-se que o Chile é o maior exportador de metanol para o Brasil, representando 64% do metanol recebido no país entre 2008 e 2014, seguido pela Venezuela, com 21%. Além da utilização para a produção de biodiesel, o metanol é muito usado em processos industriais, constitui matéria-prima de polímeros (plásticos) e é solvente na obtenção de produtos farmacêuticos.

Tabela 3.12. Metanol importado para o Brasil por país

Origem	**Quantidade (kg)**					
	2008	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**
Alemanha	29.573	22.122	31.174	30.330	62.553	95.562
Argentina	-	-	-	6.298.122	15.300.000	56.293.544
Bélgica	-	-	-	-	758	-
Canadá	-	-	2	19	-	-
Chile	**343.350.398**	**376.321.118**	**445.830.584**	**487.917.389**	**328.436.057**	**98.340.622**
China	-	-	-	-	60	1574
Coréia do Sul	10	-	-	-	136	-
Espanha	-	127	8.726	19.703	24.093	37.534
EUA	**2.227.370**	**243.554**	**282.100**	**188.692**	**124.380**	**99.364**
França	-	-	7.603	3.041	4.732	2.365
Israel	-	758	-	1.580	-	-
Itália	17.572	26.828	1.503	1.478	6.210	-
Japão	41	60	93	52	122	110
México	9.672	9.222	69.623	80.827	86.922	97.160
Países Baixos (Holanda)	525	1.250	12.580	8.155	17.924	7.520
Reino Unido	-	-	-	-	4	2
Taiwan (Formosa)	15.360	3.948	32.570	26.834	4.450	4.336
Trinidad e Tobago	-	-	-	24.027.008	117.422.559	262.260.631
Venezuela	**14.909.521**	**81.299.434**	**116.917.248**	**152.824.649**	**176.378.839**	**148.266.331**
TOTAL	**360.560.042**	**457.928.421**	**563.193.806**	**671.427.879**	**637.869.799**	**565.506.655**

Fonte: MDIC / Alice Web, 2014.

Segundo o Rathmann et. al. (2012), os gastos com o metanol importado utilizado na produção de biodiesel foram maiores que os gastos com a importação de diesel em 2009, levando a um déficit comercial líquido de 37 milhões de dólares

(conforme apresentado no Capítulo 6). Isso quer dizer que a introdução do biodiesel não reduziu a taxa de câmbio estrangeiro, como era previsto inicialmente.

3.2.1.1 Produção de Metanol

As etapas da produção de metanol compreendem a geração de gás de síntese, a síntese do metanol e a destilação dos produtos de reação.

O gás de síntese é obtido a partir da reforma do gás natural, sem a presença de oxigênio, sobre um leito catalítico de níquel.

A Figura 3.16 simplifica uma unidade que realiza reforma a vapor de gás natural.

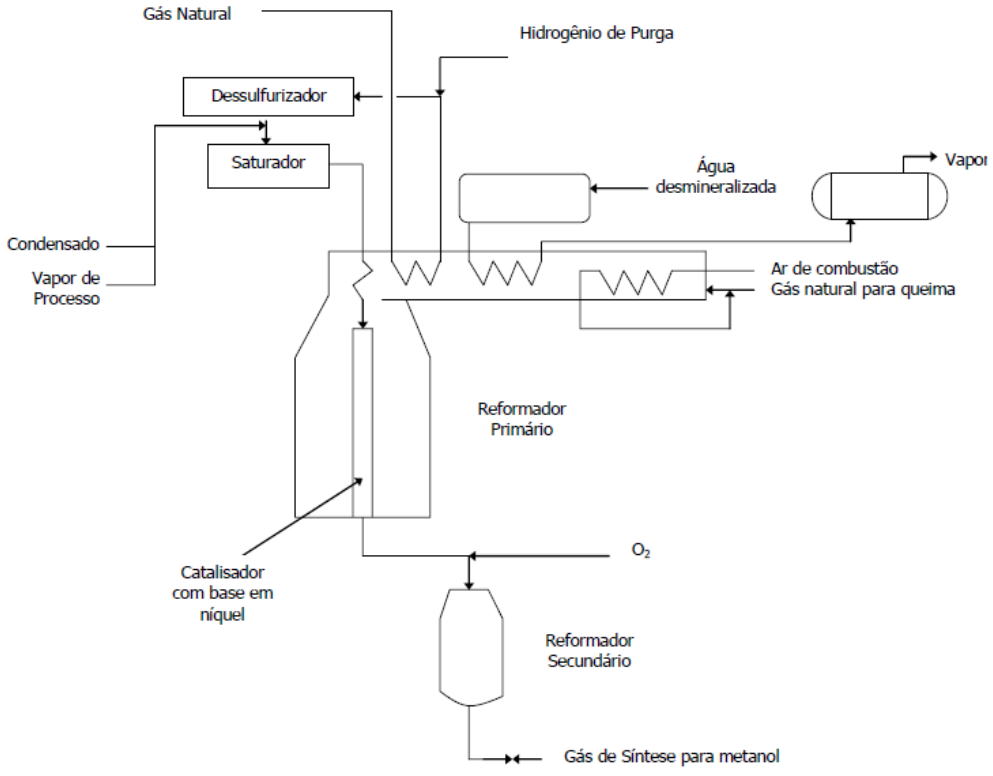
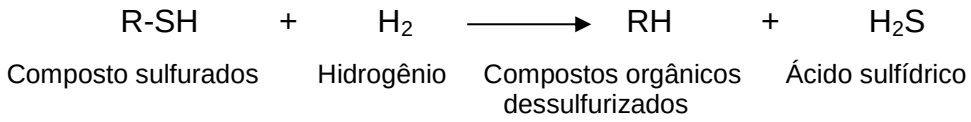


Figura 3.16. Reforma a Vapor do Gás Natural
Fonte: MACROPLAN, 2006

Primeiramente o gás natural é dessulfurizado, para que compostos orgânicos como os mercaptans, que podem prejudicar os catalisadores das reações de

reforma, possam ser eliminados. Para isto, esta etapa recebe hidrogênio para reação de dessulfurização que pode ser representada conforme segue.



A seguir o gás saturado de vapor d'água é reformado à alta temperatura e catalisado. A energia térmica necessária é suprida pela queima de gás natural.

Um economizador de calor gera vapor superaquecido que supre o vapor para o saturador, gerando ainda vapor para movimentar compressores e bombas de unidade de reforma ou das unidades de metanol. Utiliza-se um reformador secundário para melhorar o rendimento químico e termodinâmico do processo.

A composição média do gás de síntese, após a reforma do gás natural, é de aproximadamente, 15% de CO, 8% de CO_2, 74% de H_2 e 3% de CH_4 em volume.

A etapa da síntese do metanol transforma o gás de síntese em metanol por meio de reações da mistura de óxidos de carbono com o hidrogênio sobre um leito catalítico de cobre, zinco e alumínio. Para promover o controle cinético da reação de síntese, aumentando a conversão do gás de síntese em metanol, há necessidade de alimentação adicional de gás carbônico nesta etapa.

A destilação dos produtos da reação de metanol deve ser realizada para que impurezas obtidas no processo anterior, tais como compostos orgânicos leves, água, entre outros, sejam separadas do produto principal, o metanol.

Maiores detalhes sobre a produção de metanol serão apresentados no Anexo G, referente ao estudo de ACV descrito no Capítulo 5.

3.2.2 Álcool Etílico (Etanol)

O etanol produzido no Brasil possui principalmente como matéria-prima a cana-de-açúcar. Atualmente já existem empresas iniciando a produção de etanol a partir do milho e de sorgo sacarino, apesar de pequena escala ainda.

Na safra 2012/2013 foram produzidos cerca de 590 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, ocupando uma área plantada de aproximadamente 9 milhões de

hectares, sendo o terceiro cultivo mais importante no país, em superfície ocupada, depois da soja e do milho (MAPA, 2014c; UNICA, 2011;). De acordo com o MAPA (2014c) a estimativa para a safra de 2013/14 é que sejam produzidas cerca de 657 milhões de toneladas de cana-de-açúcar.

A produção brasileira é direcionada para a produção de açúcar e de álcool em proporção aproximada de 50% para cada produto final, de forma que se pode estimar que aproximadamente 4,5 milhões de hectares são usados para a produção de etanol.

Há tradicionalmente dois períodos distintos de colheita, variando de acordo com o regime de chuvas (para otimização de operações de corte e transporte, bem como melhor ponto de maturação da cana); na região Norte-Nordeste a safra vai de setembro a março e na região Centro-Sul, de maio a novembro (BNDES e CGEE, 2008 apud GRISOLI 2011).

A região Centro-Sul concentra a maior parcela da produção nacional de cana-de-açúcar, e, consequentemente, as maiores unidades produtoras de etanol do país. Apesar de ter recuperado um pouco a produção de etanol, a região Norte-Nordeste tem priorizado a produção de açúcar devido à existência de cotas preferenciais para o mercado americano e pela maior proximidade dos mercados importadores (NOVA CANA, 2013). A Figura 3.17 apresenta as áreas onde se concentram as plantações e usinas produtoras de açúcar e álcool e a Tabela 3.13 apresenta o número de plantas e a capacidade de produção de etanol autorizada por Estado.

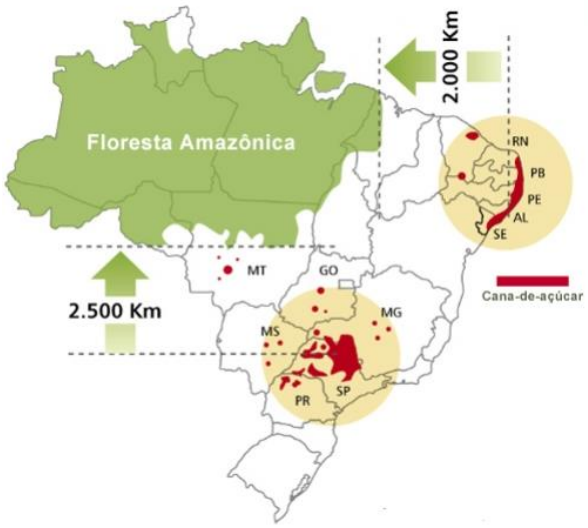


Figura 3.17. Concentração das plantações e usinas de açúcar e álcool.
Fonte: UNICA, 2014.

Tabela 3.13. Número de plantas e a capacidade de produção de etanol autorizada por Estado[13].

UF	Etanol Anidro (m3/d)	Etanol Hidratado (m3/d)	Número de Plantas
AC	0	140	1
AM	0	100	1
PA	260	340	1
RO	300	300	1
TO	750	1500	1
PR	5613	12630	30
RS	0	61	2
AL	4598	6265	21
BA	1132	1714	6
CE	0	233	1
MA	1360	1550	4
PB	1400	2720	7
PE	2490	3470	15
PI	240	264	1
RN	480	893	3
SE	690	1445	6
GO	10000	28155	36
MS	6800	17554	23
MT	5456	7228	9
ES	1570	2217	6
MG	11481	18378	39
RJ	0	1080	4
SP	50201	96954	165
TOTAL	104821	205191	383

Fonte: ANP, 2014.

Quanto ao perfil de produção, as usinas brasileiras podem ser classificadas em três tipos de instalações: as usinas açucareiras, que produzem exclusivamente açúcar, as usinas de açúcar com destilarias anexas (usinas mistas), que produzem açúcar e etanol e as instalações que só produzem etanol, chamadas destilarias autônomas. A grande maioria das instalações é formada por usinas de açúcar com destilarias anexas (GRISOLI, 2011 *apud* BNDES e CGEE, 2008).

O álcool produzido pelo setor sucroalcooleiro do Brasil pode ser classificado em 3 categorias: o álcool etílico anidro carburante, sendo o etanol anidro composto por um teor alcoólico mínimo de 99,3° INPM [14] e utilizado como aditivo aos combustíveis, enquanto que o etanol hidratado (com teor alcoólico mínimo de 92,6° INPM) é utilizado diretamente nos carros movidos a álcool ou flex fuel, e o álcool

[13] Esta tabela inclui as plantas com ratificação de titularidade e as autorizadas para operação.
[14] Quantidade em gramas de álcool absoluto contida em 100 gramas de mistura hidro-alcoólica. Um frasco de álcool com 99,3 graus INPM tem 99,3% em massa de álcool, e 0,7% em massa de água.

neutro (em menor quantidade) que é utilizado na fabricação de bebidas, cosméticos, produtos químicos e farmacêuticos (PIACENTE, 2006).

O uso de etanol em veículos leves pode ocorrer tanto na forma pura (etanol hidratado - 96% em volume), quanto em mistura com a gasolina (no Brasil, de 20 a 25% de etanol anidro - 99,5% em volume); pode ainda ser usado em misturas de qualquer porcentagem com a gasolina, em carros bicombustíveis ou *flex fuel* (ANFAVEA, 2010 apud GRISOLI, 2011).

No Brasil, além do açúcar e do melaço, um subproduto da produção do açúcar, o caldo da cana é utilizado também na produção de álcool. De acordo com Paoliello (2006), a produção de etanol, quando realizada em destilarias autônomas segue as seguintes etapas: extração do caldo; tratamento do caldo; fermentação; destilação/retificação/desidratação.

Maiores detalhes sobre a produção de etanol serão apresentados no Anexo F, referente ao estudo de ACV descrito no Capítulo 5.

Atualmente, os usineiros e produtores de cana-de-açúcar estão enfrentando uma das piores crises do setor. Os motivos apontados para esta crise são a estiagem do verão e problemas financeiros enfrentados pelo setor, pois o preço da cana e, consequentemente dos seus subprodutos, não acompanharam o aumento dos custos de produção (NOVA CANA, 2014; FOLHA DE SÃO PAULO, 2014).

O Brasil possui 389 usinas de produção de açúcar e álcool e só neste ano (2014) 12 usinas não irão operar. Estima-se que desde 2008, 44 usinas já deixaram de operar (NOVA CANA, 2014).

A Figura 3.18 apresenta a série histórica da produção de cana-de-açúcar e a Figura 3.19 apresenta a série histórica da produção de etanol desde

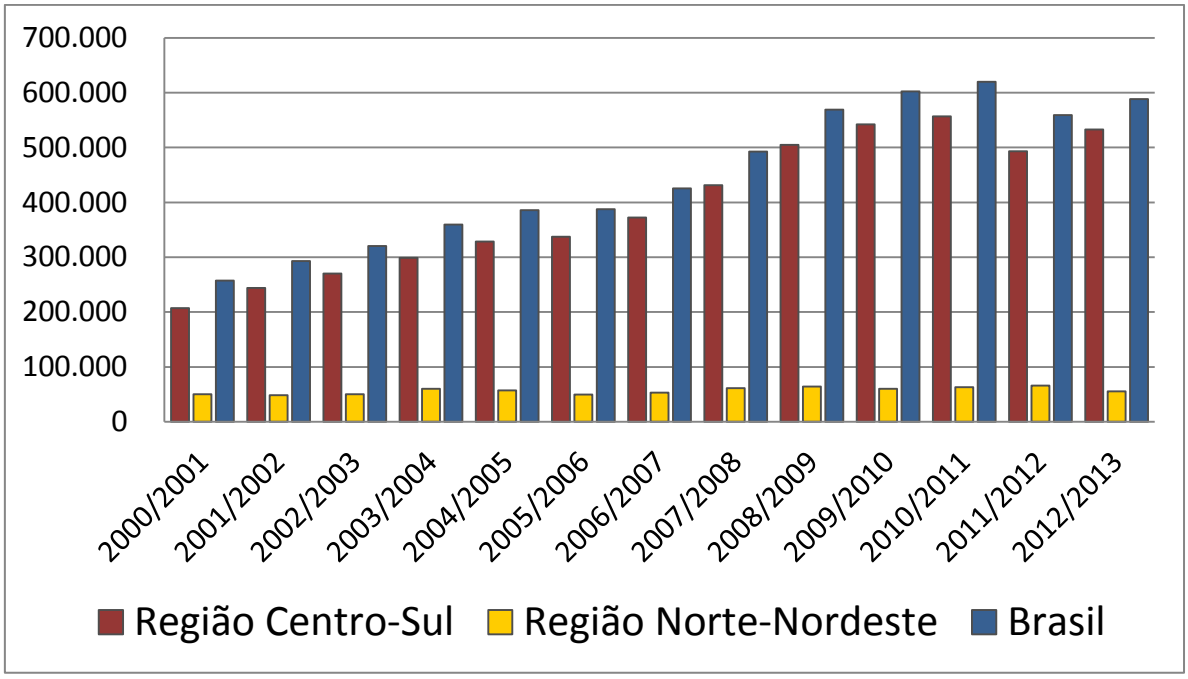


Figura 3.18. Série histórica da produção de cana-de-açúcar (10^3 t) entre 2000/2001 e 2012/2013.
Fonte: Adaptado de UNICA, 2013.

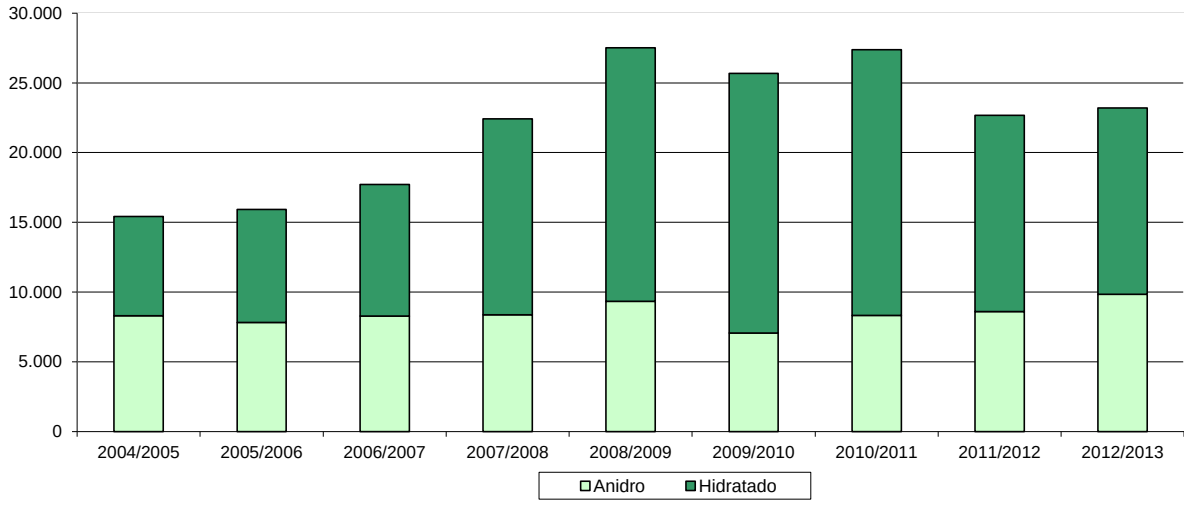


Figura 3.19. Série histórica da produção de etanol anidro e hidratado (1000 m^3) entre 2004/2005 e 2012/2013.
Fonte: Adaptado de UNICA, 2013.

Diante das Figuras apresentadas, pode-se observar que desde a safra 2010/2011 houve um declínio na produção de cana-de-açúcar e, consequentemente, na produção de etanol. Já a exportação de etanol começou a declinar após ter atingido um pico em 2008/2009, voltou a subir em 2012 e declinou novamente em 2013. A Figura 3.20 apresenta as exportações de etanol entre janeiro de 2000 e abril de 2014, onde se pode verificar a enorme variação nas

quantidades exportadas, o que é um sinal claro das dificuldades e incertezas existentes no setor.

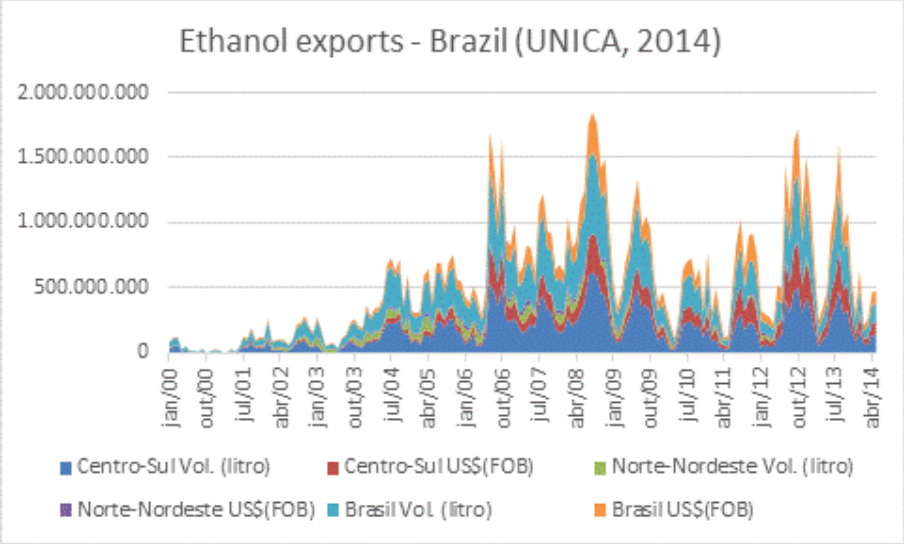


Figura 3.20. Exportação de etanol entre jan/2000 e abril/2014.
Fonte: Adaptado de UNICA, 2014.

Na verdade, a situação atual do setor sucroalcooleiro e das exportações de etanol é altamente dependente das políticas do governo devido ao controle indireto de preços dos derivados nos postos de combustíveis. A Petrobras, nas suas distribuidoras, não tem autorização para aumentar os preços da gasolina (para um controle aparente da inflação) e, como o preço do álcool deve ser no máximo 70% do preço da gasolina, ocorre que os preços do álcool ficam indiretamente controlados. Esta falta de atratividade econômica faz com que o setor reduza a oferta de álcool hidratado no Brasil, preferindo exportar (quando há excedentes).

Há também a questão do ICMS nos estados; na maioria dos estados brasileiros o ICMS para o etanol hidratado é igual ou até maior do que o ICMS da gasolina, o que também não contribui para incentivar o seu uso.

No caso do etanol anidro a situação é diferente, pois o mesmo é adicionado à gasolina e tem, portanto um mercado cativo. Entretanto quando não há oferta suficiente, há necessidade de se reduzir a % de mistura de álcool anidro na gasolina como ocorreu até recentemente. Até o início de 2013 a mistura era de 20% de álcool anidro, o que obrigava a Petrobras a importar mais gasolina (além do aumento no consumo da gasolina pela não competitividade do álcool hidratado, há o aumento no consumo pela menor porcentagem de álcool adicionado).

Assim, com o aumento da mistura de etanol anidro na gasolina para 25% no primeiro semestre de 2014, as importações de gasolina caíram 45% em relação ao mesmo período de 2013. Até junho, o país importou cerca de 975 mil toneladas de gasolina, enquanto no mesmo período em 2013 foram 1,78 milhões de toneladas (REUTERS, 2014).

Assim, um dos fatores que contribuem com a queda acentuada nas importações da gasolina é este maior uso do etanol, devido ao aumento da mistura do biocombustível na gasolina, que passou de 20 para 25% a partir de maio de 2013 (REUTERS, 2014). Infelizmente o outro fator seria o consumo de etanol hidratado nos automóveis *flex*, o que nem sempre é viável economicamente pelos motivos analisados acima.

Em resumo, esta situação instável prejudica a oferta de etanol, inclusive, para a produção de biodiesel. Este é um dos motivos do etanol ainda ser mais caro que o metanol.

Uma análise mais detalhada desta situação foge ao escopo deste trabalho mas estas considerações permitem a compreensão da situação atual conjuntural do setor sucroalcooleiro, o que também não colabora para a viabilidade da sua utilização para a produção de biodiesel.

3.2.3 Metanol versus Etanol na Produção de Biodiesel no Brasil

Conforme citado anteriormente e discutido a seguir, os insumos para a produção de biodiesel são óleos/gorduras, catalisadores e álcoois de cadeia curta (FIORESE & GOMES, 2009). Os álcoois usados podem ser álcoois simples como metanol, etanol, propanol, butanol e álcool amílico, sendo os dois primeiros os mais comumente utilizados (KRAUSE, 2008).

Do ponto de vista econômico e operacional, a obtenção de biodiesel via rota metílica parece ser mais vantajosa que a reação via rota etílica, pois o metanol tem custo menor do que o etanol no Brasil[15], é isento de água, possui cadeia mais curta e maior polaridade, o que facilita a separação entre ésteres e a glicerina. O

[15] Há ainda as dificuldades de oferta de etanol discutidas na seção anterior.

consumo de metanol na reação é cerca de 45% menor que o consumo de etanol. O tempo de reação para uma mesma taxa de conversão utilizando o metanol é cerca da metade, se comparada à reação com etanol. O consumo de vapor na rota metílica é 20% do consumo da rota etílica, e a energia elétrica consumida é menos da metade. Por sua vez, o volume de equipamentos de processos da planta de rota metílica é cerca de ¼ do volume de equipamentos da rota etílica (KRAUSE, 2008).

Segundo Krause (2008), comparando as propriedades físicas e químicas e o desempenho dos ésteres metílicos e etílicos, verifica-se que estes são similares. Possuem aproximadamente o mesmo poder calorífico, a viscosidade dos ésteres etílicos é levemente maior, e o ponto de névoa e fluidez são levemente mais baixos que a dos ésteres metílicos. Testes em motores demonstraram que os ésteres metílicos apresentam potência e torque levemente maiores em relação aos etílicos, ao mesmo tempo em que os ésteres etílicos possuem melhores atributos desejáveis em relação aos metílicos, tais como: menor geração de fumaça, menores temperaturas de exaustão e menor ponto de fluidez.

As vantagens e as desvantagens em relação ao uso do metanol ou do etanol para a produção de biodiesel foram apresentadas resumidamente por Krause (2008), conforme Tabela 3.14.

Embora o etanol e o metanol sejam compostos químicos da família dos álcoois que podem ser utilizados na fabricação de biodiesel, existem diferenças entre eles que acabam afetando o processo de produção do biocombustível. Apesar de metanol ser obtido a partir de fonte fóssil (gás natural) ele possui uma cadeia curta que permite uma reação mais fácil e eficiente. Outro fator que contribui para a sua utilização é que o maquinário importado das usinas brasileiras produtoras de biodiesel é mais adaptado ao metanol que ao etanol, ou seja, as indústrias estariam mais bem preparadas para o uso do álcool derivado do petróleo por importarem utensílios para a produção do combustível. Junta-se a esses fatores a questão econômica, pois hoje no Brasil é mais barato produzir biodiesel a partir de álcool metílico importado do que com álcool etílico produzido no próprio país.

Tabela 3.14. Vantagens e desvantagens no uso do metanol e etanol para a produção de biodiesel

VANTAGENS	
METANOL	**ETANOL**
O consumo de metanol no processo de transesterificação é cerca de 45% menor do que o etanol anidro.	Produção alcooleira no Brasil já consolidada.
O preço do metanol é quase metade do preço do etanol.	Produz biodiesel com maior número de cetano e maior lubricidade, se comparado com o metílico.
O metanol é mais reativo.	Se for feito com biomassa, condição brasileira produz um combustível 100% renovável.
Para uma mesma taxa de conversão o tempo de reação com metanol é menos da metade do tempo quando se emprega o etanol.	Gera ainda mais ocupação e renda no meio rural.
Considerando a mesma produção de biodiesel, o consumo de vapor na rota metílica é 20% do consumo na rota etílica, e o consumo da eletricidade é menos da metade	Gera mais economia de divisas.
Os equipamentos do processo de produção em rota metílica ocupam cerca de ¼ do volume em rota etílica, para mesma quantidade e qualidade de produção.	Não é tóxico como metanol e apresenta menos risco de incêndio.
DESVANTAGENS	
METANOL	**ETANOL**
Apesar de poder ser produzido de biomassa, é tradicionalmente um produto de origem fóssil.	Os ésteres etílicos possuem maior afinidade com a glicerina, dificultando a separação.
É bastante tóxico.	Possui azeotropia, quando misturado em água, de modo que sua desidratação requer maiores gastos energéticos e investimento com equipamentos.
Maior risco de incêndio, chama invisível.	Os equipamentos do processo de produção via rota etílica ocupam 4 vezes o volume dos equipamentos via rota metílica, para mesma quantidade e qualidade de produção.
Transporte é controlado pela polícia federal por se tratar de matéria-prima para uso no processamento de drogas.	Dependendo do preço da matéria-prima, os custos de produção de biodiesel etílico podem ser até 100% maiores que o metílico.

Fonte: Krause, 2008.

Adiante, no Capítulo 5, onde é apresentado o projeto BIOACV, são analisadas em maiores detalhes as consequências ambientais do uso de metanol *versus* etanol.

4. ASPECTOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS DAS ROTAS DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Este capítulo apresenta os processos de obtenção de biodiesel e as principais tecnologias utilizadas. Este capítulo também aborda as propriedades do biodiesel, baseadas em dados de literatura, além de apresentar as considerações sobre a glicerina obtida no processo de transesterificação.

4.1 Conceitos Básicos

Óleos e gorduras são substâncias de origem vegetal ou animal, constituídas por uma mistura de diferentes compostos químicos, sendo os ácidos graxos e seus derivados os mais importantes.

Os derivados dos ácidos graxos compõem os mono-, di- ou tri-acilglicerídeos e os fosfatídios. Os tri-acilglicerídeos, também conhecidos como triglicérides, são os maiores constituintes dessa mistura, podendo chegar a valores superiores a 95% em massa. A relação entre a quantidade desses compostos, bem como os tipos de ácidos graxos dos quais são formados, depende da fonte do óleo ou da gordura e da região onde foram produzidas (OLIVEIRA, 2008 apud MORETTO & FETT, 1989).

Os ácidos graxos são ácidos monocarboxílicos, ou seja, com um único grupo carboxila (-COOH), de cadeia normal, cujo comprimento geralmente possui de 12 a 24 átomos de carbono. Esta cadeia carbônica pode ser saturada (somente com ligações simples) ou insaturada (contendo uma ou mais ligações duplas). Os ácidos graxos saturados tendem a ser sólidos a temperatura ambiente por não possuírem duplas ligações. Já os ácidos graxos insaturados geralmente são líquidos a temperatura ambiente.

Os ácidos graxos diferem-se entre si pelo número de carbono presente em sua cadeia, pela presença de agrupamentos químicos e também pelo número e posição de insaturações (duplas ligações). Quanto maior a cadeia de um ácido graxo e

quanto menor o número de ligações duplas, menor sua solubilidade em água e maior o número de cetano[16] do combustível, o que proporciona maior qualidade à combustão (SILVEIRA, 2011; POLEDNA, 2005). As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam alguns ácidos graxos provenientes de óleos e gorduras e seus pontos de fusão.

Tabela 4.1. Ácidos graxos saturados comumente encontrados em óleos e gorduras

Ácido Graxo	Fórmula Estrutural	P.F. (ºC)
Láurico	$C_3(CH_2)_{10}COOH$	44,8
Mirístico	$C_3(CH_2)_{12}COOH$	54,4
Palmítico	$C_3(CH_2)_{14}COOH$	62,9
Esteárico	$C_3(CH_2)_{16}COOH$	70,1
Araquídico	$C_3(CH_2)_{18}COOH$	76,1
Lignocérico	$C_3(CH_2)_{22}COOH$	84,2

Fonte: SILVEIRA, 2011.

Tabela 4.2. Ácidos graxos insaturados comumente encontrados em óleos e gorduras

Ácido Graxo	Fórmula Estrutural	P.F. (ºC)
Palmitoléico	$CH_3(CH_2)_5CH=CH(CH_2)_7COOH$	-0,5
Oléico	$CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$	13,4
Linoléico	$CH_3(CH_2)_4CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$	-5,0
Linolênico	$CH_3CH_2CH=CHCH_2CH=CHCH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$	-11,0
Araquidônico	$CH_3(CH_2)_4(CH=CHCH_2)_3CH=CH(CH_2)_3COOH$	-49,5

Fonte: SILVEIRA, 2011.

O tamanho da cadeia e o grau de insaturação estão relacionados com as características químicas e físicas de cada composto. Os ácidos graxos saturados possuem consistência sólida à temperatura ambiente, como aqueles que compõem a gordura animal, enquanto os insaturados, com essas variações de comprimento da cadeia, apresentam-se na forma líquida à temperatura ambiente, como os que compõem os óleos vegetais (SILVEIRA, 2011).

Ainda de acordo com os dados das Tabelas 4.1 e 4.2, pode-se observar que o ponto de fusão dos ácidos graxos saturados aumenta com o aumento do tamanho

[16]Índice de cetano: equivalente ao índice de octano (octanagem) dos combustíveis utilizados em motores ciclo Otto (gasolina e álcool). Quanto maior o índice de cetano, melhor a qualidade de combustão no motor diesel.

da cadeia, e dos insaturados diminui com o aumento do número de duplas ligações na cadeia (SILVEIRA, 2011).

De acordo com Poledna (2005), um elevado número de insaturações torna as moléculas menos estáveis quimicamente. Isso pode acarretar diversos inconvenientes como a oxidação, degradações e polimerização do combustível, originando menor número de cetano ou formação de resíduos sólidos (borras), caso seja armazenado ou transportado inadequadamente.

A Tabela 4.3 apresenta as composições típicas em ácidos graxos para diferentes tipos de óleos vegetais.

Tabela 4.3. Composição em % de ácidos graxos para diferentes tipos de óleo

	Ácido graxo (%)				
Tipo de Óleo	**Palmítico C16**	**Esteárico C18**	**Oléico C18:1(n9)**	**Linoléico C18:2(n9,12)**	**Linolênico C18:3(n9,12,15)**
Algodão	17 - 31	1 - 4	13 - 44	33 - 59	0,1 - 2,1
Amendoim	6 - 16	1,3 - 6,5	35 - 72	13 - 45	< 1
Dendê	32 - 59	1,5 - 8	27 - 52	5 - 14	< 1,5
Girassol	3 - 10	1 - 10	14 - 65	20 - 75	< 0,7
Oliva	7,5 - 20	0,5 - 3,5	56 - 83	3,5 - 20	< 1,5
Milho	8 - 19	0,5 - 4	19 - 50	34 - 62	4 - 11
Soja	7 - 14	1,4 - 5,5	19 - 30	44 - 62	4 - 11

Fonte: OLIVEIRA, 2008.

Considerando-se a obtenção de biodiesel, o processo de produção a ser escolhido deve levar em conta o método mais adequado, que varia de acordo com a matéria-prima de origem.

As técnicas utilizadas para a produção de biodiesel diversificaram-se muito nos últimos tempos. Uma das razões para esta diversificação está associada à transesterificação alcalina que, apesar da predominância mundial, apresenta limitações quanto à utilização de óleos ou gorduras, que devem apresentar baixa acidez, além de álcoois, de devem ser praticamente anidros.

Exemplos de grande relevância são: transesterificação em meio ácido, que apresenta limitações em relação ao poder corrosivo do meio; esterificação de ácidos graxos seguida de transesterificação alcalina dos triglicérides remanescentes, atuando como alternativa para a correção da acidez da matéria-

prima de baixo valor agregado, antes da transesterificação; a hidrólise de triglicerídeos seguida de esterificação dos ácidos graxos livres (Hidroesterificação), que possibilita a utilização de qualquer matéria-prima, independente da sua acidez; e o craqueamento térmico, processo no qual ocorre a quebra das moléculas do óleo ou gordura a altas temperaturas.

Quanto às tecnologias, além dos reatores utilizados na grande maioria das plantas de biodiesel no mundo, destaca-se a utilização da destilação reativa. Entretanto é uma tecnologia utilizada para a produção de biodiesel em pequena escala e que ainda necessita de estudos aprofundados para que seja implantada em escala industrial no país.

Nos últimos anos, a produção de biocombustíveis de segunda e terceira geração tem sido vista como uma forma de reaproveitar a matéria orgânica e de se evitar o principal problema enfrentado pelos bicombustíveis de primeira geração, a disponibilidade de terras para as monoculturas, cuja demanda é cada vez maior, graças à crescente produção deste tipo de combustível (SALEMI, 2009; EISENTRAUT, 2010; NYKO et al., 2010; CHENG & TIMILSINA, 2010).

A segunda geração dos biocombustíveis utiliza em seus processos qualquer forma de biomassa lignocelulósica, como espécies de grama, árvores, resíduos agrícolas e industriais. Os biocombustíveis de terceira geração também são derivados de espécies não comestíveis e são baseados em avanços feitos na fonte – a produção de biomassa (BIODIESELBR, 2008).

O denominado biodiesel de segunda geração pode ser obtido a partir da jatropha, que embora não compete com alimentos, não tem um número de variedade agronômica suficiente para ser uma cultura domesticada. Já o de terceira geração é obtido a partir de microalgas. Uma das vantagens destes tipos de biodiesel é que não necessitam de área plantada para produzi-los. Com isso, além de não degradar o meio ambiente sua produção não interferem no mercado de alimentos.

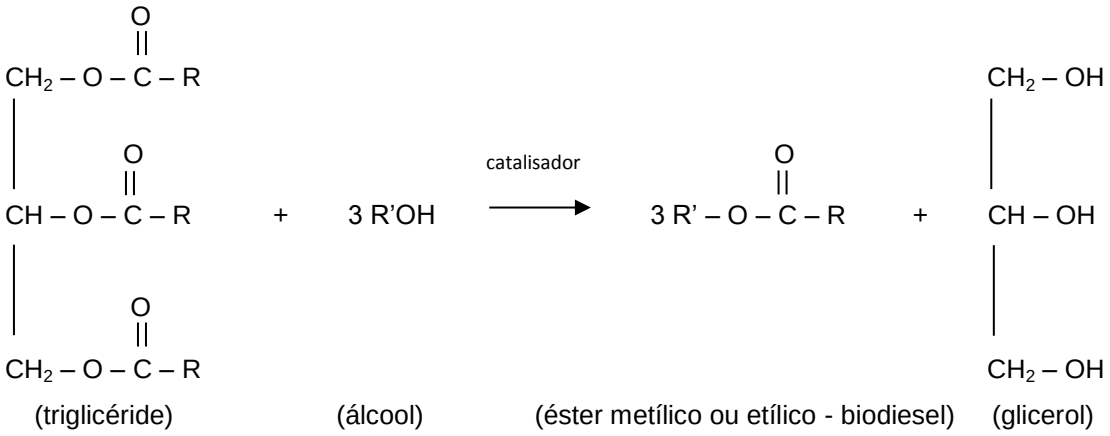
Entretanto, por falta de tecnologias eficientes, a produção de biocombustíveis de segunda e terceira geração é feita somente em pequena escala, a nível laboratorial. Para a utilização dos biocombustíveis em escala industrial algumas barreiras devem ser superadas, como a falta de desenvolvimento agroindustrial, a má administração das plantações e a ausência de estudos mais completos e detalhados sobre o assunto.

4.2 Processos de Obtenção de Biodiesel

4.2.1 Transesterificação de Óleos Vegetais e Gordura Animal

O principal método comercializado de produção de biodiesel é a transesterificação. Neste processo os óleos vegetais e gorduras animais reagem com um álcool (metanol ou etanol), na presença de um catalisador, produzindo os alquil ésteres correspondentes (metílico ou etílico) e glicerol, também chamado de glicerina.

A reação de transesterificação de um triglicéride (maior componente de um óleo vegetal ou gordura animal) com um álcool (etanol ou metanol) para a produção de biodiesel, é representada por (Knothe et. al. , 2006), :



Observa-se por meio da estequiometria da reação de transesterificação que cada 1 mol de triglicéride (óleo ou gordura) reage com 3 mols de metanol ou etanol para formar 3 mols de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos (biodiesel) e 1 mol de glicerol.

Os ésteres metílicos ou etílicos produzidos possuem características químicas e físicas semelhantes à do diesel convencional, embora sejam compostos de classes distintas, com a vantagem de serem menos poluentes, biodegradáveis e renováveis.

Transesterificação com metanol

O álcool mais comumente empregado na produção de biodiesel é o metanol, que possui uma cadeia mais curta do que o etanol e uma maior polaridade, o que torna mais fácil a separação entre os ésteres e a glicerina. Além do produto principal, o biodiesel, a reação de transesterificação gera um subproduto denominado glicerina, utilizado para diversos fins industriais.

O processo de transesterificação é realizado mediante a presença de um catalisador, geralmente básico ou ácido. O processo de transformação dos triglicérides em biodiesel não seria economicamente viável sem eles. Os catalisadores são capazes de direcionar e acelerar as reações químicas sem nelas serem consumidos e sem alterar as condições de equilíbrio termodinâmico. O catalisador forma ligações com as moléculas reagentes, permitindo que as mesmas reajam entre si, formando o produto, que se separa do catalisador e este, por sua vez, é liberado inalterado e disponível para ser utilizado na próxima reação. Este processo pelo qual um catalisador acelera uma reação ou a catalisa é a chamada catálise (SILVEIRA, 2011).

Usualmente a catálise é classificada como homogênea ou heterogênea. O primeiro caso ocorre quando o catalisador é solúvel no meio reacional. Neste caso, os reagentes formam um composto intermediário com o catalisador, se transformando em produtos e, então, o complexo se rompe liberando os produtos e deixando o catalisador intacto. Já a catálise heterogênea ocorre quando o catalisador encontra-se em uma fase distinta daquela do meio reacional. Normalmente o catalisador é sólido e os reagentes e produtos estão na forma líquida ou gasosa. Nesse caso, o catalisador fornece uma superfície onde os reagentes irão reagir mais facilmente, e com menor energia de ativação. Em alguns casos há adsorção[17] de reagentes na superfície do catalisador, transformando esses reagentes em produtos. Os produtos são então dessorvidos[18] da superfície sólida catalítica, liberando-a para um novo ciclo (SILVEIRA, 2011).

[17] Adsorção é a adesão de moléculas de um fluido (o adsorvido) a uma superfície sólida (o adsorvente).O grau de adsorção depende da temperatura, da pressão e da área da superfície.
[18] Dessorção é o processo pelo qual uma substância é liberada em determinada superfície.

A produção de biodiesel por meio da transesterificação pode ser conduzida tanto pela catálise homogênea (básica ou ácida) quanto pela heterogênea (metais alcalinos e ácidos orgânicos e inorgânicos).

Os catalisadores utilizados na catálise básica são bases fortes[19] como KOH, NaOH, carbonatos e metóxidos, etóxidos e, em menor grau, propóxidos e butóxidos de sódio e potássio (SOUZA, 2006).

A transesterificação metílica de óleos vegetais em meio básico é o processo mais comum de produção de biodiesel. Os catalisadores básicos proporcionam processos mais rápidos que os catalisadores ácidos. Apesar das dificuldades de recuperação, os catalisadores básicos podem ser reutilizados como catalisadores sem perda de atividade. Além disso, a catálise básica requer menor pressão e temperatura do processo, diminuindo os custos de energia e de instalação, e ainda permite o uso de menores relações molares álcool/óleo (SOUZA, 2006).

Deve-se ressaltar que os óleos e gorduras utilizados no processo podem conter pequenas quantidades de ácidos graxos livres que, ao reagirem com o catalisador básico, formam sabões, que atrapalham o processo diminuindo a velocidade de formação do biodiesel e dificultando a separação e purificação dos produtos (SILVEIRA, 2011).

Por ser uma reação reversível, a transesterificação tende a atingir o equilíbrio, ou seja, estado em que a velocidade da reação direta iguala-se à velocidade da reação reversa, não ocorrendo variação na proporção dos componentes envolvidos ao longo do tempo nem o avanço da reação. Para deslocar este equilíbrio e favorecer a formação do biodiesel deve-se utilizar excesso de álcool em relação a quantidade estequiométrica (SILVEIRA, 2011). De acordo com Ramos et. al. (2011) a razão molar estequiométrica de álcool e óleo na transesterificação é 3:1, entretanto, para o álcool em excesso, utiliza-se 6:1 ou 12:1, a fim de evitar a ocorrência da reação em sentido inverso, maximizando a produção de ésteres graxos.

A transesterificação em meio básico é bastante sensível à presença de ácidos graxos livres, pois estes reagem com a base do catalisador, levando a formação de sabões, que dificulta a separação da glicerina, além de diminuir o rendimento do processo (CUNHA, 2008; RAMOS et. al. 2011).

[19] Base forte é base cuja constante de dissociação é elevada, aumentando com maior intensidade a concentração de OH- quando adicionada a uma solução aquosa.

Outros parâmetros relevantes é a presença de água no meio reacional e a temperatura da reação. Em tese, o aumento da temperatura deveria favorecer a cinética da reação, entretanto, alguns autores indicam que a temperaturas mais brandas, entre 30 e 40 ºC, o processo leva a maiores rendimentos. Uma possível explicação para isto é que o aumento da temperatura, além de favorecer a cinética da reação, favorece também a reação de hidrólise (reação inversa a transesterificação) (RAMOS et. al. 2011).

Na catálise ácida, os catalisadores ácidos incluem H_2SO_4, R-SO_3H, HCl, entre outros. Destes, o HCl é o mais utilizado. Uma vantagem da catálise ácida em relação a catálise básica é que a quantidade de ácidos graxos livres no meio reacional não é relevante, o que possibilita o uso de matérias-primas de menor valor agregado no processo, como é o caso dos óleos residuais.

Embora este tipo de catálise apresente rendimento elevado, trata-se de um processo pouco utilizado, pois necessitam de temperaturas bastante elevadas, longo tempo de reação e grande quantidade de álcool na reação para que haja rendimento satisfatório (CUNHA, 2008).

De acordo com Ramos et. al. (2011), essas reações devem ser conduzidas com elevada razão molar estequiométrica de álcool e óleo, sendo comum o uso de 30:1. A utilização de excesso de álcool leva à melhor conversão do processo, entretanto, torna mais difícil a recuperação da glicerina. Além disso, as reações devem ser realizadas em temperaturas próximas da temperatura de ebulição do álcool utilizado como matéria-prima. A cinética de reação também é desfavorecida, sendo necessário maior tempo de reação que na catálise básica.

A qualidade do biodiesel final obtido pela transesterificação depende do tipo de catalisador e do álcool, da razão molar entre o álcool e o óleo, da presença e concentração de impurezas (como a água) e das condições reacionais (como agitação, tempo de reação, temperatura, etc.) (ZAGONEL, 2000; CANAKCI & VAN GERPEN, 1999; HANNA et al., 1991).

Transesterificação com etanol

A transesterificação via rota etílica é significativamente mais complexa que a metílica, além de ser mais lenta, pois aumenta a cadeia do álcool gerando maior

sofisticação do processo (PENTEADO, 2005). Neste processo deve-se utilizar 9 vezes de excesso de etanol em relação à unidade molar do óleo[20]. Entretanto, trabalhando-se as quantidades estequiométricas relativas entre óleo, álcool e catalisador, bem como com outras variáveis de processo como temperatura, agitação e tempo de reação, acredita-se ser possível atingir qualidade similar do biodiesel obtido via rota metílica.

Após a reação de transesterificação entre o óleo e o álcool, na presença de um catalisador, obtém-se, como produtos, o biodiesel e a glicerina. Para separação dos produtos pode ser utilizado o método de decantação, que permite a separação de misturas heterogêneas. Este processo é fundamentado nas diferentes densidades dos componentes da mistura. Segundo Santos (2007), a densidade da glicerina é em torno de 1,26 e a do biodiesel é em torno de 0,88. Para a glicerina obtida durante a produção de biodiesel, a densidade geralmente utilizada é em torno de 1,05, devido à mistura da mesma ao metanol ou etanol.

As etapas do processo de produção do biodiesel por transesterificação são apresentadas na Figura 4.1.

Após a reação de transesterificação, a massa reacional final é constituída por duas fases, que podem ser separadas por decantação e/ou centrifugação. A fase mais pesada é composta de glicerina bruta, impregnada dos excessos utilizados de álcool, água e de impurezas inerentes à matéria-prima empregada. A fase menos densa é constituída de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos, dependendo da natureza do álcool, também contendo água, impurezas e excessos de álcool (PARENTE, 2003; ROBERT, 2007).

A fase mais pesada contendo álcool, água e glicerina, é submetida a um processo de evaporação, a fim de eliminar esses constituintes voláteis da glicerina. A mistura álcool e água que vaporiza deste processo é encaminhada para o processo de desidratação do álcool, o que é feito por destilação. Para a obtenção da glicerina pura também pode ser utilizado o processo de destilação.

[20] Informação pessoal fornecida pela Profª Drª Patrícia Helena Lara dos Santos Matai.

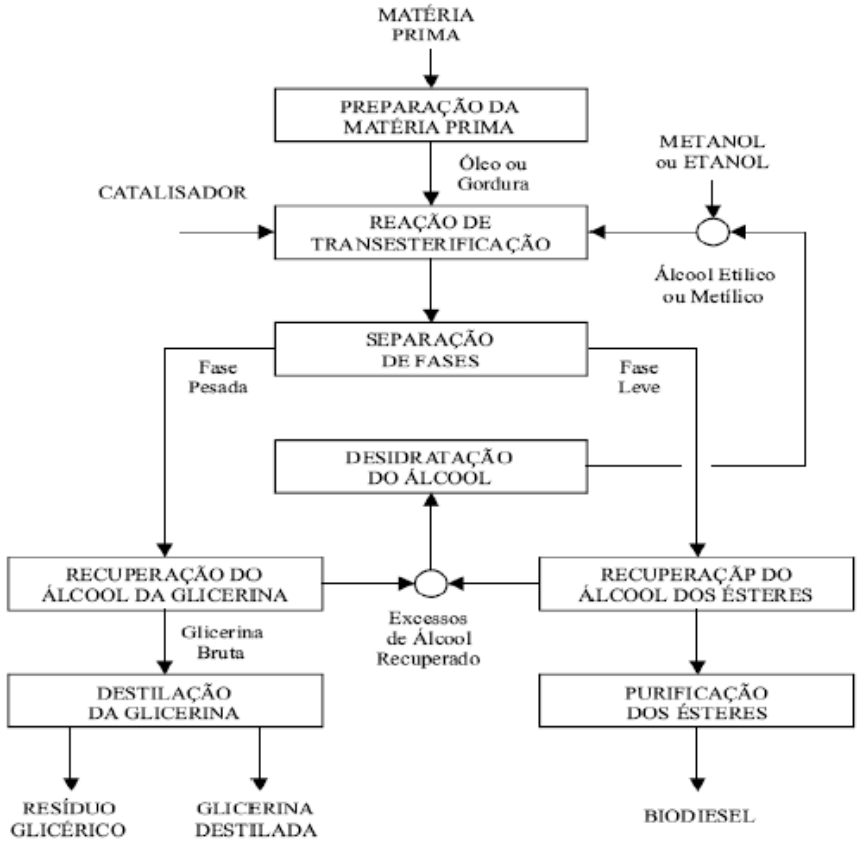


Figura 4.1. Processo de transesterificação para a produção de biodiesel.
Fonte: PARENTE, 2003.

Da mesma maneira, o álcool residual é recuperado da fase mais leve, liberando, para as etapas seguintes, os ésteres metílicos ou etílicos. Após os processos de recuperação, os excessos residuais de álcool contêm quantidades significativas de água, que devem ser separados por destilação.

No caso do uso de metanol, para a sua desidratação, o processo é simples e fácil de ser conduzido, uma vez que a volatilidade relativa dos constituintes dessa mistura é muito grande, além de não ocorrer o fenômeno de azeotropia para dificultar a completa separação. No caso da desidratação do etanol, em razão da azeotropia associada à volatilidade relativa não tão acentuada, o processo de separação é mais complexo e dispendioso (PALHAREZ et. al., 2009), além de recuperar menor quantidade desse álcool em comparação ao metanol.

Uma vez que tenha passado pelo processo de recuperação do álcool, os ésteres (metílicos ou etílicos) devem sofrer um processo de purificação, onde são lavados por centrifugação e desumidificados posteriormente, resultando o biodiesel, que deve apresentar características enquadradas nas especificações das normas

técnicas estabelecidas para o biodiesel a ser utilizado como combustível em motores diesel. Esta é uma fase bastante crítica e deve ser rigorosamente controlada, para que sejam eliminadas todas as impurezas, principalmente resíduos de glicerina (PARENTE, 2003; ROBERT, 2007).

É importante salientar que a produção de biodiesel via rota metílica ainda é um desafio e apresenta problemas técnicos, inclusive para recuperar todo o excesso de álcool e direcioná-lo ao próximo processo produtivo.

A glicerina bruta, mesmo com suas impurezas, constitui um mercado vendável. No entanto, o mercado é mais favorável à comercialização da glicerina purificada, realçando seu valor. A purificação da glicerina bruta pode ser realizada por destilação a vácuo, resultando em um produto límpido e transparente, denominado comercialmente de glicerina destilada.

4.2.2 Esterificação de Ácidos Graxos

Embora as principais matérias-primas para a produção de biodiesel sejam os óleos vegetais e gorduras animais, existem ainda outras fontes de material graxo que vêm sendo estudadas e aplicadas, como por exemplo os óleos residuais e a gordura do esgoto municipal (LORETO, et. al., 2005).

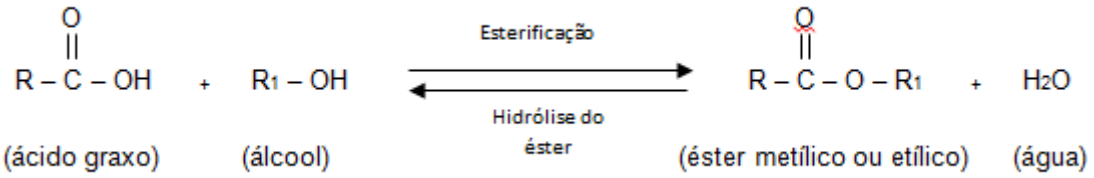
Estas fontes apresentam menor custo, além de razoável disponibilidade. Entretanto, possuem alta concentração de ácidos graxos livres, alcançando níveis de até 15% (m/m), tornando-as inapropriadas para a rota convencional de produção de biodiesel - a transesterificação (REZENDE, 2006).

Um processo alternativo possibilita o uso desses materiais graxos, a esterificação.

A reação de esterificação é um processo reversível, onde um ácido graxo reage com um álcool, produzindo como únicos produtos éster e água. Na reação de esterificação não há formação de glicerina. Quando processada em temperatura ambiente, esta reação pode ser lenta, entretanto o emprego de aquecimento e/ou catalisador, que pode ser recuperado ao final da reação, se tornam úteis para que o equilíbrio da reação seja estabelecido mais rapidamente.

O éster obtido pode reagir com a água formada no processo (hidrólise do éster), gerando novamente o ácido graxo e álcool; porém essa reação inversa é mais lenta. Por isso, após a reação há necessidade de separar o éster da água.

A reação abaixo indica o processo de esterificação, onde um ácido graxo reage com um álcool de cadeia curta, na presença de um catalisador, formando um éster e água; e a reação inversa, a hidrólise do éster (BARCZA, 2009).



O processo de esterificação de ácidos graxos requer elevadas temperatura e pressão, além de tempos longos de reação. Para alcançar uma produção satisfatória do éster, deslocando o equilíbrio da reação em favor dos produtos, além de remover a água produzida, pode ser utilizado excesso de álcool, em geral razão molar entre o álcool e o ácido maior que 10:1(REZENDE, 2006).

Geralmente a esterificação é realizada por meio de catálise ácida. O catalisador mais empregado é o ácido sulfúrico concentrado, pois é um reagente de baixo custo, facilmente disponível, bastante ativo, além de possuir efeito desidratante fundamental no meio reacional. Entretanto, este catalisador possui ação corrosiva, apresenta problemas de controle e estocagem e, em condições particulares, pode reagir com a ligação dupla dos ácidos graxos insaturados. Além disso, o ácido sulfúrico leva a produção de um produto com coloração escura que nem por técnica de branqueamento é removida (REZENDE, 2006).

Outros tipos de catalisadores ácidos também podem ser empregados, como os ácidos sulfônico e clorídrico. Apesar de serem menos ativos que o ácido sulfúrico, não reagem com a ligação dupla e proporcionam ao produto final uma coloração mais clara.

De acordo com Lima (2007), a taxa de conversão do ácido graxo em ésteres está diretamente relacionada com a maneira de como a reação será conduzida, bem como com as condições do processo. Os principais fatores que influenciam a esterificação são: qualidade da matéria-prima (teor de ácidos graxos livres e

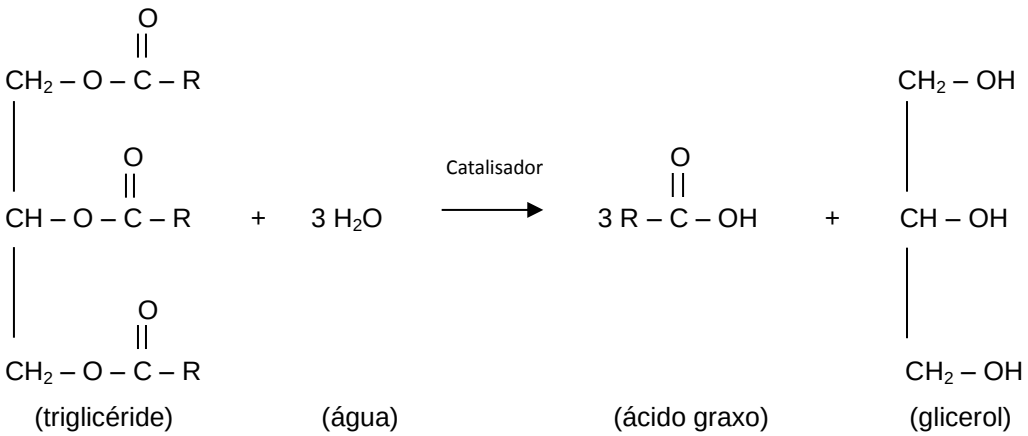
umidade), temperatura reacional, razão molar álcool/ácido graxo e concentração de catalisador.

O uso de reações de esterificação pode estar associado a processos híbridos, como a hidroesterificação (hidrólise seguida de esterificação); ou então ao processo integrado (esterificação seguida de transesterificação), conforme apresentado nos itens a seguir.

4.2.2.1 Hidrólise seguida de Esterificação (Hidroesterificação)

A hidroesterificação é um processo que envolve uma etapa de hidrólise seguida de esterificação. Este processo permite o uso de qualquer matéria-prima graxa (óleos vegetais, gordura animal, óleos residuais, entre outros) transformando-as em biodiesel, independentemente da sua acidez e umidade. Esse é um grande diferencial quando comparado ao processo de transesterificação (ROCHA, et. al., 2007).

A hidrólise consiste em uma reação química entre os óleos vegetais ou gordura animal (triglicéride) com água, gerando glicerina e ácidos graxos, conforme mostra a reação abaixo (SILVA, et. al., 2013). Esta reação pode ocorrer na presença de catalisadores ácidos ou básicos.



O produto final de hidrólise possui acidez superior a 99%, independente da acidez e da umidade (reagente do processo) da matéria-prima de origem. Portanto,

pode-se dizer que a hidrólise aumenta propositadamente a acidez da matéria-prima. Além disso, a glicerina formada neste processo é mais pura que a formada no processo de transesterificação.

Após a hidrólise, os ácidos graxos formados passam pelo processo de esterificação com metanol ou etanol, gerando o éster correspondente (metílico ou etílico) com elevada pureza. A glicerina não sofre qualquer alteração por parte de interação com o álcool ou com o biodiesel produzido na esterificação, uma vez que é removida no final na fase de hidrólise.

Além do biodiesel, a esterificação gera água como subproduto, conforme reação de esterificação apresentada no item 4.2.1 (SILVA, et. al., 2013). A água formada retorna ao processo de hidrólise, evitando problemas de contaminação do biodiesel com resíduos de glicerina livre ou total (mono, di e triglicerídeos). Portanto, o biodiesel produzido possui elevado nível de pureza, não havendo necessidade de etapas de lavagem, que geram efluentes de elevado consumo de compostos químicos (SILVA, et. al., 2013).

A Figura 4.2 apresenta o processo de hidroesterificação para a produção de biodiesel.

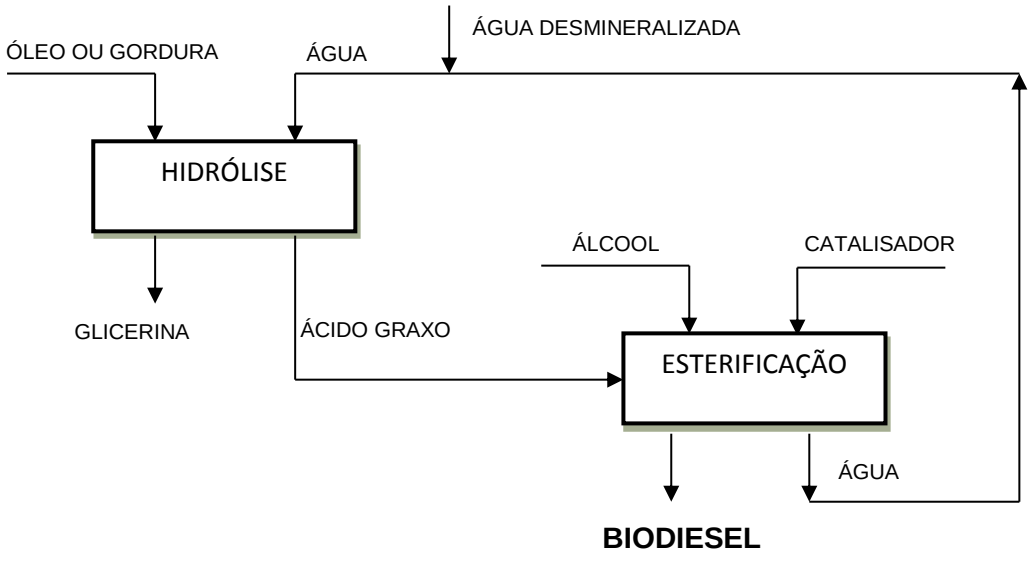


Figura 4.2. Processo de Hidroesterificação para a produção de biodiesel.
Fonte: Adaptado de SILVA, et. al., 2013.

4.2.2.2 Esterificação seguida de Transesterificação (Processo Integrado)

A reação de esterificação pode ser utilizada como uma etapa de pré-tratamento para reduzir o nível de acidez de óleos e gorduras com altos teores em ácidos graxos livres, colocando-os em condições adequadas para serem submetidos à reação de transesterificação.

As matérias-primas de elevada acidez, até mesmo as borras de refino de óleos vegetais, podem ser convertidas em biodiesel por meio de um processo de esterificação, seguido de purificação para a remoção do catalisador ácido e água provenientes da reação para, em seguida, passarem por um processo convencional de transesterificação básica.É importante ressaltar que a cinética de esterificação ácida é mais favorecida do que a cinética de transesterificação ácida. Assim, os ácidos graxos livres presentes na matéria-prima podem ser rapidamente convertidos em ésteres etílicos ou etílicos.

No processo integrado, o catalisador heterogêneo é particularmente mais interessante, uma vez que não necessita da etapa de neutralização do catalisador ácido, que acarreta no aumento de resíduos no processo. Além disso, de acordo com Aranda (2005), o catalisador heterogêneo não proporciona a formação de sabão, é reutilizável e fácil de separar. Neste caso o catalisador sólido pode simplificar o processo podendo ser removido por filtração, sem necessidade de neutralização, dando prosseguimento em seguida a reação de transesterificação.

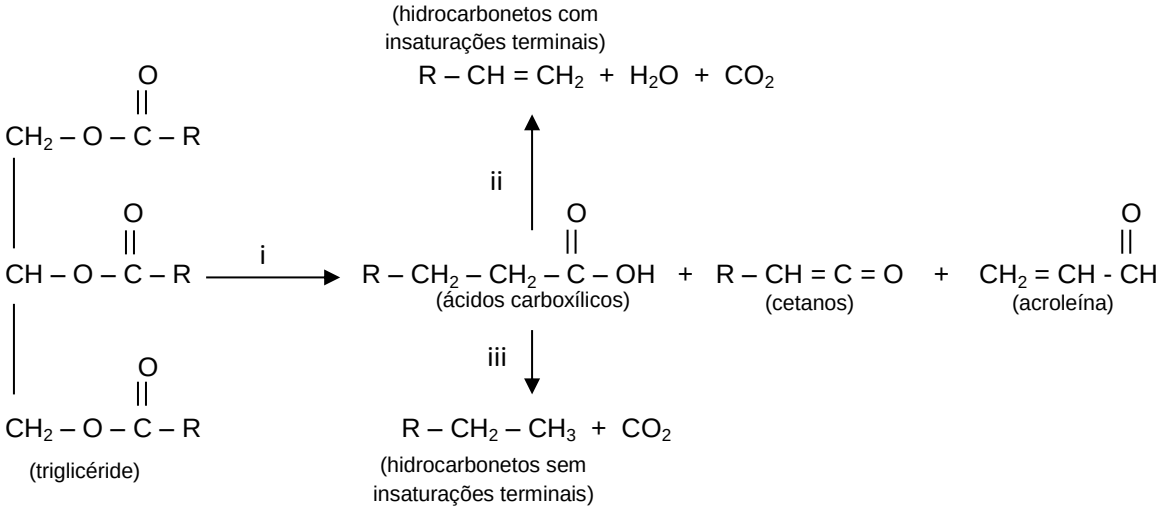
4.2.3 Craqueamento

O craqueamento promove a quebra das moléculas do óleo vegetal ou gordura animal por aquecimento a altas temperaturas e um catalisador é utilizado para remover os compostos oxigenados corrosivos, que tornam o produto levemente ácido (COSTA & OLIVEIRA, 2006; SUAREZ et. al., 2007). A aplicação do processo de craqueamento visa a conversão de óleos e gorduras em bio-óleo.

O craqueamento dos óleos vegetais ou gorduras animais ocorre por meio térmico e/ou catalítico e baseia-se na quebra das cadeias de moléculas de carbono,

sendo uma alternativa ao processo de transesterificação. O óleo vegetal (ou gordura animal) é submetido a altas temperaturas, com ou sem a presença de catalisadores, para a quebra das moléculas constituintes do óleo ou gordura de origem, levando a formação de ácidos carboxílicos, acroleína[21] e cetanos, conforme demonstrado na Equação (i) da reação abaixo, que, por serem menos estáveis que o ácido carboxílico, é facilmente decomposto, levando a formação de ésteres, ácido carboxílico e hidrocarbonetos (GOMES, 2009). O rendimento do processo é de aproximadamente 60%, baixo em relação a transesterificação, por exemplo.

Sequentemente, a decomposição térmica dos ácidos carboxílicos pode acontecer por descarbonilação ou descarboxilação, conforme Equações (ii) e (iii) da reação abaixo. No primeiro caso, ocorre a formação de água, CO_2 e um hidrocarboneto com uma nova insaturação terminal. No segundo caso ocorre apenas a formação de CO_2 e um hidrocarboneto sem novas insaturações (GOMES, 2009).



Quando o craqueamento ocorre na presença de moléculas de hidrogênio, ele é chamado de hidrocraqueamento, sendo o produto final conhecido como H-Bio. Esse processo tem como principal vantagem a eliminação completa de produtos oxigenados no final da reação, o que dificilmente acontece apenas por craqueamento. A principal vantagem da eliminação total desses produtos é a

[21] É importante salientar que a acroleína formada no processo é uma substância cancerígena.

diminuição do caráter oxidante da mistura, que pode levar a problemas de corrosão no motor.

Alguns especialistas consideram o bio-óleo (hidrocarbonetos) produzido pelo craqueamento como biodiesel, pois apresenta propriedades muito semelhantes ao diesel convencional. Entretanto, conforme apresentado por Queiroz Jr. et. al. (2007), o craqueamento não produz ésteres - grupamento químico estabelecido como único capaz de atender às especificações da Agencia Nacional do Petróleo (ANP).

Ainda de acordo com Queiroz Jr. et. al. (2007), a tecnologia de craqueamento ainda tem um custo elevado, principalmente, devido ao alto consumo energético do processo. Além disso, a produção de biodiesel por este processo ainda é em pequena escala.

4.2.4 Destilação Reativa

Nas indústrias de processos químicos, as etapas que envolvem reações químicas e a purificação dos produtos desejados por destilação são, usualmente, realizadas de forma sequencial. Em muitos casos, o desempenho deste tipo de estrutura clássica para processos químicos pode ser significativamente aumentado pela integração entre as reações químicas e o processo de separação em uma única unidade de processo multifuncional, que é o caso da destilação reativa (CUSTODIO, 2007).

A destilação reativa pode ser definida como um processo de separação onde a destilação fracionada é acompanhada por reações químicas, em alguns ou em todos os estágios, de uma coluna de destilação. Estas reações são, frequentemente, provocadas pela introdução deliberada de um solvente reativo, o qual reage seletivamente com um dos componentes da mistura presente no interior da coluna, para formar produtos que serão removidos da mesma com relativa facilidade (PERRY &CHILTON, 1986).

A destilação reativa é um procedimento no qual ocorre, simultaneamente, uma reação química e um processo de destilação (separação de produtos) em um mesmo equipamento. Esse fato contribui para a intensificação da transferência de

massa ao mesmo tempo em que simplifica a operação da planta de produção de biodiesel. Outra vantagem é a combinação das etapas de reação e purificação em uma única unidade deslocando o equilíbrio da reação de transesterificação para a produção de biodiesel, obtendo altas taxas de produto. Além disso, na coluna de destilação reativa pode ser empregado qualquer tipo de óleo ou gordura com qualquer índice de acidez, sem necessidade de pré-tratamento. Maiores detalhes sobre as colunas de destilação reativa são apresentados no item 4.3.2 deste Capítulo.

4.3 Tecnologias Utilizadas para Produção de Biodiesel

4.3.1 Tecnologias Convencionais

Os processos de produção de biodiesel, assim como outros processos industriais, envolvem diversas e diferentes etapas operacionais, e o reator químico pode ser considerado como o principal equipamento da planta, pois nele ocorre o processamento das reações químicas que transformam a matéria-prima em produto final.

Embora exista grande variedade de reatores químicos, com características e tipo de operação diferentes, para a produção de biodiesel geralmente são utilizados reatores de batelada em plantas de pequeno porte e reatores de fluxo contínuo em plantas de grande porte (produção acima de 4 milhões de litros por ano de biodiesel), embora estes também possam ser utilizados para produção de pequenas quantidades de biodiesel (KNOTHE et al., 2006; SILVEIRA, 2011).

Os itens a seguir apresentam a descrição destas tecnologias utilizadas para a produção de biodiesel.

4.3.1.1 Reatores de Batelada – Processo Descontínuo ou Batelada

Um reator de batelada, em inglês conhecido como *Batch Reactor*, é um tipo de reator tanque, geralmente em forma de tanque cilíndrico, com operação descontínua, agitação mecânica e um sistema integrado de aquecimento ou resfriamento. É dimensionado de acordo com as necessidades de cada processo e utilizado para operação em pequena escala. Devido a simplicidade operacional, este tipo de reator é muito utilizado para ensaios de laboratório, no qual, frequentemente se faz a mudança de escala. Normalmente é fabricado em aço, aço inoxidável, aço revestido de vidro ou vidro. Os reatores utilizados para a produção de biodiesel geralmente são de aço inoxidável.

Um reator de batelada não admite entrada de reagentes nem saída de produtos durante o processamento da reação. Portanto, todos os reagentes são introduzidos no reator no início da operação, o sistema é fechado e os produtos obtidos, bem como os reagentes que não foram consumidos, só são removidos quando o processo estiver completo. A alimentação é realizada pelo topo do equipamento e a descarga dos produtos pela parte inferior.

O processo de produção de biodiesel em reator de batelada pode ser conduzido em estado transiente (não-estacionário), ou seja, quando as propriedades do sistema variam ao longo do tempo e essas variações podem ser provocadas, por exemplo, pelo aumento ou diminuição da massa do sistema durante a transformação química. Nos processos descontínuos, apesar de a massa total permanecer constante, as alterações que ocorrem provocam variações nas propriedades do sistema ao longo do tempo (SILVEIRA, 2011).

As plantas de produção em batelada têm a vantagem de viabilizar altas conversões por meio de longos tempos de reação e de serem facilmente adaptadas às alterações de matérias-primas e condições reacionais. Dentre as desvantagens destacam-se a dificuldade na produção em grande escala; a qualidade do produto, que é mais variável do que em reator de operação contínua; além de apresentar altos custos operacionais. Os tempos abrangidos no carregamento, aquecimento da mistura até a temperatura reacional, resfriamento da mistura até a temperatura adequada ao seu manejo, descarga e limpeza são tempos improdutivos, o que

aumenta os custos por unidade de massa do produto (SILVEIRA, 2011; MARCELLINO, 2007).

A Figura 4.3 apresenta o desenho simplificado de um reator de batelada.

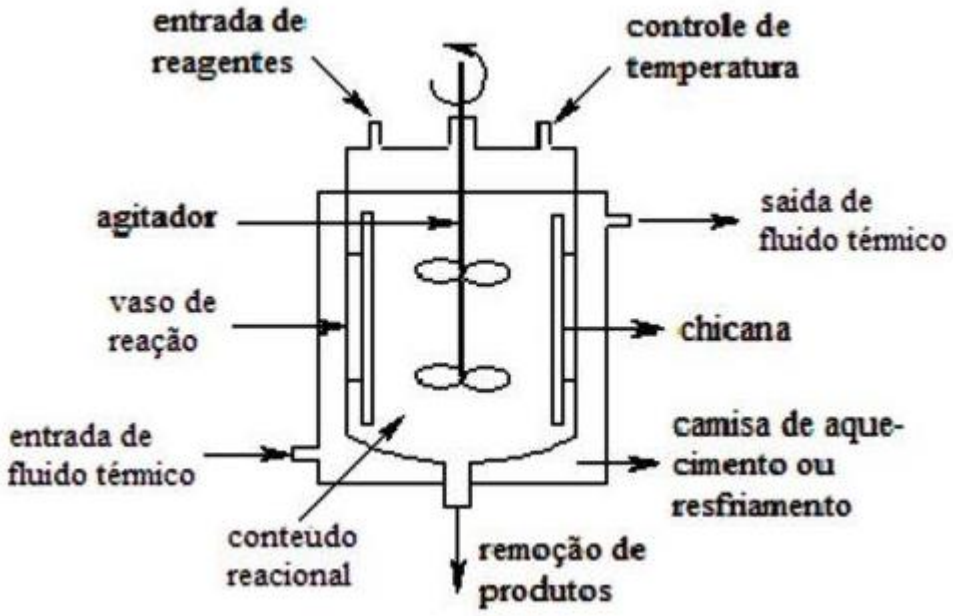


Figura 4.3. Desenho simplificado de um reator de batelada.
Fonte: SILVEIRA, 2011.

O sistema de agitação, cuja finalidade é a homogeneização da mistura em termos de concentração dos diferentes componentes da reação e da temperatura, é constituído por um motor, um ou mais conjunto de palhetas e de um eixo que transfere o torque do motor às palhetas e ao fluido. As chicanas são placas instaladas na parede do vaso, cuja finalidade é auxiliar o sistema de agitação para a mistura do fluido.

O sistema de troca térmica, conforme apresentado na Figura 4.3, é um tipo de camisa que reveste o vaso de reação, por onde pode circular um fluido térmico para fornecer ou remover calor da mistura. Entretanto, este não é o único método de realizar troca térmica com a mistura. Essa troca pode também ser realizada, por exemplo, com uma serpentina tubular imersa na própria mistura.

4.3.1.2 Reatores de Fluxo Contínuo – Processo Contínuo

Assim como os reatores de batelada, os de fluxo contínuo também possuem agitador mecânico e um sistema integrado de aquecimento ou resfriamento. O que difere os reatores de batelada e de fluxo contínuo é a forma que são operados. Este tipo de reator apresenta um sistema de alimentação e remoção de material de forma contínua.

Os reatores contínuos são conhecidos como reatores de mistura perfeita ou CSTR´s. São equipamentos próprios para a condução de reações em fase líquida, em médias e baixas pressões, e com altos tempos de residência. Por operarem de forma contínua, são mais utilizados para a produção em grande escala, pois os tempos improdutivos (carga, aquecimento, resfriamento, descarga e limpeza, conforme apresentado no item 4.2.1.1 para reatores de batelada) não existem e, apesar do alto investimento, o custo operacional por unidade de produto é menor (SILVEIRA, 2011).

No processo de fluxo contínuo um ou mais fluidos reagentes são introduzidos no reator com um agitador para garantir a mistura adequada, enquanto o produto do reator é removido. Isso quer dizer que durante a transformação de reagentes em produtos, ocorrem adição e remoção contínua de matéria simultaneamente ao reator.

As plantas de produção contínua, por apresentarem condições operacionais constantes, possuem maior facilidade na automação do processo e no controle de qualidade e especificação do produto, além de apresentarem maior produtividade de biodiesel (SILVEIRA, 2011; MARCELLINO, 2007).

Os reatores de fluxo contínuo são quase sempre operados em regime permanente e podem ser implementados na forma de tanque individual (Figura 4.4), de bateria de tanques ligados em série (Figura 4.5) ou montados em um único compartimento (Figura 4.6) (SOUZA, et. al., 2010; MARTINES, 2007; SILVEIRA, 2011).

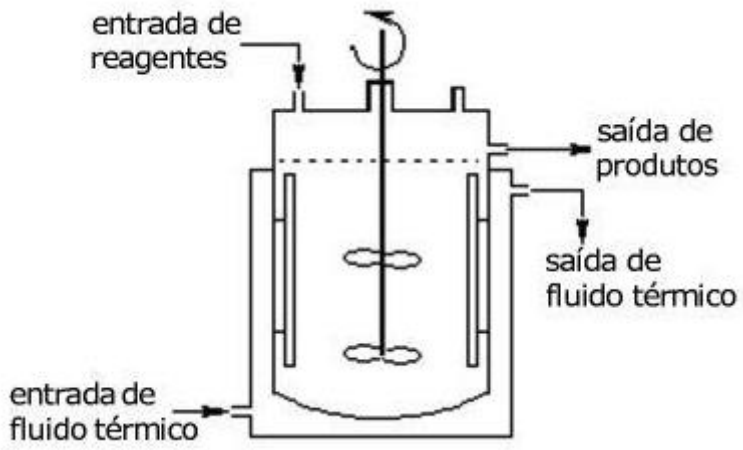


Figura 4.4. Esboço de um reator CSTR individual.
Fonte: SILVEIRA, 2011.

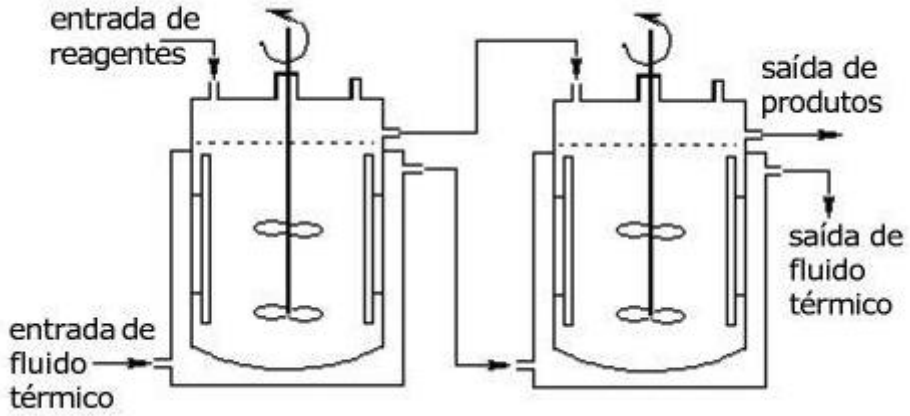


Figura 4.5. Esboço de dois reatores CSTR´s ligados em série.
Fonte: SILVEIRA, 2011.

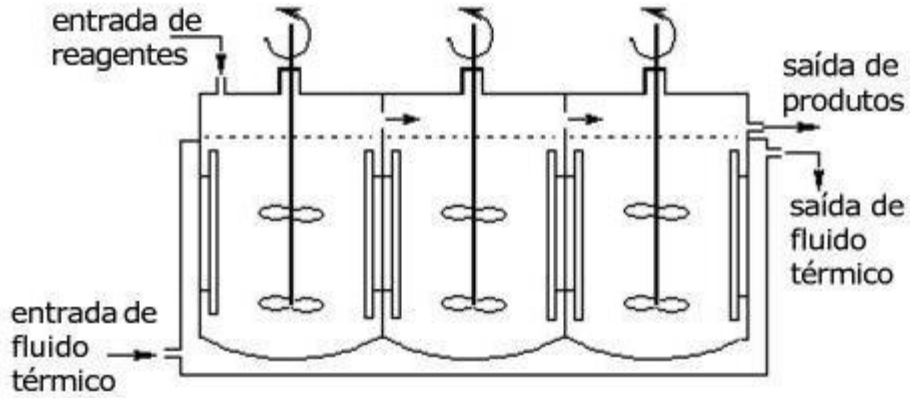


Figura 4.6. Esboço de reatores CSTR´s ligados em série de forma compartimentada.
Fonte: SILVEIRA, 2011.

A operação com reatores CSTR´s em vários estágios consiste de dois ou mais reatores, de volumes iguais ou diferentes, ligados em série. Durante a operação de um CSTR a concentração de um reagente na saída do reator é igual a concentração em seu interior, isto é, o reator opera com a menor variação de concentração entre a entrada e a saída. Em um único reator isso significa que a operação ocorre no nível mais baixo possível de concentração do sistema e, para reações simples, o volume necessário para atingir determinado nível de conversão deve ser o mais alto possível. Para que o volume reacional seja reduzido, a solução é empregar reatores em série. Por exemplo, ligando dois reatores em série, o segundo reator irá operar com a mesma concentração que operaria um único reator de volume grande, mas o primeiro reator irá operar em um nível de concentração mais elevado, o que faz com que o volume total de ambos seja menor que o volume de um único reator. Isso quer dizer que dois reatores CSTR´s ligados em série, em termos de volume, apresentam vantagens em relação a um único CSTR para atingir a mesma conversão final. Caso sejam conectados mais de dois reatores em série, as vantagens em termos de volume se tornam ainda maiores (SILVEIRA, 2011)

O processo de produção de biodiesel em reator contínuo pode ser conduzido tanto em estado transiente quanto estacionário. Processo em estado estacionário possui todas as propriedades constantes ao longo do tempo (pressão, temperatura, concentração, volume, massa, etc.). Isso não implica que as propriedades em todos os pontos do reator sejam idênticas, mas apenas que, em cada ponto, as propriedades não variam com o tempo. Na prática industrial procura-se conduzir o processo o mais próximo possível do estado estacionário. Entretanto, as condições de estado transiente também podem ocorrer em algumas situações, como no início do processo ou após a realização de alguma alteração nas condições operacionais (SILVEIRA, 2011).

Para produzir biodiesel em sistemas contínuos é necessário investimento em automação, desde a entrada da matéria-prima até a saída dos produtos. Além disso, deve haver garantia da quantidade necessária de matéria-prima para não interromper o processo de produção.

Das pequenas plantas de produção de biodiesel às plantas de grande escala, a escolha do processamento por reatores de batelada ou de fluxo contínuo, depende da cada usina. Fica a cargo da usina saber qual será o foco de produção e optar pelo melhor sistema.

4.3.2 Coluna de Destilação Reativa

De acordo com Mercado (2008, *apud* SANTOS, 2012), os equipamentos mais comumente utilizados de destilação reativa são formados por um sistema não híbrido, no qual a reação e a separação ocorrem simultaneamente em todos os estágios da coluna, e um sistema híbrido, no qual a reação química envolvida no processo necessita ser catalisada. Essa catálise geralmente é heterogênea. No sistema híbrido nem todos os estágios da coluna são recheados com o catalisador (geralmente nióbio, como no caso da planta piloto da usina de biodiesel de Catanduva/SP, conforme apresentado adiante). Sem a presença do catalisador a reação ocorre muito lentamente, podendo ser considerada desprezível.

Uma coluna de destilação híbrida é dividida em três seções: reativa, de retificação e de “stripping”. Na seção reativa ocorre a reação, convertendo os reagentes em produtos, além da separação dos produtos por meio da destilação. A seção de retificação é utilizada para a purificação dos produtos e reciclo dos reagentes. Na seção de “stripping” ocorre a remoção de inertes e subprodutos, assim como o reciclo de reagentes (HIGLER et. al., 1999 *apud* SANTOS, 2012). A Figura 4.7 apresenta a coluna de destilação reativa e suas respectivas seções.

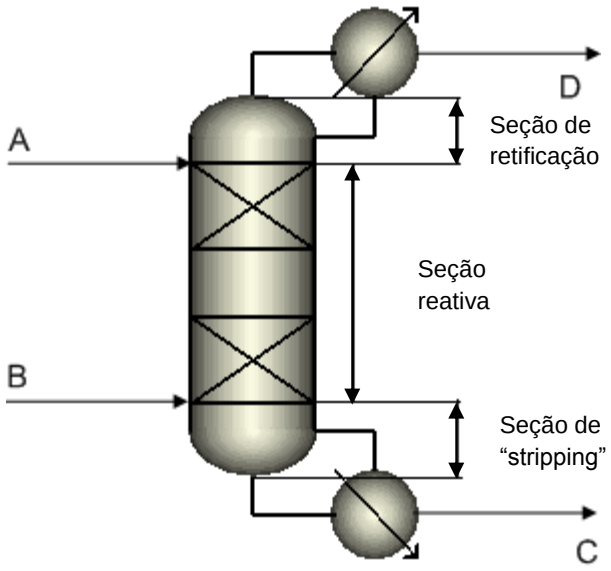


Figura 4.7. Coluna de destilação Reativa.
Fonte: Adaptado de SANTOS, 2012 e CORAZZA, 2012.

Geralmente a coluna de destilação reativa é feita em aço inox. Podem-se empregar colunas de enchimento (Figura 4.8) ou de pratos (Figura 4.9).

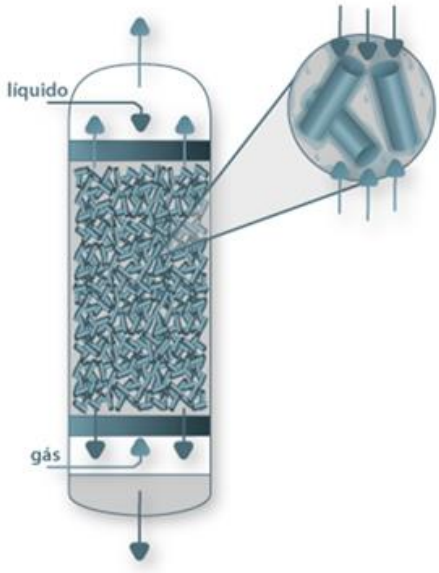


Figura 4.8. Coluna de destilação reativa com enchimento.
Fonte: CORAZZA, 2012.

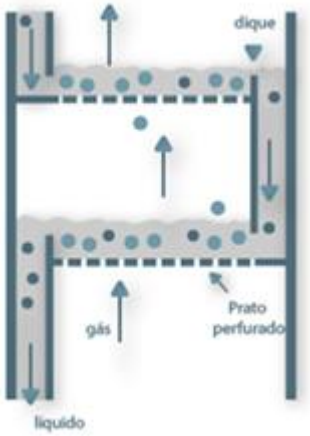


Figura 4.9. Coluna de destilação reativa com pratos perfurados.
Fonte: CORAZZA, 2012.

Segundo Omota (2003), a combinação entre a reação química e a separação de fases após a obtenção do biodiesel necessita de dados confiáveis que não estão disponíveis no banco de dados dos simuladores comerciais. Sendo assim, o

conhecimento da cinética da reação e do equilíbrio de fases é um pré-requisito para o perfeito dimensionamento do processo.

Por ser um sistema integrado que proporciona o aumento da produtividade de biodiesel, além de minimizar os custos de produção e equipamentos, a destilação reativa é considerada uma tendência na área de processo. Por esse motivo alguns estudos vêm sendo realizados visando sistematizar a etapa de projeto desse processo.

A produção do MTBE foi o principal responsável pela pesquisa e desenvolvimento da destilação reativa. Com este processo podem-se obter conversões de cerca de 100% promovendo a recuperação mais eficiente das iso-olefinas presentes nas correntes das refinarias (TAYLOR & KRISHNA, 2000; REIS, 2006).

Steinigeweg & Gmehling (2003) apresentaram vantagens do processo de destilação reativa visando a produção de ésteres para a química fina. Os autores desenvolveram um processo em escala piloto para a reação de esterificação do ácido decanóico com metanol, utilizando catálise heterogênea em uma coluna de destilação reativa. Além dos estudos experimentais, os autores executaram simulações computacionais pelo uso de software comercial (Aspen Plus®) para avaliar a importância de fatores operacionais e de projeto, tais como razão de alimentação molar ácido graxo / álcool, razão de refluxo no condensador, pressão, entre outros. Os resultados obtidos revelaram que o processo é promissor para a produção de ésteres de ácidos graxos empregando o processo da destilação reativa, obtendo altas taxas de conversões.

Kiss et al. (2006), analisaram experimentos da utilização de óxidos metais como catalisadores (catálise heterogênea) no processo de esterificação em colunas de destilação reativa. Durante os experimentos foi verificada a boa aplicabilidade do catalisador na reação de esterificação de produção de biodiesel.

He et. al. (2006) estudaram a obtenção de biodiesel por meio da destilação reativa do óleo de canola com metanol em presença do catalisador hidróxido de potássio. O propósito do estudo foi obter um sistema robusto usando a destilação reativa para a produção de biodiesel; reduzir o excesso do álcool e aumentar a produtividade do biodiesel utilizando altas temperaturas de operação e curtos tempos de reação. Algumas vantagens do processo de destilação reativa foram evidenciadas nessa publicação, tais como:

- Tempo de reação mais curto e produtividade mais elevada da unidade, o que é altamente desejável em unidades de produção comercial;
- Elevada redução do álcool em excesso, reduzindo extremamente o esforço da recuperação deste depois da reação e os custos de operação;
- Redução importante dos custos devido ao seu tamanho menor e ausência de equipamento e consumo de energia para recuperação do álcool;
- Redução do tempo de reação de 30 minutos (reator de agitação contínua) para 3 minutos de reação.

Dimian et al. (2009) avaliaram o processo de produção de biodiesel por meio da destilação reativa. Durante a execução do trabalho concluíram que para se atingir a conversão completa em uma coluna de destilação reativa é necessário que se remova o máximo possível de água ao longo da seção reativa. Os autores então propuseram um processo de esterificação altamente integrado utilizando simulações computacionais (software comercial Aspen Plus®). Neste processo a pureza dos produtos alcançou níveis superiores a 99%, enquanto o reaproveitamento de reagentes foi otimizado ao longo da coluna.

Noshadi et. al. (2011) analisaram os parâmetros de operação da transesterificação de óleo residual e metanol, por meio de catálise ácida, em uma coluna de destilação reativa contínua. O objetivo deste estudo foi compreender melhor a relação entre as condições de operação e rendimento do processo. Quatro parâmetros operacionais foram analisados e otimizados: fluxo de alimentação, refervedor, temperatura de alimentação e relação óleo/metanol, o que levou a uma produção máxima de 93,98% de biodiesel metílico de óleo residual.

Como pode-se observar, a produção de biodiesel utilizando a destilação reativa pode ser por meio da transesterificação de óleos vegetais ou da esterificação de ácidos graxos.

Geralmente um processo reativo tem por finalidade a conversão total dos reagentes. Para atingir essa conversão total em todo o processo, geralmente é utilizado excesso de um dos reagentes, cujo reciclo do excedente é necessário (BLAGOV et. al., 2000).

Podem-se citar como principais características da destilação reativa a simplificação do processo, que pode levar a economia de investimentos; obtenção

de maiores conversões para reações limitadas ao equilíbrio, devido ao deslocamento da reação no sentido da formação de produto, e utilização de menor quantidade de catalisador para o mesmo grau de conversão (TAYLOR & KRISHNA, 2000).

Como toda tecnologia, a destilação reativa também apresenta algumas desvantagens, dentre elas (GOMES, 2012; TAYLOR & KRISHNA, 2000; CUSTODIO, 2007):

- Maior tempo de residência. Ao operar com vazões elevadas é necessário uma coluna com grandes volumes de retenção. Sendo assim, pode ser mais vantajoso utilizar um arranjo convencional composto por um reator seguido por coluna de destilação. O sistema acoplado de reator/coluna busca a remoção contínua dos produtos, o que reduz a ocorrência de reação inversa;
- Em alguns processos, as condições ótimas de operação para a destilação divergem das condições ótimas da reação e vice-versa.

A utilização da destilação reativa tem demonstrado reduções no capital de investimento e/ou consumo de energia. Entretanto, devido a sua complexidade, muitas vezes pode ser complicado projetar um novo processo para linhas de produção. A análise do processo e operação é efetivamente tratada por meio de simulação. Como a coluna de destilação possui diversas variáveis que podem ser controladas, a simulação é uma importante ferramenta para a otimização do equipamento (CHEN et al., 2000).

Nos últimos anos, a destilação reativa tem despertado cada vez mais interesse, não apenas da indústria química e petroquímica, mas também de pesquisas acadêmicas.

A usina de biodiesel de Catanduva/SP, parceira do estudo de caso apresentado adiante (Capítulo 5), produz biodiesel por meio de diversas oleaginosas e gordura animal, utilizando álcool metílico e etílico. Além disso, atualmente esta usina possui uma planta piloto de produção de biodiesel por destilação reativa (apesar de estar desativada). Seguem algumas especificações da planta levantadas em visita à empresa:

- Óleo: mistura de óleo de soja com 20% de acidez e sebo bovino com quase 100% de acidez;

- Rota: etílica
- Álcool: etanol anidro
- Catalisador: o leito da coluna de destilação reativa é preenchido com nióbio peletizado
- Reação: esterificação
- Capacidade: 8 litros/minuto

A usina está com dificuldades em operar a planta. Após a reação de esterificação, o biodiesel deve ser retirado pela parte inferior da coluna e a água pela parte superior, em forma de vapor. Mas isso não está acontecendo na prática, pois a usina não obteve sucesso na retirada da água formada no processo pela parte superior da coluna. Sendo assim, a água permanece com o biodiesel e, para evitar a hidrólise (processo inverso da esterificação), o biodiesel retirado deve ser purificado fora da coluna de destilação reativa. Portanto ainda há necessidade de otimização do processo.

Um grupo de pesquisadores da UFPR desenvolveu um sistema de coluna de destilação reativa que pode ser usada na produção contínua de biodiesel via rota etílica. A Figura 4.10 apresenta o diagrama esquemático do sistema e as Figuras 4.11 a 4.13 apresentam as fotografias do equipamento e seus componentes.

O projeto, intitulado “Produção contínua de biodiesel utilizando coluna de destilação reativa”, ganhou o Prêmio GE de Incentivo à Pesquisa em Biocombustíveis em 2012.

Em entrevista ao portal BiodieselBR, o professor da UFPR Luiz Fernando de Lima Luz Jr, diz que os resultados obtidos com a tecnologia são muito promissores e ressaltou que o equipamento usado ainda é um protótipo que está passando por aperfeiçoamentos. Segundo ele, foi possível reagir o álcool com o óleo e separar o biodiesel da glicerina em um único equipamento. Além disso, o sistema produziu biodiesel bem próximo das especificações da ANP (BIODIESELBR, 2012).

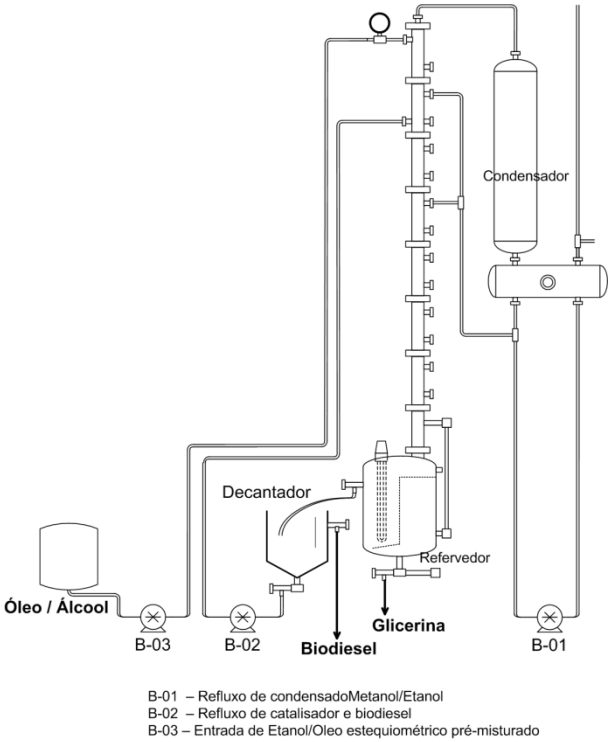


Figura 4.10. Diagrama esquemático da coluna de destilação reativa.
Fonte: CORAZZA, 2012.

Figura 4.11. Fotografia da coluna de destilação reativa.
Fonte: CORAZZA, 2012.

Figuras 4.12 e 4.13. Fotografias dos componentes da coluna de destilação reativa.
Fonte: CORAZZA, 2012.

A tecnologia de destilação reativa requer atenção especial quanto aos aspectos de modelagem, incluindo estágio de alimentação, refluxo, quantidade de catalisador empregado, etc. Muitos dos paradigmas advindos dos processos de reação e de destilação convencional não são facilmente traduzidos para a destilação reativa. Por isso há necessidade de estudos mais aprofundados para a otimização de processos para que esta tecnologia se torne mais promissora para a produção de biodiesel.

4.4 Glicerina como Subproduto da Transesterificação

A glicerina é um líquido doce, altamente energético e pode ser utilizada também na alimentação animal como qualquer nutriente glicogênico ou lipogênico (CARVALHO, 2011). A ideia da utilização de alimentos não convencionais para ruminantes vem ganhando espaço nos últimos anos, principalmente com o objetivo de atender às dificuldades de pequenos produtores, para os quais muitas vezes o custo de alimentação dos animais é um impedimento para a criação.

Do ponto de vista nutricional, a glicerina tem surgido como uma fonte alimentar energética alternativa e promissora na produção animal, particularmente para ruminantes, pois, assemelha-se ao propilenoglicol (substância gliconeogênica),

utilizado com grande eficiência na alimentação de vacas leiteiras de alta produção (FÁVARO, 2010).

A partir de diversos estudos, no Brasil, em maio de 2010, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) autorizou o uso da glicerina (bruta e loira) como insumo para alimentação animal e estabeleceu um padrão mínimo de qualidade: glicerol (mínimo de 800g/kg); umidade (máximo 130 g/kg); metanol (máximo 159 mg/kg) e sódio e matéria mineral (valores garantidos pelo fabricante g/kg, podendo variar pelo processo produtivo) (CARVALHO, 2011).

No entanto, ainda há uma grande discussão em termos da segurança em se utilizar a glicerina de origem animal para alimentação, principalmente de ruminantes, devido aos riscos das doenças priônicas. Apesar da indicação dos especialistas do MAPA para não utilização desse produto de origem animal como ração, ainda estão feitos estudos no Brasil para que os critérios normativos sejam estabelecidos (CEMPEQC, 2011).

A grande problemática dos produtores de biodiesel é principalmente em relação à glicerina produzida no processo de transesterificação. Devido ao fato da produção ser maior que a demanda do mercado, a glicerina fica acumulada nos tanques das usinas, que por muitas vezes não apresentam uma estrutura para purificá-la.

Em 2012, foram produzidos 274,7 mil m^3 de glicerina como subproduto na produção total de biodiesel (B100) no país. Em 2013 essa produção foi de 290,26 mil m^3, 5,67% a mais que no ano anterior (ANP, 2014). A Tabela 4.4 apresenta a evolução anual da quantidade de glicerina gerada como subproduto na produção total de biodiesel (B100) do País segundo grandes regiões.

Tabela 4.4. Evolução anual da quantidade de glicerina gerada na produção de biodiesel (B100) no Brasil, segundo as grandes regiões

	Glicerina gerada na produção de biodiesel (B100) - (m^3)									**13/12**
Grandes Regiões	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**%**
Brasil	69	9460	36740	124415	171829	256884	273353	274683	290260	5,67
Norte	48	484	4849	5194	6857	15236	14409	10753	7759	-27,84
Nordeste	14	7258	18451	15601	16894	17547	16275	30257	27979	-8,35
Sudeste	4	1057	4297	21952	35068	49534	41862	25326	25846	2,05
Sul	2	0	3086	24945	44278	50709	83368	7903	98772	24,98
Centro-Oeste	0	661	6057	56724	68732	114859	117440	129045	129904	0,67

Fonte: ANP, 2014.

Observa-se que a maior geração de glicerina se deu na região Centro-Oeste (47% do total), seguida das regiões Sul (28,8%), Nordeste (11,1%), Sudeste (9,2%) e Norte (3,9%).

Existem quatro tipos de glicerina que podem ser obtidas a partir do processo de transesterificação:

- Bruta: contém muito catalisador proveniente da transesterificação, bastante álcool, água, ácidos graxos e sabões;
- Loira: é a bruta após receber tratamento ácido, seguido de remoção dos ácidos graxos. Possui cerca de 75 a 85% de glicerol, o restante é composto de sais, água e traços de etanol/metanol;
- Grau farmacêutico: a loira após ser bidestilada a vácuo e tratada com absorventes. Tem mais de 99% de pureza;
- Grau alimentício: completamente isenta de etanol/metanol, pode ser obtida pela hidrólise de óleos/gorduras (FRANCO, 2012).

A glicerina bruta separada da reação de transesterificação possui baixo teor de pureza (15%), o que não lhe confere um valor comercial interessante (BONI, 2008). Entretanto, segundo Cunha (2008), 25% da mistura total final da reação é glicerina, que pode ser purificada e utilizada na indústria química.

Segundo alguns especialistas, a qualidade da glicerina é um dos principais entraves para os produtores de biodiesel que planejam disponibilizá-la em escala comercial, uma vez que pode possuir inúmeros contaminantes. No caso da gordura bovina, a presença dos ácidos graxos saturados esteárico e oleico, impossibilita o uso da glicerina para várias finalidades, como por exemplo, na indústria farmacêutica, que exige um elevado grau de pureza (FRANCO, 2012).

A glicerina gerada no processo de obtenção do biodiesel atualmente é considerada um coproduto. No inicio do programa brasileiro de biodiesel, devido à grande oferta de glicerina, houve uma forte queda nos preços deste insumo. Atualmente, o valor pago pela glicerina loira é em média R$ 350,00/ton, já a tonelada da glicerina de grau farmacêutico é cerca de R$ 1.800,00/ton, cerca de seis vezes maior (FRANCO, 2012).

No Brasil, o grande comprador de glicerina é a indústria farmacêutica e de cosméticos, absorvendo cerca de 7% e 40%, respectivamente. Um comprador eventual é a indústria de tintas. A glicerina comprada para fins industriais tem que

ter pureza superior a 80% e em alguns casos até 99 %, caso da indústria farmacêutica (FAIRBANKS, 2009).

Algumas instituições e universidades estão buscando alternativas para o uso da glicerina. Dentre elas destaca-se o Instituto de Química da UFRJ produzindo o propeno “verde” que é o monômero do polipropileno. Há também, segundo Peres et. al. (2009), estudos voltados para a produção do biogás por fermentação anaeróbia utilizando a glicerina como um dos componentes do mosto, com possível utilização para fins energéticos. Ainda segundo Peres et. al. (2009), o gás gerado apresenta majoritariamente, metano (60%) e dióxido de carbono (40%), porém com tratamentos para remoção do dióxido de carbono o percentual fica em torno de 90% de metano e o poder calorífico do gás fica próximo ao do gás natural.

A produção do gás de síntese para fins energéticos também é uma solução para a destinação da glicerina. A gaseificação da glicerina gera um gás que apresenta hidrogênio, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono e em menores percentuais o etano, eteno, propano e butano (Peres et. al., 2009). Outra proposta é a queima direta da glicerina, que apresenta um PCI de 19.000 kJ/kg, em fornos, motores e até mesmo associada com outros combustíveis como GLP. Entretanto a sua queima direta gera a acroleína (ou propenal), que é um aldeído altamente tóxico mesmo em baixas concentrações (DANTAS, 2010).

4.5 Propriedades do Biodiesel

As características do biodiesel pouco variam de acordo com a matéria-prima utilizada. Alguns são mais viscosos, outros são menos estáveis quimicamente, ou ainda menos resistentes ao frio. Entretanto, essas diferenças não interferem na qualidade de sua combustão, se o biocombustível for adequadamente produzido e utilizado. No Anexo D são apresentadas as especificações do biodiesel (B100) para qualquer matéria-prima utilizada no processo, segundo a ANP (2012), órgão regulador da qualidade deste produto no Brasil.

O mesmo acontece com a maioria das propriedades físicas e químicas do biodiesel obtido a partir de diversas matérias-primas e álcoois. Tais propriedades

também se aplicam entre o óleo diesel e o biodiesel, pois ambos apresentam características similares, principalmente no uso em motores ciclo diesel (KNOTHE et al., 2006).

Parente (2003) e Knothe et al. (2006) apresentam algumas propriedades físicas do biodiesel:

- Viscosidade: importante para a avaliação da potência do motor. A viscosidade do biodiesel é semelhante à do óleo diesel, portanto, não há necessidade de adaptações e/ou modificação no sistema de injeção dos motores ciclo diesel. Entretanto, a viscosidade muito alta pode causar danos ao motor, como o entupimento dos bicos injetores;
- Poder calorífico: indica a quantidade de energia contida em uma determinada massa do combustível (ex: MJ/kg). O poder calorífico do biodiesel é próximo ao do diesel, com uma pequena vantagem para o derivado de petróleo;
- Lubricidade: poder de lubrificação de uma substância. Esta característica auxilia o sistema contra possíveis desgastes causados pelas altas tensões. A perda de lubricidade acontece quando o enxofre é removido do óleo diesel a fim de reduzir as emissões atmosféricas de compostos de enxofre. A redução do enxofre acarreta a perda de lubricidade no óleo diesel, que pode ser compensada pela adição do biodiesel, que não possui esse elemento químico em sua composição;
- Glicerina livre, ligada e total: avaliam a qualidade de purificação do biodiesel. A glicerina livre é um parâmetro que monitora a quantidade de glicerol no biodiesel, impureza não removida no processo de transesterificação. A transesterificação visa transformar os triglicerídeos em éteres (biodiesel), sendo os monoglicerídeos e os diglicerídeos substâncias intermediárias do processo. A glicerina ligada é a soma dos tri, di e monoclicerídeos residuais. A glicerina total é composta pela soma das glicerinas livre e ligada.
- Ponto de fulgor: temperatura na qual o líquido se torna inflamável. É importante o controle desta propriedade por questões de segurança. No caso do biodiesel, este risco é menor uma vez que apresenta ponto de fulgor superior a 150 ºC;

- Ponto de névoa e de fluidez: ponto de névoa é a temperatura em que o líquido, por refrigeração, começa a apresentar cristais visíveis (névoa). Ao baixar ainda mais a temperatura os cristais se tornam maiores e se aglomeram, impedindo que o líquido escoe livremente. A temperatura em que esse fato acontece é conhecida como ponto de fluidez. Estas propriedades são importantes no que diz respeito ao armazenamento e utilização do combustível. No entanto no Brasil, as temperaturas não são suficientemente baixas para se preocupar com o ponto de névoa e de fluidez;
- Índice de cetano: equivalente ao índice de octano (octanagem) dos combustíveis utilizados em motores ciclo Otto (gasolina e álcool). Quanto maior o índice de cetano, melhor a qualidade de combustão no motor diesel. A faixa ideal do índice de cetano encontra-se entre 40 e 50. O índice de cetano do biodiesel é da ordem de 60, enquanto que o óleo diesel varia entre 48 e 52. Em geral, um combustível com alta octanagem possui baixo número de cetano e vice-versa.

As principais propriedades químicas do biodiesel apresentadas por Parente (2003) e Knothe et al. (2006) são:

- Teor de enxofre: o biodiesel obtido tanto por óleos vegetais quanto por gorduras animais não apresenta enxofre em sua composição, resultando em uma queima sem a emissão atmosférica de compostos de enxofre;
- Estabilidade à oxidação: quando em contato com o ar o biodiesel pode sofrer oxidação, prejudicando a qualidade do combustível, principalmente em seu armazenamento por longos períodos. Por essa razão os tanques de armazenamento devem apresentar rígidos controles não só quanto à presença de ar, como também em relação ao calor, traços de metais, antioxidantes e peróxidos;
- Poder de solvência: o biodiesel tem o poder de solubilizar grande número de substâncias orgânicas, incluindo as resinas de tintas. Por isso, ao abastecer o veículo com biodiesel, é importante verificar se o combustível não entrará em contato com a pintura do veículo.

Embora os óleos vegetais produzam um biodiesel de boa qualidade, o valor agregado a tais óleos, quando destinados à indústria alimentícia, pode por vezes desfavorecer economicamente sua destinação para a cadeia do biodiesel (FIORESE; GOMES, 2009). Neste cenário, a busca por alternativas, abre espaço principalmente para gorduras de origem animal.

As gorduras animais são geralmente classificadas como sebos, que se apresentam em estado sólido a temperatura ambiente, dada a sua composição percentual ser elevada em ácidos graxos saturados, principalmente o esteárico. A gordura de frango, contudo é uma exceção, pois devido ao baixo valor de ácido esteárico em sua composição, apresenta estado líquido a temperatura ambiente, sendo classificada como óleo de frango, devido a sua semelhança com os óleos, como de soja, por exemplo (GOMES; SOUZA; BARACCATTI, 2008).

Segundo Cunha (2008), as propriedades do biodiesel são fortemente influenciadas pelas propriedades individuais dos ésteres graxos. As gorduras animais, com exceção do óleo de frango, são ésteres preparados com ácidos graxos saturados, apresentam alto número de cetano, alta viscosidade, alto ponto de névoa e são mais passíveis de aumentar a probabilidade de entupimento dos bicos injetores dos motores, o que se dá devido ao fato do biodiesel originado de gordura animal possuir uma tendência maior a solidificação em baixas temperaturas (CUNHA, 2008).

Segundo Krause (2008), a característica que informa sobre o desempenho do combustível a baixas temperaturas é o PEFF e é considerado um dos parâmetros mais importantes de um combustível, principalmente quando submetido a baixas temperaturas. A ANP estabelece que, para biodiesel puro, a máxima temperatura aceita de entupimento de filtro é de 19°C para os estados das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e para a Bahia. Para as demais regiões do país, o valor desta propriedade deve ser fornecido ao comprador para que haja acordo livre entre ambas as partes (MILLI et al., 2011).

O biodiesel resultante da gordura bovina apresenta ponto de entupimento de filtro a frio igual a 19 ºC (CUNHA, 2008). Este fato se caracteriza como um problema, pois a especificação do biodiesel puro estabelece que a máxima temperatura aceita de entupimento de filtro é 19º para os estados das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e para a Bahia. Para as demais regiões do país, o valor

desta propriedade deve ser fornecido ao comprador para que haja acordo livre entre ambas as partes.

O biodiesel é compatível com o diesel de petróleo, podendo ser misturados em várias proporções como combustível em motores do ciclo diesel. Para a substituição, parcial ou integral, do óleo diesel pelo biodiesel, deve-se levar em considerações as variáveis econômicas, ambientais e sociais. O biodiesel apresenta algumas vantagens quando comparado ao óleo diesel por ser majoritariamente renovável; além de proporcionar menores emissões (exceção para o NOx); possuir elevado ponto de fulgor (maior segurança no manuseio) e excelente lubricidade.

5. ESTUDO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Este capítulo apresenta uma revisão a cerca da utilização da metodologia de ACV para avaliação de biocombustíveis, bem como as definições do estudo de ACV para a produção de biodiesel, de acordo com as fases da execução de ACV previstas pela ABNT (2009a), considerando o objetivo e escopo do estudo, detalhamento dos sistemas de produto, as fronteiras do sistema, procedimentos de alocação e métodos de avaliação de impactos. Este capítulo também apresenta o projeto BIOACV[22], desenvolvido pelo IEE/USP[23] e parceiros[24].

Para a elaboração do projeto BIOACV foi utilizado um software de apoio para estudos de ACV, o SIMAPRO (versão 7.3.2), que permite a realização da avaliação do ciclo de vida e quantificação dos impactos ambientais. Foi utilizada a estrutura metodológica normatizada internacionalmente pela ISO e, no Brasil, pela ABNT. Tal estrutura determina as fases e os procedimentos gerais da execução de um estudo de ACV, de acordo com as normas mundiais da série ISO 14.040, e as correspondentes nacionais da NBR ISO 14.044.

De acordo com os objetivos do BIOACV, foram analisados os sistemas de produção de biodiesel utilizando o óleo de soja e a gordura animal, a partir de duas rotas: etílica e metílica. No seu desenvolvimento buscou-se aproximar as premissas de uma realidade representativa para o país, tanto na coleta de dados primários como na utilização de dados secundários.

Assim, este capítulo apresenta também os detalhes do levantamento de dados considerados para elaboração do ICV, primeiramente para o biodiesel produzido a partir de óleo de soja via rota etílica e depois para o biodiesel produzido a partir de gordura bovina via rota metílica, obtidos a partir dos estudos de caso analisados.

A partir dessas modelagens, também são apresentadas as combinações entre as matérias-primas e as rotas tecnológicas: biodiesel produzido a partir de óleo de soja via rota metílica e biodiesel produzido a partir de gordura animal via rota etílica,

[22] Projeto financiado pelo CNPq e desenvolvido entre 2010 e 2013.
[23] Equipe executora do projeto BIOACV pelo IEE/USP: Suani Teixeira Coelho (coordenadora), Renata Grisoli, Vanessa Pecora Garcilasso, Beatriz Acquaro Lora e Patrícia Guardabassi.
[24] Centro de Ecologia Industrial (CIE) do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra, Portugal (com a participação de Fausto Freire e Erica Castanheira) e Grupo de Prevenção de Poluição da EPUSP (GP2) (com a participação de Gil Anderi da Silva e Alex Nogueira).

considerando todas as limitações dos sistemas, objetivando a uniformização das informações a fim da avaliação comparativa entre eles.

São apresentados também os resultados obtidos para os quatro sistemas de produtos analisados e, posteriormente, são apresentados os resultados para a comparação entre eles, considerando as categorias de impacto ambiental pela metodologia selecionada.

5.1 Utilização de ACV para biocombustíveis

A ACV é uma ferramenta capaz de avaliar os impactos ambientais do ciclo de vida completo de um determinado produto. Os estudos de ACV podem ser realizados com diferentes objetivos e para os mais diversos fins. O Anexo E apresenta uma descrição sobre a ACV, detalhando seus conceitos e as principais fases de um estudo.

A utilização da ACV no setor energético teve início em meio às crises do petróleo na década de 1970, motivada pela busca de fontes alternativas para esse combustível. No entanto, as análises eram relacionadas apenas ao balanço energético, ou seja, eram realizadas as comparações entre as fontes alternativas e convencionais apenas de acordo com o uso energético no ciclo de vida de determinado combustível (GRISOLI, 2011).

No final da década de 80, as emissões de CO_2 foram incorporadas aos estudos devido às preocupações ambientais relacionadas à queima de combustíveis fósseis. Já no início dos anos 90 outros gases de efeito estufa foram acrescentados às análises, levando em consideração seus potenciais de aquecimento global (GRISOLI, 2011).

Atualmente os estudos de ACV permitem que sejam realizadas análises detalhadas de diferentes impactos ambientais. Entretanto, os estudos aplicados ao setor de transporte estão relacionados, principalmente, à redução de GEE. Sendo assim, os principais objetivos das ACV de combustíveis tem sido realizar os balanços de energia (razão entre a energia contida no combustível fabricado e a energia fóssil necessária para a produção do combustível) e de emissões de GEE

(estimativa de emissões de gases de efeito estufa durante os ciclos de produção, transporte e consumo do produto) (SILVA, 2009).

Quanto aos biocombustíveis, a utilização de ACV está relacionada, principalmente, à análise comparativa do desempenho ambiental entre o biocombustível e o combustível fóssil a ser substituído. Os resultados obtidos nesses estudos, principalmente os referentes às emissões de GEE, que se enquadram na categoria de impacto “aquecimento global”, podem servir de subsídios para propostas de políticas públicas (VAN DER VOET et. al., 2010).

Outra utilização de ACV para biocombustíveis refere-se à obtenção de indicadores dos principais impactos ambientais relacionados à sua produção, proporcionando a geração de dados que poderão ser utilizados, por exemplo, para estudos comparativos com outras matérias-primas e/ou processos (GRISOLI, 2011; DALGAARD et. al., 2008).

A ACV também pode ser aplicada para indicação das áreas prioritárias na cadeia produtiva de biocombustíveis, visando melhorias nos processos industriais relacionados, principalmente, às emissões em uma determinada categoria de impacto (GRISOLI, 2011).

Apesar de a ACV dar suporte à análise de sustentabilidade de biocombustíveis, há estudos que apresentam resultados discrepantes (VAN DER VOET et. al., 2010). Alguns casos apresentam grandes benefícios ambientais relacionados à redução das emissões de GEE, quando comparados com os combustíveis fósseis (KIM; DALE, 2005; RÚA et. al., 2007), Outros estudos concluem que estes benefícios são limitados ou até mesmo ausentes (LUO et. al., 2009; REIJINDERS; HUIJBREGTS, 2008).

Larson (2006) apresenta as principais causas para as diferenças nos resultados de estudos de ACV para biocombustíveis:

- Consideração somente de GEE’s de efeito direto, enquanto outros estudos consideram também os gases de efeito indireto;
- Diferentes critérios de alocação entre os coprodutos;
- Variação do veículo considerado no uso final do combustível;
- Consideração das emissões provenientes da aplicação de fertilizantes nitrogenados no solo e da mudança indireta da ocupação do solo;
- Adequação/regionalização dos dados.

Para a ACV da produção de biodiesel, não são conhecidos estudos que avaliem e comparem a produção de biodiesel no Brasil utilizando as duas principais matérias-primas do país (óleo de soja e gordura animal), a partir de duas rotas tecnológicas (uso do metanol e uso do etanol) como foi feito no projeto BIOACV.

Há um grande número de estudos que avaliam a produção (ou uso) do biodiesel de soja, nos quais foram elaborados ICV's, porém restritos a analisar balanços de energia ou emissões atmosféricas – estas últimas, principalmente em relação aos GEE (REIJINDERS; HUIJBREGTS, 2008).

Sheehan et. al. (1998), foram um dos primeiros a adotar o conceito de ciclo de vida para avaliar o desempenho do biodiesel de soja (B100) em comparação ao óleo diesel. Para tanto, foram elaborados os ICV's de ambos os combustíveis, desde a extração de recursos naturais até a fase de uso dos combustíveis, em termos de balanço energético e emissões atmosféricas.

Jungbluth (2007) elaborou o ICV do biodiesel metílico de soja brasileiro como um dos elementos constituintes do banco de dados internacional Ecoinvent. Como característica deste banco de dados, o inventário foi construído com o uso de dados médios para representar a realidade brasileira, não considerando as diferenças no sistema produtivo entre os diversos estados produtores.

Panichelli & Gnansounou (2008) avaliaram impactos ambientais associados ao biodiesel metílico de soja para a condição da Argentina. Nesse caso o desempenho ambiental do produto foi medido em termos das seguintes categorias de impacto: Aquecimento Global; Demanda Cumulativa de Energia; Eutrofizacao; Acidificacao; Ecotoxicidades Aquática e Terrestre; Toxicidade humana e Ocupação do Solo. Os resultados do estudo foram comparados com dados de literatura gerados para condições semelhantes.

Hou et. al. (2011) estudaram os impactos ambientais causados pela produção e o uso do biodiesel produzido de fontes renováveis – na forma de soja, jatropha e microalga – para o contexto da China. O método de avaliação de impacto adotado para a analise foi o CML 2001, e os perfis ambientais gerados em cada caso foram comparados ao do óleo diesel.

Em relação a estudos desenvolvidos para a produção de biodiesel de soja no contexto brasileiro, cabe destacar os trabalhos de Mourad (2008) e Cavallet (2008). A primeira autora investigou a cadeia produtiva do B100, desde a produção da soja

até o processo de transesterificação (via rota metílica). Cavallet (2008) elaborou o ICV para produção de biodiesel etílico de soja no Brasil adotando a análise energética para avaliar a questão ambiental.

Não foram encontrados estudos nacionais que desenvolvessem a ACV de biodiesel produzido a partir de gordura animal. Apenas foi levantada uma análise da produção de biodiesel a partir de sebo bovino (LOPES, 2006), mas essa avaliação não considerou os aspectos ambientais da produção, apenas os aspectos de viabilidade técnica e energética. Neste trabalho ainda foi considerado a transesterificação por rota etílica e metílica, e como resultado observou-se que com o emprego do etanol obteve-se um desempenho melhor que a do metanol. Segundo a autora, a uma temperatura de 68 ºC o etanol apresenta 100% de solubilidade no sebo o que implica em um menor gasto energético com agitação na etapa de transesterificação.

Mesmo no âmbito internacional, também se observou uma grande dificuldade para se encontrar estudos publicados, em que se avaliava todo o ciclo de vida do biodiesel produzido a partir de gordura animal. Neste caso, destacam-se apenas três estudos focados na região da Oceania.

O primeiro deles foi elaborado por Grant et. al. (2008), por solicitação do Departamento de Agricultura e Alimentos da Austrália. Neste estudo citado, os autores executaram avaliações do ciclo de vida de diversos biocombustíveis produzidos na região Oeste australiana.

Outro estudo interessante foi elaborado por Barber et. al. (2007), após encomenda da Autoridade neozelandesa para Eficiência Energética e Conservação. Neste caso, os autores analisaram o consumo de fontes primárias de energia, bem como a emissão de gases de efeito estufa do biodiesel produzido a partir de gordura animal na Nova Zelândia.

Por fim, também vale a pena destacar o estudo feito por Bruyninckx (2010). Trata-se de uma dissertação, em que o autor investigou os efeitos ambientais do uso de biodiesel proveniente de gordura animal, também considerando a realidade da Nova Zelândia.

Considerando a ACV do metanol e, principalmente, o ciclo de vida do gás natural, que é a principal matéria-prima para produção do álcool, é possível identificar alguns estudos que consideram a perspectiva da avaliação (FRISCHKNECHT et. al., 1996; ARESTA et. al., 1999; VASWANI, 2000; HUGILL et.

al., 2001 PRIMAS, 2004). Emmenegger et. al (2004) apresentaram o relatório que fornece as informações e modelos globais para o *Ecoinvent* a respeito da produção, distribuição e combustão deste composto. No Brasil, o principal estudo publicado é o de Camargo (2007) que discute o ciclo de vida metanol a partir de adaptações do ICV para as condições brasileiras.

Em relação aos impactos ambientais do etanol, a maioria dos estudos publicados envolvendo a temática de ciclo de vida também se limita a análises de balanços de energia e de GEE (MACEDO et.al., 2008; SEABRA et. al., 2011; GARCIA et. al, 2011), com exceção de Ometto et. al. (2009) que desenvolveram um estudo de ACV da cana-de-açúcar e etanol hidratado produzido na região nordeste do estado de São Paulo.

Assim como no caso do biodiesel de soja, Jungbluth (2007) também elaborou um inventário para representar a produção de etanol no Brasil, como elemento integrante do *Ecoinvent*.

5.2 Estudo da Avaliação do Ciclo de Vida – Projeto BIOACV

5.2.1 Definição de Objetivo

O objetivo do projeto BIOACV foi comparar, utilizando a Avaliação de Ciclo de Vida, a produção de biodiesel a partir de duas matérias-primas que são as mais utilizadas no país: soja e gordura animal, contemplando as duas rotas de produção: etílica e metílica.

Uma das principais preocupações do estudo foi representar sistemas que estivessem sendo aplicados no país ou o mais próximo da realidade nacional. Assim, o estudo buscou aproximar as premissas adotadas de uma realidade representativa, tanto na coleta de dados primários como da utilização de dados secundários. Para tal foram realizadas entrevistas com especialistas do setor e levantamento de dados das unidades industriais e de pesquisa: usina de biodiesel localizada em Catanduva/SP; usina de biodiesel localizada em Lins/SP; Instituto de Agronomia de Ponta Grossa/PR; empresa de agronegócio, alimentos e bioenergia

localizada em Ponta Grossa/PR; Abatedouro, Frigorífico e Graxaria de Curitiba/PR e Frigorífico localizado em Paiçandu/PR.

A usina Catanduva/SP desenvolveu, com financiamento da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), uma planta multifuncional de produção de biodiesel por meio da rota etílica, com capacidade produtiva de 42 milhões de litros ao ano, que permite produção simplificada de biodiesel com diversas matérias-primas. A empresa testou 20 oleaginosas diferentes a atualmente produz o biodiesel a partir de óleos de soja e algodão, óleos residuais e também a partir de sebo bovino. Esta é a única usina em atividade que opera exclusivamente com etanol anidro. A usina de Lins/SP é uma das unidades que produz biodiesel a partir de gordura animal, o que justifica suas parcerias no projeto BIOACV. É importante ressaltar que estas usinas juntas, produziram cerca de 6% do total de biodiesel produzido no Brasil em 2010.

A partir dos levantamentos de dados foram obtidos cenários que consideraram 100% de óleo de soja e 100% de gordura animal para as duas rotas tecnológicas (etílica e metílica). A opção por essa porcentagem de participações das matérias-primas deveu-se a consulta aos especialistas que indicaram que, apesar de outras matérias serem utilizadas (oleaginosas, ou mesmo mistura entre óleo de soja e gordura animal), não há grandes alterações no processo ou insumos/emissões e, quando existentes, elas foram contempladas neste estudo.

Os resultados desta ACV possibilitaram a identificação dos principais impactos ambientais da cadeia produtiva.

5.2.2 Definição de Escopo

5.2.2.1 Função

Para avaliar os desempenhos ambientais das cadeias de biodiesel estudadas determinou-se como função dos objetos de estudo a produção de energia para o deslocamento de veículos no Brasil.

5.2.2.2 Unidade Funcional e Fluxo de Referência

Considerando-se a função estabelecida, a unidade funcional definida para este estudo foi a produção de 1 MJ a partir de biodiesel. Neste contexto, para atender as premissas citadas, o fluxo de referência para cada tipo de biodiesel analisado foi o montante de 0,0265 kg de biodiesel. Tal valor foi obtido a partir do poder calorífico inferior do biodiesel (37,67 MJ/kg) indicado pela EPE (2012)[25].

5.2.2.3 Sistemas de Produto

A partir das definições das variáveis abordadas neste estudo, são indicados a seguir o sistema de produto considerado para cada tipo de biodiesel produzido. Vale ressaltar que a realidade da produção e os sistemas relacionados são frequentemente mais complexos que os representados no estudo; porém, para efeito de modelagem os sistemas indicados, atendem as necessidades para comparação entre os produtos finais.

5.2.2.3.1 Sistema de Produto Biodiesel de Soja - Rota Etílica

A partir de coleta de dados realizada e pesquisas bibliográficas, foi modelado o sistema de produto para o biodiesel de óleo de soja pela rota etílica, conforme apresentado na Figura 5.1.

[25]O PCI do biodiesel considerado neste estudo para cada tipo de biodiesel analisado (biodiesel metílico e etílico de soja e biodiesel etílico e metílico de gordura bovina) foi de 9.000 kcal/kg, o que significa 37,67 MJ/kg, conforme apresentado pela EPE (2012). Como o Balanço Energético Nacional (EPE, 2012) não diferencia os tipos de biodiesel, divulgando apenas um único valor de PCI, este estudo também assumiu essa postura.

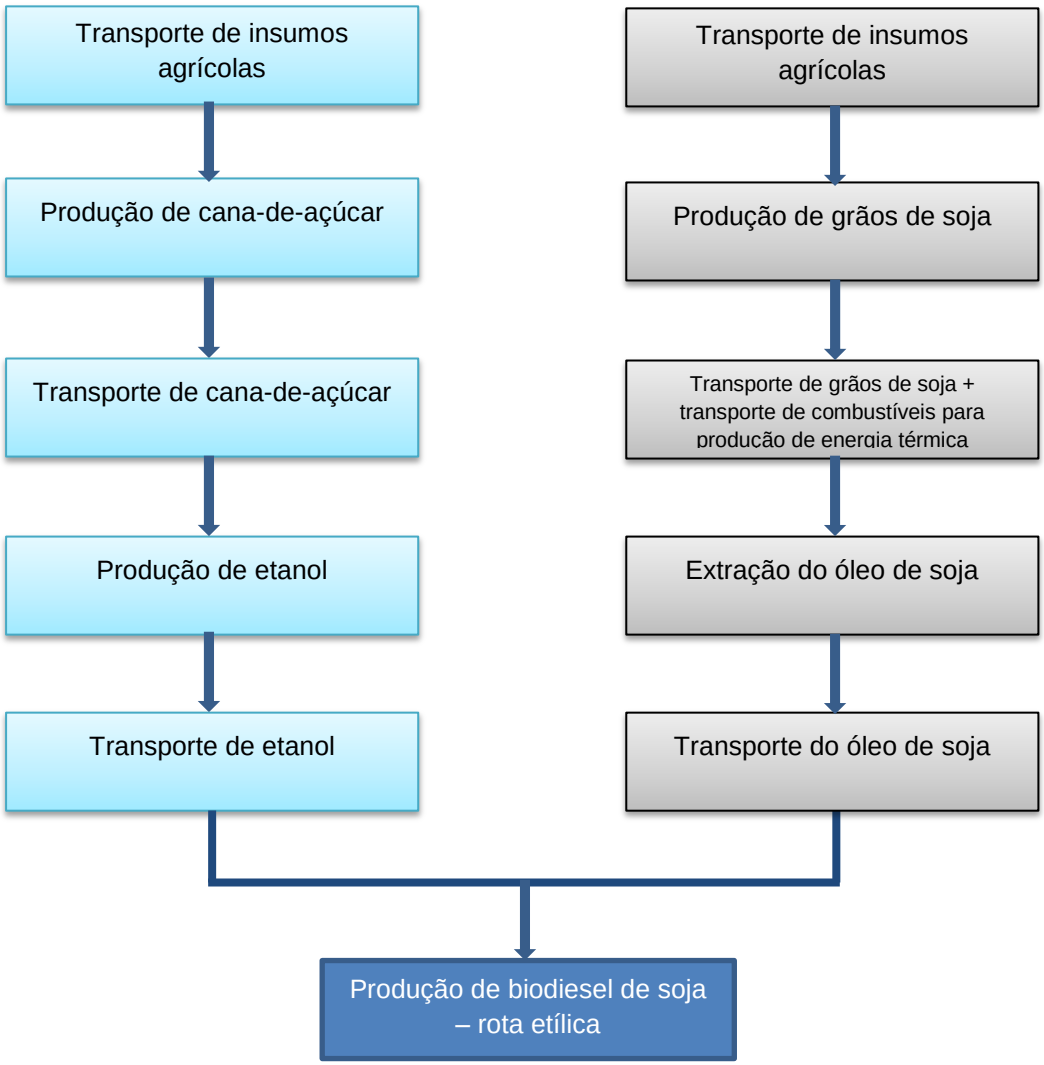


Figura 5.1. Representação do sistema de produto do biodiesel de óleo de soja pela rota etílica. Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

O subsistema de produção de grãos de soja compreende as etapas agrícolas de: plantio; crescimento; colheita e beneficiamento do produto.

O subsistema de extração de óleo de soja aborda o consumo de insumos; os produtos obtidos e emissões. Considerando-se que o óleo é destinado para a produção de biodiesel, não foi contemplado o processo de refino do mesmo. Este subsistema considera também o uso de lenha e cavacos de madeira proveniente de florestas plantadas como combustível para geração de vapor necessário à unidade de extração de óleo. O Anexo F apresenta as emissões calculadas da caldeira de biomassa (que utiliza lenha e cavaco como combustível).

O subsistema de produção de etanol engloba as atividades de cultivo de cana-de-açúcar, considerando as atividades agrícolas necessárias para a produção desta

cultura: preparo do solo, plantio, aplicação de corretivos do solo, fertilizantes minerais, pesticidas, e colheita; e também a atividade industrial de produção de etanol anidro, sendo considerada a produção tanto em destilarias autônomas quanto em usinas anexas.

Os subsistemas referentes ao transporte envolve o transporte de insumos agrícolas tanto para a produção de grãos de soja quanto para a produção de cana-de-açúcar; o transporte da cana-de-açúcar para a produção de etanol; o transporte de grãos de soja e de combustíveis para a produção de energia elétrica necessária ao processo de extração do óleo; e o transporte de etanol e óleo de soja até a unidade produtora do biodiesel.

O subsistema de produção de biodiesel fundamenta-se na modelagem do processo de transesterificação da usina de Catanduva/SP. Ao final desta etapa é gerado o éster etílico de soja (B100).

Como analisado em maiores detalhes no ICV completo do biodiesel produzido a partir do óleo de soja via rota etílica (Anexo F), foi efetuada a alocação dos aspectos, considerando que o óleo de soja é um coproduto da produção de farelo de soja.

5.2.2.3.2 Sistema de Produto Biodiesel de Gordura Animal - Rota Metílica

A partir de coleta de dados realizada e pesquisas bibliográficas, foi modelado o sistema de produto para o biodiesel de gordura animal pela rota metílica, conforme apresentado na Figura 5.2.

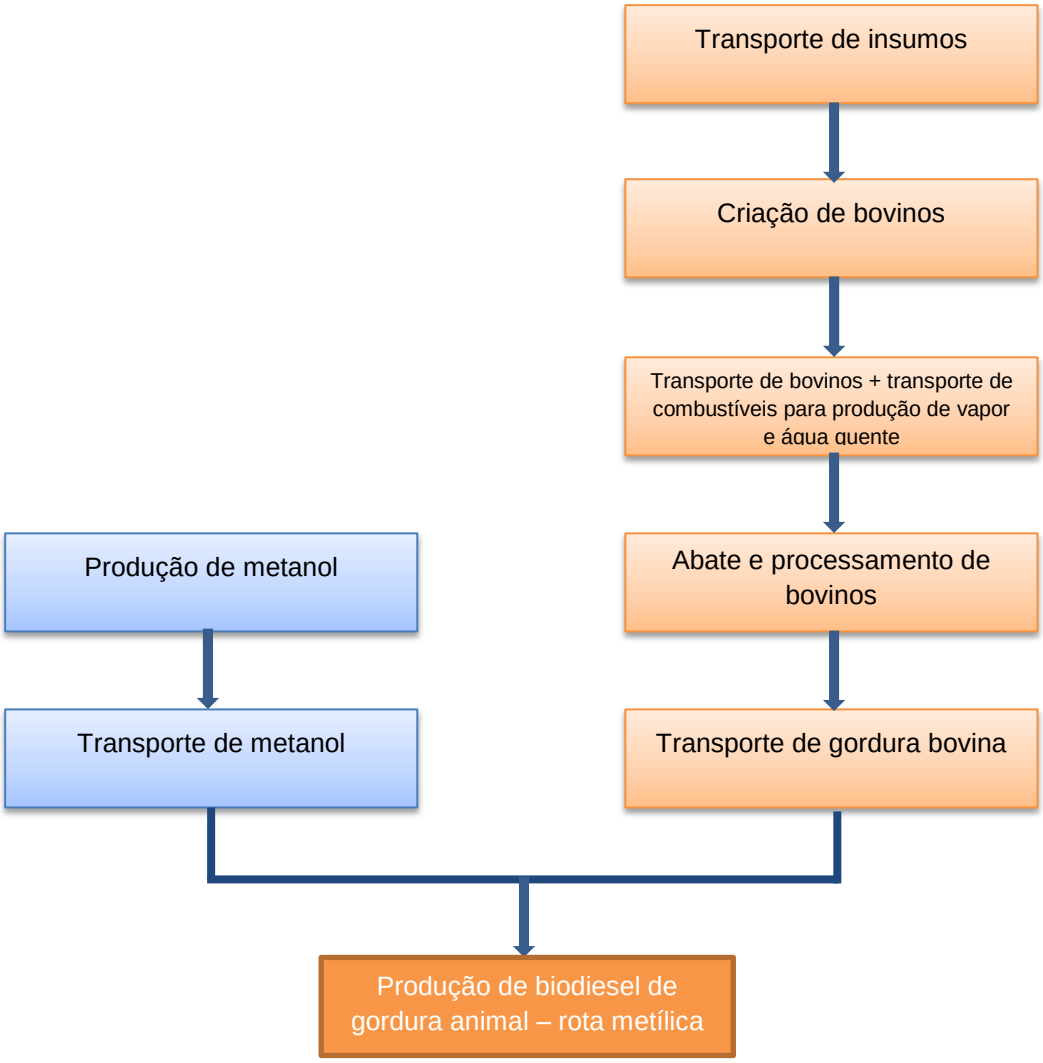


Figura 5.2. Representação do sistema de produto do biodiesel de gordura animal pela rota metílica. Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

O subsistema de criação de bovinos baseia-se na pecuária extensiva, a qual pressupõe a mínima intervenção sobre o meio. Mesmo assim, estão compreendidas as atividades de correção da acidez do solo, aplicação de fertilizantes, uso de maquinários agrícolas, bem como as emissões de gases de efeito estufa resultantes do sistema digestivo e de dejetos dos animais.

O subsistema de abate e processamento de bovinos abrange, inicialmente, o transporte, preparação e processamento dos animais. Considera, também, o cultivo de eucalipto para produção de cavacos, bem como o seu consumo para a geração de vapor em caldeiras. Ainda, este subsistema inclui o lançamento dos efluentes líquidos restantes após o tratamento das águas residuárias do abatedouro.

Já o subsistema de produção de metanol contempla a extração do gás natural, a produção de metanol a partir da reforma catalítica do gás, e também estimativas

da produção de insumos utilitários consumidos na instituição petroquímica. Este subsistema considera também o transporte do metanol importado. Os dados referentes ao transporte do metanol foram alterados conforme as condições brasileiras. Os dados que foram atualizados no sistema referem-se ao transporte do metanol utilizado na usina de Lins/SP, produtora de biodiesel de gordura animal com metanol.

Ainda com referência ao transporte, foram considerados os subsistemas referentes ao transporte de insumos para a criação de bovinos; ao transporte dos animais e dos combustíveis para a produção de vapor e água quente necessários no processo de abate e processamento de bovinos; bem como ao transporte da gordura bovina até a unidade produtora do biodiesel.

Por fim, o subsistema de produção de biodiesel fundamenta-se na modelagem do processo de transesterificação da usina de Lins/SP. Ao final desta etapa é gerado o éster metílico de gordura bovina (B100).

Como analisado em maiores detalhes no ICV completo do biodiesel produzido a partir da gordura bovina via rota metílica (Anexo G), foi efetuada a alocação dos aspectos, considerando que a gordura bovina é um da produção de carne pelo país.

5.2.2.3.3 Sistema de Produto Biodiesel de Soja - Rota Metílica

A partir de coleta de dados realizada e pesquisas bibliográficas, foi modelado o sistema de produto para o biodiesel de óleo de soja pela rota metílica, conforme apresentado na Figura 5.3.

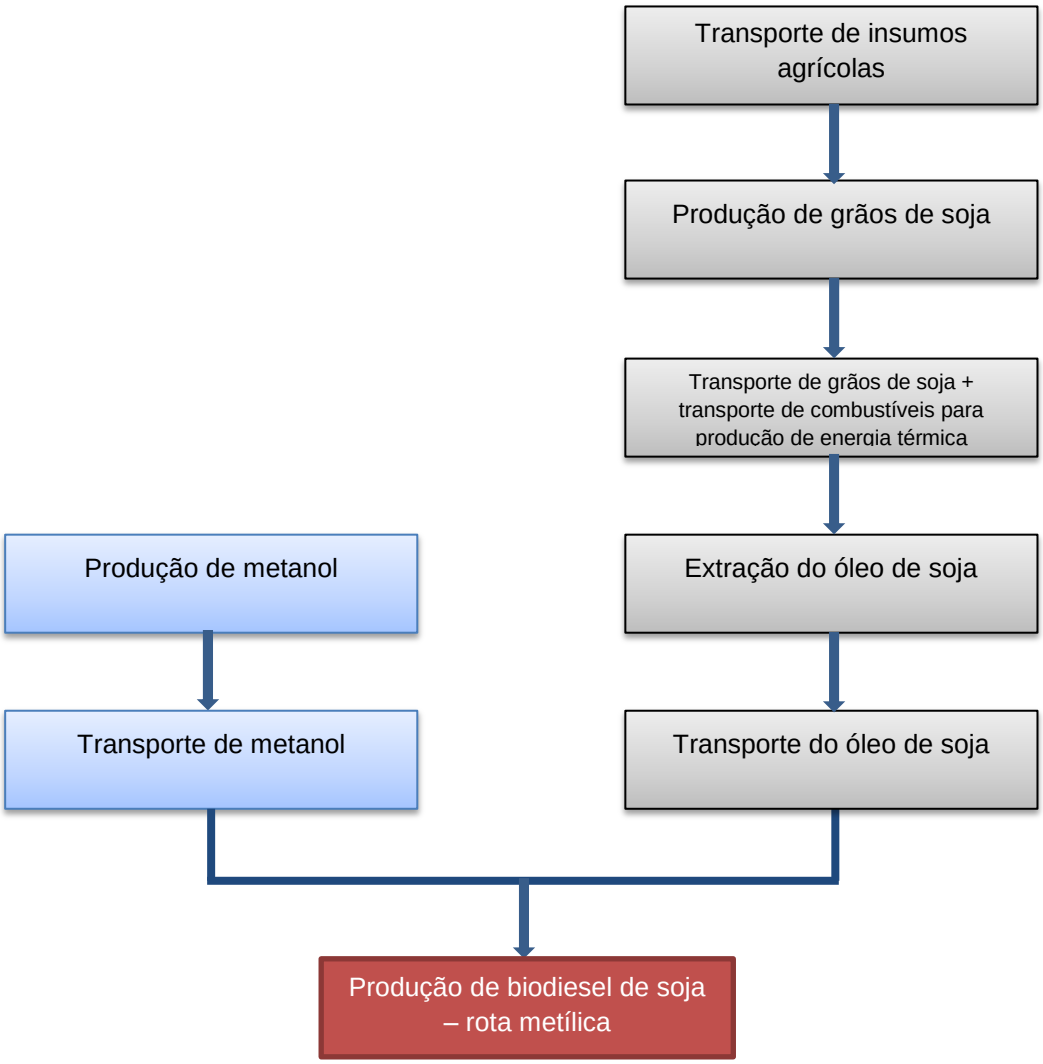


Figura 5.3. Representação do sistema de produto do biodiesel de óleo de soja pela rota metílica.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Nesse sistema de produto, a partir das premissas adotadas em razão do levantamento de literatura e consulta à outros especialistas, foram utilizadas as mesmas características dos subsistemas apresentados anteriormente (itens 5.2.2.3.1 e 5.2.2.3.2), porém, com adaptações às especificidades de cada etapa, em decorrência da alteração da matéria-prima e/ou do álcool utilizado na transesterificação.

Nesse sentido, o subsistema de produção de biodiesel fundamenta-se na modelagem do processo de transesterificação, considerando adaptações ao processo da usina de Lins/SP. Ao final desta etapa é gerado o éster metílico de óleo de soja (B100).

5.2.2.3.4 Sistema de Produto Biodiesel de Gordura Animal - Rota Etílica

A partir de coleta de dados realizada e pesquisas bibliográficas, foi modelado o sistema de produto para o biodiesel de gordura animal pela rota etílica, conforme apresentado na Figura 5.4.

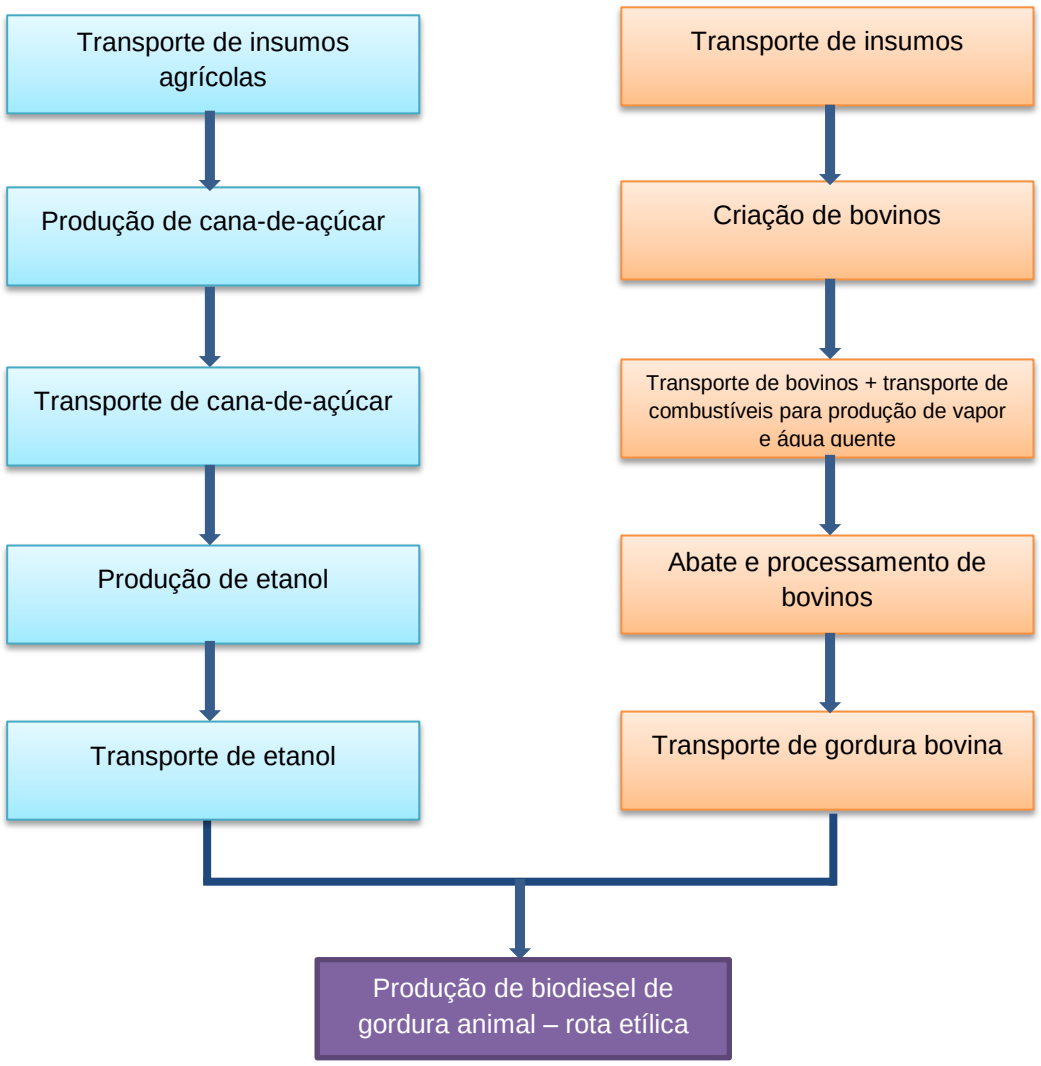


Figura 5.4. Representação do sistema de produto do biodiesel de gordura animal pela rota etílica.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Nesse sistema de produto, também são consideradas as indicações de que a partir das premissas adotadas foram utilizadas as mesmas características dos subsistemas apresentados anteriormente (itens 5.1.2.3.1 e 5.1.2.3.2), porém, com adaptações às especificidades de cada etapa, em decorrência da alteração da matéria-prima e/ou do álcool utilizado na transesterificação.

Nesse sentido, o subsistema de produção de biodiesel fundamenta-se na modelagem do processo de transesterificação considerando adaptações ao processo da usina de biodiesel de Catanduva/SP. Ao final desta etapa é gerado o éter etílico de gordura bovina (B100).

5.2.2.4 Fronteiras do Sistema

Para os sistemas de produto estudados não foram incluídos bens de capital, uma vez que na modelagem atribucional (conforme descrição no Apêndice A), caso do presente estudo, normalmente estes não são incluídos nos inventários em função da questão viabilidade versus precisão e em razão das suas baixas influências nos resultados (possuem vida útil longa e a parcela da carga ambiental se torna insignificante), constatação esta feita em estudos mais antigos. Também não estão inclusos nos sistemas a produção de defensivos.

5.2.2.5 Procedimento de Alocação

Em modelagens do tipo atribucional, alocação é prática comum para processos elementares que apresentam a questão da multifuncionalidade. Com isso, para cada subsistema há a indicação de quais os critérios utilizados para a alocação dos produtos.

Em princípio, a alocação pode ser feita em base de massa, de energia (considerando os conteúdos energéticos de cada produto) ou em base econômica, considerando os valores econômicos. Grisoli et. al. (2012) aplica estes critérios de alocação para o biodiesel metílico de soja, o que permite analisar as consequências de cada método. Estes resultados são mencionados a seguir no item 5.3.3.

5.2.2.6 Método de Avaliação de Impacto e Categorias de Impacto

Segundo a norma ABNT NBR ISO 14044, a AICV é definida como a fase da ACV que visa ao entendimento e avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais do sistema de produto em estudo, ao longo do seu ciclo de vida (ABNT, 2009a). Na prática, é a etapa em que serão avaliados os efeitos que as interações identificadas na análise de inventário implicarão sobre o meio ambiente.

Com relação ao método utilizado para a avaliação, o estudo utilizou o *ReCiPe Midpoint*, versão 1.06. Trata-se de uma evolução de dois métodos tradicionalmente considerados em estudos de ACV até então (TAKEDA, 2010): o *CML 2 baseline 2000*, e o *Eco-indicator 99*.

O método *ReCiPe Midpoint* possibilita a análise de 18 categorias de impacto. Entretanto, com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados deste estudo, algumas das categorias contempladas pelo método foram agrupadas de acordo com propriedades comuns entre si. Outras não foram usadas por não serem significativas no estudo. A lista final das categorias de impacto ambiental que foram consideradas é apresentada a seguir:

- **Mudanças climáticas (MC)**;
- **Toxicidade (Tox)**: abrange a toxicidade humana, bem como as ecotoxicidades do tipo terrestre, de água doce e marinha;
- **Acidificação (Ac)**: leva em conta o potencial de acidificação terrestre;
- **Eutrofização (Eu)**: considera o potencial de eutrofização de corpos d'água doce;
- **Ocupação do solo (Oc)**: considera tanto a ocupação de áreas agrícolas como de áreas urbanas;
- **Depleção de combustíveis fósseis (DCF)**.

5.2.3 Modelo e Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel produzido a partir de Óleo de Soja (rota etílica)

A modelagem e o ICV foram realizados com base em dados específicos da produção de biodiesel a partir de óleo de soja via rota etílica. Para o citado estudo, foi considerada nesta modelagem que 100% do óleo utilizado como insumo para produção de biodiesel é proveniente da soja.

Relativamente ao cultivo de soja os dados utilizados resultam de uma combinação entre as informações coletadas e dados bibliográficos e estatísticos, que permitiram definir um cenário representativo do cultivo de soja.

Quanto à extração de óleo e produção de farelo de soja, foram adotados dados específicos de uma unidade no Paraná de processamento de soja, que utiliza uma tecnologia convencional.

O Anexo F apresenta o ICV completo do biodiesel produzido a partir do óleo de soja via rota etílica, que inclui:

Subsistema da produção de grãos de soja:

- ICV do cultivo da soja: consumo de calcário, sementes e fertilizantes; operações agrícolas; ocupação do solo e captura de CO_2;
- Emissões no ciclo de vida do cultivo da soja: emissões para o ar (mudanças da ocupação do solo, emissões de CO_2 pela aplicação de calcário, emissões de NH_3, N_2O e NOx); emissões para a água (emissões de fósforo e nitrato) e emissões para o solo (emissões de pesticidas e metais pesados).

Subsistema da extração do óleo de soja:

- ICV da extração de óleo de soja: insumos; produtos obtidos e emissões.

Subsistemas do transporte de insumos e produtos:

- Transporte de insumos para o cultivo do grão da soja; transporte dos grãos de soja e dos combustíveis necessários para a produção de energia térmica para a etapa de extração do óleo de soja e transporte do óleo de soja para a etapa de transesterificação via rota etílica;

- Transporte de insumos para a produção de cana-de-açúcar; transporte de cana-de-açúcar para a produção de etanol e transporte do etanol para a etapa de transesterificação via rota etílica.

Subsistema da produção de etanol:

- ICV do cultivo da cana-de-açúcar: plantio, colheita e rendimento da cana; uso de fertilizantes, corretores de solo, agroquímicos e diesel; distribuição da vinhaça e aplicações auxiliares; ocupação do solo; emissões para o ar, água e solo;
- ICV da produção de etanol: ocupação do solo; uso da água; uso de produtos químicos; equipamentos e consumo de energia.

Subsistema da produção de biodiesel de soja via rota etílica:

- ICV da produção de biodiesel: consumo de matérias-primas; consumo de energia e produtos obtidos.

5.2.4 Modelo e Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel produzido a partir de Gordura Bovina (rota metílica)

A modelagem e o ICV foram realizados com base em dados específicos da produção de biodiesel a partir de gordura bovina via rota metílica. Para o presente estudo, foi considerada nesta modelagem que 100% do insumo para produção de biodiesel é gordura bovina.

O Anexo G apresenta o ICV completo do biodiesel produzido a partir do óleo de soja via rota Metílica, que inclui:

Subsistema da criação de bovinos:

- ICV da criação de bovinos: sistema de produção de bovinos; consumo de insumos; emissões atmosféricas; transporte de insumos e mudança do uso da terra.

Subsistema de abate e processamento de bovinos:

- ICV do abate de bovinos: consumo de insumos; rejeitos gerados; tratamento de efluentes; consumo de energia e alocação de coprodutos.

Subsistemas do transporte de insumos e produtos:

- Transporte de insumos para a criação de bovinos; Transporte de bovinos e de combustíveis para produção de vapor e água quente para a etapa de abate e processamento de bovinos; e transporte da gordura bovina para a etapa de transesterificação via rota metílica;
- Transporte de metanol para a etapa de transesterificação via rota metílica.

Subsistema de produção de metanol:

- ICV do metanol: processo de produção; recursos e emissões associadas a produção de metanol.

Subsistema da produção de biodiesel de gordura bovina via rota metílica:

- ICV da produção de biodiesel: tecnologias de produção e consumo de energia.

5.2.5 Modelo e Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel de Soja (rota metílica) e de Gordura Bovina (rota etílica)

Uma vez que os dois sistemas (rota etílica e rota metílica) foram elaborados com base em dados reais, o estudo realizou adaptações no sistema modelado para a alteração das matérias-primas (soja; gordura animal; etanol e metanol), por conta das características dos insumos e dos processos. Assim os subsistemas iniciais - que tratavam da matéria-prima e insumos, como: “Cultivo de grãos de soja”, “Extração de óleo de soja”, “Produção de etanol” e “Criação de bovinos”; “Abate e processamento de bovinos”; “Produção de metanol” e “Transporte” - se mantiveram inalterados. O estudo realizou adaptações nos subsistemas: “Produção de biodiesel

de soja – rota metílica” e “Produção de biodiesel de gordura animal – rota etílica”. Estas adaptações, no caso do biodiesel de gordura animal, foram necessárias especificamente no caso de consumo de energia no processo. Isto porque, para que ocorra o processo de transesterificação, as matérias-primas devem estar em estado líquido. No caso da produção de biodiesel de gordura animal, uma vez que a gordura animal tem um ponto de fusão maior do que a do óleo de soja é necessário um dispêndio maior de energia.

No levantamento de dados do estudo, verificou-se que a usina de biodiesel de Lins/SP já havia utilizado maiores proporções de óleo de soja na mistura com a gordura animal para a produção de biodiesel pela rota metílica, segundo histórico de produção[26]. Em 2010, por exemplo, foram usados 35,8% de óleo de soja contra 64,2% de gordura animal como matéria-prima. Assim, baseado nos históricos de produção essas combinações foram modeladas com a adaptação dos dados obtidos. Assim, de acordo com a série histórica desta usina, seria necessário um aumento de 37,5% no consumo de eletricidade e 4,4% no consumo de vapor para a planta de Catanduva/SP, quanto considerado um modelo de 100% de gordura animal pela rota etílica.

Para os outros insumos o estudo concluiu que não haveria alterações significativas nas quantidades utilizadas, uma vez que atingindo a temperatura ideal para o processo de transesterificação, as demais etapas de processo de produção de biodiesel permaneceriam inalteradas.

Desta maneira, a principal adaptação realizada pelo estudo nos ICV foi com relação ao consumo de energia. No caso do óleo de soja pela rota metílica, como a modelagem da rota foi para a utilização de gordura animal é necessário que haja uma redução de 37,5% no consumo de eletricidade e 4,4% no consumo de vapor, quando considerado um cenário de 100% óleo de soja. Essas alterações em termos de consumo energético certamente provocaram alterações nos impactos ambientais, uma vez que as fontes para a geração de energia na planta de rota etílica e metílica são diferentes.

Além disso, entre as rotas etílicas e metílicas o estudo observou uma diferença em termos de consumo de matéria-prima graxa, independente de ser óleo de soja

[26] Isto é necessário porque senão o biodiesel de gordura animal não satisfaz as especificações da ANP de viscosidade e densidade, podendo vir a se solidificar em temperaturas mais baixas, dependendo das regiões do país.

ou gordura animal. Enquanto que na rota etílica há o consumo de 0,994 kg de matéria graxa por kg de biodiesel produzido, na rota metílica o valor é de 1,07 kg/kg de biodiesel.

Dentro das combinações entre rotas e matérias-primas [27] também houve adaptações em termos de distâncias de transporte. Enquanto que o óleo de soja é transportado por uma distância média de 942 km, a gordura animal percorre 200 km. Assim, essas diferenças foram contempladas nas análises do processo de transesterificação dos inventários combinados realizadas no estudo.

5.3 Resultados da Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV) do Biodiesel

Para esta fase, os inventários consolidados de cada subsistema, foram correlacionados à Unidade Funcional estabelecida para este estudo, qual seja, o fornecimento de 1 MJ por meio do biocombustível. Assim, considerando-se o poder calorífico inferior do biodiesel informado no BEN 2012, foi calculado o fluxo de referência de 0,0266 kg de biodiesel para cada alternativa analisada (EPE, 2012).

O item 5.2.2.6 apresentou o método utilizado para a avaliação dos impactos, bem como as diferentes categorias de impactos abordadas neste estudo. Nesta seção são apresentados e analisados os resultados obtidos no estudo em questão.

5.3.1 Resultados obtidos no estudo BIOACV para a AICV

Nesta seção são apresentados os resultados dos indicadores das categorias de impacto ambiental escolhidas, considerando cada alternativa de biodiesel contemplada neste estudo. Ainda, para os resultados encontrados, foram

[27] Conforme histórico da usina de biodiesel de Lins/SP (2009 e 2010), a variação das porcentagens de uso de determinadas matérias-primas (soja, gordura, algodão, entre outras) não significou redução ou aumento no rendimento do biodiesel produzido. Para a usina de Catanduva/SP também, conforme indicado, o uso de gordura animal como matéria-prima não altera significativamente o rendimento da planta.

analisados os subsistemas que contribuíram para a composição do perfil ambiental dos produtos.

5.3.1.1 Biodiesel de Soja via Rota Etílica

O perfil ambiental do biodiesel de óleo de soja produzido pela rota etílica é apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Perfil ambiental do Éster Etílico de Óleo de Soja.

Categorias de impacto	Unidade	Produção de grãos de soja	Extração de óleo de soja	Produção de etanol	Produção biodiesel de soja (rota etílica)	Total
MC	kg CO_2-eq/MJ	9,43E-02	8,84E-03	2,02E-03	3,95E-03	1,09E-01
Tox	kg 1,4 DB-eq/MJ	1,42E-02	3,55E-03	3,50E-04	7,22E-04	1,88E-02
Ac	kg SO_2-eq/MJ	1,54E-04	5,02E-05	5,37E-05	2,01E-05	2,78E-04
Eu	kg P-eq/MJ	8,78E-05	8,48E-06	2,20E-07	5,55E-07	9,71E-05
Oc	m^2a/MJ	9,75E-02	1,15E-04	4,86E-03	5,64E-05	1,03E-01
DCF	kg petróleo-eq/MJ	3,52E-03	8,68E-04	3,45E-04	1,44E-03	6,18E-03

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Já na Figura 5.5, é apresentada uma análise da contribuição de cada um dos subsistemas definidos neste estudo para a composição do perfil ambiental do biodiesel de óleo de soja pela rota etílica.

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 5.1 e na Figura 5.5, é possível observar que o subsistema de produção de grãos de soja é o subsistema que mais aporta carga ambiental ao éster etílico de óleo de soja. Pode-se dizer, de modo geral, que este subsistema contribui para pelo menos 55% de qualquer categoria de impacto analisada.

Vale lembrar que o estudo considerou a alocação de aspectos em base econômica na etapa de produção de grãos de soja, considerando que o óleo de soja é subproduto da extração que tem como objetivo principal a produção de farelo. A partir dos valores de mercado do óleo bruto e do farelo calculados pela cotação mensal média entre os anos de 2007 e 2010, de acordo com a bolsa de

Chicago (ABIOVE, 2011), os fatores de alocação estimados para óleo e farelo foram 38% e 62%, respectivamente.

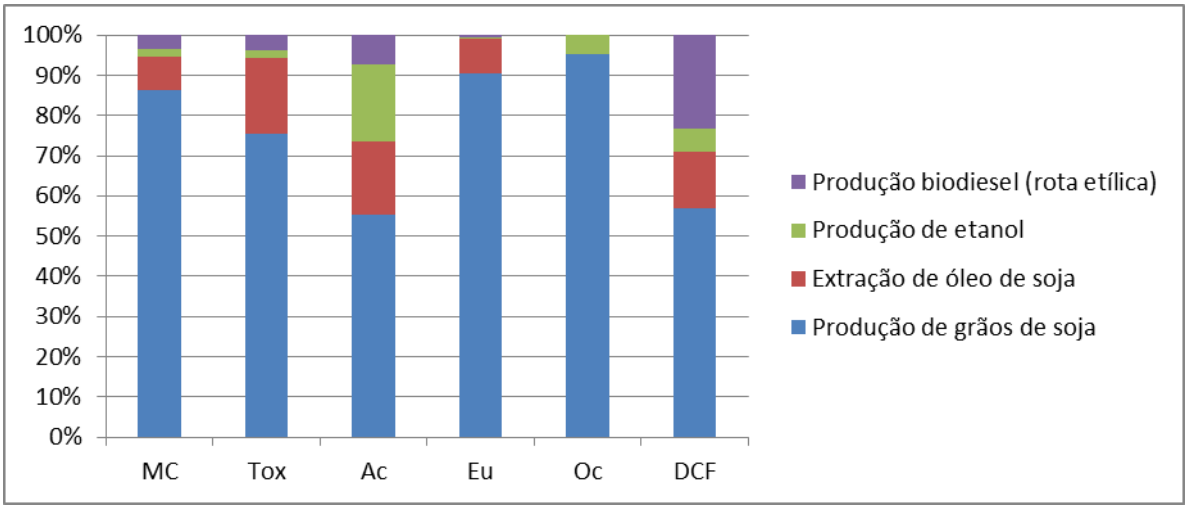


Figura 5.5. Contribuição dos subsistemas para a composição do perfil ambiental do Éster Etílico de Óleo de Soja.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

No que diz respeito à categoria MC, uma parcela significativa deste impacto é devida à emissão de gases de efeito estufa em decorrência da mudança no uso da terra para a produção (de grãos) de soja.

Quanto à categoria de impacto Tox, dois subsistemas merecem atenção. Por um lado, os defensivos agrícolas aplicados para aumentar o rendimento da produção de grãos de soja contribuem para que este subsistema concentre 75,5% de todo o potencial de toxicidade do produto. Entretanto, emissões do solvente hexano durante a extração do óleo de soja ajudam atingir um valor que representa 18,9% do resultado da categoria de Toxicidade.

Situação parecida foi observada no caso da categoria Ac: o indicador desta categoria foi influenciado, em parte, pelas emissões oriundas das máquinas para preparação do solo e aplicação de fertilizantes, e também pela emissão de óxidos de nitrogênio resultantes da combustão da biomassa (seja para a geração de vapor, ou na forma de queimadas das palhas de cana-de-açúcar).

Quanto à categoria de impacto Eu, o cultivo dos grãos novamente teve uma participação expressiva. Este subsistema é apontado como a origem de 90,4% de todo o impacto de Eutrofização. Neste caso, as principais substâncias contribuintes são os fertilizantes não assimilados pelas plantas e, por consequência, carreados para os corpos d'água.

Outra categoria de impacto, cujo impacto foi dominado pelas atividades agrícolas, foi a Oc. Para esta categoria, o cultivo dos grãos de soja e de cana-de-açúcar são os principais demandantes de áreas a serem ocupadas.

Finalmente, a última categoria analisada foi a DCF. O indicador desta categoria foi fortemente influenciado pelo diesel consumido pelas máquinas para a preparação do solo e, principalmente, pelos caminhões para transporte dos insumos até as unidades industriais.

5.3.1.2 Biodiesel de Soja via Rota Metílica

Na Tabela 5.2, é apresentado o perfil ambiental do biodiesel de óleo de soja produzido por meio da rota metílica.

Tabela 5.2. Perfil ambiental do Éster Metílico de Óleo de Soja.

Categorias de impacto	Unidade	Produção de grãos de soja	Extração de óleo de soja	Produção de metanol	Produção biodiesel de soja (rota metílica)	Total
MC	kg CO_2-eq/MJ	8,11E-02	1,79E-02	1,95E-03	6,58E-03	1,08E-01
Tox	kg 1,4 DB-eq/MJ	1,22E-02	4,83E-03	2,04E-04	2,69E-03	1,99E-02
Ac	kg SO_2-eq/MJ	1,32E-04	6,35E-05	3,01E-06	3,97E-05	2,38E-04
Eu	kg P-eq/MJ	7,55E-05	1,69E-05	2,31E-07	3,32E-06	9,60E-05
Oc	m^2a/MJ	8,39E-02	9,86E-03	6,95E-06	6,60E-04	9,44E-02
DCF	kg petróleo-eq/MJ	3,03E-03	1,19E-03	2,30E-03	2,37E-03	8,89E-03

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Adicionalmente, a Figura 5.6 apresenta a contribuição de cada subsistema para a composição do perfil ambiental do biodiesel metílico de óleo de soja.

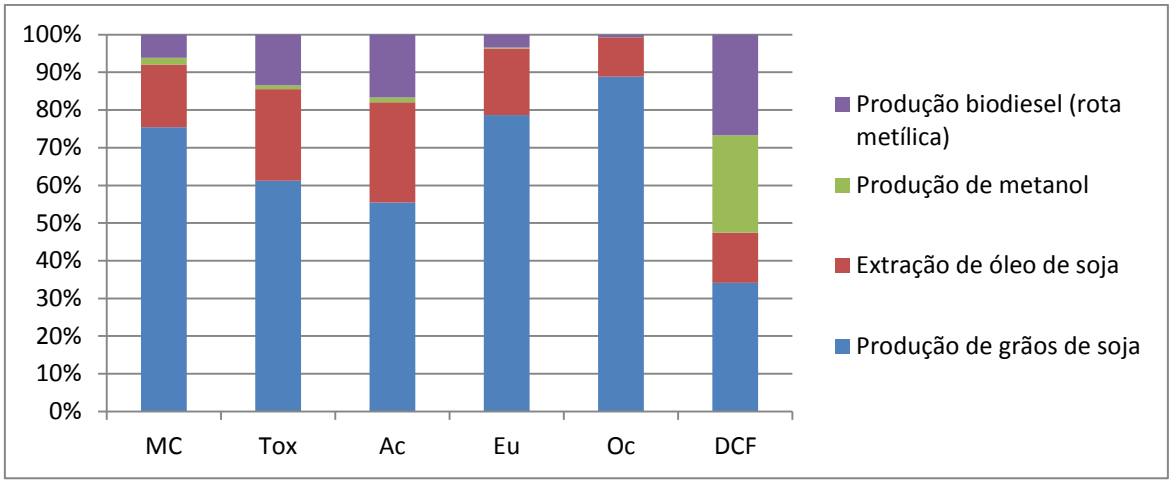


Figura 5.6. Contribuição dos subsistemas para a composição do perfil ambiental do Éster Metílico de Óleo de Soja.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Assim como foi observado no caso do biodiesel etílico de óleo de soja, ao analisarmos a Tabela 5.2 e a Figura 5.6, conclui-se que a alteração para a rota metílica não mudou o fato de que o subsistema de produção dos grãos de soja continua sendo o principal contribuinte em termos de impactos ambientais. No caso da categoria de impacto MC, a produção dos grãos de soja (em função, principalmente, dos gases de efeito estudo devidos à mudança do uso da terra desencadeada pela expansão da fronteira agrícola) foi responsável por 75,4% do resultado do indicador desta categoria. Já a segunda maior contribuição para esta categoria de impacto foi o CO_2 emitido em decorrência da queima de biomassa para geração de vapor na unidade extratora de óleo.

No que diz respeito à categoria Tox, o uso de defensivos teve grande contribuição para a composição do resultado final do indicador desta categoria de impacto. Ainda, o uso do solvente hexano na unidade extratora de óleo, bem como a queima da biomassa para a geração de vapor, contribuíram com cerca de 24% para o resultado desta categoria.

Quanto à Ac, 55,4% do resultado final desta categoria está relacionado às emissões decorrentes da aplicação de fertilizantes e uso de máquinas durante o cultivo dos grãos de soja. Os óxidos de nitrogênio e de enxofre resultantes da queima da biomassa para geração de vapor também tiveram contribuição importante para o indicador desta categoria. Neste caso, 26,7% do resultado final está associado ao subsistema de extração de óleo, enquanto 16,3% referem-se ao subsistema de produção do biodiesel.

A categoria de impacto Eu foi influenciada, principalmente, pelas emissões de fósforo excedente não assimilado durante o cultivo dos grãos de soja, e também da biomassa usada como fonte de energia na unidade extratora de óleo. Deve-se salientar que contribuições adicionais também foram devidas à fabricação dos insumos consumidos nos diferentes subsistemas considerados neste estudo.

Com relação à Oc, diferentemente do caso em que o biodiesel foi produzido pela rota etílica, a contribuição mais expressiva em termos de áreas ocupadas restringiu-se ao subsistema de produção de grãos de soja. Este sistema responde por 88,9% do resultado do indicador desta categoria de impacto.

Por fim, observa-se que as contribuições para a composição do resultado da categoria DCF foram mais equilibradas. Isto porque todos os subsistemas considerados envolvem o consumo (e, por decorrência, o transporte) de grande quantidade de insumos. No entanto, destaca-se a participação da produção do metanol, sendo este produzido essencialmente de gás natural na Venezuela.

O item 5.3.3 apresenta o estudo realizado dos critérios de alocação para o biodiesel metílico de soja produzido no Brasil.

5.3.1.3 Biodiesel de Gordura Bovina via Rota Etílica

A Tabela 5.3 apresenta o perfil ambiental do biodiesel de gordura bovina produzido via rota etílica.

Foi realizada análise das principais contribuições de cada subsistema considerado neste estudo para a composição dos resultados dos indicadores de categoria de impacto ambiental. A análise foi baseada nas informações apresentadas na Figura 5.7.

Tabela 5.3. Perfil Ambiental de Éster Etílico de Gordura Bovina.

Categorias de impacto	Unidade	Criação de bovinos	Abate e processamento de bovinos	Produção de etanol	Produção biodiesel de gordura bovina (rota etílica)	Total
MC	kg CO_2-eq/MJ	2,75E-01	3,28E-02	1,81E-03	3,79E-02	3,48E-01
Tox	kg 1,4 DB-eq/MJ	1,51E-02	2,13E-03	3,13E-04	2,52E-03	2,01E-02
Ac	kg SO_2-eq/MJ	3,12E-04	4,14E-05	4,81E-05	5,66E-05	4,58E-04
Eu	kg P-eq/MJ	2,05E-05	3,47E-06	1,97E-07	3,16E-06	2,73E-05
Oc	m^2a/MJ	2,54E-01	2,95E-02	4,36E-03	3,35E-02	3,21E-01
DCF	kg petróleo-eq/MJ	1,46E-02	1,94E-03	3,09E-04	2,61E-03	1,95E-02

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

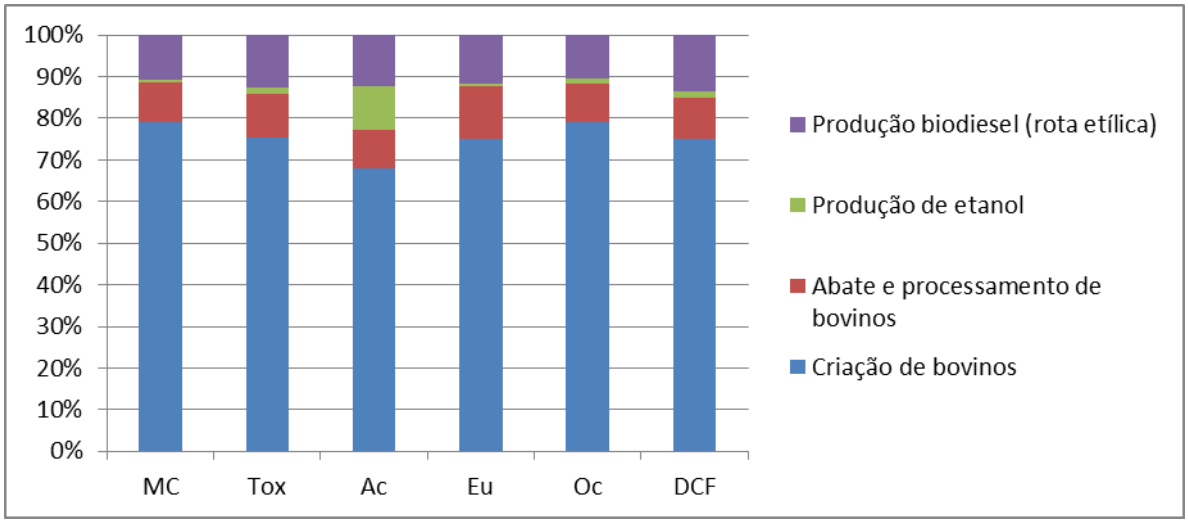


Figura 5.7. Contribuição dos subsistemas para a composição do perfil ambiental do Éster Etílico de Gordura Bovina.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Seguindo a mesma tendência observada no caso das alternativas de biodiesel produzidas a partir de óleo de soja, analisando-se a Tabela 5.3 e a Figura 5.7, é possível constatar que o subsistema de criação de bovinos (ponto de partida para a obtenção da matéria-prima graxa) é o principal contribuinte para a carga ambiental do biodiesel produzido a partir de gordura animal e etanol. Nota-se que a participação deste subsistema foi superior a 68% para qualquer das categorias analisadas.

No caso da categoria de impacto MC, o subsistema de criação de bovinos foi responsável por 79% do valor total do indicador final da categoria. Neste caso, o metano e o óxido nitroso resultantes da pecuária são as principais substâncias que

contribuíram para o resultado. Já o valor restante é associado, principalmente, à queima de biomassa para a produção de vapor nos abatedouros e na unidade de transesterificação.

Da mesma forma, a criação de bovinos também é a principal atividade em termos de contribuição para a categoria Tox, respondendo por 75,1% do total associado ao biodiesel. Entretanto, trata-se de uma carga ambiental indireta, pois se deve à produção e, principalmente, transporte dos insumos consumidos na pecuária.

Já no caso da categoria de impacto Ac, a queima de combustíveis para a movimentação de maquinário, e o transporte dos insumos utilizados para a criação dos bovinos também tem grande influência sobre os resultados. No total, este subsistema é responsável por 68,1% do impacto associado a esta categoria. Adicionalmente, a queima de biomassa (para geração de vapor ou para colheita da cana-de-açúcar) também tem grande contribuição para o impacto total da Acidificação.

Comportamento semelhante também é observado no caso da categoria de impacto Eu. Neste caso, a produção dos insumos consumidos na atividade da pecuária é responsável por 75,1% do impacto estimado, ao passo que os insumos para a unidade de transesterificação respondem por 11,6% do impacto. Exceção é feita no caso do subsistema de abate e processamento da carne, cujos produtos do sistema de tratamento de efluentes contribuem com 12,7% da carga ambiental.

Por outro lado, a categoria de impacto Oc é influenciada, basicamente, pela área necessária para a prática da pecuária em regime extensivo. Este aspecto responde por cerca de 79% de toda a área ocupada no ciclo de vida do biodiesel.

Finalmente, apesar da grande demanda por transporte de insumos em todos os subsistemas analisados, o consumo de gás natural para a produção de uréia (usada como fertilizante), bem como o consumo de combustíveis para o transporte dos fertilizantes (principalmente, o calcário) foram responsáveis por cerca de 75% de toda a carga associada a esta categoria de impacto.

5.3.1.4 Biodiesel de Gordura Bovina via Rota Metílica

Por fim, o perfil ambiental do biodiesel produzido a partir de gordura bovina via rota metílica é apresentado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4. Perfil ambiental do Éster Metílico de Gordura Bovina.

Categorias de impacto	Unidade	Criação de bovinos	Abate e processamento de bovinos	Produção de metanol	Produção biodiesel de gordura bovina (rota metílica)	Total
MC	kg CO_2-eq/MJ	2,75E-01	3,28E-02	2,21E-03	2,61E-02	3,36E-01
Tox	kg 1,4 DB-eq/MJ	1,51E-02	2,13E-03	2,32E-04	3,61E-03	2,11E-02
Ac	kg SO_2-eq/MJ	3,12E-04	4,14E-05	3,42E-06	5,35E-05	4,10E-04
Eu	kg P-eq/MJ	2,05E-05	3,47E-06	2,63E-07	4,76E-06	2,90E-05
Oc	m^2a/MJ	2,54E-01	2,95E-02	7,90E-06	2,10E-02	3,04E-01
DCF	kg petróleo-eq/MJ	1,46E-02	1,94E-03	2,61E-03	2,38E-03	2,15E-02

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Ainda, com base nas informações apresentadas na Figura 5.8, foi feita uma análise das principais contribuições de cada subsistema contemplado neste estudo para a composição do perfil ambiental do biodiesel metílico de gordura bovina.

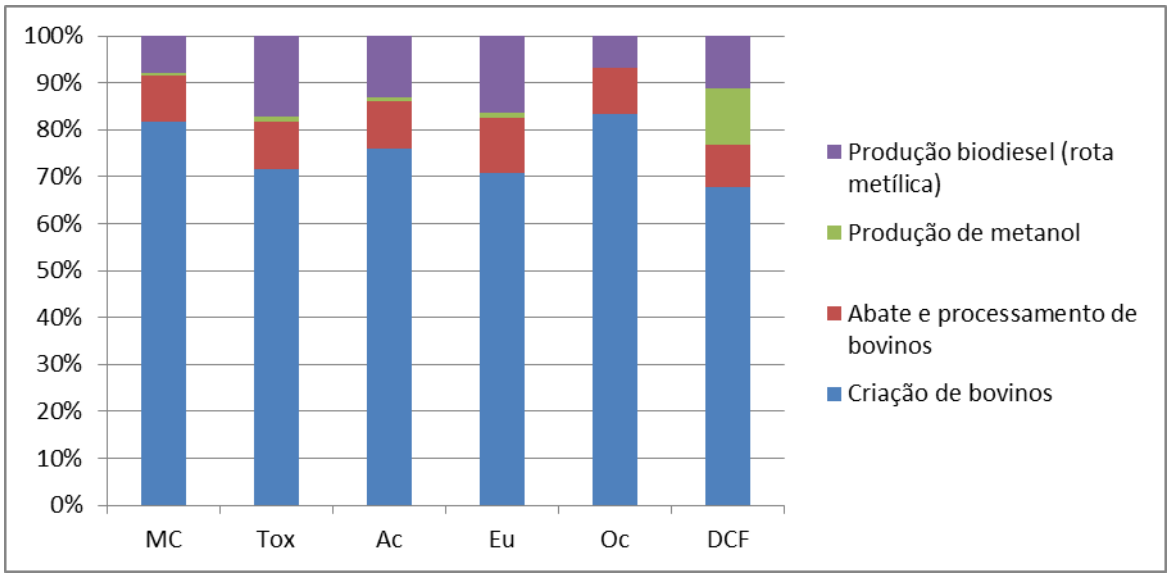


Figura 5.8. Contribuição dos subsistemas para a composição do perfil ambiental do Éster Metílico de Gordura Bovina.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Assim como foi observado para as demais alternativas de biodiesel citadas neste capítulo, analisando-se a Tabela 5.4 e a Figura 5.8, foi possível notar que o subsistema de criação de bovinos é o principal responsável pelos impactos ambientais ao longo do ciclo de vida o biodiesel em questão.

No que diz respeito à categoria MC, as emissões de metano e de óxido nitroso resultantes da pecuária são as principais contribuintes para o impacto observado. Estas emissões, somadas àquelas devidas à produção e transporte de insumos respondem por 81,8% da quantidade total de CO_2-equivalentes emitidos no ciclo de vida do biodiesel.

Adicionalmente, analisando-se as contribuições para a categoria de impacto Tox, foi possível observar que se trata de emissões indiretas, referentes à produção e transporte dos insumos até cada subsistema indicado. Mesmo assim, deve-se destacar que as emissões relativas aos insumos utilizados para a criação dos bovinos contribuem com 71,6% em relação ao impacto total.

Quanto à categoria de impacto Ac, as observações são similares àquelas citadas no caso da Toxicidade. Os óxidos de nitrogênio e de enxofre emitidos durante a fabricação e, principalmente, o transporte dos insumos para a pecuária são responsáveis por 76,1% de todo o impacto desta categoria. Ainda, a queima de biomassa para a produção de vapor também contribuiu com cerca de 10%, no caso do abatedouro, e 13%, no caso da transesterificação.

Deve-se considerar, ainda, o impacto de Eu, o qual também é dominado pelos impactos indiretos da produção e transporte de insumos. Neste caso, exceção é feita ao subsistema de abate e processamento de bovinos, responsável por 12% dos impactos desta categoria, e cuja contribuição para este impacto se deve aos produtos do sistema de tratamento de efluentes do abatedouro.

Já no que se refere à Oc, ao substituirmos a rota etílica pela metílica, a contribuição do subsistema de criação de bovinos fica ainda mais destacada, correspondendo a 83,6% da área ocupada ao longo do ciclo de vida do biodiesel em questão.

Finalmente, a última categoria de impacto analisada foi a DCF. Trata-se de um impacto para o qual a produção e o transporte dos insumos consumidos na atividade pecuária tiveram uma contribuição relevante, com aproximadamente 68% do resultado final do indicador desta categoria de impacto. Com isso, os demais subsistemas juntos (incluindo a produção do metanol na Venezuela, a partir de gás

natural) foram responsáveis pelos 32% restantes da carga ambiental associada a esta categoria.

5.3.1.5 Comparação do Desempenho Ambiental dos Tipos de Biodiesel

Cada tipo de biodiesel foi analisado isoladamente, com o objetivo de investigar quais eram os subsistemas que mais contribuíram para o resultado do perfil ambiental de cada combustível. Uma vez que estas análises foram realizadas, o próximo passo estabelecido para o desenvolvimento do estudo foi a comparação do desempenho ambiental das alternativas.

Para tanto, foi mantida a mesma base de cálculo já citada anteriormente, qual seja: a Unidade Funcional de 1 MJ de biodiesel[28.]

Inicialmente, a comparação de todas as categorias de impacto ambiental definidas para este estudo será apresentada simultaneamente. Neste caso, os resultados têm como base a Figura 5.9.

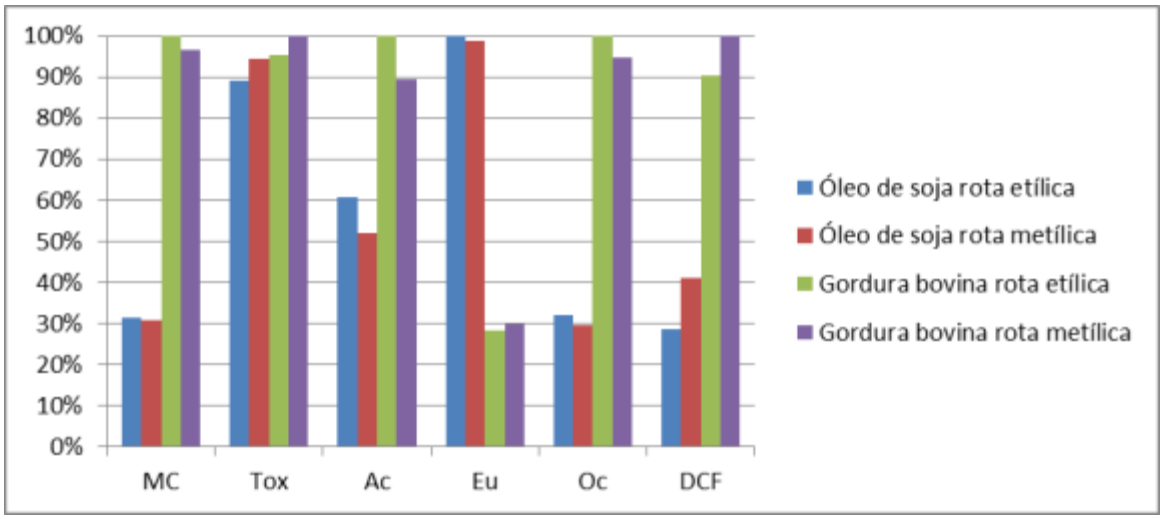


Figura 5.9. Comparação dos indicadores de categoria de impacto para cada tipo de biodiesel. Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Conforme pode ser observado na Figura 5.9, para esta comparação, os resultados dos indicadores de cada categoria de impacto foram normalizados entre

[28] Vale recordar que as análises tiveram como fluxo de referência a quantidade de 0,0265 kg de biodiesel produzido.

si. Ou seja, atribuiu-se o valor de 100% ao maior valor dentro de uma mesma categoria, de modo que o resultado das outras três alternativas de biodiesel restantes fosse apresentado proporcionalmente.

Um fato que chama a atenção ao analisarmos a Figura 5.9 é a assimetria existente entre os resultados de uma mesma categoria de impacto, na maioria dos casos. Para 5 dos 6 impactos analisados, nota-se uma diferença expressiva em decorrência da matéria-prima considerada.

A única exceção, porém, é o comportamento dos resultados da categoria Tox. Neste caso, observou-se que a diferença entre o maior e o menor valor do indicador de cada tipo de biodiesel foi de apenas 11%.

Entretanto, apesar de se tratar de uma diferença expressiva visualmente, podia se considerar que o resultado fosse esperado. Isto porque no detalhamento do item 5.3.1, era evidente que as etapas iniciais do ciclo de vida das alternativas de biodiesel (seja o cultivo dos grãos de soja ou a atividade pecuária) tinham um papel preponderante para a determinação dos resultados, ou seja, foi observado que entre as rotas não houve grande diferença em relação a contribuição para as categorias de impacto, no entanto quando se comparou as matérias-primas analisadas foram obtidas diferenças significativas entre elas.

Mais detalhes sobre os resultados de cada categoria de impacto, referentes a cada um dos tipos de biodiesel considerados neste estudo, são discutidos a seguir.

5.3.1.5.1 Mudanças Climáticas (MC)

Apesar dos resultados (do subsistema de cultivo dos grãos de soja) contemplarem as emissões de gases de efeito estufa decorrentes da mudança do uso da terra, o estudo concluiu que as emissões associadas à pecuária são cerca de três vezes maiores do que o cultivo de soja.

Esta observação reforça a necessidade de se melhorar a eficiência da pecuária no Brasil, o que terá efeito direto sobre toda a cadeia de valores em que esta atividade está inserida.

5.3.1.5.2 Toxicidade (Tox)

Conforme citado anteriormente, esta foi a única categoria de impacto para a qual os resultados não apresentaram uma variação muito grande. Entretanto, a composição dos indicadores ocorre de maneira particular, de acordo com o tipo de matéria-prima considerada.

Enquanto nos casos em que há utilização de gordura bovina as principais contribuições sejam devidas à produção e transporte dos insumos, nas situações em que há o uso de grãos de soja, é importante a contribuição decorrente do uso dos defensivos.

5.3.1.5.3 Acidificação (Ac)

Inicialmente, vale a pena lembrar que esta categoria é influenciada, basicamente, pelas emissões de NOx e SOx que ocorrem ao longo do ciclo de vida do produto em questão.

Neste caso, pode-se dizer que as principais atividades que contribuem para o impacto de acidificação são: o transporte de insumos (característico das atividades de cultivo da soja e criação dos bovinos) e a queima de biomassa para a geração de vapor.

Também há a contribuição da produção de etanol. Para este insumo, a prática da queima da palha da cana-de-açúcar é apontada como uma importante fonte de NOx e SOx e, por consequência, grande responsável pelo impacto de acidificação, que começou a ser eliminada por lei estadual em São Paulo em 2002 (COELHO &GUARDABASSI, 2014) e que na safra 2008/2009 ainda representava apenas 50% da cana moída no estado[29].

[29] Considerando a data do estudo e das referencias usadas para a ACV do etanol.

5.3.1.5.4 Eutrofização (Eu)

Com relação aos resultados obtidos para a eutrofização, essa é a única categoria de impacto na qual os valores do óleo de soja foram superiores aos valores do da gordura bovina. Essa contribuição elevada foi obtida por conta do cultivo de soja e se deve ao excesso de fertilizantes não assimilados pelas plantas, e que acabam por ser depositados inicialmente no solo, e posteriormente carreados.

Os subsistemas de extração de óleo e abate bovino também contribuem para esta categoria de impacto devido, principalmente, aos valores estabelecidos para a alocação dos produtos. Ainda assim, no geral essa contribuição se dá por conta do cultivo de biomassa para geração de energia e disposição de rejeitos em aterros.

5.3.1.5.5 Ocupação do Solo (Oc)

A partir do resultado é possível identificar que a ocupação do solo se deve basicamente ao cultivo da soja e a criação de bovinos, podendo ser explicada a diferença significativa entre os valores absolutos dessas matérias-primas, principalmente por conta do sistema de criação bovina ser extensivo, o qual demanda uma grande quantidade de terras.

Em sequência aos resultados, apesar de no mínimo 80% da contribuição dos resultados serem por conta das matérias-primas (cultivo de soja e criação bovina) há também a participação na ocupação de terra da cultura de cana-de-açúcar para a produção de etanol utilizado na rota etílica.

Além disso, na rota metílica é há a contribuição das etapas de extração de óleo e abate bovino nos resultados por conta das matérias-primas para geração de energia, sendo essas essencialmente a partir da biomassa. Este fato torna-se representativo também para a etapa de produção de biodiesel pela rota metílica, uma vez que para o processo modelado há o consumo de bagaço de cana-de-açúcar como biomassa na geração de energia, fazendo com que as cargas do cultivo da cana sejam alocadas para essa categoria de impacto.

Para a gordura animal como matéria-prima os valores absolutos são maiores nas etapas de abate e produção de biodiesel, uma vez que essa matéria demanda uma quantidade maior de energia para ser processada.

5.3.1.5.6 Depleção de Combustíveis Fósseis (DCF)

A partir dos resultados obtidos foi possível observar a diferença dos valores absolutos entre as matérias-primas (óleo de soja e gordura), havendo uma significativa contribuição (cerca de 70%) do subsistema de criação bovina, principalmente devido ao transporte dos insumos até a fazenda, com destaque para o calcário.

É possível observar também diferenças quanto às rotas. Apesar de haver o consumo de diesel para as atividades de cultivo e colheita de cana-de-açúcar na produção de cana, o metanol é produzido a partir do gás natural na Venezuela (transportado para o Brasil por cerca de 7.000 km).

5.3.2 Análise de Sensibilidade

A partir da análise dos resultados obtidos para o cenário de referência modelado foram identificadas assimetrias entre os resultados, o que está principalmente vinculada com a carga ambiental das matérias-primas consideradas para esse estudo. Com isso, buscou-se realizar uma análise de sensibilidade em dois principais pontos, uma vez que, estes são influenciados por incertezas nos dados ou por premissas adotadas no estudo.

Dessa forma, os dois principais pontos de incerteza da modelagem foram as emissões de CO_2, provenientes da mudança de ocupação do solo e desconsideração das cargas ambientais provenientes do processo de criação e abate bovino, uma vez que alguns autores indicam que, como a criação de animais não objetiva a produção de gordura, mas sim de carne e outros produtos com maior peso comercial, esta matéria-prima deveria entrar no sistema, sem a alocação de

aspectos ambientais (NIEDERL & NARODOSLAWSKY, 2004; BRANDER et. al., 2009; JORGENSEN et. al., 2012). Esses pontos serão detalhados a seguir.

5.3.2.1 Desconsideração da Mudança de Ocupação do Solo

Uma vez que o modelo adotado para a estimativa das emissões de CO_2 (Anexo F - item F.1.3.1) apresenta um elevado grau de incerteza, para o modelo apresentado a seguir foi zerado esse aspecto ambiental na produção de grãos de soja. Como este fator só influencia a categoria de mudanças climáticas, na Figura 5.10 são apresentados os valores absolutos obtidos. Todas as outras categorias se mantiveram iguais.

De acordo com o resultado da exclusão do fator de mudança da ocupação do solo é possível observar a significativa redução da contribuição do cultivo de soja para a categoria de mudanças climáticas. No cenário sem MUT as cargas totais do biodiesel tanto pela rota metílica quanto pela rota etílica representam cerca de 30% do potencial de impacto do cenário de referência.

Na Figura 5.11, é indicada a comparação entre a matéria-prima óleo de soja com a gordura bovina, porém desconsiderando as MUT. Neste caso, a contribuição para as mudanças climáticas relacionadas ao óleo de soja, corresponde a aproximadamente 10% da carga proveniente da gordura bovina.

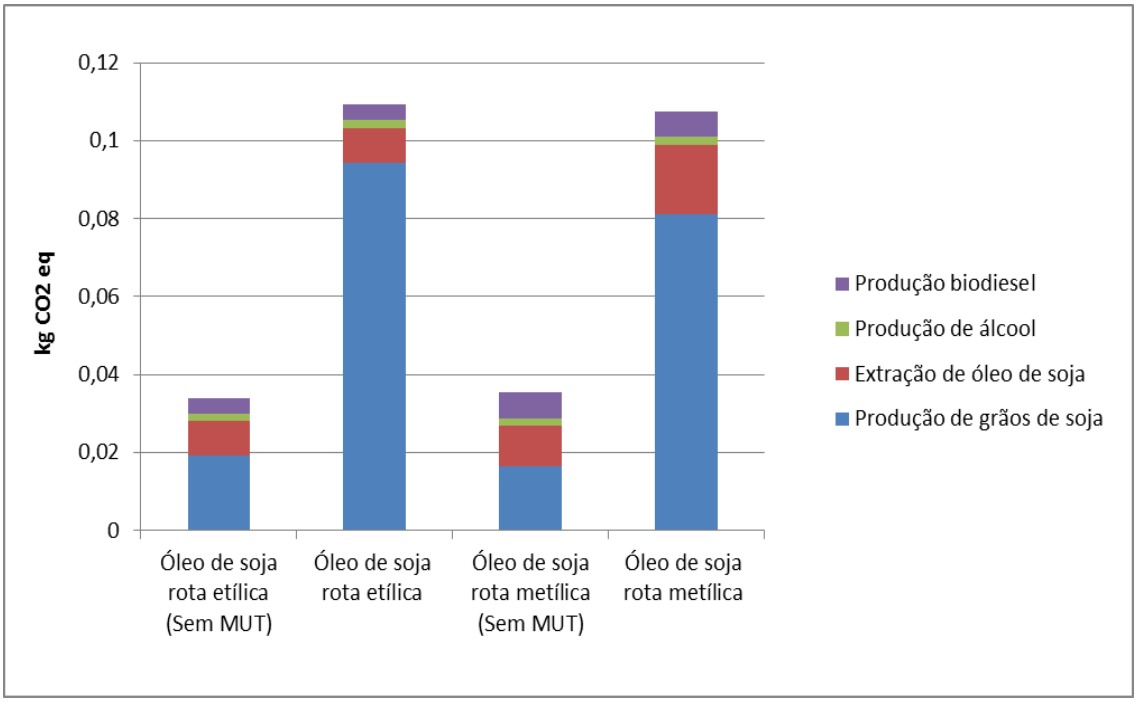


Figura 5.10. Resultados finais dos indicadores da categoria de Mudanças Climáticas para produção de biodiesel de óleo de soja, sem MUT no cultivo de grãos.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

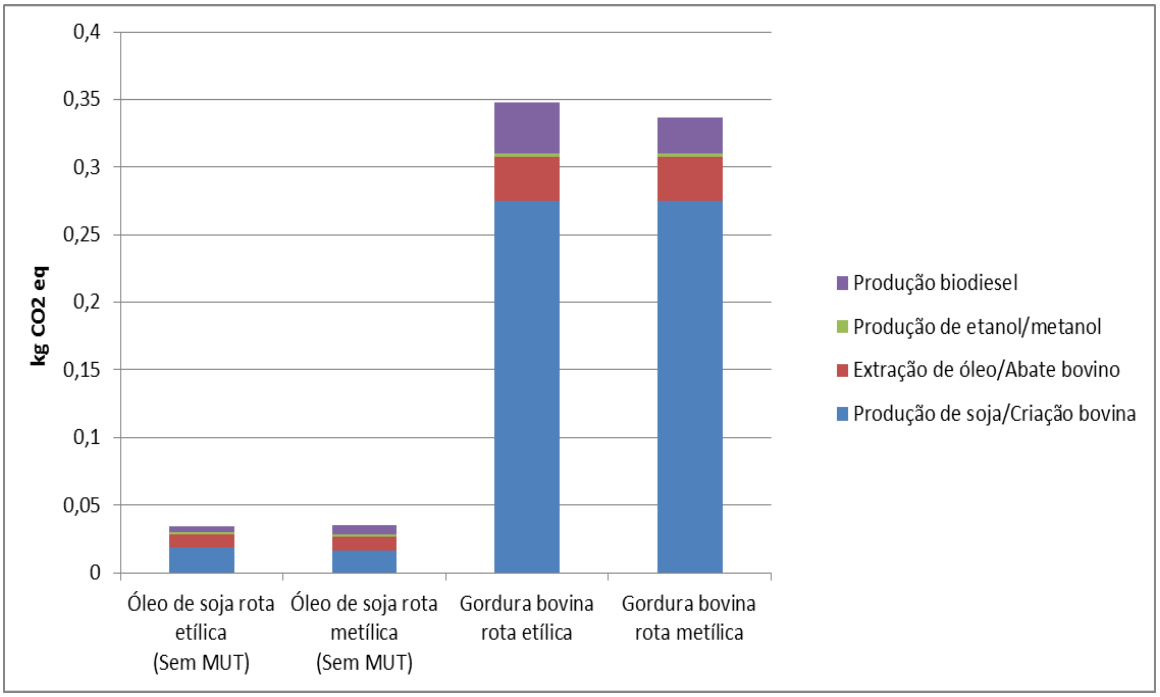


Figura 5.11. Resultados finais dos indicadores da categoria de Mudanças Climáticas para cada alternativa de biodiesel estudada, sem MUT no cultivo de grãos de soja.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

5.3.2.2 Análise *cut off* da Gordura Animal

Conforme já mencionado no item 5.1, a maioria dos estudos que detalham o ciclo de vida de bovinos possuem outros objetivos, do que relacionar essas análises com a produção de gordura animal para produção de biodiesel.

A partir disso, é defendida a tese que, a gordura animal só possui função e mercado, uma vez que há a produção bovina para outros fins com apelo econômico. Assim, como a gordura é um coproduto do abatedouro, alguns estudos de ACV indicam que não deveria ser atribuída cargas de impacto ambiental da criação bovina e da etapa de abate para esse material. Com isso, nesse item serão indicados os resultados e comparações caso seja excluído o ICV do subsistema "Criação bovina" e "Abate e processamento de bovinos". Com essa premissa essa análise é denominada análise *cut off* da gordura animal.

Na Figura 5.12, é apresentada uma análise da contribuição dos dois subsistemas considerados na análise *cut off* da gordura bovina para a produção do biodiesel pela rota etílica.

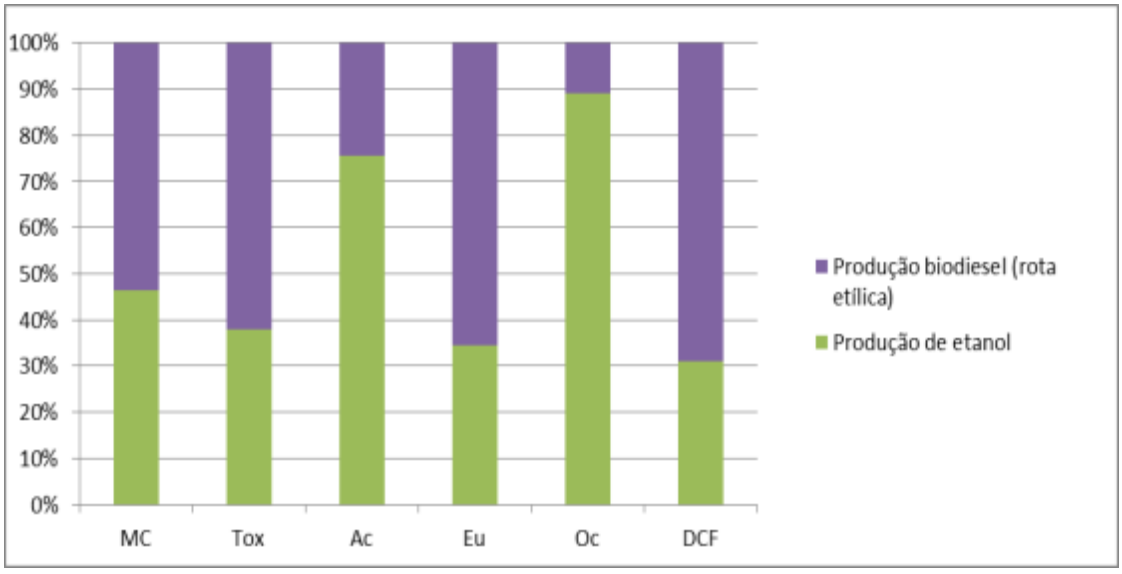


Figura 5.12. Contribuição dos subsistemas para a composição do perfil ambiental do Éster Etílico de Gordura Bovina, cenário *cut off*.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

De acordo com os resultados acima é possível observar que a etapa de produção de biodiesel possui maior contribuição de impactos em quatro das seis

categorias analisadas, principalmente por conta dos transportes e geração de energia. As categorias de acidificação e ocupação de terra tiveram maior contribuição para o subsistema de produção de etanol por conta do cultivo da cana-de-açúcar.

Na Figura 5.13, é apresentada uma análise da contribuição dos subsistemas da análise *cut off* da gordura bovina para a produção do biodiesel pela rota metílica.

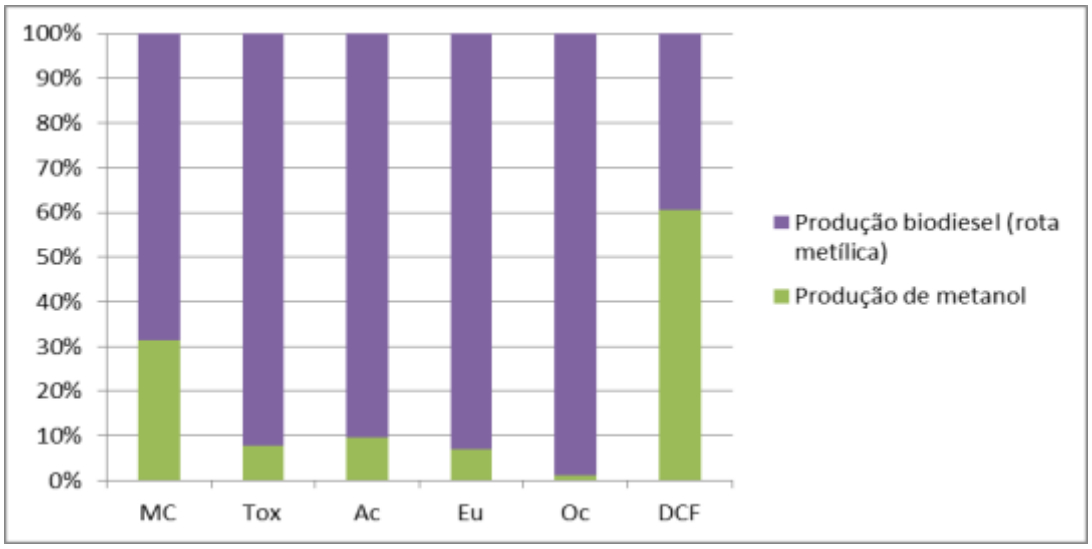


Figura 5.13. Contribuição dos subsistemas para a composição do perfil ambiental do Éster Metílico de Gordura Bovina, cenário *cut off*.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

A partir dos resultados observa-se que o subsistema de produção do metanol foi significativo apenas na categoria DCF, com 60% de contribuição, sendo que nas outras categorias a produção de biodiesel pela rota metílica se manteve predominante, com destaque principalmente na geração de energia a partir de biomassa e transportes.

Na Figura 5.14 é possível observar a comparação realizada entre a produção de biodiesel por gordura bovina no cenário de referência e a modelagem *cut off*.

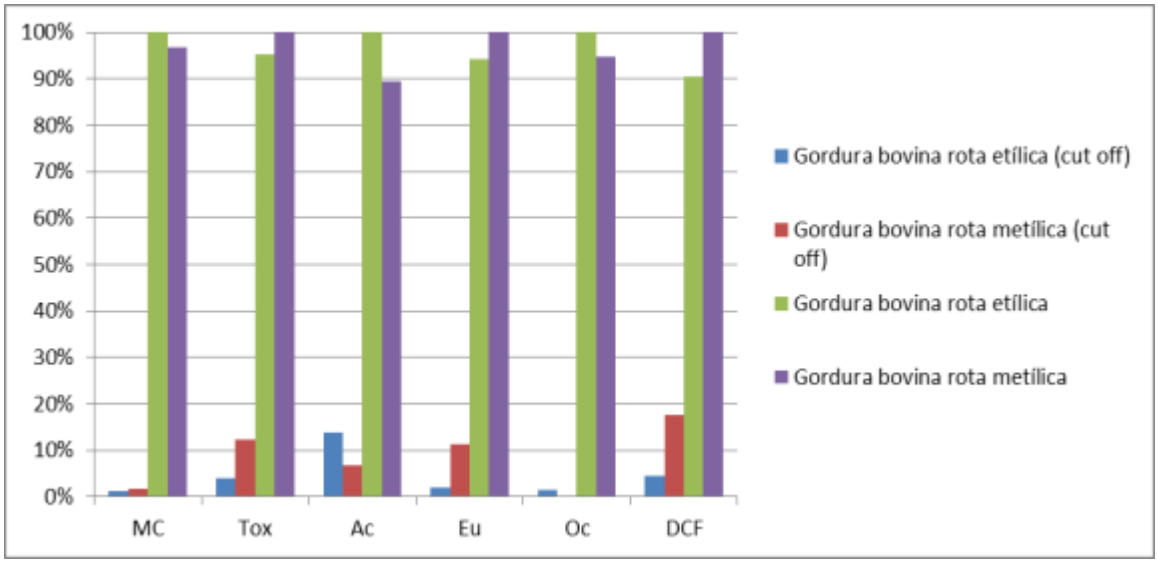


Figura 5.14. Comparação dos indicadores de categoria de impacto para produção de biodiesel de gordura bovina, cenário de referência e *cut off*.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Conforme já discutido anteriormente, a criação e o abate e processamento de bovinos possuem extrema contribuição para as cargas ambientais em todas as categorias de impactos analisadas, tanto que na comparação, o cenário *cut off* mais impactante para a categoria DCF não representa nem 20% do cenário de referência.

Na Figura 5.15, foi elaborada a comparação entre o cenário de referência a partir do óleo de soja com o cenário de gordura bovina *cut off*.

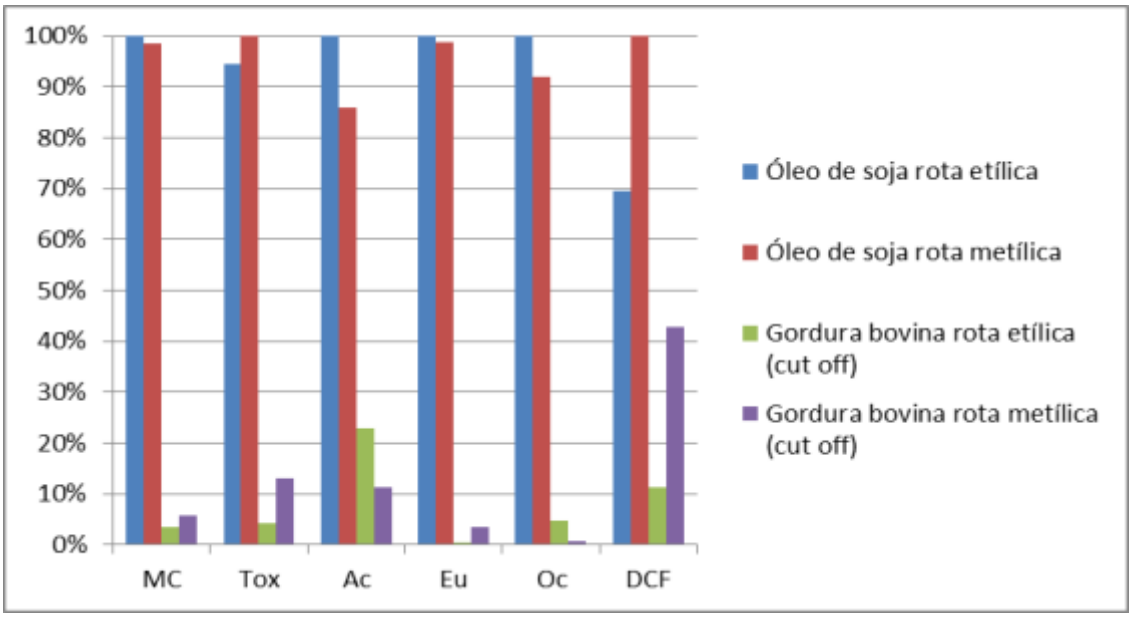


Figura 5.15. Comparação dos indicadores de categoria de impacto para cada tipo de biodiesel.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Neste caso também é observado que ao não ser considera a carga ambiental da criação e abate de bovinos, o biodiesel a partir de gordura animal apresenta uma contribuição substancialmente maior.

5.3.3 Fatores de Alocação – Biodiesel Metílico de Soja Produzido no Brasil

Ainda no estudo analisado, foi realizado um levantamento dos GEE's emitidos ao longo do ciclo de vida do biodiesel produzido a partir de soja proveniente dos principais estados produtores do Brasil (Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás).

Consideraram-se neste estudo as seguintes fases de ciclo de vida do biodiesel de soja: AUS, cultivo, extração do óleo, produção de biodiesel e transporte de insumos e produtos.

Foram considerados, ainda, diferentes cenários de AUS, de acordo com as estatísticas históricas, referentes à expansão de área cultivada. A modelagem e o inventário de ciclo de vida da extração do óleo e produção de biodiesel foram realizados com base em dados específicos levantados junto à usina de biodiesel localizada em Lins/SP, parceira do projeto. Com relação ao tratamento da multifuncionalidade, foram analisados diferentes métodos de contabilização dos coprodutos (alocação energética, mássica e econômica).

No entanto, devido a incerteza de alguns dados relacionados a geração de energia e distância para transporte de insumos, foram mantido os valores médios apresentados nos inventários dos Anexos F e G.

Diante da multifuncionalidade da cadeia produtiva do biodiesel de soja, alguns coprodutos são produzidos, tais como: óleo e farelo (processo de extração); e glicerina e biodiesel (processo de transesterificação). Para isso, neste estudo foram admitidos fatores de alocação, baseado em critérios mássicos (dados do ICV), econômicos (em referencia aos valores de ABIOVE, 2011) e energéticos (COMISSAO EUROPEIA, 2009), conforme Tabela 5.5.

Tabela 5.5. Fatores de alocação – biodiesel de soja via rota metílica

		Fatores de Alocação		
Processo	**Produtos**	**MÁSSICA**	**ENERGÉTICA**	**ECONÔMICA**
Extração	Farelo de soja	87%	75%	60%
	Óleo de soja	13%	25%	40%
Transesterificação	Biodiesel	89%	95%	99%
	Glicerina	11%	5%	1%

Fonte: GRISOLI, et. al., 2012.

A partir da elaboração do inventário dos processos analisados, relacionado à unidade funcional de 1 MJ de biodiesel produzido, na Figura 5.16 podem ser observados os resultados referentes a emissão de GEE, por estado e por critério de alocação.

De acordo com a Figura 5.16, é possível observar as diferenças de emissões entre os estados do Centro-Oeste e da região Sul do país. O estado do MT é o que apresenta maior emissão absoluta de GEE, seguido pelo estado de GO, independente do critério de alocação utilizado.

Observa-se a maior contribuição das emissões de GEE relacionadas às AUS. O estado mais representativo é o MT, no qual essas emissões de AUS situam-se entre 64-74% das emissões totais, dependendo do critério de alocação considerados.

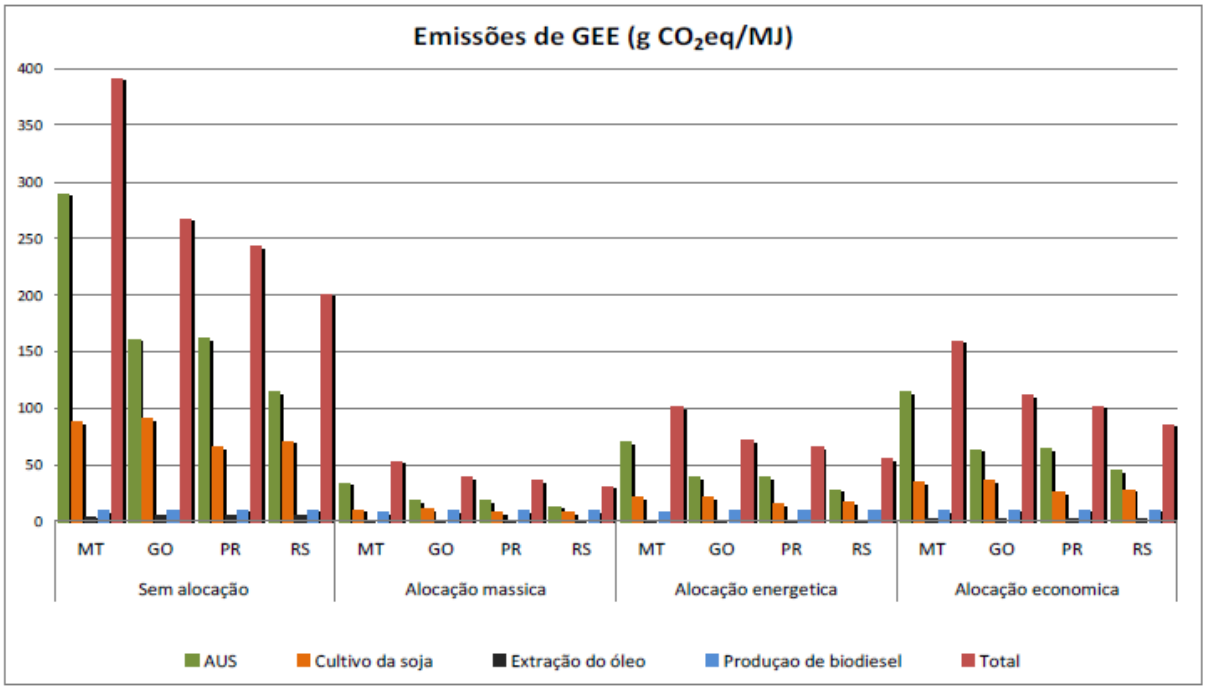


Figura 5.16. Emissões de GEE na produção de biodiesel de soja no Brasil.
Fonte: GRISOLI, et. al., 2012.

Em segundo lugar aparece o estado do PR, no qual essas emissões variam de 52-67%, referentes às emissões totais na produção de biodiesel de soja no estado. Os menores resultados foram observados no estado do RS, no qual a contribuição de AUS pode representar de 43-57%.

Posterior à AUS, o fator que mais contribui para os GEE é o cultivo da soja. Para esta etapa não foram observadas diferenças muito significativas entre os estados; no entanto os maiores valores foram referentes ao cultivo no estado de Goiás (27%- 34% das emissões totais), e os menores no estado do MT (19-22%). Este fato pode ser explicado, pelas práticas agrícolas específicas de cada região. De acordo com os dados dos inventários realizados houve um maior consumo de fertilizantes para o estado de GO, em comparação com os outros estados.

A etapa com menor contribuição para as emissões de GEE em toda cadeia é a extração de óleo, onde os valores variam de 1% a 3%, em todos os estados e critérios de alocação. Com relação a etapa de produção de biodiesel, a contribuição não é muito significativa, sendo o RS o estado com maior participação.

Estes resultados obtidos no estudo comparativo da ACV de biodiesel produzido a partir de óleo de soja e gordura bovina via rota metílica e etílica, e analisados nesta seção, são importantes para a discussão das barreiras e das propostas de políticas a seguir apresentadas nesta tese.

6. BARREIRAS E PROPOSTAS DE POLÍTICAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL SUSTENTÁVEL NO PAÍS

6.1 Introdução

Por volta dos anos 90, os governos do mundo inteiro começaram a voltar a atenção à sustentabilidade ambiental e social, estabelecendo políticas públicas para tentar disciplinar a relação entre sociedades, economias e meio ambiente. Metas de redução de emissões, bem como agendas de comprometimento de melhorias sociais e ambientais começaram a ser criadas (MATOS, 2011).

Uma das primeiras medidas foi o protocolo de Montreal, um tratado internacional em que os países signatários comprometeram-se a eliminar/substituir gases que destroem a camada de ozônio. Outra medida foi o Protocolo de Kyoto, no qual parte dos países membros da Convenção (39 países industrializados, listados no Anexo I do Protocolo) se comprometeu a reduzir ou limitar as emissões futuras dos gases efeito estufa.

Como agendas de comprometimentos pode-se citar a Agenda 21, que foi um dos principais resultados da CNUMAD, realizada no Rio de Janeiro em 1992, também denominada de Rio 92 ou Eco 92.

A Agenda 21 Global foi acordada e assinada por 179 países que participaram da Rio 92. O documento, composto por 40 capítulos, pode ser definido como um importante instrumento de planejamento no âmbito global, nacional e local para o desenvolvimento sustentável que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica (MMA, 2014).

Por sua vez, a Conferência Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em 2002 (ou em inglês *WSSD, World Summit on Sustainable Development*[30]), em Johanesburgo, África do Sul, buscou junto aos líderes nacionais a adoção de medidas concretas e identificação de metas quantificáveis para por em ação de forma eficaz a Agenda 21 (COELHO e GOLDEMBERG, 2013).

30 http://www.johannesburgsummit.org/

Nessa Conferência, ocorreu o movimento iniciado pela proposta brasileira de metas (10% de energias renováveis no mundo até 2010) para as chamados novas renováveis, fontes mais limpas de energia que incluem a solar, a dos ventos, a geotérmica, das pequenas hidrelétricas e a da biomassa (COELHO & GOLDEMBERG, 2013), que infelizmente não conseguiu unanimidade para sua aprovação por recusa dos OPEP, Estados Unidos, Canadá e Japão, entre outros.

Em um país como o Brasil, em que quase metade da energia utilizada é proveniente de fontes renováveis, políticas públicas e privadas vem ganhando importância frente ao desenvolvimento sustentável regional e a iniciativas que visem o uso sustentável dos recursos naturais para a geração de energia.

As politicas públicas para os biocombustíveis são criadas por inúmeras razões, como: insuficiência futura do petróleo; diversificação na matriz de combustível a fim de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis; incentivo ao desenvolvimento econômico na zona rural, além da redução das emissões de GEE.

No caso do biodiesel, os países visam promover a produção deste biocombustível no âmbito dos três diferentes pilares: ambiental, social e técnico-econômico, como parte de políticas energéticas ou de mudanças climáticas. No entanto, num contexto em que os países estão criando seus programas de biodiesel, há uma crescente preocupação sobre todos os aspectos de sustentabilidade desses programas (RATHMANN et. al., 2012; JANSSEN, 2011; JAYED, 2009).

Em diversos momentos foram iniciadas políticas para efetivar a utilização do biodiesel na matriz energética brasileira, ora por necessidade de diminuir a dependência dos combustíveis fósseis, ora por necessidade de possuir uma alternativa limpa aos combustíveis convencionais.

Na década de 80, em plena crise do petróleo e do sucesso do PROÁLCOOL, a Comissão Nacional de Energia criou o Pro-óleo por meio da Resolução Nº 007, de 22 de outubro de 1980, que previa uma mistura de até 30% de óleos vegetais no diesel de petróleo e a substituição total de óleo diesel por óleo vegetal a longo prazo. No entanto, com a redução do preço do petróleo no mercado internacional, o programa foi abandonado (POUSA, 2007).

Já no final do século 20, foi reiniciada a discussão a respeito da utilização do biodiesel. Muitos estudos foram realizados pela comissão interministerial em parceria com universidades e centros de pesquisas e assim, em 2002, foi criado o

PROBIODIESEL. O programa foi apresentado pelo MCTI, e criado o Decreto Nº 702 de 30 de Outubro de 2002, com pretensão de inserir 5% do biodiesel (B5) no diesel a partir de 2005, e até 2020 inserir 20% do biodiesel (B20) (VIGLIANO, 2003 apud POUSA, 2007).

Como foi visto nesta Tese, em 2004, foi criado o PNPB com objetivo principal garantir a produção economicamente viável de biodiesel e sustentar a utilização do recurso energético renovável na matriz, além ter a finalidade de: (i) regulamentar a operação do mercado de biodiesel e estabelecer os percentuais mandatórios do biodiesel no diesel; (ii) encorajar a diversificação das matérias-primas para a produção de biodiesel em todas regiões do pais e (iii) incorporar a agricultura familiar na cadeia produtiva do biodiesel (VACARRO, 2010).

As orientações presentes na PNPB são geridas dentro de um quadro regulamentar que prevê incentivos fiscais que favoreçam a agricultura familiar e o desenvolvimento das regiões mais pobres para produção de biodiesel (PADULA, 2012).

Segundo Padula (2012), a introdução do biodiesel assume uma estratégia importante no desenvolvimento do Brasil baseado nos seguintes pilares: redução da importação de energia, desenvolvimento e criação de empregos nas áreas rurais e redução dos impactos ambientais devido à utilização do combustível renovável.

Entretanto, a questão de sustentabilidade no país vem caminhando de forma lenta. Embora haja um despertar da consciência ambiental, muitas empresas ainda visam somente o lucro, deixando de lado os aspectos sociais e ambientais por não terem condições de executá-los, principalmente devido à falta de estrutura da cadeia produtiva e do volume necessário de outras fontes de menor escala.

6.2 Barreiras Econômicas e Sociais

Na composição dos custos de produção do biodiesel no Brasil, a aquisição das matérias-primas representa mais de 85% do custo total de produção (ZONIN, 2008). No caso da soja, há dois componentes dignos de atenção (ABRAMOVAY e MAGALHÃES, 2008): seu preço é determinado pela demanda global por alimentos,

além do óleo de soja, que por ser um óleo comestível, o incorpora no conflito internacional de segurança alimentar (VACCARO, 2010).

Segundo Padula (2012), os custos de produção do biodiesel são fortemente influenciados pela matéria-prima utilizada, pela escala das plantas e pelas taxas de impostos. No caso da soja, apesar de ser a matéria-prima mais utilizada para a produção de biodiesel, o custo referente ao óleo *in natura* é semelhante ao custo do diesel produzido a partir do petróleo já com os impostos incluídos. Assim, o biodiesel a partir de óleo de soja só se torna economicamente competitivo com o diesel convencional, se um sistema de redução de tarifas for adotado. Sendo assim, seria necessária uma renúncia fiscal de cerca de US$ 0,22 dólares/litro para o biodiesel, referindo-se ao montante do imposto sobre o diesel mineral.

Estudos preliminares realizados por Rathmann e Padula (2011) e Ribeiro de Matos (2011) indicam que as isenções fiscais e os incentivos fiscais têm-se centrado sobre o processamento e industrialização de biodiesel e que o agricultor familiar ganha um "pequeno prêmio adicional" para a saca de sementes de oleaginosas comercializada para a produção de biodiesel (PADULA, 2012).

Os aspectos sociais foram o que mais causaram controvérsias, uma vez que a PNPB possuía metas audaciosas para fortalecer a agricultura familiar e assim garantir renda e desenvolvimento local. Infelizmente isso não ocorreu, com inúmeras dificuldades para o uso da palma e da mamona como matérias-primas, como discutido no Capitulo 3. Como foi visto, atualmente a maioria do biodiesel no Brasil é produzida a partir de soja e gordura animal com significativos impactos ambientais.

Ainda como foi visto no Capitulo 3, no caso da palma, apesar da elevada produtividade agrícola, há outros usos finais com melhor custo de oportunidade nas indústrias alimentícia e química, e, além disso, o Brasil ainda importa óleo de palma da Malasia para suprir a demanda interna[31]. Apesar da iniciativa para plantação de palma no Pará visando à produção de biodiesel, permanece a dúvida se esta matéria-prima poderá efetivamente ser usada, como propõe Villela (2014).

Villela (2014) concluiu em seu trabalho ser possível o deslocamento, em bases sustentáveis, de, ao menos, um milhão de hectares de áreas de pastos na região Norte para a expansão da palma, proporcionando óleo suficiente para cancelar o

[31] Não para a produção de biodiesel, mas devido ao elevado consumo para os outros usos finais.

déficit da balança comercial do setor e deslocar mais de 20% da demanda de diesel prevista para a região, em 2022.

O caso da mamona foi um pouco mais complicado. Apesar do Governo Federal inicialmente apostar na produção de mamona na região Nordeste como importante geração de renda para o semiárido, esta perspectiva não se concretizou. A mamona, como a palma, tem também usos finais com elevados custos de oportunidade que inviabilizam seu uso para o biodiesel, apesar de existirem trabalhos (PIRES et. al., 2004; RIZZI et. al., 2010) defendendo sua viabilidade econômica. Além disso, houve dificuldades na capacitação dos agricultores (da agricultura familiar) da região com relação ao plantio e colheita adequados da mamona, inviabilizando a sua produção. De acordo com o projeto desenvolvido pelo CENBIO/IEE/USP (2004), cujo objetivo foi implementar um sistema de geração de energia a partir de óleo de mamona em Quixeramobim/Ceará, as dificuldades da colheita no momento adequado impediram a produção do óleo de mamona de qualidade para ser usado. Destaca-se que “em nível de produtor a atividade ainda está muito aquém da realidade pretendida para esta oleaginosa”, como afirma Portela (2008).

Neste contexto, o governo federal criou o Selo Combustível Social, um conjunto de medidas específicas visando estimular a inclusão social da agricultura, nessa importante cadeia produtiva (MME, 2006).

O Selo Combustível Social é um certificado concedido aos produtores de biodiesel que: (a) adquirirem um percentual mínimo de matéria-prima de agricultores familiares, (b) celebrem contratos com agricultores familiares, estabelecendo linhas de créditos e condições de entrega da matéria-prima, e (c) prestem assistência técnica aos agricultores (conforme discutido no Capítulo 2).

Este Selo oferece benefícios fiscais para as usinas produtoras de biodiesel na condição de que parte das matérias-primas (oleaginosas) sejam provenientes de agricultura familiar, e assim, incentivar sua maior participação no grupo. O percentual de produção de biodiesel com redução dos impostos federais depende da região onde a usina está localizada e do tipo de matéria-prima adquirida a partir da agricultura familiar.

Segundo Garcez (2009), percentuais das matérias-primas provenientes de agricultores familiares variam de acordo com a região, isto é, na região Nordeste e

Semi-árida são necessário 50%, já na região Sudeste e Sul são 30% e 10% na região Norte e Centro-Oeste.

Na verdade, como verificado durante o levantamento de dados para o projeto BIOACV nas visitas técnicas, os empreendedores se veem obrigados a fornecer sementes, insumos e até mesmo capacitação técnica para que o pequeno agricultor produza as sementes, para que o empreendedor em seguida compre. Observe-se que não é necessário que o empreendedor utilize estas oleaginosas para a sua produção de biodiesel e muitos deles simplesmente revendem as oleaginosas sem utiliza-las[32].

Ainda em termos econômicos, é importante ressaltar que o biodiesel (de soja e gordura animal) produzido pelas indústrias que detêm o selo social pode ser comercializado em leilões da Petrobras, a preços bastante elevados. A Petrobras deve cobrir a diferença de custo para que o mesmo seja adicionado ao diesel e seja comercializado nos postos ao preço do diesel (e estes preços são controlados desde 2013, como forma de tentar reduzir os altos índices de inflação no país).

Segundo Rathmann et. al. (2012), o Brasil importa metanol porque sua produção não é suficiente para atender a demanda interna. Conforme pode ser observado na Figura 6.1, a partir da implementação da PNPB, os custos referentes a importação do metanol vem crescendo vertiginosamente. Assim, considerando que os gastos com o metanol importado utilizado na produção de biodiesel foram maiores que os gastos com a importação de diesel em 2009, levando a um déficit comercial líquido de 37 milhões de dólares, conforme mostra a Tabela 6.1. Em outras palavras, a premissa de que a introdução de biodiesel levaria a uma menor redução de câmbio estrangeiro não tem sido corroborada e permanece a importância de pesquisas para a introdução do etanol no processo de produção de biodiesel em substituição ao metanol.

[32] Reunião na usina de biodiesel de Lins/SP, durante o levantamento de campo do BIOACV – informação pessoal Suani Teixeira Coelho, coordenadora do projeto.

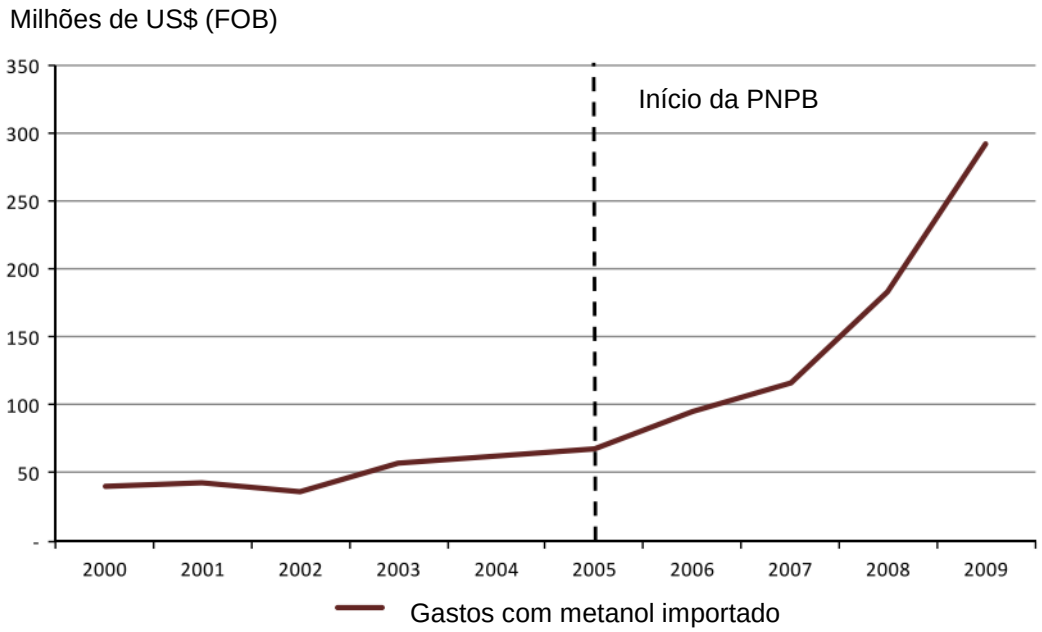


Figura 6.1. Gastos com metanol importado no Brasil entre 2000 e 2009 – Milhões de US$ (FOB). Fonte: RATHMANN et. al., 2012.

Tabela 6.1 Produção, importações, custos e balança comercial da cadeia de produção de biodiesel no Brasil em 2009.

Diesel	
Consumo (mil m^3)	44.763
Importações (mil m^3)	3.513
Custo com importações (mil US$ FOB)	1.672.498
Biodiesel	
Produção (mil m^3)	1.608
Produção pela via metílica (mil m^3)	1.535
Produção pela via etílica (mil m^3)	73
Metanol	
Importações totais (mil m^3)	457
Custo com importações (mil US$ FOB)	292.125
Demanda para a produção de biodiesel (mil m^3) - 10% da produção pela via metílica	153
% de metanol importado para produzir biodiesel	33,5%
Resultado da balança comercial para produção de biodiesel	
Custo da importação de metanol para produção de biodiesel (mil US$ FOB)	97.922
% de popupança de diesel inferior as importações com a produção de biodiesel	3,6%
Economia de divisas de diesel com a produção de biodiesel (mil US$ FOB)	60.042
Balança comercial da cadeia produtiva de biodiesel (mil US$ FOB)	-37.879

Fonte: RATHMANN et. al., 2012.

Além das isenções e incentivos oferecidos pelo Selo Combustível Social para a produção de biodiesel, alguns dados e resultados sobre a estrutura do mercado de biodiesel parecem revelar a existência de subsídios também nesta fase de produção. Nos leilões da ANP, o preço pago ao biodiesel tem sido consistentemente superior ao preço do diesel à base de petróleo produzido pelas refinarias. A diferença entre os valores pagos às usinas de biodiesel mostra uma espécie de "subsídio" aplicado neste setor econômico (PADULA, 2012).

No entanto, sabe-se que é necessário que a cadeia produtiva do biodiesel seja bem desenvolvida para garantir a quantidade e qualidade do produto. A cadeia de abastecimento de biodiesel no Brasil é composta por três processos básicos e integrados: a oferta, a produção e a distribuição. Esses processos fornecem a base quadro para o fornecimento de matérias-primas, a conversão em biodiesel e a distribuição do produto final.

Embora estes processos sejam comuns a qualquer cadeia de fornecimento, a cadeia de abastecimento de biodiesel no Brasil apresenta algumas particularidades. Grande parte da cadeia é impulsionada pelo governo por meio de iniciativas e controles que visam atingir os objetivos sociais, tais como a inserção da agricultura familiar na cadeia de abastecimento e a criação de emprego em regiões menos desenvolvidas do país. Várias instituições reguladoras do governo intervêm diretamente na forma de como os agentes econômicos devem exercer atividades na cadeia de abastecimento (PADULA, 2012).

Porém, essa inserção da agricultura familiar na cadeia é realizada de maneira modesta, uma vez que a agricultura brasileira é caracterizada por dois sistemas distintos: a agricultura familiar e a agricultura em grande escala. A participação da agricultura familiar na produção de biodiesel só é garantida porque parte do volume de biodiesel comercializado nos leilões é reservado para as unidades produtoras que detêm o selo Social como mencionado (PADULA, 2012).

Em resumo, as principais barreiras existentes para a efetivação da inserção da agricultura social na cadeia produtiva do Biodiesel são: (i) a maior parte do biodiesel produzido é decorrente de óleo de soja e da gordura animal, devido às ao baixo custo e ao fato de que as unidades produtoras já possuem uma cadeia produtiva bem desenvolvida pela curva de aprendizado a partir da produção de óleos vegetais, fato que não acontece com as outras matérias-primas; (ii) ausência de organização por parte dos agricultores familiares dificultando a comercialização.

Quanto à distribuição da participação da agricultura familiar por regiões do Brasil, o Sul está com aproximadamente 52% dos estabelecimentos e 68% do valor de compra. Esta participação da agricultura familiar na região é devido à presença de agricultores organizados em cooperativas e à capacidade de grandes refinarias de esmagamento de soja e extração de óleo de soja da região em organizarem as cadeias de fornecimento (MDA/SAF, 2011).

Já na região Centro-Oeste, apesar de ter um número menos significativo da agricultura familiar, 3,3% de todos os estabelecimentos participantes da PNPB, tem uma grande parte do valor das compras de matérias-primas. Do total, 23% é referente ao Nordeste, que possui um percentual significativo da agricultura familiar (41,2%). Entretanto, em relação ao volume produzido no Brasil em 2010, representou apenas 5% (MDA/SAF, 2011). Tal fato ocorre devido à dificuldades de produção em grande escala das matérias-primas, infraestrutura e logística apropriada.

A região Sudeste também apresenta uma modesta quota de fornecimento de matérias-primas obtidas de agricultores familiares por sociedades gestoras de participações no Selo Combustível Social. Esse fato é devido à matéria-prima principal ser o sebo bovino, que não é beneficiada pelos incentivos do selo (MDA/SAF, 2011).

Esses dados comprovam que a diversificação das matérias-primas para a produção, bem como a inclusão dos agricultores familiares para o desenvolvimento das regiões mais desprovidas foram falhas, o que demonstra a necessidade de mudar as estratégias adotadas.

Em estudo realizado por Rathmann et. al (2012), foram analisadas as metas e resultados do PNPB nos primeiros cinco anos de existência. Durante o estudo foi observado que na região Nordeste houve problemas com a mamoma devido à falta de escala necessária para a sua utilização na produção de biodiesel, forçando as refinarias a tornar a soja como sua maior matéria-prima. Tal fato ocorreu devido à baixa produtividade da mamona, bem como a distribuição geográfica das famílias atendidas, a alta irregularidade da sazonalidade, a ineficiência de assistência técnica e a instabilidade de preços (CESAR e BATALHA, 2010).

Rathmann et. al. (2012), também observaram que houve declínio na geração de renda e emprego dos trabalhadores relacionados ao setor na região Nordeste,

sendo que grande parte foi devido a existências de outros programas de transferências de renda como o programa “Bolsa Família”[33].

Garcez (2009), afirma que a obtenção do Selo Combustível Social demonstra a existência do conflito entre o desejo de incluir os agricultores familiares na produção de biodiesel e os interesses do agronegócio brasileiro. Isso prova que a agricultura familiar não foi capaz de competir com o agronegócio para garantir o fornecimento de matérias-primas para a indústria de biodiesel.

O governo então deve fornecer assistência técnica e social aos agricultores familiares, a fim de organizar seus negócios e prepará-los para serem fornecedores competitivos de outras matérias-primas para a produção de biodiesel, que não seja a soja (POUSA, 2007).

6.3 Barreiras Ambientais

Com relação aos aspectos ambientais, a maior justificativa para o uso de biocombustíveis (e do biodiesel em particular) é em relação à redução dos gases de efeito estufa. De acordo com estudos realizados por Sheehan (1998) e Rathmann et. al. (2012), para a utilização do B100 (biodiesel metílico de soja), o percentual de redução de GEE chega a 78,5% em relação ao diesel, para o B20 a redução é de 15,6% e para o B5 o nível de redução é de aproximadamente 3,9%.

Para Mendonça (2007), 40% (B40) é a percentagem de biodiesel em que a entrada e saída de carbono são equilibradas, estabelecendo-se assim a mistura que permite a absorção igual a liberação de CO_2 equivalente para o meio ambiente (RATHMANN et. al., 2012).

Para o transporte urbano, a utilização do biodiesel torna melhor a qualidade do ar das grandes metrópoles, devido à ausência de enxofre na sua composição[34], e também à redução de materiais particulados. A tendência de maiores emissões de

[33] Este programa do governo federal foi criado pela lei 10836 de 9/1/2004 - http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.836.htm

[34] A Resolução ANP Nº 50, DE 23.12.2013 - DOU 24.12.2013, estabelece o teor máximo de enxofre de dois tipos de diesel:I - Óleo diesel A S10 e B S10: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 10 mg/kg;II - Óleo diesel A S500 e B S500: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 500 mg/kg. Estes valores são na verdade extremamente elevados, quando comparados com valores da Uniao Europeia que limita a 50 ppm

NOx, como em toda combustão de biomassa, é reduzida com o emprego de catalisadores adequados.

O Grupo de Trabalho Interministerial: Biodiesel – GTIB, produziu um relatório em 2003, no qual afirmava que deveria ser priorizada a estratégia de utilização do biodiesel nessas regiões com conglomerados populacionais, pois os motores a diesel são responsáveis por aproximadamente 70% de poluição atmosféricas no país (WEHRMANN, 2006).

Além do uso no transporte, o biodiesel é utilizado em outros setores como geração de energia elétrica em motores estacionários e em navegações, por exemplo, que utilizam óleo de baixa qualidade nas embarcações, diferente de outros mercados que possuem interesse para reduzir emissões.

O potencial do biodiesel em mitigar as mudanças climáticas através da redução de CO_2 depende do ciclo de vida dos combustíveis, o que (como foi visto no BIOACV) não ocorre adequadamente no biodiesel de soja e principalmente no de gordura animal.

Isto significa que são necessários regulamentos para motivar boas práticas agrícolas e industriais, bem como matérias-primas adequadas. Segundo Garcez, (2009), a política da PNPB atualmente não considera suficientemente essas questões, e é necessário que seja modificada de tal forma que os critérios ambientais sejam adicionados ao Selo Combustível Social (GARCEZ, 2009).

De acordo com o *Climate Vulnerability Monitor* (2012), a agricultura é o setor mais afetado pelas alterações climáticas, enquanto a demanda global por alimentos e produtos agrícolas está crescendo. As alterações climáticas terão um impacto particularmente grave para os agricultores, com possibilidades limitadas de adaptação às mudanças no clima, como por exemplo, com o plantio de diferentes variedades de culturas e implementação de novas técnicas de irrigação.

As mudanças climáticas estão alterando o padrão de precipitação, o que pode tornar-se mais ou menos abundante ou mais irregular. As chuvas podem danificar as plantações e as criações animais, que são menos adequadas para as mudanças do tempo. Quando o clima se afasta das condições ótimas para o crescimento da cultura, pode haver perdas agrícolas, resultando em menor rendimento por hectare (*Climate Vulnerability Monitor,* 2012).

Uma das poucas vantagens que os pequenos agricultores têm sobre os operadores comerciais de grande porte é a possibilidade de adaptar variedades de

culturas ou experimento mais facilmente com diferentes culturas. Empresas agrícolas que praticam em larga escala o monocultivo podem sofrer grandes perdas se as condições climáticas se deslocarem para a desvantagem das culturas escolhidas (*Climate Vulnerability Monitor,* 2012).

No Brasil, por exemplo, dias acima de 32 ºC estão crescendo, o que prejudica a agricultura e a pecuária. Diante deste cenário, pode-se destacar a soja, que pode resistir a temperaturas mais elevadas, necessitando de pouca água (precipitações pluviométricas anuais de 700 a 1.200 mm bem distribuídas) quando comparada a outras oleaginosas, como a palma, por exemplo, que necessita de no mínimo 2000 mm/ano, distribuídos durante todos os meses.

Para resultados mais concretos sobre as emissões de GEE, é importante utilizar a ferramenta de análise de ciclo de vida, inserindo dados corretos sobre os sistemas a serem analisados, pois existem muitas divergências quanto ao tipo de matérias-primas utilizadas como sistema de produção, mudança direta e indireta da ocupação do solo, utilização de fertilizantes, pesticidas, entre outras variáveis, que podem alterar a real redução dos GEE, como foi realizado no estudo do BIOACV, revisto e analisado nesta tese em seu Capítulo 5.

Rathmann et. al. (2012), diz que as vantagens da utilização do biodiesel são inúmeras, dentre elas: não possui enxofre, possui boa estabilidade oxidativa, viscosidade e lubrificação, o que torna o biodiesel um substituto ideal para motores a diesel mineral, apesar da variação de algumas das propriedades físicas e químicas entre os dois combustíveis. O biodiesel de soja produzido atualmente, possui um CN cerca de 19% inferior ao do diesel mineral, além de um PCI também abaixo, o que prejudica a combustão completa deste biocombustível. De acordo com Hossain e Davies (2010), o biodiesel obtido a partir de algodão e óleo de palma são os únicos tipos com CN semelhantes ao do diesel mineral (RATHMANN et. al., 2012).

Entretanto, como verificado no BIOACV, o biodiesel de soja e de gordura animal tem significativos impactos ambientais e políticas adequadas para sua substituição (ainda que gradativa) por outras matérias-primas são fundamentais, como discutido a seguir.

6.4 Propostas de Políticas para maior Sustentabilidade na Produção de Biodiesel no Brasil

Diante do exposto, observa-se que várias iniciativas de políticas de incentivos a elaboração de critérios de sustentabilidade econômica e social surgiram com o objetivo de garantir a sustentabilidade do biodiesel. Entretanto, apesar da redução das alíquotas de tributos, oferta de crédito com menor custo financeiro aos produtores e subsídios que cobrem os custos mais alto do biodiesel em relação ao diesel, o biodiesel no Brasil não tem se mostrado sustentável.

Para a produção de biodiesel sustentável no Brasil, algumas questões dependem da ação estatal e devem ser consideradas e analisadas:

- O crescimento do mercado de biodiesel ocorre a partir de atos arbitrários definidos pelo governo federal, pois o biodiesel ainda não é competitivo com o diesel;
- Segundo ANP (2014), ainda há capacidade ociosa na produção de biodiesel. Da capacidade nominal da produção (21.957,8 mil m³/ano), apenas 13,3% está sendo utilizada (2.917,5 mil m³/ano);
- Os benefícios atribuídos ao Selo Combustível Social parecem servir mais às indústrias do que aos agricultores familiares, pois garante a participação destas nos leilões da ANP. Por outro lado, as indústrias produtoras de biodiesel afirmam ter um custo elevado na aquisição e adequação da matéria-prima para a produção de biodiesel.
- Há discrepância entre os objetivos da PNPB e os resultados alcançados desde que entrou em vigor, como: baixa inserção social (que era o foco principal da política); fracasso das metas para o Norte e Nordeste, carência de matérias-primas alternativas à soja e à gordura animal, além de baixo impacto no desenvolvimento regional.

Sendo assim, nota-se a necessidade de mudanças/revisão de algumas estratégias da política, visando maiores pesquisas, desenvolvimento e inovação para a produção de biodiesel com o objetivo de reduzir os custos de produção e proporcionar melhorias nas tecnologias do processamento; maior inserção dos agricultores familiares das regiões Norte e Nordeste; meios de fortalecer a cadeia

produtiva de outras matérias-primas (mamona, dendê, óleos residuais, entre outras) para a produção de biodiesel; além de incluir outras variáveis para a obtenção do Selo Combustível Social, como as questões ambientais que visem às boas práticas agrícolas, contribuindo para a redução de usos de pesticidas, fertilizantes, agrotóxicos, entre outras práticas.

Diante do exposto, propõem-se as seguintes políticas:

- **Políticas ambientais para evitar a expansão da área plantada com soja e com a pecuária**

A Lei Nº 12.805, que instituiu a Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Florestal, foi lançada em abril de 2013 e possui os seguintes objetivos (CASA CIVIL, 2013):

- Melhorar, de forma sustentável, a produtividade, a qualidade dos produtos e a renda das atividades agropecuárias, por meio da aplicação de sistemas integrados de exploração de lavoura, pecuária e floresta em áreas já desmatadas, como alternativa aos monocultivos tradicionais;
- Mitigar o desmatamento provocado pela conversão de áreas de vegetação nativa em áreas de pastagens ou de lavouras, contribuindo, assim, para a manutenção das áreas de preservação permanente e de reserva legal;
- Estimular atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica, assim como atividades de transferência de tecnologias voltadas para o desenvolvimento de sistemas de produção que integrem, entre si, ecológica e economicamente, a pecuária, a agricultura e a floresta;
- Apoiar a adoção de práticas e de sistemas agropecuários conservacionistas que promovam a melhoria e a manutenção dos teores de matéria orgânica no solo e a redução da emissão de gases de efeito estufa, entre outros.

Desta maneira, esta política poderia estar integrada a obtenção do Selo Combustível Social, ou outros incentivos, por manter uma prática agrícola mais sustentável.

- **Politicas de P&D para uso do etanol**

Dentre outros objetivos, a PNPB visava a menor dependência dos combustíveis derivados de petróleo. Entretanto, mais que 90% do biodiesel produzido no Brasil é a partir do metanol, que é um derivado de combustível fóssil.

Sendo assim, o país diminui os custos de importação do óleo diesel, mas em contrapartida, os custos com a importação do metanol aumentam e assim a balança comercial não fecha. Por isso seria estratégico para o Brasil utilizar o etanol para a produção de biodiesel, para que a balança comercial se torne mais equilibrada.

Entretanto, somado aos gargalos técnicos do uso do etanol apresentados nesta Tese, é preciso investimentos em pesquisa e desenvolvimento para viabilizar técnica e economicamente o processo de produção de biodiesel pela transesterificação via rota etílica.

- **Políticas de P&D para a Implementação e Uso de Outras Tecnologias**

Conforme apresentado no Capítulo 4, além dos reatores utilizados na maioria das plantas no mundo, existe a possibilidade de se produzir biodiesel em colunas de destilação reativa. Apesar de existir a algum tempo na indústria química, esta técnica surgiu recentemente para a produção de biodiesel.

Pelo fato de proporcionar a reação para a produção de biodiesel e a separação dos produtos em um mesmo equipamento, pode diminuir os custos de instalação e operação de uma planta de biodiesel. Outra vantagem da destilação reativa é a possibilidade de se utilizar qualquer matéria-prima, independente de sua acidez. Entretanto, poucos estudos sobre esta tecnologia têm sido desenvolvidos. Os casos existentes, em escala piloto, conforme apresentados no Capítulo 4, ainda necessitam de aprimoramento da tecnologia.

Propõem-se então políticas de pesquisa e desenvolvimento para incentivar o uso desta tecnologia, e de outras que possam surgir, que possam viabilizar a produção de biodiesel no país.

- **Políticas de Incentivo para uso de Óleos Residuais**

Incentivar o uso de óleo residual de fritura pelas indústria de forma a enfrentar os gargalos, de uma maneira economicamente viável, referentes á qualidade do óleo coletado, uma vez que pode conter partículas de alimentos, misturas de diferentes tipos de óleos comestíveis e partículas de água, que prejudicam a produção do biodiesel.

Propõem-se também criar programas e políticas que visem o aumento da informação da população sobre a importância de não descartar esse óleo no lixo ou na pia, além da maneira adequada de seu armazenamento, podendo permitir uma logística eficiente para a coleta e produção do biodiesel.

Vale ressaltar que essa matéria-prima tem menos influência da sazonalidade, e de fatores externos, como climáticos, quebra de safra, custo de oportunidade, entre outros.

- **Políticas para redução no custo de produção de biodiesel**

Conforme apresentado no item 6.2, diversos fatores estão relacionados aos custos de produção de biodiesel, dentre eles: elevado custo da matéria-prima utilizada (que corresponde a cerca de 85% do custo total de produção), escala das plantas e taxas de impostos.

O biodiesel tem um mercado cativo e não deve competir com o diesel, justamente pelo fato dele ser adicionado ao combustível fóssil. Sendo assim, algumas medidas são necessárias para tentar reduzir seu custo de produção:

- Melhorias nas tecnologias de processamento das culturas;
- Melhorias e incentivos tecnológicos para o processo produtivo do biodiesel;

- Investimentos em pesquisas, desenvolvimento e inovação em culturas oleaginosas com potencial uso na produção de biodiesel, visando a redução de custos de produção e a inclusão da agricultura familiar;
- Pesquisa e desenvolvimento para melhoramento genético das culturas, assim como a soja;
- Investimentos em pesquisas, desenvolvimento e inovação para a produção de biodiesel de segunda geração (microalgas), liquidando também a questão do desmatamento;
- Criar outros mecanismos, além do Selo Combustível Social, para a redução de impostos e tarifas incidentes sobre o biodiesel.

- **Políticas para eliminar os subsídios**

Para o biodiesel se tornar competitivo, há necessidade da discussão e introdução de políticas para descontinuar os leilões a preços garantidos. O objetivo dos leilões é aferir suporte econômico à cadeia de produção de biodiesel e continuar com o atendimento das diretrizes do programa brasileiro de biodiesel. Entretanto, o biodiesel comercializado nos leilões é a preço bastante alto. Conforme citado anteriormente, a Petrobras deve cobrir a diferença de custo para que o mesmo seja adicionado ao diesel e seja comercializado nos postos ao preço do diesel.

Uma opção seria o biodiesel ser comercializado diretamente dos produtores, assim como acontece com o álcool anidro.

Além disso, deveriam ser incentivados os leilões a preço elevado somente para a palma e óleo residual de fritura, de forma a incentivar o uso dessas matérias-primas alternativas a soja e a gordura para a produção de biodiesel.

Na verdade, os leilões deveriam ocorrer somente para essas fontes alternativas de matérias-primas, enquanto o biodiesel de soja e gordura animal, comercializado diretamente dos produtores.

7. CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo analisar as matérias-primas e os processos de produção de biodiesel, bem como analisar as políticas e propor adequações para o programa de biodiesel existente, visando à sustentabilidade do biodiesel no Brasil. As análises foram realizadas com base no estudo de ACV da produção de biodiesel a partir das duas matérias-primas mais utilizadas no país: soja e gordura animal, contemplando as duas rotas de produção: etílica e metílica.

Apesar da soja e da gordura animal representarem mais que 95% das matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel, há necessidade de realizar a inserção de outras matérias-primas que possuam possibilidades de serem efetivamente incorporadas a sua produção. Entretanto, para isso, também são necessárias pesquisas e avanços tecnológicos para uma cadeia produtiva bem desenvolvida.

Embora a soja possua baixo teor de óleo (18%) e rendimento (0,2 – 0,4 t óleo/ha), apresenta características favoráveis que a levaram à liderança na oferta de matéria-prima para a produção de biodiesel. Dentre elas, destaca-se:

- Sistema de produção altamente sofisticado, com constantes inclusões de inovações;
- Cadeia produtiva altamente organizada, com grande capacidade de resposta em curto prazo às oportunidades de mercado;
- Aproveitamento integral do grão, com diversas alternativas de agregação de valor.

Entretanto outras oleaginosas também apresentam suas vantagens. A palma, por exemplo, embora apresente teor de óleo pouco acima da soja (22%), é a cultura que possui maior rendimento em toneladas de óleo por hectare. Se a área destinada ao cultivo de soja hoje no Brasil fosse ocupada pela palma, esta oleaginosa poderia garantir a produção de biodiesel no Brasil. Porém, para isso, algumas barreiras devem ser enfrentadas, como os custos de oportunidade para esta oleaginosa.

A soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas três décadas. Sua expansão preocupa especialistas da área, pois pode acarretar impactos

negativos ao meio ambiente, por meio do desmatamento de novas áreas para o cultivo desta oleaginosa.

Conforme apresentado no decorrer do trabalho, a perda florestal responde por cerca de 20% das emissões de GEE mundiais. Uma das formas de tentar diminuir esse impacto é plantar soja em áreas que já tenham sido degradadas pelo gado, por exemplo, o que já tem acontecido no Brasil. Entretanto, ainda fica a questão de que a pastagem, que saiu de seu lugar para dar espaço ao cultivo da soja, se estabeleça em outro local, contribuindo para o desmatamento da transferência da produção de gado para a floresta.

Para diminuir os impactos causados pela expansão agropecuária, um pasto mais intensivo, um melhor aproveitamento do uso da terra, além de aumentar a produtividade média das pastagens, elevando também a área de cultivo sem a necessidade de fazer mais conversões da vegetação natural, poderiam ser as opções.

Embora o Brasil possua ampla diversidade de insumos agrícolas para a produção de óleos vegetais, e consequentemente para a produção de biodiesel, muitas culturas ainda não possuem plantios comerciais, nem cadeia produtiva organizada como a da soja. Além disso, os óleos vegetais possuem outros tipos de uso que podem acabar sendo mais rentáveis que para a produção de biodiesel.

O óleo de palma é um exemplo. As barreiras econômicas relativas aos seus outros usos finais apresentam altos custos de oportunidade e fazem com que seja difícil o seu uso para a produção de biodiesel.

O mesmo acontece com o óleo de mamona que, além do elevado custo de oportunidade, ainda apresenta dificuldades técnicas para a produção de biodiesel. Suas propriedades químicas acabam interferindo tanto na reação da produção de biodiesel quanto na separação entre o biodiesel e a glicerina.

Outra possibilidade é a utilização dos óleos residuais de fritura para a produção de biodiesel. Entretanto, por ser um óleo de baixa qualidade e possuir muitos resíduos deixados pelas frituras, há necessidade de tratá-lo antes de ser utilizado como matéria-prima para a produção de biodiesel, o que pode acarretar em custos adicionais ao processo. Além disso, existem problemas relacionados à sua coleta e armazenamento.

O biodiesel de segunda e terceira geração, não causa impactos negativos provenientes da degradação do meio ambiente para terras agricultáveis nem

compete com alimentos. Esta pode ser uma alternativa viável e promissora, porém como ainda não existem tecnologias vigentes capazes de produzir este tipo de biodiesel em escala industrial para atender a sua demanda, há necessidade de investimentos em pesquisas e capacitação de profissionais visando seu amplo desenvolvimento. Os tipos de biodiesel de segunda e terceira geração não foram estudados na tese porque não têm uso no Brasil e no mundo.

Mais que 90% do biodiesel produzido no Brasil é a partir da transesterificação via rota metílica, tendência também no mundo inteiro. Entretanto, deve-se levar em consideração que o metanol é proveniente de fonte fóssil (gás natural) e importado pelo Brasil (68% do consumo interno brasileiro). Sendo assim, o país diminui os custos de importação do óleo diesel, mas aumenta os custos com a importação do metanol e assim a balança comercial não fecha. Por isso seria estratégico para o Brasil utilizar o etanol para a produção de biodiesel, para que a balança comercial se torne mais equilibrada. Mas para isso é necessário investir em pesquisas para aprimorar a produção de biodiesel via rota etílica e resolver os gargalos ainda existentes.

Embora apresente vantagens técnicas e econômicas, a destilação reativa é uma tecnologia utilizada para a produção de biodiesel em pequena escala e que ainda necessita de estudos aprofundados para que haja transposição de escala no país.

O tipo de oleaginosa utilizada na produção de biodiesel e o seu sistema de produção interferem diretamente no potencial de redução de gases de efeito estufa que pode ser obtido com o seu uso.

Estudos que apresentam os benefícios ambientais do uso dos biocombustíveis baseiam-se na ACV dos mesmos, considerando que, de maneira geral, os montantes de CO_2 emitidos durante a combustão em motores são correspondentes aos montantes de carbono sequestrados no crescimento das plantas utilizadas como matérias-primas.

Os ICV’s para a produção de biodiesel se basearam inicialmente em visitas a unidades especializadas produtoras de biodiesel por rotas não usuais e consulta a referências e especialistas, sendo elaborados dois principais inventários: biodiesel a partir de óleo de soja via rota etílica e biodiesel de gordura animal via rota metílica.

A partir dos cenários definidos no estudo, foram feitas adaptações para que fosse possível a combinação entre processos e matérias-primas, resultando na

elaboração de outros dois ICVs adicionais: biodiesel a partir de óleo de soja via rota metílica (a maior parte do biodiesel produzido) e biodiesel de gordura animal via rota etlica (não produzido no pais).

A partir da elaboração dos inventários foram gerados os resultados da fase de Avaliação de Impacto Ambientais, que indicaram a significativa contribuição das matérias-primas (cultivo da soja e atividade pecuária) em todas as categorias de impacto analisadas, sendo essas atividades preponderantes para a determinação dos resultados.

Já com relação às rotas tecnológicas foi observado que não houve diferença significativa em termos ambientais, com relação a via etílica ou metílica, apesar da origem fóssil do metanol importado.

Em todas as categorias analisadas no projeto (Mudanças climáticas; Toxicidade; Acidificação; Eutrofização; Ocupação do solo e Depleção de combustíveis fósseis), a utilização de gordura bovina como matéria-prima para produção de biodiesel mostrou maior impacto ambiental quando comparado com o uso de óleo de soja. Além disso, a partir dos resultados obtidos foi possível observar a assimetrias entre cinco das seis categoria de impacto analisadas.

No caso da utilização de gordura animal, a elevada contribuição para impactos ambientais deve-se ao subsistema de criação de bovinos, por conta de emissões inerentes à pecuária no país, bem como pela reduzida eficiência dessa prática, ainda fortemente baseada em um sistema extensivo de produção.

A única exceção entre a assimetria das categorias de impacto ocorreu para os resultados da Toxicidade, na qual houve uma diferença menor entre as matérias-primas analisadas. Neste caso, observou-se que o cultivo de grãos de soja obteve elevados índices de contribuição entre os valores de impacto ambiental por conta do uso de defensivos agrícolas.

Foi realizada uma análise de sensibilidade para avaliar a qualidade dos resultados. Primeiramente foram desconsideradas as emissões de CO_2 associadas a mudanças da ocupação do solo no cultivo da soja, o que reduziu aproximadamente 70% das emissões na categoria de mudanças climáticas.

Ainda na análise de sensibilidade foi considerada a abordagem *cut off* para a gordura animal, ou seja, excluindo-se as cargas ambientais dos subsistemas de criação e abate bovino. Com isso, os resultados para todas as categorias de

impactos foram reduzidos substancialmente, uma vez que a grande contribuição em termos de impacto ambiental é o sistema de criação dos animais.

Considerada uma importante ferramenta de gestão ambiental, a ACV atende as necessidades para a avaliação do desempenho ambiental de produtos. No entanto, vale ressaltar que, apesar de tentar modelar uma realidade que fosse representativa para o país por meio de estudos de casos, os resultados produzidos no projeto BIOACV, assim como em qualquer estudo de ACV, são válidos somente para as condicionantes estabelecidas no estudo, tais como: fronteiras do sistema, fontes de dados, critério de alocação, método de avaliação de impacto, entre outras.

Um recomendação do projeto BIOACV é com relação à necessidade de melhoria nas informações sobre os processos de modificação da ocupação do solo em culturas agrícolas, e que estas estejam disponíveis para incorporação em estudos de ACV. Além disso, é necessário o desenvolvimento de modelos com menor grau de incerteza na quantificação das emissões de CO_2 decorrentes da mudança da ocupação do solo.

Pesquisas realizadas à literatura mostraram que o impacto ambiental da produção de biodiesel no Brasil tem o lado positivo e o lado negativo. Por um lado, altas produções de biodiesel podem aumentar as emissões de CO_2 e outros gases de efeito estufa provenientes da agricultura (devido ao uso de fertilizantes e mudanças diretas e indiretas da ocupação do solo). Por outro lado, existe redução do CO_2 com a substituição do diesel pelo biodiesel.

Diante das análises realizadas durante a execução deste trabalho, e aqui apresentadas, observa-se que a PNPB ainda tem um longo caminho a percorrer. Apesar dos benefícios atribuídos a política, algumas questões ainda devem ser consideradas para que o biodiesel se torne sustentável no Brasil, dentre elas a discrepância entre os objetivos atribuídos à política e os resultados alcançados até hoje, como baixa inserção social, carência de matérias-primas alternativas a soja e gordura animal, além de baixo impacto no desenvolvimento regional.

As barreiras ainda encontradas demonstram a necessidade de mudar as estratégias adotadas, focando melhorias nas tecnologias; maior inserção da agricultura familiar, principalmente nas regiões Norte e Nordeste; incentivos às matérias-primas alternativas de menor impacto ambiental; além de incluir as boas práticas agrícolas para a obtenção do selo Combustível Social.

Para tal, são propostas algumas políticas públicas socioambientais, tecnológicas e econômicas para a sustentabilidade do biodiesel no Brasil.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Exportações Brasileiras de Carne Bovina, 2014. Período de janeiro a dezembro de 2012 e 2013. São Paulo, 2014. Disponível em http://www.abiec.com.br/download/Relatorio%20exportacao%202013_jan_dez.pdf. Acesso em março de 2014.

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Exportações Brasileiras de Carne Bovina, 2012. Período de janeiro a dezembro de 2010 e 2011. São Paulo, 2012 Disponível em http://www.abiec.com.br/download/2011_Site%20total.pdf. Acesso em março de 2014.

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Exportações Brasileiras de Carne Bovina, 2010. Período de janeiro a dezembro de 2008 e 2009. São Paulo, 2010. Disponível em http://www.abiec.com.br/download/Relatorio%20exportacao%202009.pdf. Acesso em março de 2014.

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Exportações Brasileiras de Carne Bovina, 2008. Período de janeiro a dezembro de 2006 e 2007. São Paulo, 2008. Disponível em http://www.abiec.com.br/download/Relatorio%20exportacao%202007.pdf. Acesso em março de 2014.

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Exportações Brasileiras de Carne Bovina, 2006. Período de janeiro a dezembro de 2004 e 2005. São Paulo, 2006. Disponível em http://www.abiec.com.br/download/Relatorio%20exportacao%202005.pdf. Acesso em março de 2014.

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Exportações Brasileiras de Carne Bovina, 2004. Período de janeiro a dezembro de 2002 e 2003. São Paulo, 2004. Disponível em http://www.abiec.com.br/download/Relatorio%20exportacao%202003.pdf. Acesso em março de 2014.

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Exportações Brasileiras de Carne Bovina, 2002. Período de janeiro a dezembro de 2000 e 2001. São Paulo, 2002. Disponível em http://www.abiec.com.br/download/Relatorio%20exportacao%202001.pdf. Acesso

em março de 2014.

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Exportações Brasileiras de Carne Bovina, 2000. Período de janeiro a dezembro de 1998 e 1999. São Paulo, 2000. Disponível em http://www.abiec.com.br/download/Relatorio%20exportacao%201999.pdf. Acesso em março de 2014.

ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Exportações Brasileiras de Carne Bovina, 1998. Período de janeiro a dezembro de 1996 e 1997. São Paulo, 1998. Disponível em http://www.abiec.com.br/download/Relatorio%20exportacao%201997.pdf. Acesso em março de 2014.

ABIOVE. Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Complexo Soja - Evolução das Cotações Média, 2011. Disponível em: http://www.abiove.com.br/cotacoes_br.html, 2011

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009b.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004/2004, 2004.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14044: Avaliação do Ciclo de Vida: Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro: ABNT, 2009a.

Abramovay R, Magalha˜es R. The access of family farmers to biodiesel markets: partnerships between big companies and social movements. Available at: http://www.regoverningmarkets.org/en/filemanager/active?fid=806; 2008.

ACIONISTA.COM.BR. Evolução do preço do barril do petróleo, 2014. Disponível em http://www.acionista.com.br/graficos_comparativos/petroleo_mensal.htm. Acesso em setembro de 2014.

AGROFIT – Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. Ministério Brasileiro da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012. Disponível em: http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em outubro de 2013.

AGROLINK – O Portal do Conteúdo Agropecuário. Soja – Histórico, 2012. Disponível em http://www.agrolink.com.br/culturas/soja/historico.aspx. Acesso em janeiro de 2013.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: ALVES, B. J. R. et al. Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Porto Alegre: Gênesis, 2006, 216p.

ALMEIDA, M. H. S. P. Análise econômica-ambiental da intensificação da pecuária de corte no Centro-Oeste brasileiro. 2010. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes 2010. São Paulo, 2011.

ANDREI, E. Compêndio de defensivos agrícolas. 7ª ed. Andrei Ltda: 2005.

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Anuário Estatístico da Indústria Automobilística Brasileira, 2010. Disponivel em http://www.anfavea.com.br/anuario.html. Acesso em janeiro de 2013.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2012. Brasília: ANP, 2013a. ISSN 1983-5884.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: 2013. Brasília: ANP, 2013a. ISSN 1983-5884.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Biodiesel - Resumo dos Leilões, 2014a. Brasília: ANP, 2014a. Disponivel em www.anp.gov.br/?dw=58013. Acesso em março de 2014.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Boletim Mensal do Biodiesel, 2013b – Janeiro a Dezembro de 2013. Brasília: ANP, 2013b.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Boletim Mensal do Biodiesel, abril de 2014b. Brasília: ANP, 2014b. Disponível em file:///C:/Users/geral/Downloads/70554%20(2).pdf. Acesso em julho de 2014.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Etanol – Boletim do Etanol, setembro de 2014d. Brasília: ANP, 2014d. Disponível em file:///C:/Users/geral/Downloads/72232.pdf. Acesso em setembro de 2014.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2014. Ano base 2013. Brasília: ANP, 2014. ISSN 1983-5884.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2012b. RESOLUÇÃO ANP Nº 7, DE 19.3.2008 - DOU 20.3.2008. Nota: Revogada pela Resolução ANP nº 14, de 11.05.2012 – DOU 18.05.2012 – Efeitos a partir de 18.05.2012. Disponível em http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2008/mar%C3%A7o/ranp%207%20-%202008.xml. Acesso em Abril de 2013.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2011. Ano base 2010. Seção 4 – Biocombustíveis.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2012. Ano base 2011. Seção 4 – Biocombustíveis (2012a).

APROBIO – Associação dos Produtores de Biodiesel do Brasil. Biodiesel e palma – Demandas e oportunidades, 2012. Disponível em http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Palma_de_oleo/3RE/App_Aprobio_Palma.pdf. Acesso em janeiro 2014.

ARANDA, D. A. G. Esterificação de ácidos graxos. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em file:///C:/Users/geral/Downloads/Esterifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20%C3%81cido%20Graxos.pdf. Acesso em agosto 2013.

ARESTA, M et al. Environmental Life Cycle Assessment (E-LCA) applied to the synthesis of metanol and dimethylcarbonate. METEA Research Center, University of Bari, Italy: 1999.

ARGUS – Frigorífico Argus. Levantamento de informações sobre o funcionamento de um frigorífico típico. Ponta Grossa/PR, 2011. Depoimentos de funcionários do frigorífico.

ARIMA, E. Y.; RICHARDS, P.; WALKER, R.; CALDAS, M. M. Statistical confirmation of indirect land use change in the Brazilian Amazon. Environmental Research Letters 6, 2011.

ASSOCON – Associação Nacional dos Confinadores. Levantamento da ASSOCON Sobre o Sistema de Produção em Confinamento no Brasil, 2013. Disponível em http://www.assocon.com.br/wordpress/wp-content/uploads/2012/12/Levantamento-sobre-Confinamento-ASSOCON-2012.pdf. Acesso em Setembro de 2013.

BARBER, A.; CAMPBELL, A.; HENNESSY, W.; Primary Energy and Net Greenhouse Gas Emissions from Biodiesel mad from New Zealand Tallow. Lower Hutt (New Zealand): CRT, 2007, 41p. [Energy Report 06-11547b].

BARCZA, M. V. Esterificação, 2009. Processos Unitários Orgânicos – Escola de Engenharia de Lorena (EEL-USP). Disponível em file:///C:/Users/geral/Downloads/Esterificacao.pdf. Acesso em dezembro de 2012.

BARONA, E.; RAMANKUTTY, N.; HYMAN, G.; COOMES, O. T. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. Environmental Research Letters, 2010.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A. M. The Hitch Hiker's Guide to LCA: An orientation in life cycle assessment methodolgy and application. Lund: Studentlitteratur, 2004. 543

BECKER, C; TREML, D.; MAUS, E. M.; BOSCO, K. Produção Cachaça. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Química e de Alimentos. Engenharia Bioquímica. Florianópolis, 2009.

BEEF POINT – O ponto de encontro da cadeia produtiva de carne. Abate bovino foi recorde para um 1º trimestre na série histórica – IBGE, 2014. Disponível em http://www.beefpoint.com.br/cadeia-produtiva/giro-do-boi/abate-bovino-foi-recorde-para-um-1o-trimestre-na-serie-historica-ibge/. Acesso em junho de 2014.

BELTRÃO, Napoleão Esberard de Macedo; AMORIM, Railda Silveira. O algodoeiro como fonte de energia: Única espécie trina, fonte de fibra, óleo e quantidades econômicas. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO. 1, 2007, Uberlândia. Disponível em: http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/cba6/trabalhos/Sistemas_de_Producao/Trabalho%20SP28.pdf. Acesso em dezembro de 2013.

BERTONCINI, E. I. (2008). Geração de Resíduos da Indústria da Cana-de-açúcar – Position Paper Painel IV. Workshop Aspectos Ambientais da Cadeia do Etanol de Cana-de-açúcar. Projeto Diretrizes de Políticas Públicas para a Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, Programa de Pesquisa em políticas Públicas (PPPP). São Paulo, Abril de 2008.

BIG BOI – Frigorífico Big Boi. Levantamento de informações sobre o funcionamento de um frigorífico típico. Maringá/PR, 2012. Depoimentos de funcionários do frigorífico.

BIODIESELBR. Biocombustíveis – Da primeira a quarta geração, 2008. Disponível em http://www.biodieselbr.com/destaques/2007/biocombustiveis-primeira-quarta geracao-10-03-08.htm. Acesso em agosto de 2014.

BIODIESELBR. Biodiesel no mundo – Estados Unidos, 2013. Disponível em http://www.biodieselbr.com/biodiesel/mundo/biodiesel-estados-unidos.htm. Acesso em outubro de 2013.

BIODIESELBR. Biodiesel: combustível renovável e ambientalmente correto, 2006. Disponível em http://www.biodieselbr.com/destaques/2005/combustivel-renovavel.htm. Acesso em novembro de 2014.

BIODIESELBR. Matéria-prima – Algodão, 2014a. Disponível em http://www.biodieselbr.com/plantas/algodao/algodao.htm. Acesso em fevereiro de 2014.

BIODIESELBR. Matéria-prima – Dendê, 2014b. Disponível em http://www.biodieselbr.com/plantas/dende.htm. Acesso em fevereiro de 2014.

BIODIESELBR. Matéria-prima – Girassol, 2014c. Disponível em http://www.biodieselbr.com/plantas/dende.htm. Acesso em fevereiro de 2014.

BIODIESELBR. Matéria-prima – Mamona, 2014d. Disponível em http://www.biodieselbr.com/plantas/mamona/informacoes-gerais.htm. Acesso em fevereiro de 2014.

BIODIESELBR. Matéria-prima – Óleo de Fritura Usado, 2014e. Disponível em http://www.biodieselbr.com/plantas/mamona/informacoes-gerais.htm. Acesso em fevereiro de 2014.

BIODIESELBR. O óleo de mamona como matéria-prima para o biodiesel, 2006. Disponível em http://www.biodieselbr.com/noticias/colunistas/suarez/oleo-mamona-materia-prima-biodiesel.htm. Acesso em maio de 2014.

BIODIESELBR. Palma é a melhor fonte para biodiesel, diz especialista, 2005. Disponível em http://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel/palma-e-a-melhor-fonte-para-biodiesel-diz-especialista-05-07-05.htm. Acesso em agosto de 2014.

BIODIESELBR. Pesquisadores da UFPR premiados por inovação em biodiesel, 2012. Disponível em http://www.biodieselbr.com/noticias/pesquisa/pesquisadores-ufpr-premiados-inovacao-biodiesel-280912.htm. Acesso em abril de 2013.

BIODIESELBR. Qualidade do diesel continua deficiente, problemas com biodiesel aumentam, 2012. Disponível em http://www.biodieselbr.com/noticias/qualidade/mistura/qualidade-diesel-continua-deficiente-problemas-biodiesel-aumentam-090812.htm. Acesso em maio de 2013.

BIODIESELBR. Sebo bovino se valoriza no RS e Brasil Central (Vídeo), 2014f. Disponível em http://www.biodieselbr.com/noticias/materia-prima/sebo/video-sebo-bovino-valoriza-rs-brasil-central-010414.htm. Acesso em julho de 2014.

BLAGOV, S.; BESSLING, B.; SCHOENMAKERS, H.; HASSE, H. Feasibility and multiplicity in reaction-distillation processes for systems with competing irreversible reactions. Chemical Engineering Science, v. 55, n. 22, p. 5421-5436, november. 2000. Disponível em http://www.researchgate.net/publication/223323946_Feasibility_and_multiplicity_in_reactiondistillation_processes_for_systems_with_competing_irreversible_reactions. Acesso em junho de 2013.

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento. Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. BNDES e CGEE (Org). Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

BNDES Setorial. Formação do Mercado de Biodiesel no Brasil. Rio de Janeiro, n 25, pag. 39 – 64, Mar. 2007.

BONI, L. A. B. Tratamento da glicerina bruta e subprodutos obtidos da reação de transesterificação de sebo bovino utilizada para a produção de biodiesel. 2008. 177f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia: Energia, Ambiente e Materiais, Universidade Luterana do Brasil, 2008.

BOTELHO, C. A. V. A. Viabilidade técnica e aspectos ambientais do biodiesel etílico de óleos residuais de fritura. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ebergia (PPGE) da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

BRANDER, M.; HUTCHISON, C.; SHERRINGTON, C.; BALLINGER, A.; BESWICK, C.; BADDELEY, A.; BLACK, M.; WOODS, J.; MURPHY, R. Methodology and Evidence Base on the Indirect Greenhouse Gas Effects of Usinf Waste, Residues, and By-products for Biofuels and Bioenergy. Londres: ECOMETRICA, 2009, 28p. [Report reference PR-091007-A].

BRUYNINCKX, I. The use of tallow-based biodiesel in New Zealand. 2010. Dissertação (Master of Engineering Studies) – Departamento de Engenharia Mecânica, University of Auckland, 2010.

BUAINAIN, A. C. et al. Agricultura familiar e inovação tecnológica no Brasil: características, desafios e obstáculos. 1ª Ed. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2007.

BUENO, C. R. F.; FREITAS, S. M.; NACHILUK, K. Produção e aplicações do sebo bovino. Texto para discussão nº 32/2012. Instituto de Economia Agrícola (IEA). São Paulo, 2012.

CAMARGO, A. M. Inventário do ciclo de vida do metanol para as condições brasileiras. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química, 2007.

CAMPOS, C. A.; CUNHA, R. A. Abate de Bovino. Revista Exercícios em Tecnologia de Alimentos, 2010, 6p.

CANAKCI, M., VAN GERPEN, J. Biodiesel productin via acid catalysis. Transactions of the ASAE. St. Joseph, v. 42, n. 5, p. 1203-1210, sep-oct.1999.

CARDOSO, A. S. Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso de pastagens no Brasil Central. 2012. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

CARVALHO, P. L. de Oliveira. Glicerina Bruta na alimentação de suínos. Tese (doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Zootecnia. Maringá, 2011.

CARVALHO, T. B. Estudo da elasticidade-renda da demanda de carne bovina, suína e de frango no Brasil. 2007. 88 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CASA CIVIL. LEI No 11.097, DE 13 DE JANEIRO DE 2005. Presidência da República – Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm. Acesso em Março de 2013.

CASA CIVIL. Política Nacional de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12805.htm . Brasilia, 2013.

CASTRO et al. Complexo Agroindustrial de Biodiesel no Brasil: Competitividade das Cadeias Produtivas deMatérias-Primas. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2010.

CAVALETT, O. Análise do Ciclo de Vida da Soja. 2008. 221 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

CEDERBERG, C.; MEYER, D.; FLYSJÖ, A. Life cycle inventory of greenhouse gas emissions and use of land and energy in Brazilian beef production. Gotemburg: SIK, 2009, 77p., ISBN 978-91-7290-283-1.

CÉLERES. Biotechnology Reporting, 2012. Brasil. Dezembro de 2012.

CEMPEQC – Instituto de Quimica UNESP. Ministério da Agricultura autoriza novo uso para a glicerina. Notícias, 2011. Disponível em: http://www.cempeqc.iq.unesp.br/noticias3.html. Acesso em setembro de 2012.

CENBIO/IEE/USP – Centro Nacional de Referência em Biomassa do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. Relatório Final. Projeto BIOACV - Comparação da ACV de Biodiesel Produzido a partir de Óleo de Soja e Gordura Bovina via Rota Metílica e Etílica (CNPq nº 558733/2010-7). São Paulo, 2013.

CENBIO/IEE/USP – Centro Nacional de Referência em Biomassa do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. Relatório de Atividades. Projeto de geração de energia elétrica a partir de óleo de mamona em Quixeramobim, Ceará. São Paulo, 2004.

Cesar, A.S., Batalha, M.O. Biodiesel production from castor oil in Brazil: a difficult reality. Energy Policy 2010;38:4031–9.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Guia Técnico Ambiental de Abates (bovino e suíno). São Paulo: CETESB, 2006, 98p. (Série P + L).

CHEMINFO et. al. Sensitivity Analysis of Bioethanol LCA Models to Determine Assumptions with the Greatest Influence on Outputs. Disponível em: http://www.ghgenius.ca/reports/BioethanolLCAFinalReport.pdf., 2008

CHEN, F.; HUSS, R. S.; MALONE, M. F.; DOHERTY, M. F. Simulation of kinetic effects in reactive distillation. Computers and Chemical Engineering, v. 24, n.11, p. 2457-2472, november. 2000.

CHENG, J. J.; TIMILSINA, J. R.; Advanced Biofuel Technologies: Status and Barriers. Policy Research Working Paper, set 2010. 5411, The World Bank Development Research Group Environment and Energy Team, 1-47.

CHRISTOFF, P. Produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial. Estudo de caso: Guaratuba, Litoral Paranaense. Dissertação de Mestrado. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC. Instituto de Engenharia do Paraná – IEP. Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologias. Área de Concentração – Tecnologias Energéticas. Curitiba, 2006.

Climate Vulnerability Monitor. The monitor Climate – Agriculture, 2012. Disponível em http://daraint.org/wp-content/uploads/2012/09/CVM2ndEd-Climate-Agriculture.pdf. Acesso em maio de 2014.

CNTL – CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS, SENAI-RS. Princípios Básicos de Produção mais Limpa em Matadouros Frigoríficos. Porto Alegre: UNIDO/ UNEP/ CNTL/ SENAI, 2003, 59p. (Série Manuais de Produção mais Limpa).

COELHO, S. T. ;Goldemberg, J. . Energia – de Estocolmo à Rio + 20. In: Fernando Rei; Juliana Cassano Cibim; Monica Guise Rosina; Salem Hikmat Nasser. (Org.). Direito e Desenvolvimento- Uma abordagem sustentável. 01ed.: Editora Saraiva, 2013, v. 01.

COELHO, S. T., GUARDABASSI, P. “Ethanol”. In: B. D. Solomon, R. Bailis (eds.), *Sustainable Development of Biofuels in Latin America and the Caribbean,* DOI 10.1007/978-1-4614-9275-7_3 © Springer Science+Business Media NewYork, 2014.

COLTRO, L. (Org). Avaliação de Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão. Campinas: CETEA/ITAL, 2007

COMISSÃO EUROPÉIA. Commission Decision of 10 June 2010 on guidelines for the calculation of land carbon stocks for the purpose of Annex V to Directive 2009/28/EC. Official Journal of the European Union, L151/19 de 17.6.2010.

COMISSÃO EUROPÉIA. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Official Journal of the European Union, L140/16 de 5.6.2009.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento de safra 2011/2012. Brasília: Conab 2011. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_08_10_58_12_08.pdf. Acesso em Fevereiro de 2012.

COPENOR – Companhia Petroquímica do Nordeste. Propriedades Químicas do Metanol, 2012. Disponível em http://www.copenor.com.br/compos.php?m=site.pagina&pag=168&idioma=br. Acesso em Setembro de 2012.

CORAZZA, M. L. Técnica de Destilação Reativa para Produção de Biodiesel. Apresentação realizada no 4º Seminário Bioenergia: Desafios e Oportunidades de Negócios, realizado pelo CENBIO/IEE/USP. São Paulo, 2012. Disponível em http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/4seminbioenergia/marcoscorazza.pdf. Acesso em março de 2013.

CORDOBA, A. Y. M. Estudo da combustão direta da glicerina bruta e loira como alternativa de aproveitamento energético. 2011. 270 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CORREA, L. A.; SANTOS, P. M. Produção de Carnes em Pastagens Adubadas. Sistemas de Produção 2. São Carlos: EMBRAPA Pecuária Sudeste, 2003, ISSN 1679-1495. Disponível em http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/BovinoCorte/BovinoCorteRegiaoSudeste/producaocarne.htm. Acesso em janeiro de 2012.

CORTEZ, L.; MAGALHÃES, P.; HAPPI, J. (1992) Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. Revista Brasileira de Energia, Vol.2, N□. 2, 1992.

COSTA M. C. G., Vitti G. C., Cantarella H., (2003). Volatilização de N-¬-NH3 de fontes nitrogenadas em cana-¬-de-¬-açúcar colhida sem despalha a fogo. Rev. Bras. Ciênc. Solo 27: 631-¬- 637.

COSTA, B. J.; OLIVEIRA, S. M. M. Dossiê Técnico – Produção de Biodiesel. SBRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. Informações sobre fabricação de biocombustíveis – produção de biodiesel. Resposta Técnica - TECPAR – Instituto de Tecnologia do Paraná. Paraná, 2006.

CROSSON, P.; SHALLOO, L.; O'BRIEN, D.; LANIGAN, G. J.; FOLEY, P. A.; BOLAND, T. M.; KENNY, D. A. A review of whole farm system models of green house gas emissions from beef and dairy cattle production systems. Animal Feed Science and Technology, v. 166-167, 2011, p. 29-45.

CUNHA, M. E. Caracterização de biodiesel produzido com misturas binárias de sebo bovino, óleo de frango e óleo de soja. 2008. 86f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

CURRAN, M. A. Life Cycle Assessment: principles and practice. Reston: Scientific Applications International Corporation, 2006. Disponivel em:<http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/pdfs/600r06060.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2010.

CURRAN, M. A; MANN, M; NORRIS, G. The international workshop on electricity data for life cycle inventories. Journal of Cleaner Production, v. 13, n. 13, p. 853-862, 2005.

CUSTODIO, A. F. Proposição de um processo intensificado e via Tecnologia verde para a obtenção de acetato de Etila. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Química da UNICAMP. Campinas, 2007.

DALGAARD, R. et al. LCA of soybean meal. Int. J. LCA, v. 13, n.3, p. 240–254, 2008.

DANTAS, M. A. Análise de Desempenho de um Queimador Infravermelho Funcionando com Gás Liquefeito de Petróleo e Glicerina. Dissertação (Mestrado) –

Programa de Pós – graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

DEDINI – DEDINI INDÚSTRIAS DE BASE. Biodiesel: catálogo. Piracicaba: DEDINI, 2012, 4 p.

DEL VECCHIO, E. Apresentação realizada no Seminário Investimentos em Biodiesel – BNDES. Dedini S/A Industrias de Base. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/Biodiesel_DEDINI.pdf. Acesso em março de 2006.

DELUCCHI, M. A. Lifecycle Analyses of Biofuels. Califórnia: Institute of Transportation Studies (Relatório Técnico UCD-ITS-RR-06-08), 2006.

DIAS-FILHO, M. B. Produção de bovinos a pasto na fronteira agrícola. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2010, 32 p.

DIMIAN, A. C.; BILDEA, C. S.; OMOTA, F.; KISS A. A. Innovative process for fatty acid esters by dual reactive distillation Computers & Chemical Engineering, v.33, p.743-750, 2009.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral 2006. Anuário Mineral Brasileiro 2006. Brasília, 2006.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral 2009. Economia Mineral do Brasil 2009. Brasília, 2009.

DORNELLES, F. Análise da gestão dos tratamentos dos efluentes gerados nos abatedouros de bovinos de São Luiz Gonzaga. 2009. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DORSA, R. Tecnologia de Óleos Vegetais. Campinas: Ideal, 2004.

EBB – European Biodiesel Board. Statistics - The EU biodiesel industry, 2011. Disponível em http://www.ebb-eu.org/stats.php#. Acesso em maio de 2014.

EBC – AGÊNCIA BRASIL. ANP: Consumo de combustíveis no Brasil cresceu 5% em 2013 (2014). Disponível em http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2014-

03/anp-consumo-de-combustiveis-no-brasil-cresceu-5-em-2013. Acesso em agosto de 2014.

ECOINVENT. Life Cycle Inventories of Chemicals. In: Part II – Inventoried Chemicals. Final report ecoinvent data v2.0 n.8, Dübendorf (2007).

ECYCLE. Diesel mais limpo e menos nocivo à saúde chega ao mercado brasileiro, 2012. Disponível em http://www.ecycle.com.br/component/content/article/35-atitude/1320-diesel-mais-limpo-e-menos-nocivo-a-saude-chega-ao-mercado-brasileiro.html. Acesso em março de 2014.

EIA - Energy Information Administration. International Energy Outlook, 2013. Report Number: DOE/EIA-0484(2013). Release Date: July 25, 2013. Disponível em http://www.eia.gov/forecasts/ieo/more_highlights.cfm. Acesso em março de 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Unidade Gado de Corte. Sistemas de Produção de Gado de Corte no Brasil: Uma Descrição com Ênfase no Regime Alimentar e no Abate. Documentos 151 – ISSN: 1517-3747. Campo Grande, 2005.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Unidade Soja. Evolução e Perspectivas de Desempenho Econômico Associadas com a Produção de Soja nos Contextos Mundial e Brasileiro. Documentos 319 – ISSN: 2176-2937. Londrina, 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Unidade Soja. História da Soja no Brasil, 2012. Disponível em https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/historia. Acesso em janeiro de 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Unidade Soja. Girassol, 2013. Disponível em https://www.embrapa.br/soja/cultivos/girassol. Acesso em junho de 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Circular Técnica nº 44 – Integração Lavoura-Pecuária. Londrina, 2007.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologias de Produção de Soja: Região Central do Brasil 2011 (2010). Londrina: Embrapa Soja, 2010.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Zoneamento Agroecológico, Produção e Manejo para a Cultura da Palma de Óleo na Amazônia, 2010. Embrapa Solos (2010a). Disponível em http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/28936/1/Livro-Dende-16x23cm-22fev.pdf. Acesso em fevereiro de 2014.

EMMENEGGER, M. F.; HECK, T. JUNGBLUTH, N. Life Cycle Inventories of Energy Systems: Results for current systems in Switzerland and other UCTE Countries, Data v 1.1 (2004) – Natural Gas. Ecoinvent Report n 5. Dubendorf, 2004.

EMMENEGGER, M. F.; REINHARD, J.; ZAH, R. Sustainability Quick Check for Biofuels: Background Report. Dübendorf, 2009.

EPA – U.S. Environmental Protection Agency. Waste cooking oil to fuel program “how to start your own biodiesel fuel program”, 2012.

EPA – U.S. Environmental Protection Agency. Life cycle assessment: principles and practice, 2006. Disponível em: http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/pdfs/600r06060.pdf. Acesso em junho de 2012.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2012: Ano base 2011. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2011: Ano base 2010. Rio de Janeiro: EPE, 2011.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional, 2013: Ano Base 2012. Relatório Final. Disponível em https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf. Acesso em fevereiro de 2014.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. BEM - Balanço Energético Nacional, 2012/ Resultados Preliminares/ Ano Base 2011. Rio de Janeiro – RJ, Jun. 2012.

EPFL. RSB GHG Calculation Methodology. Disponível em http://rsb.epfl.ch/files/content/sites/rsb2/files/Biofuels/Version%202/GHG%20Methodology/11-05-20-RSB-STD-01-003-02-Fossil%20Fuel%20Baseline%20GHG%20Calculation%20Methodology.pdf>. Acesso em julho de 2012.

ESSENTIAL CHEMICAL INDUSTRY. Chemical Reactors – Industrial Processes, 2013. Disponivel em http://www.essentialchemicalindustry.org/processes/chemical-reactors.html. Acesso em maio de 2013.

ESTADÃO – JORNAL O ESTADO DE SÃO PAULO. PIB cresce 2,3% em 2013 puxado por agropecuária e investimentos, 2014. Disponível em http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,pib-cresce-2-3-em-2013-puxado-por-agropecuaria-e-investimentos,178695e. Acesso em julho de 2014.

EXAME.COM. Importação de diesel pode dobrar até 2014, diz Petrobras (2012). Disponível em http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/importacao-de-diesel-pode-dobrar-ate-2014-diz-petrobras. Acesso em maio de 2014.

EXAME.COM. Produção de biodiesel cresce nos EUA, diz AIE, 2013. Disponível em http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/producao-de-biodiesel-cresce-nos-eua-diz-aie. Acesso em maio de 2013.

FAIRBANKS, M. Glicerina da Origem a Solvente. Revista Química e Derivados, Edição nº 487 , São Paulo, Jul. 2009.

FÁVARO, V. R. Utilizacao de glicerina, subproduto do Biodiesel, na alimentacao de bovinos. 2010. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2010.

FELIZARDO, P.; CORREIA, M. J. N.; RAPOSO, I.; MENDES, J. F.; BERKEMEIER, R.; BORDADO, J. M. Production of biodiesel from waste frying oils. Departamento de Engenharia Química. Universidade de Lisboa. Portugal, 2005.

FIGUEIRA. S. R. IMPACTOS DAS DIRETIVAS DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO NOS PROGRAMAS DE BIOCOMBUSTÍVEIS NA UNIÃO EUROPÉIA – UMA ANÁLISE DA DEMANDA, OFERTA E NORMAS SOCIOAMBIENTAIS. IX Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Brasília, 2011.

FINNVEDEN G. et al. Life Cycle Assessments of Energy from Solid Waste, APPENDIX 5. Stockholms universitet / systemekologiochfoa. September 2000.

FIORESE, D. A.; GOMES, L. F. S. Avaliação econômica da produção e utilização de biodiesel a partir de fontes vegetais e animais. *Cultivando o Saber*, Cascavel, v.2, n.1, p.117-129, 2009.

FLEXOR, G. G.; KATO, K. Y. M. A construção institucional do mercado de biodiesel no Brasil. Apresentação Oral-Desenvolvimento Rural, Territorial e regional. UFRRJ – Rio de Janeiro, 2008. Disponível em http://www.sober.org.br/palestra/13/474.pdf. Acesso em março de 2014.

FOLHA DE SÃO PAULO. Crise deixa dez usinas paradas na atual safra de cana-de-açúcar, 2014. Disponível em http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/ribeiraopreto/2014/04/1444575-crise-deixa-dez-usinas-paradas-na-atual-safra-de-cana-de-acucar.shtml. Acesso em setembro de 2014.

FRANCO, C. Glicerina, Loira Fatal: O Mercado Brasileiro e as Perspectivas. BiodieselBR.com, 29ª Edição, São Paulo, Jun/Jul 2012.

FRANCO, H. C. J., (2008). Eficiência agronômica da adubação nitrogenada de cana planta. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros. Universidade de São Paulo. Piracicaba.

FRISCHKNECHT, et al. Okoinventare von Energiesystemen- Grundlagen fur den okologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Okobilanzen ur die Schweiz. 3- Auflage, Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt, ETH Zurich, PSI Villingen, 1996.

FRISCHKNECHT, R. ET AL. Overview and Methodology. Ecoinvent Report No.1. Dübendorf: 2007.

GABE, U.; RODELLA, A. A. Trace elements in Brazilian agricultural limestones and mineral fertilizers. Commun. Soil Sci. Plan., 1999, v. 30, n. 5-6, p. 605–620.

Garcez, C.A.G.; Vianna, J.N.S. Brazilian Biodiesel Policy: Social and Environmental considerations of sustainability. Energy 34 (2009), 645-654.

GARCIA, C. A.; FUENTES, A. HENNECKE, A.; RIEGELHAUPT, E.; MANZINI, F.;MASERA, O. Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico. Applied Energy. v. 88, p. 2088-2097,2011

GMO COMPASS. GMO Crop Growing: Growing around the World, 2010. Disponível em http://www.gmo-compass.org/eng/agri_biotechnology/gmo_planting/342.genetically_dified_soybean_global_area_under_cultivation.htm. Acesso em outubro de 2013.

GNANAPRAKASAM, A.; SIVAKUMAR, V. M.; SURENDHAR, A., THIRUMARIMURUGAN, M.; KANNADASAN, T. Recent Strategy of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil and Process Influencing Parameters: A Review. Hindawi Publishing Corporation. Journal of Energy. Volume 2013, Article ID 926392. India, 2013.

GOEDKOOP, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M. A. J.; de SCHRYVER, A.; STRUIJS, J.; VAN ZELM, R., 2013. ReCiPe 2008: A lige cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition (revised). Report I: Characterisation.

GOEDKOOP, M.; SPRIENSMA, R. The Eco-indicator 99: A damage-oriented method for life cycle impact assessment. VROM, Ministry of Housing. Spatial Planning and the Environmenta, Netherlands, 2000.

GOLONI, L. A.; MOITA, R. M. Rebanho Bovino de Corte no Brasil: uma análise empírica do poder de mercado. In: 38º ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 2010, Salvador. Anais. São Paulo, ANPEC, 2010.

GOLONI, L. A.; MOITA, R. M. S. Rebanho bovino de corte no Brasil: Uma análise empírica de poder de mercado. In: XXXVIII Encontro Nacional de Economia (ANPEC). Salvador, 2010.

GOMES, I. M. T. S. F. Efeito do conteúdo energético da alimentação em colunas de destilação reativa. Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Engenharia Química e Biológica. Departamento de Engenharia Química do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa, 2012.

GOMES, M. M. R. Produção de biodiesel a partir da esterificação dos ácidos graxos obtidos por hidrólise de óleo residual de peixe. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

GPC QUÍMICA – Grupo Peixoto de Castro. Propriedades Físicas do Metanol, 2012. Disponível em http://www.gpcquimica.com.br/portal/metanol.html. Acesso em Setembro de 2012.

GRANT, T.; BEER, T.; CAMPBELL, P. K.; BATTEN, D.; Life Cycle Assessment of Environmental Outcomes and Greenhouse Gas Emissions from Biofuels Production in Western Australia. Collingwood (Australia): CSIRO, 2008, 80p. [Report KN29A/WA/F2.9].

GREET – Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation, version 1.8d. Argonne National Laboratory. Argonne, Illinois, USA,2010.

GRISOLI, R.; NOGUEIRA, A.; CASTANHEIRA, E. G.; FREIRE, F.; SILVA, G. A.; COELHO, S. T. EMISSÕES DE GASES DE EFEITO DE ESTUFA NO CICLO DE VIDA DO BIODIESEL DE SOJA PRODUZIDO NO BRASIL. III Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços. Maringá, 2012.

GRISOLI, RENATA PATRICIA SOARES (2011). Comparação das emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol de cana-de-açúcar no Brasil e os critérios da diretiva européia para energias renováveis. Tese (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

GUARDABASSI, PATRICIA MARIA (2011). Os Desafios à expansão sustentável da produção de etanol de cana-de-açúcar. Patricia Maria Guardabassi; orientador. José Goldemberg. São Paulo, 2011. 139 f. : il.; 30cm. Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

GUEREÑA, A. The soy mirage: The limits of Corporate Responsibility – The Case of the Company Desarrolo Agricola del Paraguay. Oxfam Research Reports. Oxford, UK, 2013.

GUINÉE. J. B.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; KLEIJN, R.; KONING, A.; DE OERS, L. ; SLEESWIJK, W. A.; SUH, S.; UDO DE HAES, H. A.; BRUIJN, H.; DUIN, R.; HUIJBREGTS, M. A. J. Handbook on life cycle assessment. Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, isbn 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002.

HANNA, M. A; ALI, Y.; CUPETT, S. L. Crystallization characteristics of methyl tallowate and its blends with ethanol and diesel fuel. Journal of the American Oil Chemists Society v. 68, n. 9, p. 678-679,: Sep. 1991.

HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I. C. Biomass Power generation, sugar cane bagasse and trash. Piracicaba: 2005. Disponivel em:http://www.ctcanavieira.com.br/media/Seminario_Alternativas_/ 00%20-%20Livro_BRA96G31.PDF.

HE, B.; SINGH, A. P.; THOMPSON, J. C. A novel continuous-flow reactor using reactive distillation technique for biodiesel production. Trans. ASABE, vol. 49(1), p. 107-112, 2006.

HIGLER, A. P.; KRISHNA, R.; ELLENBERBER, J.; TAYLOR, R. Countercurrent operation of a structured catalytically packed-bed reactor: Liquid phase mixing and mass transfer. Chemical Engineering Science, v. 54, n. 21, p. 5145-5152, November. 1999.

Hossain AK, Davies PA. Plant oils as fuels for compression ignition engines: a technical review and life-cycle analysis. Renew Energy 2010;35:1–13

HOU, J.; ZHANG. P.; YUAN, X.; ZHENG, Y. Life cycle assessment of biodiesel from soybean, jatropha and microalgae in China conditions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, n. 9, p. 5081-5091, 2011.

HUGILL, J.A.; OVERBEEK, J.P; SPOELSTRA, S. A comparison of the ecoefficiency of two production routes for methanol. ECN Energy Efficiency in Industry, 2001.
IBAMA. Produtos agrotóxicos e afins comercializados em 2009 no Brasil: uma abordagem ambiental. Brasília: 2010.

IBCE. Comercio Exterior in Bolivia: Desarrollo del sector oleaginoso 1980 – 2010. Newsletter nº 193. IBCE, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2006 – Resultados Preliminares. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/defaulttab_censoagro.shtm. Acesso em janeiro de 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 1995. Disponível em http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=333&z=t&o=3. Acesso em janeiro de 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores - Estatística da Produção Pecuária, 2013. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201303_publ_completa.pdf. Acesso em janeiro de 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção de Pecuária Municipal – Efetivo dos rebanhos, segundo as Grandes Regiões e Unidades de Federação. Anos 2002 a 2012. Disponível em

http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2012/default.shtm. Acesso em janeiro de 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. 2012. Disponível em : <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?z=t&o=24&i=P>.

IDELT – Instituto de Desenvolvimento, Logística, Transporte e Meio Ambiente. Transporte, logística e meio ambiente: aliados estratégicos, 2013. Disponível em http://idelt.org.br/?p=196. Acesso em maio de 2014.

IEA – International Energy Agency. Key World, Energy, Statistics, 2013. OECD/IEA. Disponível em http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf. Acesso em março de 2014.

INFORMA ECONOMICS FNP. Agrianual 2009: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: 2009.

INFORMA ECONOMICS FNP. Agrianual 2010: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: 2010.

INFORMA ECONOMICS FNP. Agrianual 2011: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: 2011.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. “Projeto PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite”, 2013. Disponível em http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php. Acesso em janeiro de 2014.

INTERCARNES. Boletim Informativo nº 3971. São Paulo: INTERCARNES, 2010, 3p.
IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Guidelines for national greenhouse gas inventories, Vol. 4 – Agriculture, forestry and other land use, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.

Janssen R, Rutz DD. Sustainability of biofuels in Latin America: risks and opportunities. Energy Policy 2011;39:5717–25.

Jayed MH, Masjuki HH, Saidur R, Kalam MA, Jahirul MI. Environmental aspects and challenges of oilseed production biodiesel in Southeast Asia. Renew Sustain Energy Rev 2009;13:2452–62.

JORGE, A. M. Abate e Rendimento de Carcaça. Botucatu: UNESP, 2010b, 38 p. Material referente à Disciplina de Avaliação e Tipificação de Carcaças, do Departamento de Produção Animal, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia.

JORGE, A. M. Tipos Morfofisiológicos e taxa de maturação corporal. Botucatu: UNESP, 2010a, 33 p. Material referente à Disciplina de Avaliação e Tipificação de Carcaças, do Departamento de Produção Animal, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia.

JORGENSEN, A.; BIKKER, P.; HERRMANN, I. T. Assessing the greenhouse gas emissions from poultry fat biodiesel. Journal of Cleaner Production, v. 24, p.85-91, 2012.

JOSÉ, J. V.; RIBAS, M. M. F.; FREITAS, P. S. L.; FRANCISCONI JUNIOR, J. P. Efeito da aplicação de efluente de abatedouro bovino tratado em lagoas de estabilização no solo e no desenvolvimento do milho. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, v.2, nº 1, 2009, p. 51-59.

JUNGBLUTH ET AL. Life Cycle Inventories of Bioenergy. Ecoinvent Report No. 17. Uster: 2007.

KIM, S.; DALE, B. E. Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel. Biomass and Bioenergy, v. 29, n.6, p. 426- 439, 2005.

KISS, A. A.; OMOTA, F.; DIMIAN, A. C.; ROTHENBERG, G. The heterogeneous advantage: biodiesel by catalytic reactive distillation. Topics in Catalysis, v.40, p.141-150, 2006.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J; RAMOS, L. P. R. Manual de biodiesel. Título original: The Biodiesel Handbook - Tradução de Luiz Pereira Ramos. Editora Edgard Blücher. ISBN 978-85-212-0405-3. São Paulo, 2006.

KRAUSE, L. C. Desenvolvimento do processo de produção de biodiesel de origem animal. 2008. 147f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008

LAHL, U. An analysis of Iluc and Biofuels Regional Quantification of Climate Relevant Land Use Change and Options for Combating. Germany, 2010.

LAPOLA, D.; SCHALDACH, R.; ALCAMO, J.; BONDEAUD, A.; KOCHA, J.; KOELKINGA, C.; PRIESSE, . A. Indirect land-use changes can overcome carbon savings from biofuels in Brazil. 2010.

LARSON, E. D. A review of life-cycle analysis studies on liquid biofuel systems for the transport sector. Energy Sustainable Devel. v. 2, p. 109–126, 2006.

LEME, M. M. V. Avaliação das Opções Tecnológicas para Geração de Energia a Partir dos Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Engenharia da Energia. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2010

LIMA, L.L. Produção de Biodiesel a partir da Hidroesterificação dos Óleos de Mamona e Soja, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rj, 2007.

LOPES, E. M. Análise Energética e da Viabilidade Técnica da Produção de Biodiesel a partir de Sebo Bovino. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG, 2006.

LOTERO, E.; LIU, Y.; LOPEZ, D. E.; SUWANNAKARN, K.; BRUCE, D. A.; GOODWIN JR., J. G. Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis. Industrial and Engineering Chemistry Research, v. 44, p. 5353-5363, 2005.

LUO, L.; VAN DER VOET, E.; HUPPES, G. An energy analysis of ethanol from cellulosic feedstock – corn stover. Renewable Sustainable Energy Rev. v. 13, n. 8, p. 2003–2011, 2009.

MACEDO, I. C.; NOGUEIRA, L. A. H. Avaliação do Biodiesel no Brasil. In: BRASIL. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Cadernos NAE: n. 2 – Biocombustíveis. Brasília, 2004.

MACEDO, I. C.; NOGUEIRA, L. A. H. Biocombustíveis. Caderno NAE nº 02. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Brasília, 2005

MACEDO, I. Uso de defensivos agrícolas. In A Energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade, 2005. Disponível em

file:///C:/Users/geral/Downloads/87fab037d89b093c00b5136c45d0e0fe.pdf. Acesso em março de 2012.

MACEDO, I.C., SEABRA, J.E.A, SILVA, J.E.A.R. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. Biomass and Bioenergy, v. 32, p. 582-595, 2008

MACROPLAN. Plano de desenvolvimento Espírito Santo 2025. Nota Técnica: Agregação de Valor e Diversificação Econômica do Espírito Santo. Espírito Santo, 2006.

MAPA – MINISTÉRIO BRASILEIRO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Portaria n° 01, de 04 de março de 1983. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Fiscalização Agropecuária. Brasília, 1983.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO – Secretaria de Produção e Agroenergia / EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Informação Tecnológica. Plano Nacional de Agroenergia 2006 – 2011. 2ª Edição Revisada. Brasília, 2006.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO (2011). Anuário Estatístico da Agroenergia. Brasília, 2010.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO. Anuário Estatístico da Agroenergia 2012 (2012a). Brasília: MAPA, 2012a.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO. Balança Comercial – Exportações do Agronegócio Atingiram US$ 9,61 bilhões, 2014 (2014a). Disponível em http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2014/07/exportacoes-do-agronegocio-atingiram-uss-9-bilhoes. Brasília: MAPA, 2014a. Acesso em julho de 2014.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO. Benefícios Ambientais da Produção e do Uso de Biodiesel – 1ª Edição (2013a). Relatório apresentado à Câmara Setorial da Cadeia Produtiva de Oleaginosas e Biodiesel em outubro de 2013. Brasília, 2013.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO. Brasil – Projeções do Agronegócio 2011/2012 a 2021/2022, 2012 (2012b).

Disponível em http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/gestao/projecao/Projecoes%20do%20Agronegocio%20Brasil%202011-20012%20a%202021-2022%20(2)(1).pdf. Acesso em agosto de 2014.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO. Consulta de abate por estado/espécie, 2014 (2014b). Disponível em http://sigsif.agricultura.gov.br/sigsif_cons/!ap_abate_mensal_cons?p_select=SIM. Brasília: MAPA, 2014. Acesso em junho de 2014.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO. Culturas – Soja, 2013 (2013b). Disponível em http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja. Acesso em fevereiro de 2013.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO. Estatísticas e Dados Básicos de Economia Agrícola, 2014 – junho de 2014 (2014c). Disponivel em http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/Pasta%20de%20Junho%20-%202014.pdf. Acesso em julho de 2014.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO. Exportação, 2014 (2014e). Disponível em http://www.agricultura.gov.br/animal/exportacao. Acesso em junho de 2014.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO. MAPA comemora alteração no biodiesel, 2014 (2014d). Disponivel em http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2014/05/mapa-comemora-alteracao-no-biodiesel. Acesso em julho de 2014.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA). Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Brasília, 1997.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTAECIMENTO. Relatório de estabelecimentos, 2012 (2012c). Disponível em http://sigsif.agricultura.gov.br/sigsif_cons/!ap_estabelec_nacional_rep?p_relatorio=estabelecimentos.rdf&p_id_area=1&p_id_cat_estab=73&p_cd_classe_estab=&p_sg_uf=&p_id_municipio=&p_serial=288407863&p_id_area=1&p_id_cat_estab=73&p_id_classe_estab=45&p_cd_classe_estab=&p_sg_uf=&p_id_municipio=&p_serial=288416760. Brasília: MAPA, 2012c. Acesso em junho de 2012.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal (RIISPOA) (2012d). Disponível no site da instituição em: < http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Aniamal/MercadoInterno/Requisitos/RegulamentoInspecaoIndustrial.pdf> Acesso em 15 abr. 2012.

MARCELLINO, C. E. H. Estudo comparativo de obtenção de biodiesel utilizando catalisadores homogêneos. 2007. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MARTHA JR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Pecuária brasileira e a economia de recursos naturais. Perspectiva Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). nº 1, 2011, p.1-2.

MARTINES, E. Especificação do Biodiesel. SBRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. Informações sobre a especificação do biodiesel. Resposta Técnica - TECPAR – Instituto de Tecnologia do Paraná. Paraná, 2007

MARTINS, R.; NACHILUK, K.; BUENO, C. R. F.; FREITAS, S. M. O biodiesel de sebo bovino no Brasil. Informações Econômicas, v. 41, nº 5, 2011.

MARZULLO, R. C. M. Análise de Ecoeficiência dos óleos vegetais oriundos da soja e palma, visando a produção de biodiesel. 2007. 302 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2007.

MATOS, C. R. A. Etano e Biodiesel. Cadernos de Educação Ambiental nº 11. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do meio Ambiente. Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais. São Paulo, 2011.

MATTEI, L. F. PROGRAMA NACIONAL PARA PRODUÇÃO E USO DO BIODIESEL NO BRASIL (PNPB): TRAJETÓRIA, SITUAÇÃO ATUAL E DESAFIOS. UFSC-ECONOMIA. FLORIANOPOLIS – SC, 2008. Disponível em http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/PNPB_tragetoriaedesafios_000g6u32wq802wx5ok0wtedt3y8oturi.pdf. Acesso em janeiro de 2013.

MCTI – Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação. Segunda comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudanças climáticas. Vol. 1. Brasília: MCT, 2010, 280 p.

MDA/SAF, 2011b. Ministério do Desenvolvimento Agrário/ Secretaria da Agricultura Familiar PNPB: inclusão social e desenvolvimento territorial. Disponível em: /http://www.mda.gov.br/portal/saf/arquivos/view/biodisel/arquivos-2011/ Biodiesel_Book_final_Low_Completo.pdf. Acesso em dezembro de 2012.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior, denominado AliceWeb, 2014. Disponível em http://aliceweb2.mdic.gov.br/. Acesso em fevereiro de 2014.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior, denominado AliceWeb, 2012. Disponível em http://aliceweb2.mdic.gov.br/. Acesso em Dezembro de 2012

Mendonça, R.M. L. Avaliação de ciclo de vida do carbono na queima de biodiesel à base de óleo de soja, Dissertação submetida ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília; 2007.

MERCADO, G. J. R. Design and analysis in modeling reactive separation processes. Tese de Doutorado of Mayaguez: University of Puerto Rico, p. 93, 2008.

MILLI, B.B.; GRIPA, D.C.; SIMONELLI, G.; MARTINS, M.O.D. Produção de Biodiesel a partir da Mistura de Sebo Bovino com Oleo Vegetal. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiania, v.7, n. 12, pag. 1, 2011.

MITTELBACH, M. Biodiesel Production Technolgies. Institute of Chemistry (IFC) Department of Renewable Resources. Karl-Franzens-University Graz. Lublijana, 2008.

MMA – MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE, 2014. Agenda 21 Global. Disponível em (http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global). Visualizado em 08/05/2014.

MME – Ministério de Minas e Energia. Biodiesel. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel, 2012. Disponível em http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel /menu/biodiesel/pnpb.html. Acesso em fevereiro de 2013.

MME – Ministério de Minas e Energia. Biodiesel. Selo Combustível Social, 2004. Disponível em http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/selo_combustivel_social.html. Acesso em abril de 2014.

MME – Ministério de Minas de Energia. Boletim mensal dos combustíveis renováveis – ed 51/abril 2012.

MORAIS, F. R. Desenvolvimento de um processo contínuo para produção de biodiesel a baixas temperaturas. 2011. . Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Sergipe, UFS, 2011.

MORETTO, E.; FETT, R. Tecnologia dos óleos e gorduras vegetais. Rio de Janeiro: Varela, 1989.

MOURAD, A. L. Avaliação da Cadeia Produtiva de Biodiesel obtido a partir da Soja. 2008. 141 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008.

MOURAD, A. L. Principais culturas para obtenção de óleos vegetais combustíveis no Brasil. An. 6. Enc. Energ. Meio Rural 2006. Campinas, 2006.

NAE – NÚCLEO DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Biocombustíveis: caderno nº 2 (jul. 2004). Brasilia: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2004, 234 p.

NARDIN, M. R. Torta de filtro aplicada em argissolo e seu efeito agronômico em duas variedades de cana-de-açúcar. Dissertação de Mestrado. Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, 2007.

NASCHE, A. O. O papel do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel como instrumento de política de redução das desigualdades regionais brasileiras. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

NEMECEK, T.; KÄGI, T. Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Ecoinvent Report No. 15. Zürich e Dübendorf: 2007.

NEVES, A. A. S. Avaliação do aproveitamento de óleos alimentares usados para a produção de biodiesel na área metropolitana do Porto. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2008.

NIEDERL, A.; NARODOSLAWSKY, M. Life Cycle Assessment – study of biodiesel from tallow and used vegetable oil. Graz (Austria): Institute for Resource Efficient and Sustainable Systems, 2004, 34p.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S. Dendroenergia – Fundamentos e aplicações. Ed. Interciencia. 200p, 2003

NOVA CANA. Distribuição das usinas de etanol no Brasil, 2013. Disponível em http://www.novacana.com/usina/distribuicao-usinas-etanol-brasil/#distribuicao-geografica. Acesso em setembro de 2013.

NOVA CANA. Usineiros e produtores enfrentam uma das piores crises da cana, 2014. Disponível em http://www.novacana.com/n/cana/mercado/usineiros-produtores-piores-crises-cana-300714/. Acesso em setembro de 2014.

NYKO, D.; GARCIA, J. L. F.; MILANEZ, A. Y.; DUNHAM, F. B.; A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada. Biocombustíveis, jun 2010. 32, Departamento de Biocombustiveis da Area Industrial do BNDES, 5-48.

OBERMAIER, M.; HERRERA, S.; ROVERE, E.L. Análise de problemas estruturais da inclusão da agricultura familiar na cadeia produtiva de biodiesel. IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, João Pessoa, PB, 2010.

OLIVEIRA, F. C. C.; SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, W. L. P. Biodiesel: Possibilidades e Desafios. Trabalho publicado em Química Nova na Escola, nº 28, maio de 2008. Disponível em http://qnint.sbq.org.br/qni/visualizarTema.php?idTema=30. Acesso em abril de 2013.

OMETTO, A. R.; HAUSCHILD, M. Z.; ROMA, W. N.L. Lifecycle assessment of fuel ethanol from sugarcane in Brazil. Int J Life Cycle Assess, v. 14, p.236–247, 2009.

OMOTA F., DIMIAN C. A. E BLIEK A., Fatty acid esterification by reactive distillation. Part 1: equilibrium-based design, Chemical Engineering Science, vol. 58, p. 3159-3174, 2003.

PADULA, A.D.; SANTOS, M.S.; FERREIRA, L.; BORENSTEIN, D. The emergence of the biodiesel industry in Brazil: Currents figures and future prospects. Energy Policy 44 (2012), 395-405.

PAIVA, E. F. L. Tecnologia do Abate Bovino. 2008. 54 p. Monografia (Curso de Especialização em Higiene e Inspeção de Produtos de Origem Animal e Vigilância Sanitária) – Universidade Castelo Branco, São Paulo, 2008.

PALÁCIO DO PLANALTO. Lei 11.105, de 24 de março de 2005. Presidência da República – Casa Civil – Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11105.htm. Acesso em março de 2012.

PALHAREZ, S.; MASO, L.; RIBAS, C.; SALVADOR, A. A. Biodiesel: aspectos gerais e produção enzimática. 27p. Monografia (Especialização em Bioquímica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009.

PANICHELLI, L.; GNANSOUNOU, E. Estimating greenhouse gas emissions from indirect land-use change in biofuels production: Concepts and exploratory analysis for biodiesel production. Journal of Scientific and Industrial Research, 2008.

PAOLIELLO, José M. M. M. Aspectos Ambientais e Potencial Energético no Aproveitamento de Resíduos da Industria Sucroalcooleira. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da UNESP, 2006.

PARENTE, E. J. de S. (2003). BIODIESEL: Uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: Tecbio, 2003.

PAUDALHO – Frigorífico Paudalho. Levantamento de informações sobre o funcionamento de um frigorífico típico. Ponta Grossa/PR, 2011. Depoimentos de funcionários do frigorífico.

PENTEADO, M. C. P. S. Identificação de gargalos e estabelecimento de um plano de ação para o sucesso do Programa Brasileiro de Biodiesel. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

PERES, S.; PALHA, M. L. A. P.; AMORIM, V. P. P. ; GONDIM, G. ; GONDIM, L. ; LIMA, M. A. G. A. ; LIMA, F. P. ; NASCIMENTO, T A ; BARBOSA, A . Obtenção do Biogás a partir da Glicerina Residual Utilizando Dejetos Bovinos como Inóculo. In: III Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 2009, Brasília - D. F, v. 3, pag. 333-334, 2009.

PERRY H. R., CHILTON H. C., Manual de engenharia química, cinética de reação, projeto de reator e termodinâmica, 5ª ed., Editora: Guanabara Dois, 1986.

PETROBRAS. Fatos e Dados - Boas perspectivas em todas as áreas da Petrobras para 2012, 2012. Disponível em http://fatosedados.blogspetrobras.com.br/2012/01/01/boas-perspectivas-em-todas-as-areas-para-2012/. Acesso em outubro de 2012.

PIACENTE, E. A. Perspectivas do Brasil no mercado internacional de etanol / Erik Augusto Piacente. Campinas, SP: [s.n.], 2006. 189p. Orientador: Arnaldo César da Silva Walter Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

PIRES, M. M.; ALVES, J. M.; NETO, J. A. A.; ALMEIDA, C. M.; SOUSA, G. S.; CRUZ, R. S; MONTEIRO, R.; LOPES, B. S.; ROBRA, S. Biodiesel de mamona: Uma avaliação econômica. I Congresso Brasileiro de Mamona – Energia e Sustentabilidade. Campina Grande, 2004.

POLEDNA, Silvia R. C. Processos de obtenção do biodiesel. SBRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. Informações sobre os processos de obtenção do biodiesel. Resposta Técnica - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI RS. Departamento Regional. Rio Grande do Sul, 2005.

PORTELA, H. E. Avaliação técnico-econômica de um empreendimento produtivo de biodiesel. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2008.

POUSA, G. P.A.G..; SANTOS, A. L.F.; SUAREZ, P.A.Z. History and policy of biodiesel in Brazil. Energy Policy 35 (2007), 5393-5398.

PRIMAS, A. Life Cycle Inventories of Chemicals, Data v 1.1 (2004) – Methanol from natural gas. Ecoinvent report n 8: Dubendorf, 2004.

PRIMAVESI, O. A pecuária de corte brasileira e o aquecimento global. São Carlos: EMBRAPA Pecuária Sudeste, 2007, 43p.

PT – Partido dos Trabalhadores. Boas perspectivas em todas as áreas da Petrobras para 2012, 2012. Disponível em http://www.pt.org.br/secretaria_noticias/view/boas_perspectivas_em_todas_as_areas_da_petrobras_para_2012. Acesso em outubro de 2012.

QUEIROZ JR. G.; OLIVEIRA, L. B.; STRAGEVITCH, L.; FREITAS, M. A. V.; RAMOS, P. SILVA, P. R. C. Rota tecnológica para produção de biodiesel. SBRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. Informações sobre as rotas tecnológicas para produção de biodiesel. Resposta Técnica - Rede de Tecnologia da Bahia - RETEC/BA. Bahia, 2007.

RABELO, P. M. Cadeia Produtiva do Couro. 2007. CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em http://www.conab.gov.br/conabweb/download/nupin/Couro_Bovino_Outubro_2007.pdf. Acesso em 21 abr 2011.

RAMOS, L. P.; SILVA, F. R.; MANGRICH, A. S.; CORDEIRO, C. S. Tecnologias de Produção de Biodiesel. Rev. Virtual Quim., 2011, 3 (5), 385-405. Data de publicação na Web: 22 de outubro de 2011. Disponível em http://www.uff.br/RVQ/index.php/rvq/article/viewFile/190/191. Acesso em setembro de 2012.

REZENDE, M. J. C. Uso de argila Brasileira como catalisador na produção de biodiesel. Tese de Doutorado – Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

RATHMANN, R., PADULA, A.D., 2011. The decision-making process of the agents belonging to the biodiesel production chain in southern Brazil. Journal of Agricultural Science and Technology, 865–873.

RATHMANN, R., SZKLO, A., SCHAEFFER, R. Targets and results of the Brazilian Biodiesel Incentive Program–has it reached the promised land? Applied Energy 97 (2012), 91-100.

REBITZER G, et al. Life cycle assessment part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environ Int ;30(5):701–20, 2004

REIJINDERS, L.; HUIJBREGTS, M.A.J. Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. J. Clean. Prod. v. *1*6, n.4, p. 477–482, 2008.

REIS, M, H. , *Desenvolvimento de modelagens de não equilíbrio para caracterização e aplicação em simulação de colunas de destilação complexa*. Campinas: Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2006.

REN21 – Renewables Energy Policy Network for the 21st Century. Global Status Report, 2009.

REN21 – Renewables Energy Policy Network for the 21st Century. Global Status Report, 2010.

REN21 – Renewables Energy Policy Network for the 21st Century. Global Status Report, 2011.

REN21 – Renewables Energy Policy Network for the 21st Century. Global Status Report, 2012.

REN21 – Renewables Energy Policy Network for the 21st Century. Global Status Report, 2013.

REN21 – Renewables Energy Policy Network for the 21st Century. Global Status Report, 2014.

RENOUF M. A., WEGENER M. K., PAGAN R. J.,(2010). Life cycle assessment of Australian sugarcane production with a focus on sugarcane growing. Int J Life Cycle Assess 15: 927-¬-937.

REUTERS. Importação de gasolina pelo Brasil cai 45% no primeiro semestre, 2014. Disponível em http://br.reuters.com/article/topNews/idBRKBN0FG27L20140712. Acesso em setembro de 2014.

RIBEIRO DE MATOS,T., 2011. Aspectos fiscais da cadeia de biodiesel. BiodieselCongress, São Paulo. Disponível em: /www.biodieselcongress.com.br. Acesso em setembro de 2013.

RIZZI, B. SILVA, G. A. J; MAIOR, T. S. Mamona como biocombustível. Bolsista de Valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense. Rio de Janeiro, 2010.

ROBERT, N. F. Processos para Obtenção de Biodiesel. SBRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas.Resposta Técnica - REDETEC Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro, 2007. Rio de Janeiro, 2007.

ROÇA, R. O. Rendimento do Abate de Bovinos. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP), 2000, 4p. (artigo técnico).

ROCHA M. H. Uso da análise do ciclo de vida para a comparação do desempenho ambiental de quatro alternativas para tratamento da vinhaça. Dissertação de mestrado. Instituto de Engenharia Mecânica, programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, Maio de 2009.

ROCHA, L. L. L. ; Anderson K. Domingos ; Nelson R. A. Filho ; Jussara A. Gonçalves; SILVA, Cristiane Mesquita da ; SOUZA, M. M. V. M. ; Aranda, D.A.G.. Estudo Empírico da Hidrólise de Óleos Vegetais. Em: II Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 2007.

ROMANELLI, T. L.; MILAN, M. Material flow determination through agricultural machinery management. Scientia Agricola, v. 67, n.4, p. 375-495, 2010.

RÚA, C. et al. Life cycle environmental benefits of biodiesel production and use in Spain. In: Highway and Urban Environment. Morrison GM, Rauch S (Eds). Springer, The Netherlands, 13–22, 2007.

RUIZ-POVEDA, M. M. Instalación de una central termoelétrica de 200 kW alimentada con biomasa de origen forestal en una comunidad aislada de la región Amazónica del archipiélago de Marajó. 2008. 230 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Politécnica de Madri, Madri, 2008.

RUVIARO, C. F. Life Cycle Assessment in beef production in Brazil. 2012. 117p. Tese (Doutorado em Agronegócios) – Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SAFRAS & MERCADO. Soja trangênica atinge 85% da área plantada no Brasil. In: Portal do Agronegócio, 2012. Disponível em: http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?tit=soja_trangenica_atinge_85_da_area_plantada_no_brasil&id=72441

SALEMI, L. F.; Biocombustíveis de segunda geração: o futuro passa por aqui. Revista Brasileira de Bioenergia, v. 3, n.7, 1-1, mar 2009.

SANTOS, L. J. PRODUÇÃO CONTÍNUA DE BIODIESEL UTILIZANDO COLUNA DE DESTILAÇÃO REATIVA. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

SANTOS, M. A. dos. Inserção do biodiesel na matriz energética brasileira: aspectos técnicos e ambientais relacionados ao seu uso em motores de combustão.

Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo. 118 p. São Paulo, 2007.

SCHMIDT J H, MERCIAI S, THRANE M AND DALGAARD R (2011), Inventory of country specific electricity in LCA – Consequential and attributional scenarios. Methodology report v2. 2.-0 LCA consultants, Aalborg. Disponível em http://www.lca-net.com/projects/electricity_in_lca/. Acesso em fevereiro de 2012.

SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Soja – Análise da Conjuntura Agropecuária. DERAL – Departamento de Economia Rural. Paraná, dezembro de 2013.

SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Soja – Análise da Conjuntura Agropecuária. DERAL – Departamento de Economia Rural. Paraná, outubro de 2012.

SEABRA, J. Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SEABRA, J. E. A.; MACEDO, I. C.; CHUM, H. L.; FARONI, C. E.; SARTO, C. A. Lifecycle assessment of Brazilian sugarcane products: GHG emissions and energy use. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, v. 5, p. 519-532, 2011.

SEARATES. Estimativas de distâncias marítimas, 2012. Disponível em http://www.searates.com/reference/portdistance/. Acesso em julho de 2012.

SECRETARIA DA FAZENDA. Tabela do valor do dólar dos Estados Unidos das Américas, 2005. Disponível em http://www.receita.fazenda.gov.br/pessoafisica/irpf/2006/ajusteanual/preenchimento_TabelaDolar.htm. Acesso em agosto de 2014.

SHEEHAN J, CAMOBRECO V, DUFFIELD J, GRABOSKI M, SHAPOURI H. Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus''. NREL – National Renewable Energy Laboratory; 1998.

SHEEHAN, J.; DUNAHAY, T.; BENEMANN, J.; ROESSLER, P. A look back at the U.S. Department of Energy's aquatic species program: biodiesel from algae. National Renewable Energy Laboratory, Golden, 1998.

SILVA FILHO, J. B. Produção de biodiesel etílico de óleos e gorduras residuais (OGR) em reator químico de baixo custo. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da UTFPR, campus Curitiba, 2010.

SILVA, C. R. U. Balanço de energia e das emissões de gases de efeito estufa da cadeia produtiva do etanol brasileiro. 2009. 134 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2009.

SILVA, D. M. O.; PERLINGEIRO, C. A. G.; CRUZ, Y. R. Produção de biodiesel a partir do óleo de soja. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Trabalho publicado no 7º PDPetro – 7º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, realizado em Aracaju/SE em 2013. Rio de Janeiro, 2013.

SILVA, G. A. Impacto da Avaliação do Ciclo de Vida na Competitividade da Indústria Brasileira: Panorama da Avaliação do Ciclo de Vida. In: Seminário: Impacto da Avaliação do Ciclo de Vida na Competitividade da Indústria Brasileira. São Paulo, 2005. Disponível em: http://acv.ibict.br/publicacoes/anais/gil_anderi_1.pdf.. Acesso em março de 2012.

SILVA, G. A.; KULAY, L. A. Avaliação do ciclo de vida. In: JÚNIOR, A. V.; DEMAJOROVIC, J. (Org.) Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações. São Paulo: Senac, p. 313 – 336, 2006

SILVA, G. A.; KULAY, L. A. Avaliação do Ciclo de Vida. In: VILELA JR., A.; DEMAJOROVIC, J. (Org.). Modelos e ferramentas de Gestão Ambiental: Desafios e perspectivas para as organizações. 2a ed. revista e ampliada. Sao Paulo: Editora Senac, 2010. p. 325-348.

SILVA, G. A.; YOKOTE, A. Y.; RIBEIRO, P. H. Desenvolvimento de banco de dados brasileiro para avaliação de ciclo de vida. Global Conference – building a sustainable world. São Paulo, 2002.

SILVEIRA, B. I. Produção de Biodiesel – Análise e Projeto de Reatores Químicos. ISBN 978-85-7893-877-2. Editora Biblioteca 24 horas. São Paulo, 2011.

SNA – Sociedade Nacional de Agricultura. Lavoura de soja avança e exige atenção. Disponível em http://sna.agr.br/lavoura-de-soja-avanca-e-exige-atencao/. Acesso em maio de 2014.

SOUZA, A. S.; SILVA, J. V. M. A; CHAVES, T. M. I. Biodiesel: Uma Alternativa. Disciplina de Introdução à Engenharia Química I. Curso de Graduação em

Engenharia Química. Instituto de Química da Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

SOUZA, C. A. Sistemas catalíticos na produção de biodiesel por meio de óleo residual. Engenharia Hídrica da UNIFEI. An. 6. Enc. Energ. Meio Rural, 2006. Disponível em http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000200040&script=sci_arttext. Acesso em dezembro de 2012.

SOUZA. A. S.; SILVA, J. V. M. A.; CHAVES, T. M. I. Biodiesel: Uma Alternativa. Curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

SPIELMANN, M.; BAUER, C.; DONES, R.; TUCHSCHMID, M. Transport Services. Ecoinvent report No. 14. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007.

STEINIGEWEG, S.; GMEHLING, J. Esterification of a Fatty Acid by Reactive Distillation. Ind. and Eng. Chem. Research, v.42, p.3612-3619, 2003.

STIDHAM, W. D.; SEAMAN D. W.; DANZER, M. F. Method for preparing a lower alkyl Ester product from vegetable oil. Patente dos EUA nº 6.127.560, 2000.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P.; MENEGHETTI, M. R. Transformação de Triglicerídeos em Combustíveis, Materiais Poliméricos e Insumos Químicos: Algumas Aplicações da Catálise na Oleoquímica. Química Nova, v. 30, n. 3, p 667 – 676, 2007.

SUGAWARA, E. T. Comparação dos desempenhos ambientais do B5 etílico de soja e de óleo diesel, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química. São Paulo, 2012.

SVOBODA, S. Note on Life Cycle Analysis. Prepared by, manager of the University of Michigan Corporate Environmental Management Program (CEMP). LCA Note, March 1995

TAKEDA, A. Levantamento de métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) e análise comparativa dos métodos mais utilizados. Monografia do curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

TAYLOR, R. WWF Living Forests Report. Chapter 3: Forests and Climate.WWF, Gland, Switzerland, 2011.

TAYLOR, R.; KRISHNA, R. *Modelling Reactive Distillation*. Chemical Engineering Science, 55, 5183-5229, 2000.

TEIXEIRA, G. A. A. Avaliação do Tempo de Vida Útil de Biodiesel Metílico Obtido a partir da Mistura de Sebo Bovino e Óleos de Soja e Babaçu. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba. Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Departamento de Química. Programa de Pós-Graduação em Química. João Pessoa, 2010.

THIAGO, L. R. L. S.; SILVA, J. M. Aspectos práticos da suplementação alimentar de bovinos de corte. Campo Grande: EMBRAPA Gado de Corte, 2006, 28 p.

TRIVELIN, P.C.O., FRANCO H.C.J., (2011). Balanço de nitrogênio de fertilizantes e a sustentabilidade de agrossistemas: o estado da arte e necessidade de pesquisas. XXXIII Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo. Uberlandia: 2011.
UDO DE HAES, H. A. Discussion of general principles and guidelines for practical use. In: UDO DE HAES, H. A (ed) *Towards a methodology for life cycle impact assessment*. Brussels: Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1996. 98 p.

UGAYA, C. M. L. Análise de Ciclo de Vida: Estudo de Caso para Materiais e Componentes Automotivos no Brasil. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

UNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (2011). Estatísticas. Disponível em www.unica.com.br. Acesso em setembro de 2012.

UNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (2013). Série histórica da produção de cana e etanol. Disponível em www.unica.com.br. Acesso em fevereiro de 2014.

UNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (2014). Exportação de etanol. Disponível em www.unica.com.br. Acesso em fevereiro de 2014.

ÚNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Mapa de produção do setor sucroalcooleiro, 2014. Disponível em http://www.unica.com.br/mapa-da-producao/. Acesso em setembro de 2014.

USDA – United States Department of Agriculture. Oilseeds: World Markets and Trade. Janeiro de 2010.

Vaccaro, G.L.R; Pohlmann, C.; Lima, A.C.; dos Santos, M.S.; de Souza, C.B.; Azevedo,D. Prospective scenarios for a biodiesel chain of a Brazilian state. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010),1263-1272.

VAN DER VOET, E. LIFSET, R.J.; LUO, L. Life-cycle assessment of biofuels, convergence and divergence. Biofuels, v.1, n. 3, p. 435-449, 2010.

VASWANI, S. Development of models for calculating the life cycle inventory of methanol by liquid phase and conventional production process. Department of civil engineering, North Caroline State University, United States: Raleigh, 2000.

Vigliano, R., 2003. Combustível socialmente correto. Brasil Energia 274, 54–55.

VILLELA, A. A. Expansão da Palma na Amazônia oriental para fins Energéticos. Tese de Doutorado. Programa de Planejamento Energético. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2014.

WALTER, A. DOLZAN, P., QUILODRÁN, O., GARCIA, J., SILVA, C., PIACENTE, F., SEGERSTEDT, A., 2008. A sustainability analysis of the Brazilian ethanol. A report supported by UK Embassy and DEFRA

Wehrmann, M.E.S.F.; Vianna, J.N.S.; Duarte, L. M. G. Biodiesel de Soja:Política Energética, Contribuição das Oleaginosas e Sustentabilidade. Em: Anais do III encontro de ANPPAS . Brasília, Brasil: ANPPAS;2006.

WEIDEMA B. P.; EKVALL, T.; HEIJUNGS R. Guidelines for application of deepned and broadened LCA. Project CALCAS n. 037075. [S.l.]: 2009. Disponivel em: <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/calcas_report_d18.pdf>. Acessoem: 02 fev. 2011.

WENZEL, H. et al. Environmental tools in product development. Proceedings of the 1994 IEEE International Symposium on Eletrocnics & the Environment. San Francisco: IEEE, p.100-108, 1994.

WWF - World Wildlife Fund. O CRESCIMENTO DA SOJA – Impactos E soluções. Report, 2014. Disponível em http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/wwf_relatorio_soja_port.pdf. Acesso em agosto de 2014.

YOKOTE, A.Y. Inventário do Ciclo de Vida da Distribuição de Energia Elétrica no Brasil. 2003. 369 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2003.

ZAGONEL, G. F.; Obtenção e caracterização de biocombustíveis a partir da transesterificação etílica do óleo de soja. Curitiba, nov. 2000. 70p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Paraná (Setor de Ciências Exatas). Paraná, 2000.

Zonin V. Potenciais e Limitações da Indústria de Biodiesel no Brasil: um Estudo de Caso. Dissertação de Mestrado. São Leopoldo: PPGEPS-UNISINOS; 2008. 275 pp.

ZUCCHI, J. D. Modelo locacional dinâmico para a cadeia agroindustrial da carne bovina brasileira. 2010. 201 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

ANEXO A – CAPACIDADE INSTALADA DE BIODIESEL EM 2014, SEGUNDO UNIDADES PRODUTORAS

Unidade produtora	Município / UF	Capacidade instalada m^3/dia
Total		**21.077,8**
Abdiesel	Araguari/MG	6,0
Abdiesel	Varginha/MG	2,4
ADM	Rondonópolis/MT	1.352,0
ADM	Joaçaba/SC	510,0
Araguassú	Porto Alegre do Norte/MT	100,0
Barralcool	Barra do Bugres/MT	190,5
Beira Rio	Terra Nova do Norte/MT	12,0
Bianchini	Canoas/RS	900,0
Big Frango	Rolândia/PR	6,0
Binatural	Formosa/GO	450,0
Bio Brazilian Italian Oil	Barra do Garças/MT	98,0
Bio Óleo	Cuiabá/MT	150,0
Bio Petro	Araraquara/SP	194,4
Bio Vida	Várzea Grande/MT	18,0
Biocamp	Campo Verde/MT	300,0
Biocapital	Charqueada/SP	400,0
Biocar	Dourados/MS	30,0
Bionasa	Porangatu/GO	653,0
Biopar	Rolandia/PR	120,0
Biopar	Nova Marilândia/MT	338,0
Biotins	Paraíso de Tocantins/TO	81,0
Bocchi	Muitos Capões/RS	300,0
Bsbios	Passo Fundo/RS	444,0
Bsbios	Marialva/PR	510,0
Bunge	Nova Mutum/MT	413,8
Camera	Ijuí/RS	650,0
Caramuru	São Simão/GO	625,0
Caramuru	Ipameri/GO	625,0
Cargill	Três Lagoas/MS	700,0
Cesbra	Volta Redonda/RJ	166,7
Cooperbio	Cuiabá/MT	460,0
Cooperfeliz	Feliz Natal/MT	10,0
Delta	Rio Brilhante/MS	300,0
Fertibom	Catanduva/SP	333,3
Fiagril	Lucas do Rio Verde/MT	563,0
Fuga Couros	Camargo/RS	300,0
Grand Valle	Porto Rea/RJ	247,0

Unidade produtora	Município / UF	Capacidade instalada m^3/dia
Granol	Anápolis/GO	1.033,0
Granol	Cachoeira do Sul/RS	933,3
Granol	Porto Nacional/TO	360,0
Grupal	Sorriso/MT	120,0
Jataí	Jataí/GO	50,0
JBS	Lins/SP	560,2
Minerva	Palmeiras de Goiás/GO	45,0
Noble	Rondonópolis/MT	600,0
Oleoplan	Veranópolis/RS	1.050,0
Olfar	Erechim/RS	600,0
Orlândia	Orlândia/SP	150,0
Ouro Verde	Rolim de Moura/RO	9,0
Petrobras Biocombustíveis	Candeias/BA	603,4
Petrobras Biocombustíveis	Montes Claros/MG	422,7
Petrobras Biocombustíveis	Quixadá/CE	301,7
Potencial	Lapa/PR	477,0
Rondobio	Rondonópolis/MT	10,0
SPBio	Sumaré/SP	83,3
SSIL	Rondonópolis/MT	50,0
Tauá Biodiesel	Nova Mutum/MT	100,0
Transportadora Caibiense	Rondonópolis/MT	100,0
Três Tentos	Ijuí/RS	500,0
V-Biodiesel	Iraquara/BA	360,0

Fonte: ANP, 2014c.

ANEXO B - RESUMO DOS LEILÕES REALIZADOS PELA ANP DE 2005 A 2014

Fases da mistura de biodiesel no óleo diesel						
Leilão	Fase da mistura opcional de 2% - janeiro 2006 a dezembro 2007					
	Unidades ofertantes	Unidades classificadas	Volume ofertado (m3)	Volume arrematado (m3)	Preço máximo de referência (R$/m3)	Preço médio (R$/m3)
1º Leilão - Edital ANP 61/05 - 23/11/05	8	4	92.500	70.000	1.920,00	1.904,84
2º Leilão - Edital ANP 07/06 - 30/3/06	12	8	315.520	170.000	1.908,00	1859,65
3º Leilão - Edital ANP 21/06 - 11/7/06	6	4	125.400	50.000	1.904,84	1.753,79
4º Leilão - Edital ANP 22/06 - 12/7/06	25	12	1.141.335	550.000	1.904,51	1.746,48
5º Leilão - Edital ANP 02/07 - 13/2/07	7	4	50.000	45.000	1.904,51	1.862,14
Leilão	Fase da mistura obrigatória (2% de janeiro a junho e 3% de julho a dezembro) - 2008					
	Unidades ofertantes	Unidades classificadas	Volume ofertado (m3)	Volume arrematado (m3)	Preço máximo de referência (R$/m3)	Preço médio (R$/m3)
6º Leilão - Edital ANP 69/07 - 13/11/07	26	11	304.000	304.000	2.400,00	1.865,60
7º Leilão - Edital ANP 70/07 - 14/11/07	30	10	76.000	76.000	2.400,00	1.863,20
8º Leilão - Edital ANP 24/08 - 10/4/08	24	17	473.140	264.000	2.804,00	2.691,70
9º Leilão - Edital ANP 25/08 - 11/4/08	20	13	181.810	66.000	2.804,00	2.685,23
10º Leilão - Edital ANP 47/08 - 14/8/08	21	20	347.060	264.000	2.620,00	2.604,64
11º Leilão - Edital ANP 48/08 - 15/8/08	20	17	94.760	66.000	2.620,00	2.609,70
Leilão	Fase da mistura obrigatória (3% de janeiro a junho e 4% de julho a dezembro) - 2009					
	Unidades ofertantes	Unidades classificadas	Volume ofertado (m3)	Volume arrematado (m3)	Preço máximo de referência (R$/m3)	Preço médio (R$/m3)
12º Leilão - Lotes 1 e 2 - Edital ANP 86/08 - 24/11/08	46	42	449.890	330.000	2.400,00	2.387,76
13º Leilão - Lotes 1 e 2 - Edital ANP 9/09 - 27/2/09	59	39	578.152	315.000	2.360,00	2.155,22
14º Leilão - Lotes 1 e 2 - Edital ANP 34/09 - 29/5/09	59	53	645.624	460.000	2.360,00	2.308,97
15º Leilão - Lotes 1 e 2 - Edital ANP 59/09 - 27/8/09	59	51	684.931	460.000	2.300,00	2.265,98
Leilão	Fase da mistura obrigatória de 5% - a partir de janeiro de 2010					
	Unidades ofertantes	Unidades classificadas	Volume ofertado (m3)	Volume arrematado (m3)	Preço máximo de referência (R$/m3)	Preço médio (R$/m3)
16º Leilão - Lotes 1 e 2 - Edital ANP 81/09 - 17/11/09	63	55	725.179	575.000	2.350,00	2.326,67
17º Leilão - Lotes 1 e 2 - Edital ANP 11/10 - 1/3/10	71	49	565.000	565.000	2.300,00	2.237,05
18º Leilão - Edital ANP 11/10 - 27 a 31/5/10	75	54	600.000	600.000	2.320,00	2.105,58
19º Leilão - Edital ANP 70/10 - 30/08 a 3/9/10	75	49	615.000	615.000	2.320,00	1.740,00
20º Leilão - Edital ANP 90/10 - 17 a 19/11/10	---	60	600.000	600.000	2.320,00	2.296,76
21º Leilão - Edital ANP 5/11 - 16 a 18/2/11	---	54	660.000	660.000	2.320,00	2.046,20
22º Leilão - Edital ANP 5/11 - 24 a 26/5/11	---	53	700.000	700.000	2.261,00	2.207,60
23º Leilão - Edital ANP 35/11 - 24 a 29/8/11	---	101	700.000	700.000	2.493,31	2.398,75
24º Leilão - Edital ANP 66/11 - 21 a 23/11/11	---	91	650.000	647.000	2.479,95	2.396,19
25º Leilão - Edital ANP 07/12 - 27 a 29/2/12	---	83	700.000	679.400	2.397,38	2.105,25
26º Leilão - Edital ANP 31/12 - 4 a 14/6/12	---	39	1.017.500	768.939	2.636,95	2.491,37
27º Leilão - Edital ANP 47/12 - 18 a 24/9/12	---	34	848.619	773.324	2.758,17	2.734,33
28º Leilão - Edital ANP 62/12 - 6 a 12/12/12	---	35	651.473	496.308	2.641,76	2.603,46
29º Leilão - Edital ANP 002/13 - 1, 6 e 7/02/13	---	34	715.500	517.357	2.630,03	2.263,56
30º Leilão - Edital ANP 014/13 - 1, 4 e 5/04/13	---	38	750.253	488.532	2.504,69	2.031,22
31º Leilão - Edital ANP 034/13 - 3, 6 e 7/06/13	---	38	765.770	515.443	2.449,39	1.987,95
32º Leilão - Edital ANP 048/13 - 5, 8 e 9/08/13	---	35	770.240	524.836	2.539,00	1.896,68
33º Leilão - Edital ANP 063/13 - 5, 8 e 9/08/13	---	40	739.400	521.546	2.449,50	1.976,40
34º Leilão - Edital ANP 078/13	---	39	588.700	485.636	2.397,00	2.090,45
35º Leilão - Edital ANP 001/14	---	36	699.278	549.666	2.395,50	1.965,37

Fonte: Adaptado de ANP, 2014a.

ANEXO C – OUTROS TIPOS DE ÓLEOS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

C.1 Algodão

O algodoeiro é uma das principais plantas domesticadas pela humanidade e, também, uma das mais antigas (BUAINAIN et al., 2007). O algodão é a segunda maior cultura de oleaginosa do Brasil. É uma das plantas de maior aproveitamento, seja por sua fibra, que possui mais de 400 aplicações industriais, seja pelo óleo, com larga aplicação na indústria alimentícia, além de ser utilizado na produção de biodiesel (BELTRÃO& AMORIM, 2007).

Cerca de 40% da planta do algodão é composta por fibra, que é comercializada para a indústria têxtil, e 60% de caroço, de onde são extraídos o óleo e o farelo, que é encaminhado para a fabricação de ração animal (BIODIESELBR, 2014a).

O óleo de algodão traz a vantagem de ser mais barato que o da soja e possuir quase a mesma disponibilidade. É por isso que esse óleo conquistou o mercado e, conforme citado anteriormente, ocupa o terceiro lugar entre as matérias-primas mais utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil, estando atrás apenas da soja e da gordura animal.

Entretanto, o óleo de algodão é mais impuro, sendo necessário um pré-tratamento específico, acarretando no aumento de custos da sua utilização. Além disso, este óleo apresenta outra desvantagem, que é o baixo teor de óleo por caroço. A Tabela C.1 apresenta algumas informações técnicas da cultura do algodão.

Tabela C.1. Informações técnicas da cultura do algodão

Item	Dado
Ciclo	120 - 180 dias
Teor de óleo do caroço (média)	19%
Teor de farelo do caroço	80% - 82%
Produtividade média de caroço de algodão	1.900 kg/ha
Rendimento em caroço	58% - 72%
Rendimento em pluma	28% - 42%
Rendimento em óleo vegetal	361 kg/ha

Fonte: MAPA, 2012a.

A Figura C.1 apresenta a produção mundial de óleo de algodão desde a safra 1994/95.

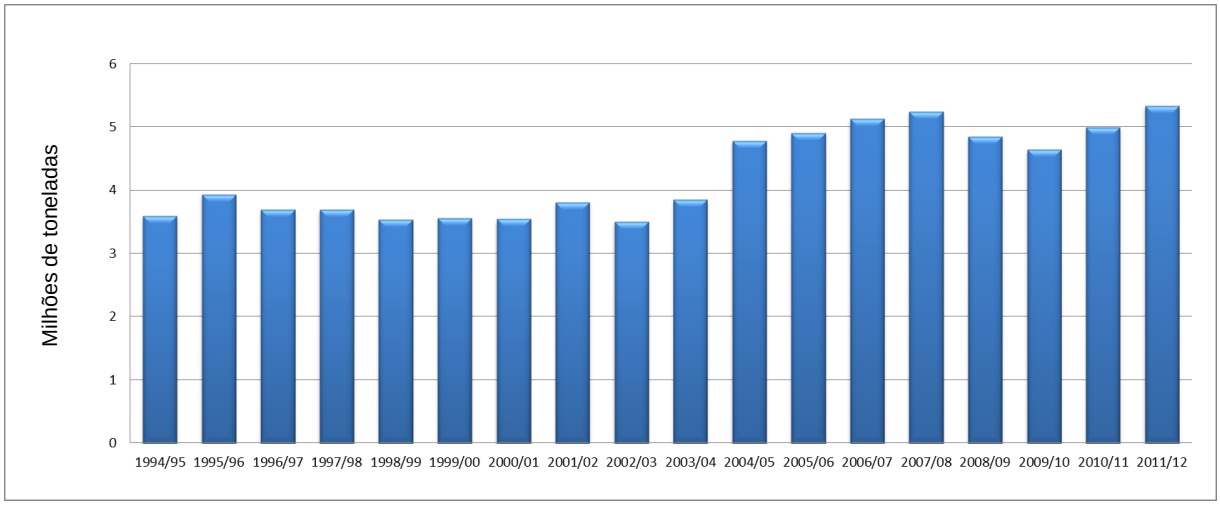


Figura C.1. Produção mundial de óleo de algodão – Safras 1994/95 a 2011/12.
Fonte: MAPA, 2012a.

O Brasil está entre os 5 maiores países produtores de caroço de algodão. No mundo, o algodão é considerado a quinta oleaginosa, e no Brasil é a segunda, perdendo apenas para a soja. Na safra de 2011/12 foram produzidos mundialmente cerca de 5,3 milhões de toneladas de óleo de algodão, o que equivale a um aumento de quase 7% em relação à safra anterior (2010/11).

A Figura C.2 apresenta a evolução histórica da produção de caroço de algodão no Brasil, em milhões de toneladas, em cada uma das cinco grandes regiões brasileiras.

Observa-se que a maior região produtora de caroço de algodão é a Centro-Oeste, que também foi a região que mais aumentou sua produção desde a safra de 1996/97.

A Tabela C.2 apresenta a área plantada de algodão desde a safra de 1976/77 até 2011/2012. A Figura C.3 apresenta a evolução de área plantada em cada uma das cinco grandes regiões brasileiras.

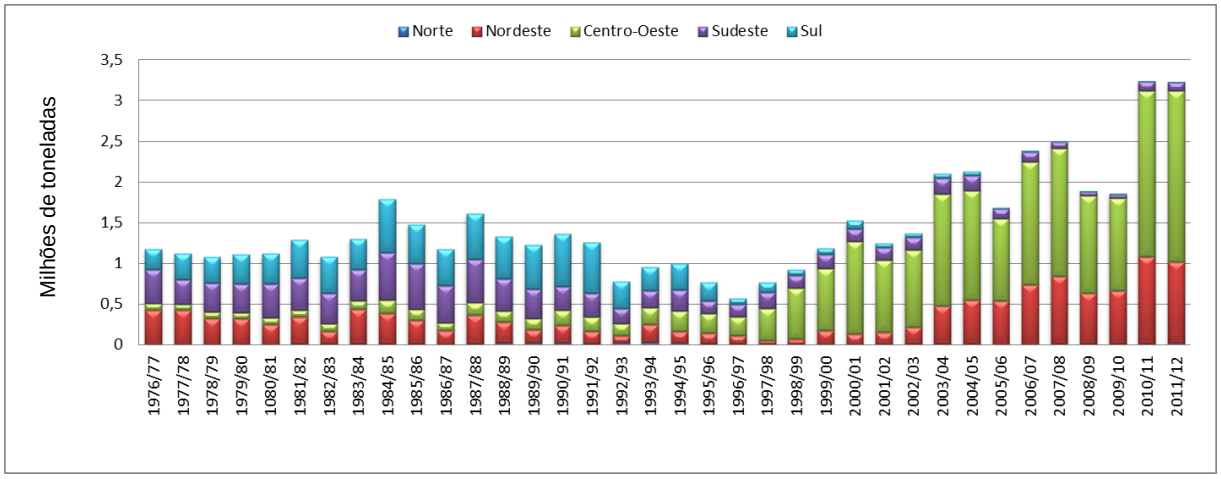


Figura C.2.Evolução histórica da produção de caroço de algodão no Brasil Safras 1976/77 a 2011/12. Fonte: Elaboração própria com base nos dados do MAPA, 2012a.

Tabela C.2. Área plantada de algodão no Brasil nas safras de 1976/77 a 2011/12.

Safras	Área Plantada (milhões de hectares)	Safras	Área Plantada (milhões de hectares)
1976/77	4,096	1994/95	1,229
1977/78	3,926	1995/96	0,953
1978/79	3,624	1996/97	0,658
1979/80	4,071	1997/98	0,88
1080/81	4,137	1998/99	0,694
1981/82	3,827	1999/00	0,824
1982/83	3,625	2000/01	0,868
1983/84	3,107	2001/02	0,748
1984/85	3,707	2002/03	0,735
1985/86	3,325	2003/04	1,1
1986/87	2,161	2004/05	1,179
1987/88	2,576	2005/06	0,856
1988/89	2,23	2006/07	1,097
1989/90	1,964	2007/08	1,077
1990/91	1,939	2008/09	0,843
1991/92	1,971	2009/10	0,836
1992/93	1,277	2010/11	1,4
1993/94	1,238	2011/12	1,391

Fonte: MAPA, 2012a.

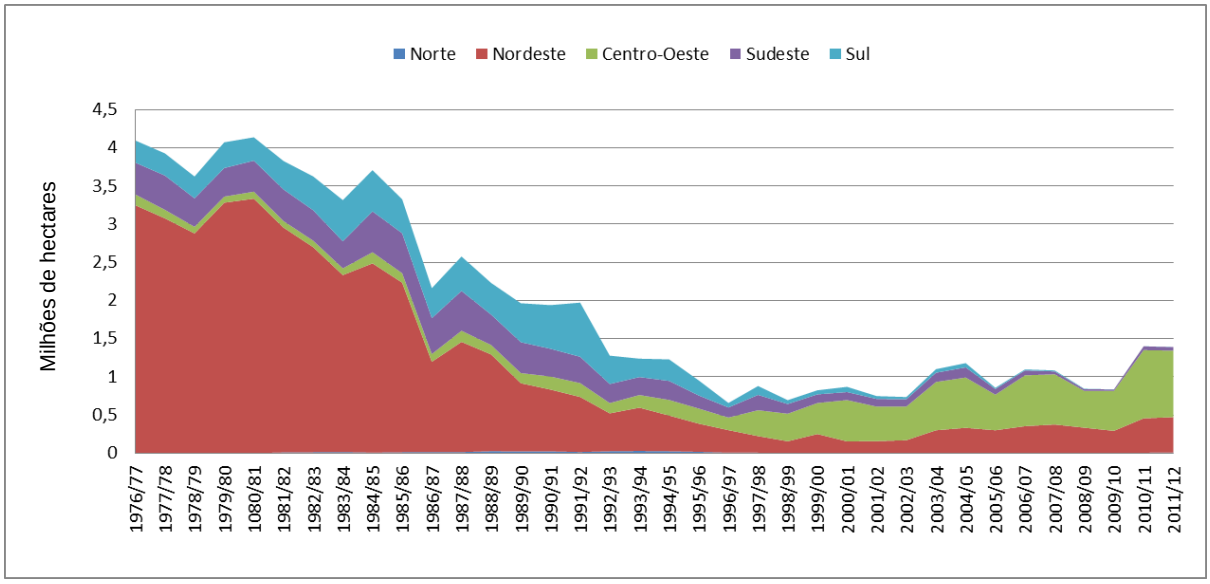


Figura C.3. Evolução de área plantada de algodão em cada uma das cinco grandes regiões brasileiras - Safras 1976/77 a 2011/12.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

Diante da Tabela C.2 e Figura C.3 observa-se que a área destinada ao plantio de algodão tem diminuído. Entre as safras de 1976/77 e 2011/12 a área plantada diminuiu cerca de 70%. Isso deve-se ao fato de que a área que era destinada ao algodão passou a ser destinada para outro tipo de plantio.

A Figura C.4 apresenta a evolução histórica da produtividade de algodão no Brasil. Observa-se que apesar da diminuição da área plantada, a produtividade do algodão aumentou cerca de 700% desde a safra 1976/77.

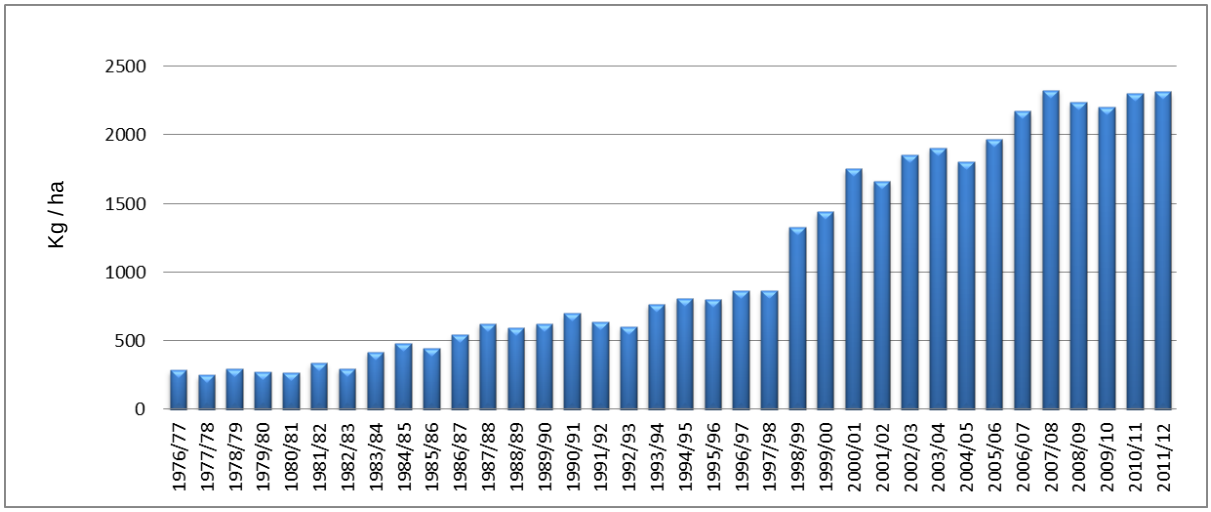


Figura C.4. Evolução histórica da produtividade de algodão no Brasil - Safras 1976/77 a 2011/12.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

O desenvolvimento de cultivares com maior teor de óleo, mantendo a qualidade da fibra, e melhorias no processo de extração de óleo, são os principais desafios desta cultura. Mesmo assim o óleo de algodão continuará sendo uma importante matéria-prima para a produção de biodiesel no Brasil, principalmente na entressafra da soja, que é quando sua oferta é maior.

C.2 Dendê/Palma

As palmeiras, como é o caso do dendê, apresentam a maior produtividade por hectare, que pode chegar a até oito vezes a da soja, e baixos custos de manutenção, pois são plantas perenes, não necessitando grandes investimentos anuais com o plantio. Além disso, essa cultura pode ser utilizada na recuperação de áreas degradadas, aproveitando um solo antes improdutivo sem acarretar em novas derrubadas na floresta (BIODIESELBR, 2014b). O problema é o tempo de maturação, pois as palmeiras levam de 3 a 5 anos para começarem a dar frutos e de 5 a 8 anos para atingirem a produtividade máxima. A Tabela C.3 apresenta algumas informações técnicas da cultura do dendê.

Tabela C.3. Informações técnicas da cultura do dendê.

Item	Dado
Ciclo	25 anos
Teor de óleo no cacho	22%
Produtividade média de cacho	10.000 kg/ha
Rendimento em óleo	4.000 kg/ha

Fonte: MAPA, 2012a.

A Tabela C.4 apresenta os principais países produtores de óleo de dendê e a evolução da produção desde a safra de 2002/03. A Figura C.5 apresenta a produção de dendê no Brasil de 1980 a 2010.

Tabela C.4. Principais países produtores de óleo de dendê e quantidade produzida (milhões de toneladas)

Safras	Países						
	Indonésia	Malásia	Tailândia	Nigéria	Colômbia	Demais Países	Mundo
2002/03	10,30	13,18	0,64	0,54	0,77	2,28	27,71
2003/04	11,97	13,42	0,84	0,61	0,78	2,38	30,00
2004/05	13,56	15,19	0,82	0,65	0,79	2,51	33,52
2005/06	15,56	15,49	0,78	0,69	0,80	2,66	35,98
2006/07	16,60	15,29	1,17	0,77	0,81	2,70	37,34
2007/08	18,00	17,57	1,05	0,82	0,83	2,68	40,95
2008/09	20,50	17,26	1,54	0,85	0,76	2,94	43,85
2009/10	22,00	17,76	1,35	0,85	0,78	3,22	47,95
2010/11	23,60	18,21	1,29	0,85	0,78	3,22	47,95
2011/12	25,40	18,70	1,55	0,85	0,89	3,29	50,67

Fonte: MAPA, 2012a.

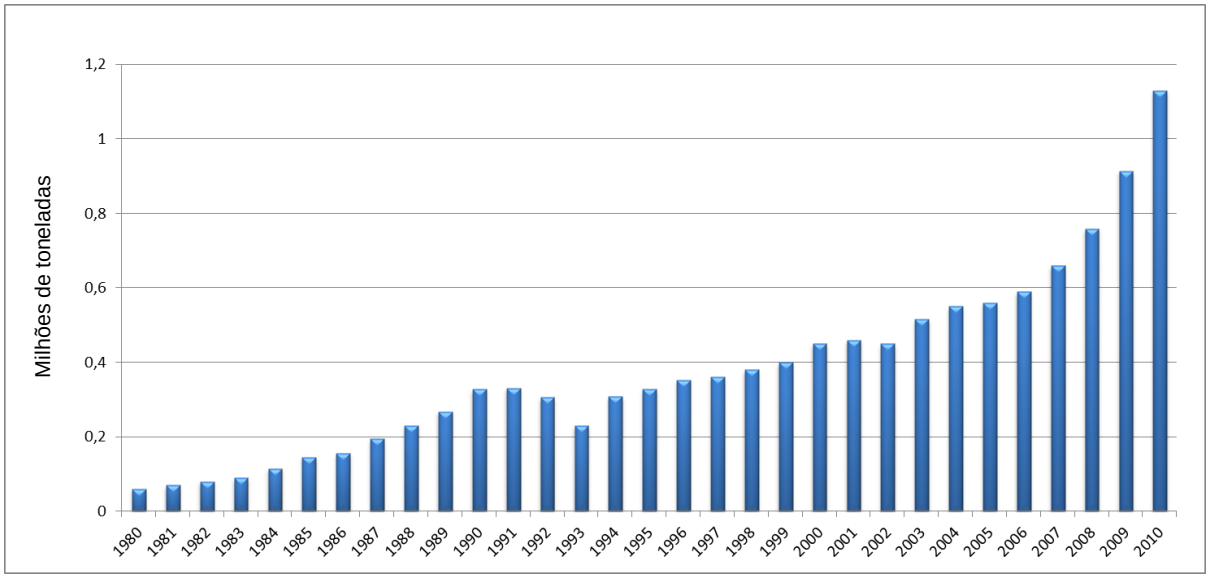


Figura C.5. Evolução histórica da produção de dendê no Brasil – Anos 1980 a 2010.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

A Figura C.6 apresenta a evolução de área plantada de dendê no Brasil de 1980 a 2010.

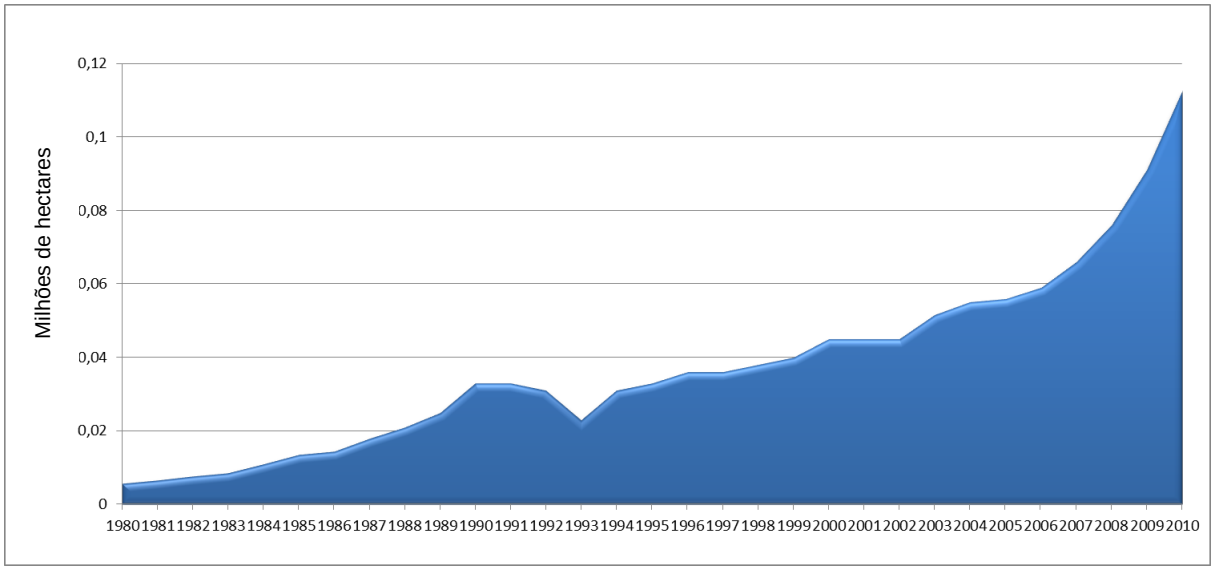


Figura C.6. Evolução histórica da área plantada de dendê no Brasil – Anos 1980 a 2010.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

Verifica-se que o maior crescimento ocorreu nos últimos 10 anos e que desde 2000 a área plantada de dendê cresceu cerca de 150%. De acordo com o BiodieselBR (2014b), a expansão da área plantada poderia acontecer com o aproveitamento de terras já degradadas. A plantação de palma ajudaria a recuperar o solo, contribuindo para a reconstrução da floresta.

Em 2010 a EMBRAPA lançou o Zoneamento Agroecológico, Produção e Manejo para a Cultura da Palma de Óleo na Amazônia, denominado ZAE, com o objetivo de identificar as áreas mais adequadas à expansão sustentável do seu cultivo. As áreas identificadas pelo ZAE resultam da interação entre solo e clima, segundo diferentes tipos de manejo. Foram excluídas todas as áreas cobertas com vegetação nativa, as áreas protegidas (área de conservação, parques nacionais, estaduais e municipais), as áreas indígenas, bem como os ecossistemas sensíveis (EMBRAPA, 2010).

Os resultados do ZAE nas áreas desmatadas da Amazônia Legal são apresentados nas Figuras C.7 e C.8, respectivamente para os níveis de manejo B e C[35]. A distribuição das classes do zoneamento (Preferencial, Regular, Marginal e Inapta) e das áreas excluídas são apresentadas nas Tabelas C.5 e C.6.

[35] Nível de manejo C (sem irrigação): baseado em práticas agrícolas que refletem um alto nível tecnológico (EMBRAPA, 2010).

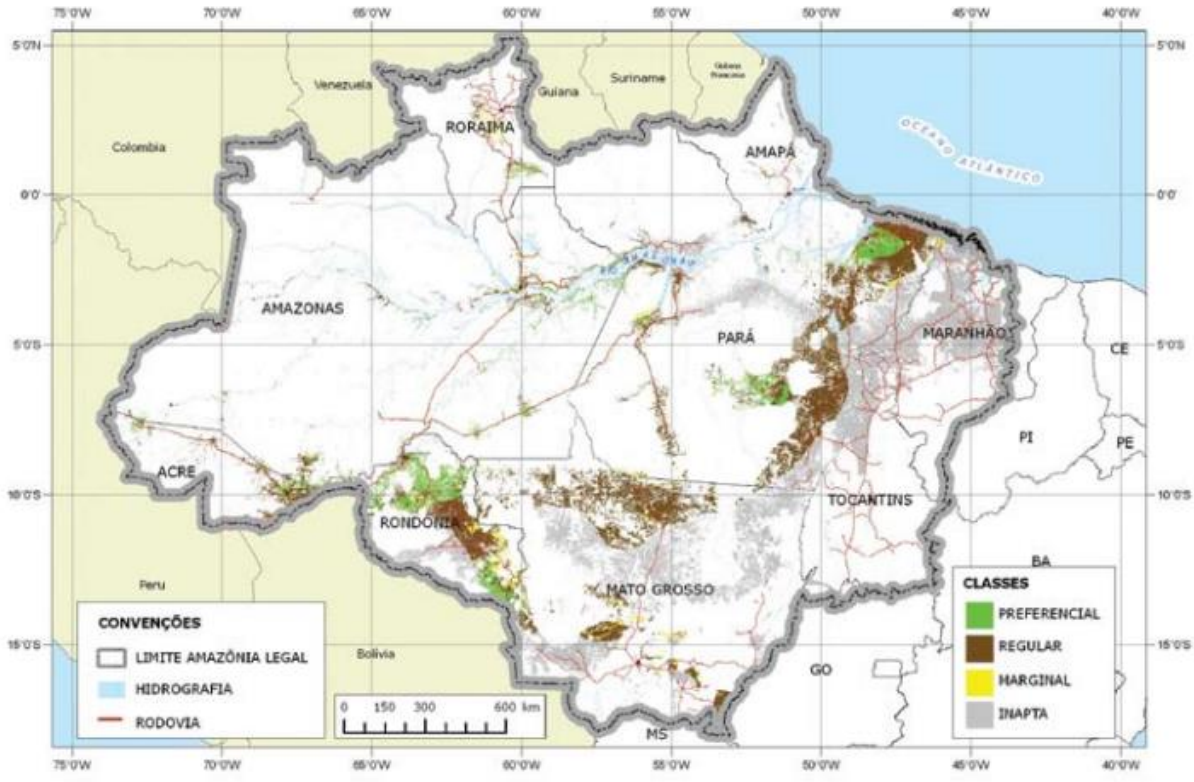


Figura C.7. Zoneamento Agroecológico da cultura da palma nas áreas desmatadas da Amazônia Legal – Nível de Manejo B.
Fonte: EMBRAPA, 2010.

Tabela C.5. Áreas das classes de zoneamento para produção de palma, por estado da Amazônia Legal – Nível de Manejo B

CLASSE	PREFERENCIAL (P)			REGULAR (R)			MARGINAL (M)			INAPTA (IN)			ÁREA EXCLUÍDA*		ÁREA ESTUDADA DO ESTADO
ESTADO	ha	km²	%	ha	km²	%	ha	km²	%	ha	km²	%	km²	%	km²
AC	416.037	4.160	2,53	1.087.772	10.878	6,63	913,32	9	0,01	306.879	3.069	1,87	146.026	88,95	164.158
AM	1.461.375	14.614	0,94	889.466	8.895	0,57	8.337	83	0,01	415.517	4.155	0,27	1.531.447	98,22	1.559.164
AP	20.334	203	0,14	137.844	1.378	0,97	11.205	112	0,08	125.232	1.252	0,88	139.868	97,94	142.813
GO	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00	131.224	1.312	9,19	12.952	90,73	14.276
MA	0	0	0,00	246,96	2	0,00	109.515	1.095	0,39	10.090.105	100.901	36,19	176.691	63,37	278.840
MT	203.959	2.040	0,23	6.779.357	67.794	7,51	786.999	7.870	0,87	12.806.582	128.066	14,18	697.591	77,23	903.283
PA	2.327.674	23.277	1,87	10.448.374	104.484	8,37	345.718	3.457	0,28	9.926.744	99.267	7,96	1.017.253	81,53	1.247.772
RO	2.720.638	27.206	11,5	2.755.935	27.559	11,60	550.294	5.503	2,32	1.834.577	18.346	7,72	158.976	66,91	237.591
RR	187.409	1.874	0,84	218.712	2.187	0,98	207.898	2.079	0,93	144.684	1.447	0,65	216.715	96,63	224.283
TO	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00	2.949.021	29.490	10,63	248.133	89,41	277.537
TOTAL	7.337.426	73.374		22.317.707	223.177		2.020.879	20.209		38.730.565	387.306		4.345.652		5.049.717
% AM.L			1,45			4,42			0,40			7,67		86,06	

Nota: Áreas consideradas aptas para o cultivo da palma de óleo, classes P (preferencial) e R (regular), totalizam 29.655.133 ha (296.551 km²) ou 5,87% da Amazônia Legal.
* Área de Proteção Ambiental, Terras Indígenas e Área Não Desmatadas.
Total da área do zoneamento após os recortes: 704.066 km² = aproximadamente 13,94% da Amazônia Legal
AM.L = Amazônia Legal

Fonte: EMBRAPA, 2010.

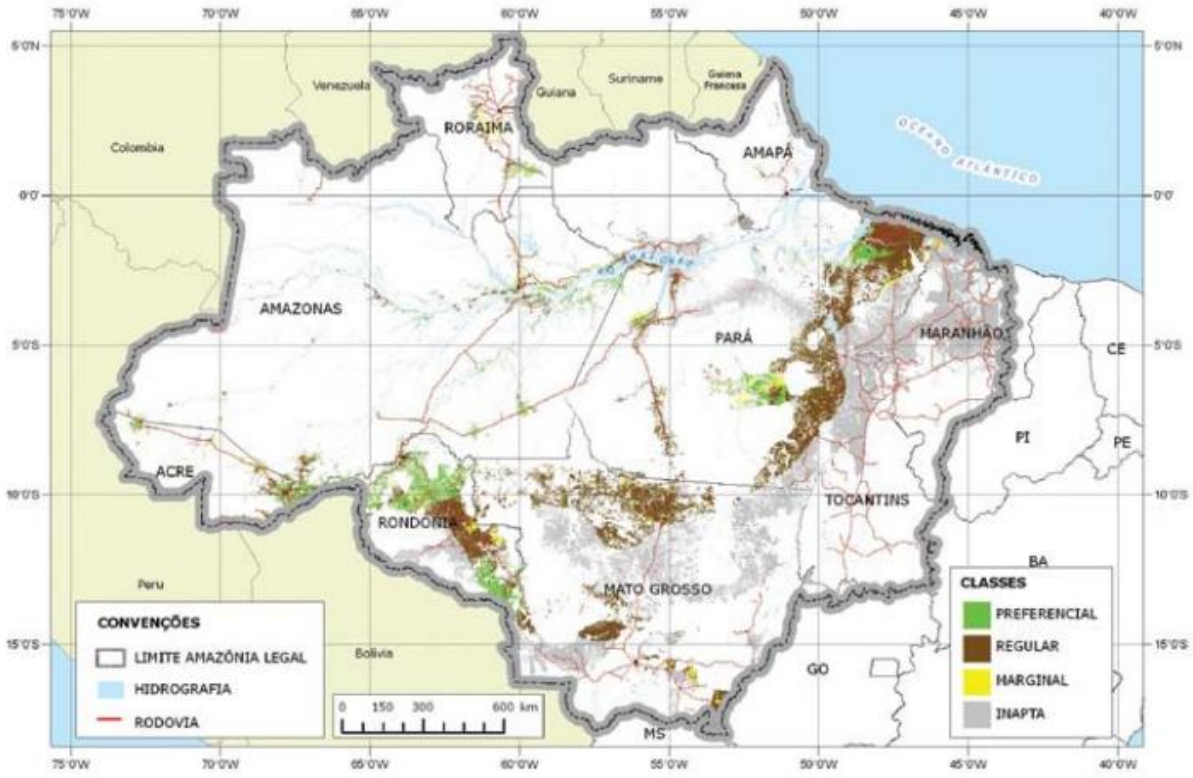


Figura C.8. Zoneamento Agroecológico da cultura da palma nas áreas desmatadas da Amazônia Legal – Nível de Manejo C.
Fonte: EMBRAPA, 2010.

Tabela C.6. Áreas das classes de zoneamento para produção de palma, por estado da Amazônia Legal – Nível de Manejo C

CLASSE	PREFERENCIAL (P)			REGULAR (R)			MARGINAL (M)			INAPTA (IN)			ÁREA EXCLUÍDA*		ÁREA ESTUDADA DO ESTADO
ESTADO	ha	km²	%	ha	km²	%	ha	km²	%	ha	km²	%	km²	%	km²
AC	735.677	7.357	4,48	574.630	5.746	3,50	193.511	1.935	1,18	307.785	3.078	1,87	146.026	88,95	164.158
AM	1.532.123	15.321	0,98	681.556	6.816	0,44	142.830	1.428	0,09	418.185	4.182	0,27	1.531.447	98,22	1.559.164
AP	20.334	203	0,14	123.843	1.238	0,87	23.169	232	0,16	127.271	1.273	0,89	139.868	97,94	142.813
GO	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00	131.224	1.312	9,19	12952,07	90,73	14.276
MA	0	0	0,00	246,96	2	0,00	81.027	810	0,29	10.118.593	101.186	36,29	176.691	63,37	278.840
MT	220.920	2.209	0,24	6.700.985	67.010	7,42	486.836	4.868	0,54	13.168.156	131.682	14,58	697.591	77,23	903.283
PA	1.666.831	16.668	1,34	10.608.430	106.084	8,50	810.902	8.109	0,65	9.962.347	99.623	7,98	1.017.253	81,53	1.247.772
RO	2.930.252	29.303	12,33	2.733.292	27.333	11,50	352.365	3.524	1,48	1.845.535	18.455	7,77	158.976	66,91	237.591
RR	190.143	1.901	0,85	214.119	2.141	0,95	209.175	2.092	0,93	145.265	1.453	0,65	216.715	96,63	224.283
TO	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00	2.949.021	29.490	10,63	248.133	89,41	277.537
TOTAL	7.296.279	72.963		21.637.101	216.371		2.299.816	22.998		39.173.381	391.734		4.345.652		5.049.717
% AM.L			1,44			4,28			0,46			7,76		86,06	

Nota: Áreas consideradas aptas para o cultivo da palma de óleo, classes P (preferencial) e R (regular), totalizam 28.933.380 ha (289.334 km²) ou 5,73 % da Amazônia Legal.
* Área de Proteção Ambiental, Terras Indígenas e Área Não Desmatadas.
Total da área do zoneamento após os recortes: 704.066 km² = aproximadamente 13,94% da Amazônia Legal.
AM.L = Amazônia Legal

Fonte: EMBRAPA, 2010.

Observa-se pelos mapas que não existem diferenças significativas entre os tipos de manejo analisados (B – menos tecnificado e C – mais tecnificado e com emprego de alta tecnologia). Os mapas apresentados mostram as zonas das classes preferencial, regular, marginal e inapta para o cultivo da palma para diversos fins, como óleo comestível, cosméticos ou biocombustíveis. Entretanto, não informa sobre a real disponibilidade de terras para essa cultura, que podem estar atualmente sob usos distintos e com diferentes níveis de produtividade. Estima-se que cerca de 80% da área desmatada na Amazônia encontram-se ocupadas com pastagens em diferentes níveis de esgotamento, degradação e mesmo abandono (EMBRAPA, 2010).

Quanto a produtividade, a Figura C.9 apresenta a evolução histórica da produtividade de dendê, indicando que a produtividade não acompanhou o aumento da área plantada nos últimos 10 anos, exceto em 2010, que a produtividade passou de 10 t/ha para 16 t/ha, correspondendo a um aumento de 60%.

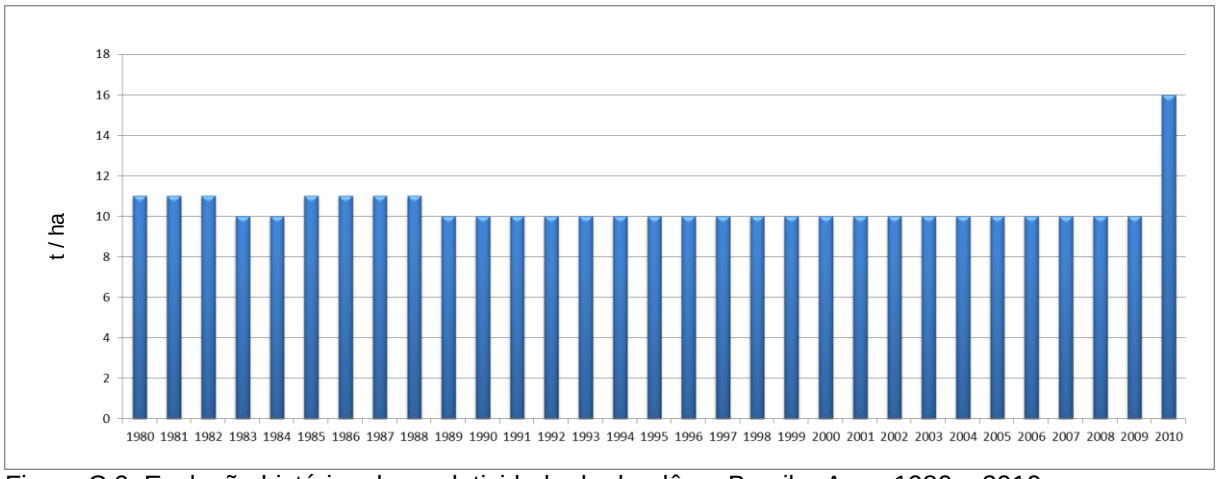


Figura C.9. Evolução histórica da produtividade de dendê no Brasil – Anos 1980 a 2010.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

As Figuras C.10 e C.11 apresentam, respectivamente, a produção e a produtividade de óleo de dendê no Brasil de 1980 a 2010.

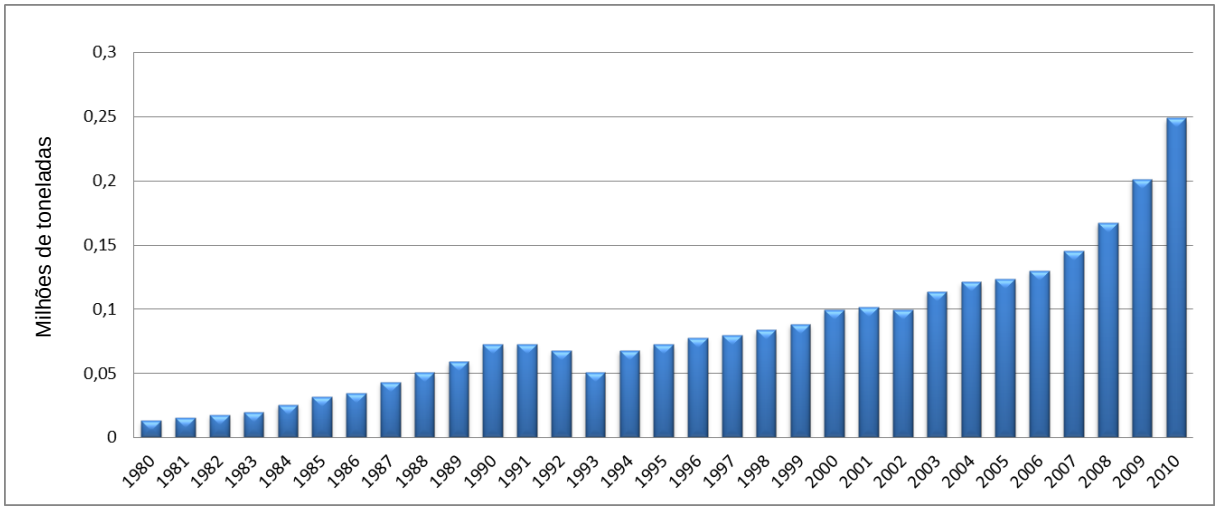


Figura C.10. Evolução histórica da produção de óleo de dendê no Brasil – Anos 1980 a 2010.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

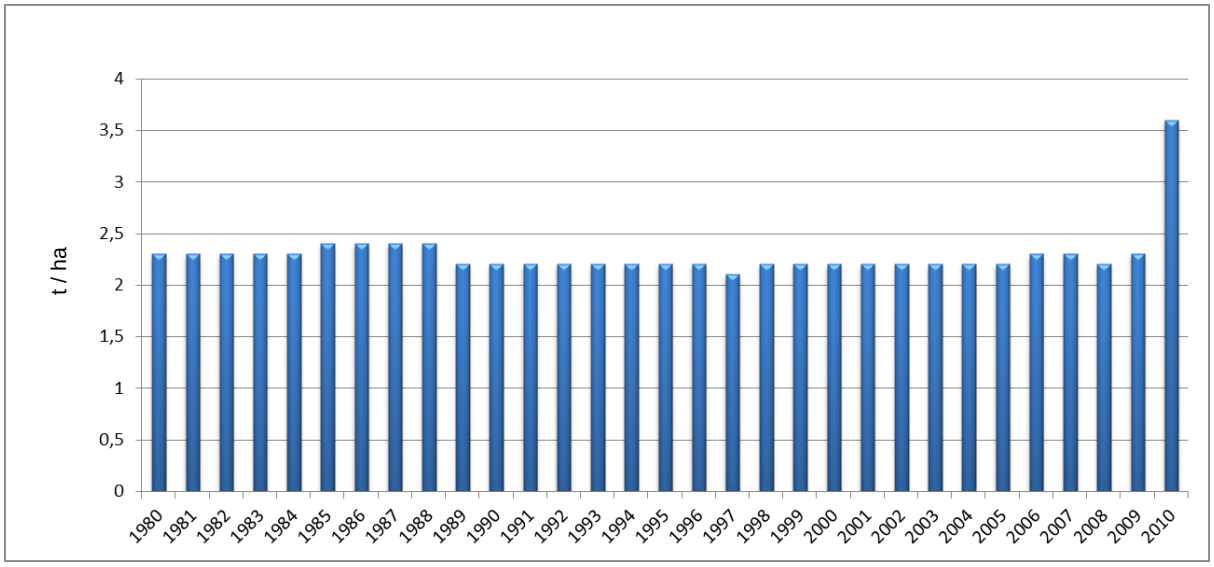


Figura C.11. Evolução histórica da produtividade de óleo de dendê no Brasil – Anos 1980 a 2010.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

O óleo de dendê é o óleo vegetal mais consumido no mundo, superando até mesmo o de soja. Portanto, a expansão interna da sua produção representa uma oportunidade para o Brasil (atualmente importador desse óleo para uso nos setores alimentício, higiene e química), mas também um desafio para que sua expansão ocorra de forma planejada, agregando mais benefícios econômicos, sociais e ambientais. A Figura C.12 apresenta a oferta e demanda de óleo de dendê no Brasil de 2002 a 2010. As informações que constam na figura referem-se às quantidades

de óleo de dendê produzidas, importadas, exportadas e consumidas, em milhões de toneladas.

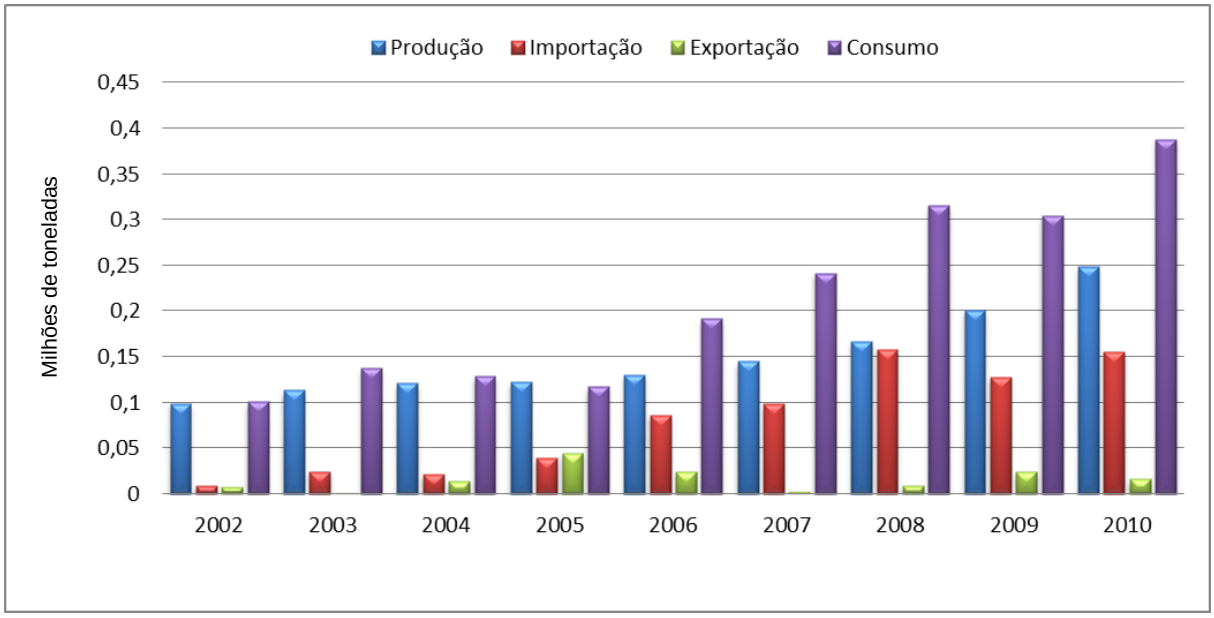


Figura C.12. Histórico da oferta e demanda do óleo de dendê no Brasil – Anos 2002 a 2010.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

O óleo de dendê apresenta as mais diversas aplicações que podem ser mais rentáveis que seu uso para a produção de biodiesel, como mostrado na Tabela 3.7 de comparação de custos de oportunidade (Capítulo 3).

A expansão do uso de dendê na produção de biodiesel no Brasil apresenta algumas barreiras. Uma delas é a falta de linhas de créditos adequadas a essa cultura, pois para estimular os agricultores a plantarem dendê é necessário que haja financiamentos com carência condizente com o tempo de espera entre a plantação e a produção em escala – de 3 a 5 anos.

Outra barreira é o alto custo de mão-de-obra, uma vez que a colheita é feita manualmente. Além disso, esta cultura provoca outras preocupações, como por exemplo, a possibilidade de devastar ainda mais a região Amazônica. Isso porque a Amazônia é a região mais favorável para a plantação de dendê (BIODIESELBR, 2014b).

Apesar de possuir outros usos finais com melhor custo de oportunidade para o dendê, espera-se que num futuro próximo esta oleaginosa seja representativa para a produção de biodiesel, pois durante todo o seu ciclo pode ser produzido a custos

relativamente baixos, vantagem atraente para a indústria uma vez que o preço do óleo é decisivo na viabilidade da produção (BIODIESELBR, 2014b).

C.3 Mamona

De acordo com o BiodieselBR (2014d), a mamoneira desenvolveu nas regiões Sudeste, Sul e Nordeste do Brasil. Para competir com outros produtos nas regiões Sudeste e Sul foi necessário efetuar melhorias na mecanização, além de desenvolver variedades mais rentáveis. Assim, foi possível cultivar variedades anãs de mamoneiras permitindo colheita mecânica única manual. Já no Nordeste a miscigenação de variedades gerou um hibridismo espontâneo, permitindo diversas colheitas por ano, em operação manual.

A Tabela C.7 apresenta algumas informações técnicas da cultura da mamona.

Tabela C.7. Informações técnicas da cultura da mamona.

Item	Dado
Ciclo	105 - 135 dias
Teor de óleo na baga	20%
Teor de farelo	50% - 55%
Produtividade média em grão	1.000 kg/há
Rendimento em óleo	4.700 kg/há

Fonte: MAPA, 2012a.

As Figuras C.13, C.14 e C.15 apresentam, respectivamente, a produção, a área plantada e a produtividade de mamona no Brasil entre as safras de 1976/77 e 2011/12.

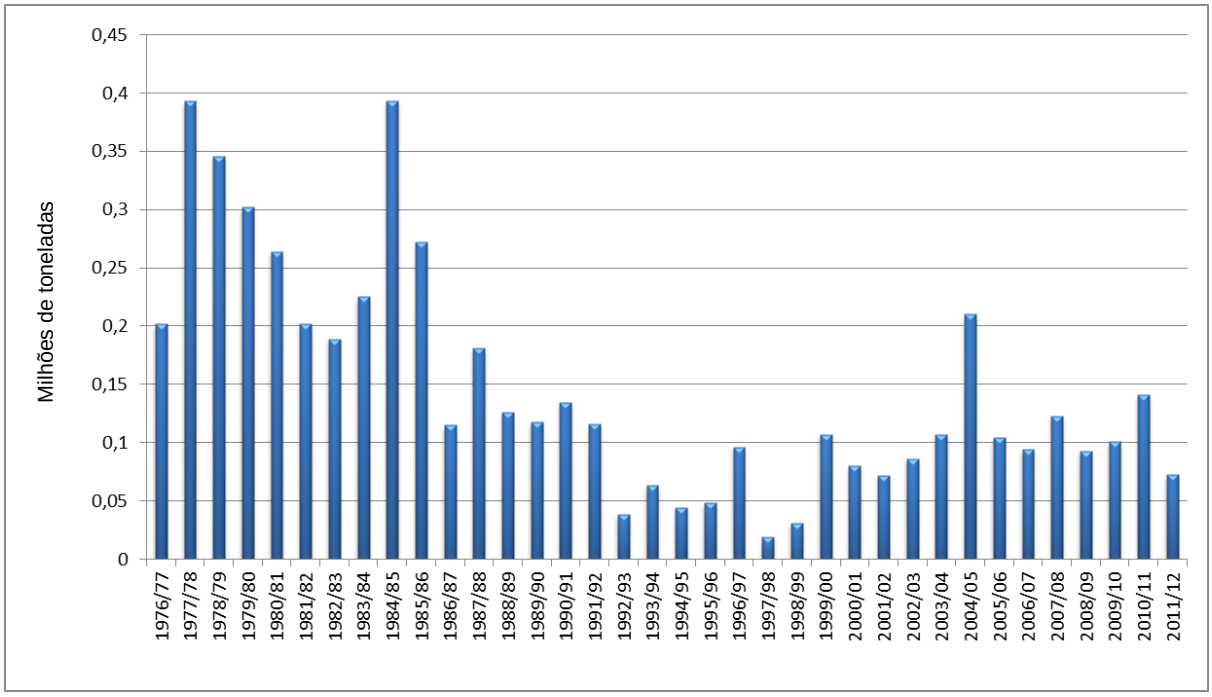


Figura C.13. Evolução histórica da produção de mamona no Brasil – Safras 1976/77 a 2011/12.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

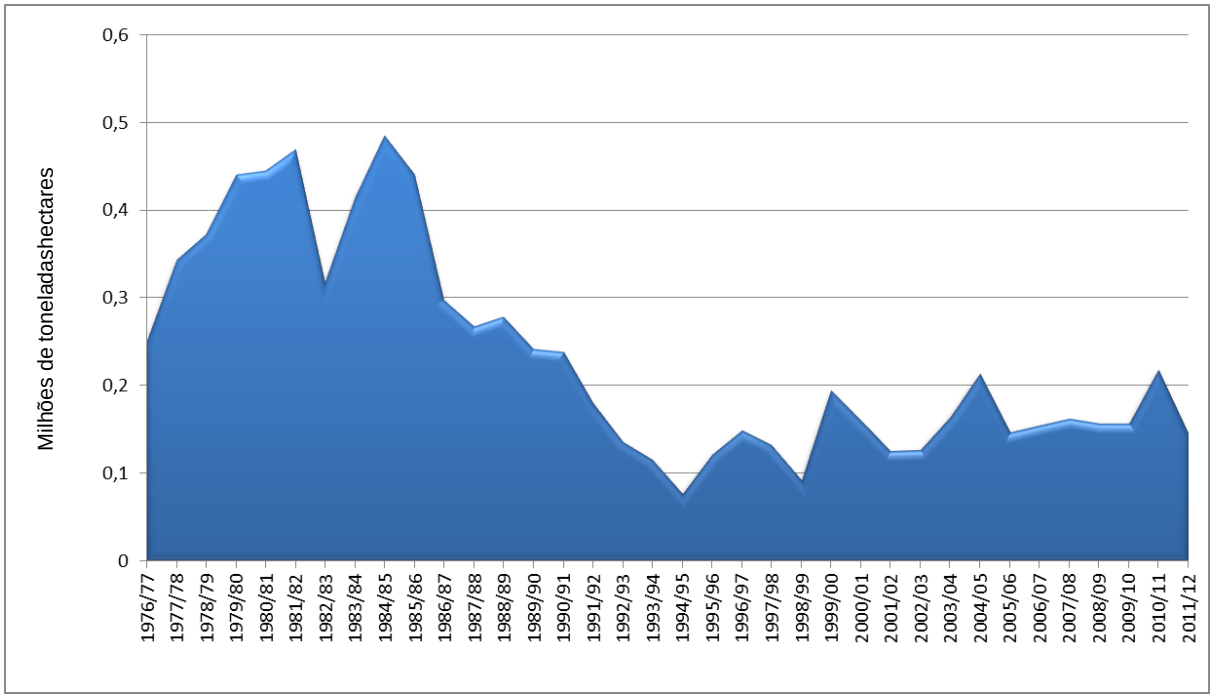


Figura C.14. Evolução histórica da área plantada de mamona no Brasil – Safras 1976/77 a 2011/12.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

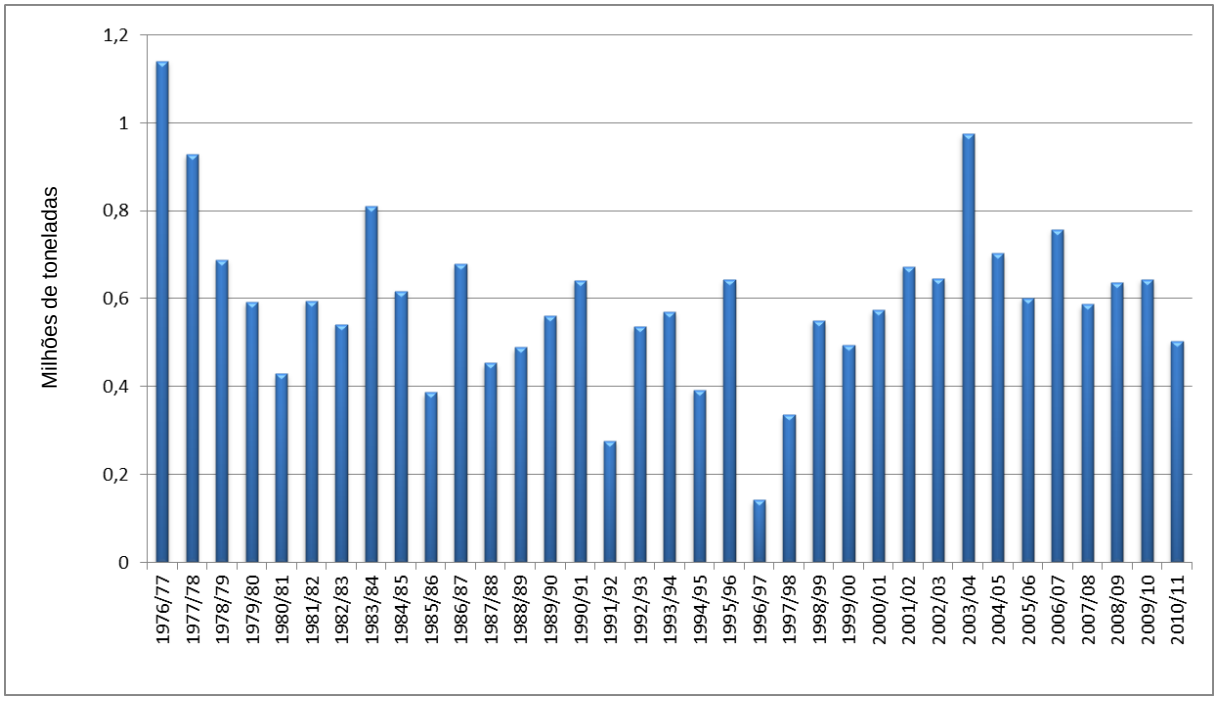


Figura C.15. Evolução histórica da produtividade de mamona no Brasil – Safras 1976/77 a 2011/12.
Fonte: Elaboração própria a partir de dados do MAPA, 2012a.

Observa-se que a área plantada e a produtividade acompanharam a produção de mamona no Brasil. Apesar das oscilações entre as safras, a produção, a área plantada e a produtividade de mamona foram menor na safra de 2011/12 que na de 1976/77. A produção caiu de 0,202 para 0,073 milhões de toneladas (redução de quase 64%), a área plantada de 0,25 para 0,145 milhões de hectares (redução de 42%) e a produtividade de 0,806 para 0,504 (redução de 37,5%).

O principal produto da mamona é o óleo, também chamado de óleo de rícino. É uma importante matéria-prima para a indústria química, sendo utilizado para a produção de mais de 400 tipos de produtos, dentre eles tintas e vernizes, cosméticos, lubrificantes para a aviação, plásticos, etc., o que explica seu elevado custo de oportunidade, conforme apresentado na Tabela 3.7 de comparação de custos de oportunidade (Capítulo 3).

Quando implementado o Programa de Biodiesel no Brasil, o governo federal apostou na mamona como uma oleaginosa promissora no mercado de biodiesel devido à sua grande versatilidade e forte ligação com agricultores familiares do interior do Nordeste. A ideia era criar um mercado consolidado e garantido para o óleo de mamona no país e alavancar sua comercialização em outras áreas. O biodiesel seria a plataforma de lançamento para um futuro radiante desta cultura.

Entretanto, o programa de desenvolveu rapidamente, mas a mamona foi sendo abandonada como matéria-prima para o biodiesel.

Por falta de incrementos significativos na área plantada (que na verdade se reduziu significativamente) e devido aos outros usos mais rentáveis, a mamona não foi utilizada pelas indústrias de biodiesel, pois o óleo acabou se tornando mais caro. Devido às outras utilidades, o óleo de mamona é considerado por muitos especialistas uma matéria-prima nobre demais para a produção de biodiesel (BIODIESELBR, 2014d). Este é o maior problema relacionado aos óleos de palma e mamona para a produção de biodiesel.

Justamente pela sua alta viscosidade o óleo de mamona trouxe problemas para as usinas. O biodiesel resultante possui mais impurezas do que o esperado, quando a mamona é a única matéria-prima utilizada. Entretanto, se misturado a outros óleos, pode contribuir para melhorar a qualidade do biodiesel final.

As usinas que apostaram na mamona pouco conseguiram fazer para o produto decolar. Muitos agricultores ao invés de destinar o óleo de mamona a produção de biodiesel, acabam repassando o produto a outras indústrias e continuam produzindo outras oleaginosas mais promissoras. Com isso a mamona tem pouca participação na produção de biodiesel no Brasil.

C.4 Óleos Residuais

Além dos óleos vegetais e gorduras animais, que são mais comumente utilizados, o biodiesel também pode ser obtido a partir de óleos residuais provenientes de residências, bares, restaurantes, etc.

Como citado anteriormente, no Brasil as principais matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel são óleo de soja e gordura animal. Em terceiro lugar em geral aparece o óleo de algodão. Entretanto, conforme observado na Figuras C.16, C.17 e C.18, durante os meses de Junho e Julho de 2013, a terceira matéria-prima utilizada para a produção de biodiesel no Brasil foi o óleo de fritura, considerado matéria-prima de baixa qualidade.

Em Agosto de 2013 o óleo de algodão voltou a assumir o terceiro lugar. Isso se deve provavelmente ao fato de que o óleo de algodão, tenha tido sua produção influenciada por fatores externos, como clima, regime hidrológico, quebra de safra, entre outros. Em relação ao óleo residual de fritura, sua obtenção tem sido estável

sem grandes alterações ao longo do ano, devido ao fato de não ter interferência direta destes fatores externos. Assim, a importância do aprimoramento da sua utilização como matéria-prima para produção de biodiesel é necessária para que essa fonte se torne mais significativa no nossa matriz.

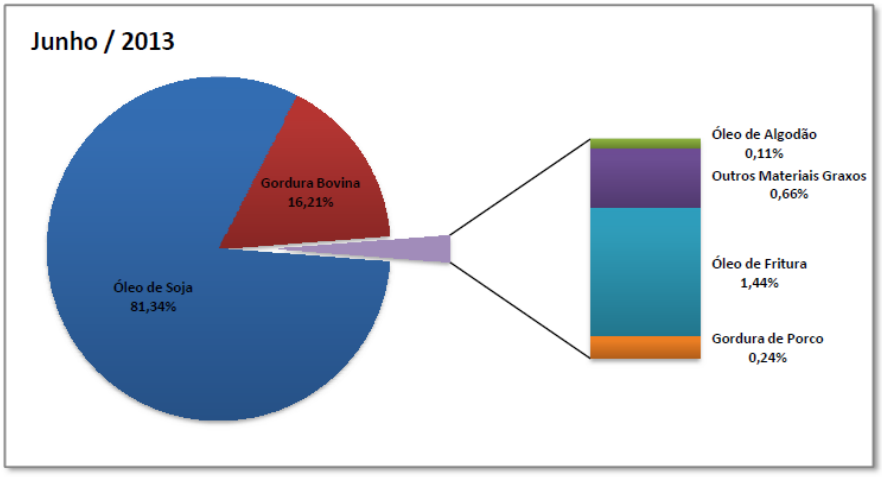


Figura C.16: Matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel (Perfil nacional) – Junho de 2013.
Fonte: ANP, 2013b.

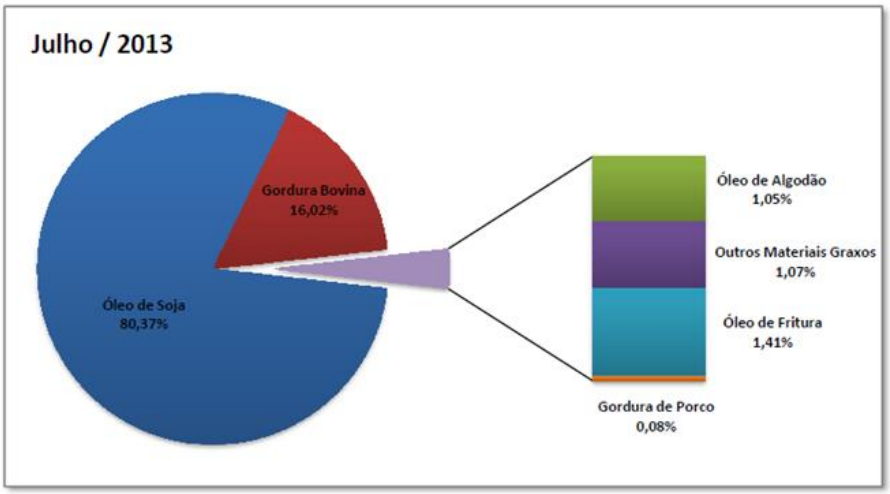


Figura C.17: Matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel (Perfil nacional) – Julho de 2013.
Fonte: ANP, 2013b.

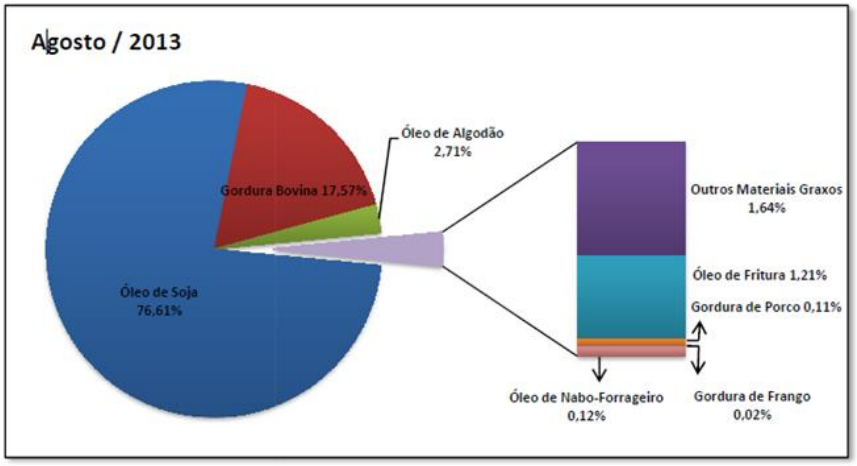


Figura C.18. Matérias-primas utilizadas para a produção de biodiesel (Perfil nacional) – Agosto de 2013.
Fonte: ANP, 2013b.

O uso de óleo residual para a produção de biodiesel traz a vantagem ambiental de ser uma alternativa para o descarte desse resíduo. Caso seja descartado de maneira errônea contribui para a poluição dos rios, entupimento dos dutos de água e prejudica o sistema de tratamento do esgoto, gerando ainda mais passivos ambientais. De acordo com o BiodieselBR (2014e) cada litro desse material descartado nas redes de esgoto, polui 20 mil litros de água. Portanto, ao invés de ser descartado incorretamente, pode ser uma importante matéria-prima para a produção de biodiesel, já que trata-se de óleo vegetal, virtualmente sem valor.

A captação dos óleos residuais é realizada por meio de projetos de coleta voltados a residências, escolas, restaurantes, etc. Uma vez usado, o óleo deve ser armazenado em embalagens próprias para ser coletado.

Para a produção de biodiesel, há necessidade do óleo ser submetido a um pré-tratamento para separar o produto das impurezas, pois após a sua utilização, geralmente os óleos residuais apresentam partículas em suspensão (resíduos provenientes dos alimentos fritos) e sua composição química alterada. A partir daí o processo de fabricação do combustível é semelhante ao dos demais óleos vegetais.

Uma das desvantagens da produção de biodiesel a partir de óleos residuais é a logística do processo, uma vez que é muito complexo reunir quantidade suficiente de óleo para manter uma produção contínua do combustível. Além disso, é necessário conscientizar a população a não descartar o óleo na rede de esgoto e sim, armazená-lo e entregá-lo, sem remuneração, para a empresa produtora de biodiesel.

ANEXO D - ESPECIFICAÇÕES DO BIODIESEL (B100)

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			ABNT NBR	ASTM D	EN/ISSO
Aspecto	-	LII (1)	-	-	-
Massa específica a 20º C	kg/m³	850-900	7148 14065	1298 4052	EN ISO 3675 - EN ISO 12185
Viscosidade Cinemática a 40ºC	Mm²/s	3,0-6,0	10441	445	EN ISO 3104
Teor de Água, máx.	mg/kg	(2)	-	6304	EN ISO 12937
Contaminação Total, máx.	mg/kg	24	-	-	EN ISO 12662
Ponto de fulgor, mín. (3)	ºC	100,0	14598	93	EN ISO 3679
Teor de éster, mín	% massa	96,5	15764	-	EN 14103
Resíduo de carbono (4)	% massa	0,050	15586	4530	-
Cinzas sulfatadas, máx.	% massa	0,020	6294	874	EN ISO 3987
Enxofre total, máx.	mg/kg	10	15867	5453	- EN ISO 20846 EN ISO 20884
Sódio + Potássio, máx.	mg/kg	5	15554 15555 15553 15556	-	EN 14108 EN 14109 EN 14538
Cálcio + Magnésio, máx.	mg/kg	5	15553 15556	-	EN 14538
Fósforo, máx.	mg/kg	10	15553	4951	EN 14107
Corrosividade ao cobre, 3h a 50 ºC, máx.	-	1	14359	130	EN ISO 2160
Número de Cetano (5)	-	Anotar	-	613 6890	EN ISO 5165
Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.	ºC	(7)	14747	6371	EN 116
Índice de acidez, máx.	mg KOH/g	0,50	14448 -	664 -	- EN 14104
Glicerol livre, máx.	% massa	0,02	15341 (8) 15771 - -	6584 -	EN 14105 EN 14106
Glicerol total, máx. (9)	% massa	0,25	15344 15908	6584 (8) -	EN 14105 (8)
Monoglicerol, máx.	% massa	0,80	15342 (8)	6584 (8)	EN 14105 (8)

Diacilglicerol, máx.	% massa	0,20	15344 15908 15342 (8)	6584 (8)	EN 14105 (8)
Triacilglicerol, máx.	% massa	0,20	15344 15908 15342 (8)	6584 (8)	EN 14105 (8)
Metanol e/ou Etanol, máx.	% massa	0,20	15344 15908 15343	-	EN 14110 (8)
Índice de Iodo (5)	g/100g	Anotar	-	-	EN 14111 (8)
Estabilidade à oxidação a 110ºC, mín.(10)	h	6	-	-	EN 14112 EN 15751 (8)

Nota:

(1) Límpido e isento de impurezas, com anotação da temperatura de ensaio.
(2) Será admitido o limite de 380 mg/kg 60 dias após a publicação da Resolução. A partir de 1º de janeiro de 2013 até 31 de dezembro de 2013 será admitido o limite máximo de 350 mg/kg e a partir de 1º de janeiro de 2014, o limite máximo será de 200 mg/kg.
(3) Quando a análise de ponto de fulgor resultar em valor superior a 130º C, fica dispensada a análise de teor de metanol ou etanol.
(4) O resíduo deve ser avaliado em 100% da amostra.
(5) Estas características devem ser analisadas em conjunto com as demais constantes da tabela de especificação a cada trimestre civil. Os resultados devem ser enviados à ANP pelo Produtor de biodiesel, tomando uma amostra do biodiesel comercializado no trimestre e, em caso de neste período haver mudança de tipo de material graxo, o Produtor deverá analisar número de amostras correspondente ao número de tipos de materiais graxos utilizados.
(6) O método ASTM D6890 poderá ser utilizado como método alternativo para determinação do número de cetano.
(7) Para os estados não contemplados na tabela do ponto de entupimento de filtro a frio (Tabela II desta resolução) o ponto de entupimento a frio permanecerá 19ºC.
(8) Os métodos referenciados demandam validação para os materiais graxos não previstos no método e rota de produção etílica.
(9) Poderá ser determinado pelos métodos ABNT NBR 15908, ABNT NBR 15344, ASTM D6584 ou EN14105, sendo aplicável o limite de 0,25% em massa. Para biodiesel oriundo de material graxo predominantemente láurico, deve ser utilizado método ABNT NBR 15908 ou ABNT NBR 15344, sendo aplicável o limite de 0,30% em massa.
(10) O limite estabelecido deverá ser atendido em toda a cadeia de abastecimento do combustível.

Fonte: ANP, 2012.

ANEXO E – CONCEITOS BÁSICOS DE ACV

Este texto refere-se ao projeto BIOACV - Comparação da ACV de Biodiesel Produzido a partir de Óleo de Soja e Gordura Bovina via Rota Metílica e Etílica (CNPq nº 558733/2010-7), executado pelo CENBIO/IEE/USP e parceiros.

E.1. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

E.1.1 Conceito de ACV

Diante do desafio de analisar as efetivas contribuições e/ou impactos ambientais decorrentes do uso de fontes renováveis, faz-se necessária uma abordagem que contemple todas as atividades de determinado processo com o meio ambiente.

Um grande número de métodos e ferramentas utilizados na descrição e avaliação de aspectos ambientais vem sendo desenvolvidos, para que sejam utilizados em diferentes cenários e contextos de tomadas de decisão.

Nesse âmbito, uma das principais ferramentas utilizadas é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), que possui aspectos extremamente relevantes para abordagens sistêmicas, tais como o foco em produtos, ou melhor, funções que os produtos proporcionam. Outro aspecto da ACV é a perspectiva do berço ao túmulo; ao comparar diferentes produtos que satisfazem uma função semelhante é importante considerar o ciclo de vida completo. Isto porque os impactos ambientais e benefícios podem ocorrer em diferentes fases do ciclo de vida (FINNVEDEN et. al., 2000).

De acordo com Silva (2006), o conceito de ciclo de vida pode ser considerado como o conjunto de todas as etapas necessárias para que um produto cumpra sua função, desde a obtenção dos recursos naturais usados na sua fabricação até sua disposição final após o cumprimento dessa função.

A partir disso, a ACV pode ser definida como uma técnica utilizada para avaliar o desempenho ambiental de produtos e serviços ao longo de todo o seu ciclo de vida. Essa técnica permite a identificação quantificada das interações do ciclo de vida do produto com o meio ambiente e a avaliação dos impactos ambientais associados a essas interações (SILVA, 2006).

A Figura E.1 mostra uma representação esquemática do ciclo de vida de um produto.

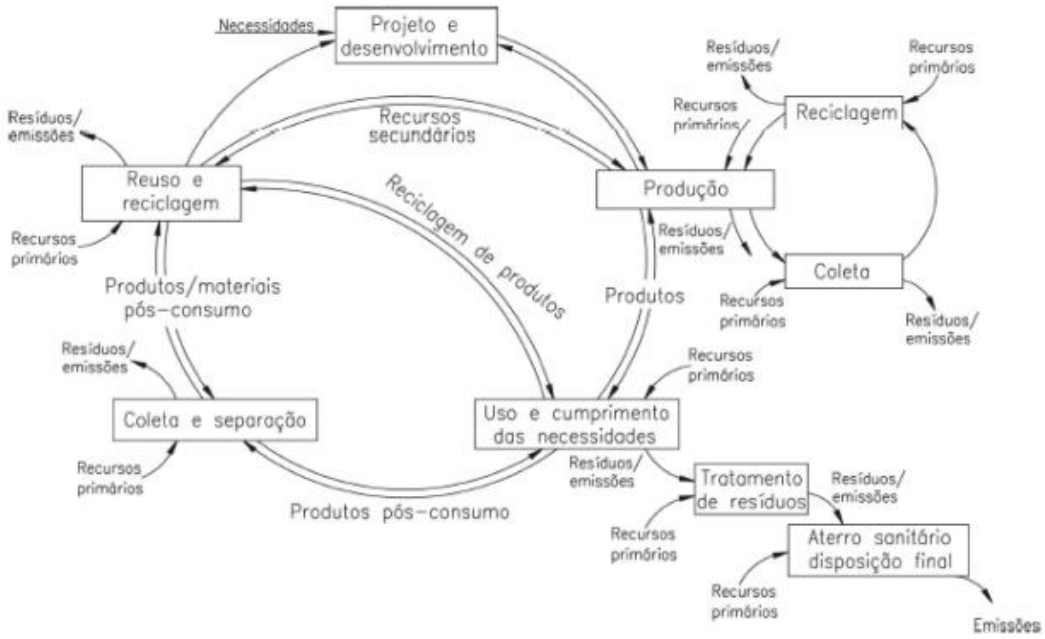


Figura E.1. Representação esquemática do ciclo de vida de um produto.
Fonte: REBITZER et. al. (2004).

Por sua versatilidade e possibilidade de aplicação a diferentes sistemas, os estudos de ACV podem ser utilizados com vários objetivos tais como, por exemplo, o gerenciamento de recursos naturais, a identificação de impactos de um determinado produto ou serviço, a identificação das etapas produtivas responsáveis pelos maiores impactos dentro de um ciclo produtivo, a identificação de etapas produtivas onde uma redução de impactos pode ser alcançada, a avaliação de opções de produto ou processo com menor impacto, entre outros (EPA, 2006; COLTRO, 2007).

Wenzel et. al. (1994) consideram que a habilidade da ACV em medir o impacto ambiental de um produto pelo seu ciclo de vida a torna a única ferramenta holística para avaliar as conseqüências ao meio ambiente e aos recursos, a partir das escolhas feitas durante o desenvolvimento do produto.

Portanto, o enfoque da ferramenta está justamente na função do produto em questão. Isto significa que ela pode ser usada para comparar bens e serviços diferentes, porém que realizam a mesma função.

No entanto, para Silva et. al. (2002), a falta de conhecimento do conceito de ciclo de vida pelas partes potencialmente interessadas e a indisponibilidade de fontes de informações específicas e confiáveis para a realização do estudo são apontadas como limitações da técnica.

Além disso, a ausência de uma metodologia universal consolidada, em particular no que se refere: à definição de procedimentos; à padronização da terminologia e do formato dos dados; o estabelecimento de restrições e cuidados quando da realização de estudos comparativos que serão disponibilizados ao público, também são considerados importantes limitações à técnica (SILVA, 2006).

E.1.2 Metodologia de ACV

O método de ACV teve seu início na década de 1960, quando cientistas começaram a se preocupar com a depleção dos combustíveis fósseis. Inicialmente ela foi desenvolvida para compreender os impactos do consumo de energia. Alguns anos depois, modelos globais foram usados para prever os efeitos do rápido crescimento populacional nos recursos finitos de matérias-primas e energia. Os resultados, que mostravam uma rápida diminuição dos recursos e suas implicações no clima global, produziram um interesse em cálculos energéticos mais detalhados de processos industriais (SVOBODA, 1995).

Devido à necessidade de padronização da metodologia de ACV, a Organização Internacional de Normalização – *International Standards Organization* (ISO) – tem desenvolvido normas e relatórios técnicos dentro da série ISO 14000 (série de normas para o Gerenciamento Ambiental) a fim de estabelecer os princípios e divulgar a boa prática na aplicação dos conceitos de ACV (CHEMINFO et. al., 2008).

De acordo com a ABNT (2009a, 2009b), a metodologia de ACV é realizada em quatro fases principais: (a) definição dos objetivos e do escopo do estudo; (b) análise do Inventário do Ciclo de Vida; (c) avaliação dos impactos ambientais associados ao sistema; e (d) interpretação dos resultados, feita com base nos objetivos expressos na primeira etapa. A Figura E.2 apresenta um diagrama das fases para a execução de um estudo de ACV.

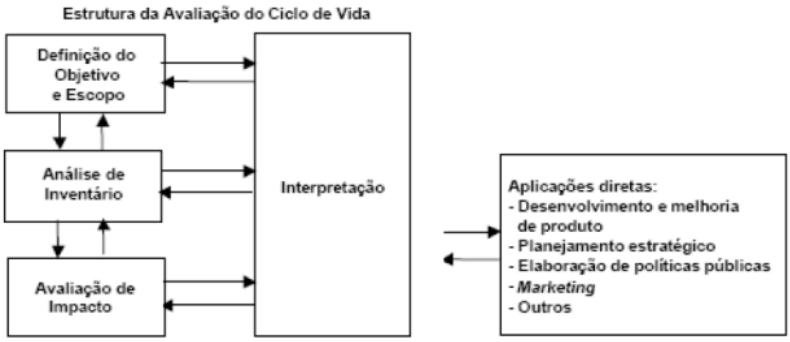


Figura E.2. Principais fases para a execução de um estudo de ACV.
Fonte: ABNT (2009a).

E.1.2.1 Definição de objetivo e escopo

A primeira fase do estudo é a definição de escopo e objetivos, que desenha sua abrangência e as condições de realização - os detalhes podem ser encontrados na ABNT (2009b). Nesta etapa é definida a representatividade do estudo, bem como as informações necessárias para sua condução e a forma de interpretação de seus resultados (UGAYA, 2001).

Nesta etapa são requeridas tomadas de decisões para a organização do estudo, ou seja, a definição de elementos como: função do sistema estudado, unidade funcional, fronteiras do sistema e unidades de processo. Segundo Cheminfo et. al. (2008), as definições do objetivo e escopo determinam o tempo e os recursos necessários, além de direcionar a análise e a relevância do resultado final obtido.

A unidade funcional é fundamental para se compreender os resultados da ACV (REBITZER et. al. 2004). Para os estudos de ACV com a abordagem em resíduos sólidos, deve-se assegurar que todos os fluxos de saída para o ambiente sejam baseados em entradas idênticas para cada sistema avaliado. As unidades funcionais devem ser associadas igualmente aos produtos gerados durante o tratamento do resíduo sólido (ex. eletricidade, calor e adubo) (LEME, 2010).

Ainda de acordo com a norma (ABNT, 2009a), o fluxo de referência é a quantidade de produto necessária para atender a função definida para o sistema em estudo, na medida estabelecida pela unidade funcional.

Na metodologia ACV (*do berço ao túmulo*), as denominadas entradas de cada processo são consideradas desde o ponto em que são extraídos os recursos da natureza, sendo as saídas seguidas até a deposição final do resíduo no ambiente. Geralmente, este procedimento amplo é impraticável em um trabalho de ACV porque, uma vez que o estudo propõe analisar um produto ao longo de todo o seu

ciclo de vida, a indisponibilidade de dados confiáveis para todas as operações envolvidas poderia acabar tornando a avaliação imprecisa e pouco conclusiva, tornando-a bastante dispendiosa, tanto em termos de custo, quanto de tempo.

Por esta razão, as fronteiras devem estar claramente identificadas, considerando os limites em relação ao ambiente e demais sistemas e subsistemas envolvidos, promovendo, conseqüentemente, a delimitação dos processos, fluxos e operações sujeitos à compilação na etapa do inventário, assim como das classes de impactos prioritárias para o contexto da análise (ROCHA, 2009).

O estabelecimento das fronteiras do estudo é feito no início da fase de definição do objetivo e escopo. No entanto, a fronteira final do sistema é definida efetivamente somente quando informações suficientes foram coletadas durante a análise de inventário. Assim, se alguma parte do ciclo de vida do produto não foi estudada, esta exclusão deve estar clara no relatório. Preferencialmente deve-se descrever o sistema técnico com um fluxograma que contenham todos os processos elementares incluídos no estudo (COLTRO, 2007).

E.1.2.2 Análise de Inventário

A Análise de Inventário é a segunda fase da ACV. O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é a quantificação de todas as entradas e saídas do sistema estudado (CHEMINFO et. al., 2008). Em geral, as entradas são representadas pela energia e matéria-prima consumida, e as saídas pelos produtos, emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos. A análise de Inventário consiste basicamente em duas etapas: *coleta de dados* e *tratamento dos dados* (SILVA & KULAY, 2010).

Em geral, a elaboração do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) é a fase que mais consome tempo e recursos em um estudo de ACV, dado o enorme volume de informações que precisam ser obtidas.

O ICV fornece a base para a avaliação dos impactos ambientais. Além disso, em estudos de ACV quando os ciclos de vida de produtos diferentes estão interligados, há situações que requerem critérios de alocação (COLTRO, 2007). Para esse procedimento de alocação é necessária a repartição das responsabilidades dos impactos ambientais e do consumo energético entre os diversos produtos, materiais ou processos (UGAYA, 2001).

A definição dos métodos de alocação entre os coprodutos gerados no processo também é determinada nesta etapa de inventário. A ISO 14044 define

alocação como a divisão dos fluxos de entrada e saída de um processo ou um sistema de produto entre o produto em estudo e um ou mais produtos.

Há diversas metodologias para alocação de coprodutos, o que pode provocar a incompatibilidade entre resultados de ACV´s. No entanto, quando estas situações ocorrem, recomenda-se que a fronteira do sistema seja expandida de modo que os coprodutos sejam incluídos no estudo ou, ainda, o nível de detalhes do ciclo de vida seja ampliado, o que ajuda na identificação de dados relevantes que são específicos do produto (ABNT, 2009b).

Se nenhum dos procedimentos for aplicável, deve-se empregar um método de alocação para dividir as cargas ambientais entre os diversos coprodutos. Esta divisão pode ser feita com base em: alocação física ou alocação econômica.

Com relação à coleta de dados, esta corresponde ao levantamento das informações do ciclo de vida do produto, dados estes que devem obedecer aos requisitos de qualidade definidos na fase de escopo. Considerando a questão sobre a utilização de dados primários ou secundários, Guinée et al. (2002) definem *foreground processes* como aqueles processos nos quais dados são coletados no local da produção. Por outro lado, *background processes* são os processos nos quais dados mais genéricos são usados.

Curran (2006) coloca que o *foreground* refere-se à parte do sistema de produto de maior interesse no estudo e o *background* se liga ao *foreground* por meio de dados agregados nos quais plantas e processos individuais às vezes não são identificados.

Para Comissão Européia (2010), os processos background não estão sob controle direto ou influência do produtor e, na impossibilidade de coletar estes dados primários, admite-se que existe certa homogeneidade do mercado e, portanto, dados médios são utilizados.

Ainda com relação a essa temática é discutida a inclusão de dados relativos a bens de capital e mão-de-obra. Bens de capital se referem à infraestrutura necessária para a operação das unidades produtivas, tais como: as plantas industriais, maquinários, veículos de carga, estradas e rodovias, etc. Pelo conceito de ciclo de vida, os aspectos ambientais da construção destes elementos deveriam ser considerados. Nas ACV atribucionais, normalmente não são incluídos nos inventários em função da questão viabilidade *versus* precisão e em razão das suas baixas influências nos resultados (possuem vida útil longa e a parcela da carga

ambiental referente à UF se torna insignificante), constatação esta feita em estudos mais antigos. No caso das ACV consequenciais, os processos afetados pela tomada de decisão, e que necessitam investimentos em bens de capital, devem ser considerados (BAUMANN & TILLMAN, 2004; CURRAN, 2006).

E.1.2.3 Avaliação de Impacto

A Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) é terceira fase da ACV. Nesta etapa, os dados compilados no ICV são avaliados, considerando-se os impactos potenciais para o meio ambiente e a saúde humana, ou seja, os resultados da análise do inventário são organizados e combinados em categorias de impacto (CHEMINFO et al., 2008).

Por meio da AICV, os impactos potenciais identificados são associados à cadeia produtiva. Embora o ICV já forneça resultados importantes quanto aos impactos causados pelo processo, sua análise é importante, pois permite uma base de comparação mais consistente.

A ISO 14044 (ABNT, 2009b) recomenda que a fase AICV seja planejada para se atingir a meta e o escopo da ACV. Ela deve ser coordenada com as outras fases e as fontes de incerteza devem ser levadas em consideração na apresentação dos resultados.

No contexto de ACV, a avaliação de impactos pode ser utilizada com dois principais objetivos (TAKEDA, 2010):

- Tornar os dados de inventário mais relevantes pelo aumento do conhecimento acerca dos potenciais impactos ambientais.
- Facilitar a agregação e interpretação dos dados de inventário, tornando-os mais gerenciáveis e significativas para a tomada de decisão.

Nesta etapa de AICV, os impactos potenciais são definidos como as consequências causadas pelos fluxos de entrada e de saída de um sistema na saúde humana, plantas e animais, ou a disponibilidade futura dos recursos naturais (CHEMINFO et al., 2008).

Abaixo se apresenta um fluxograma exemplificando a metodologia de execução da AICV (Figura E.3).

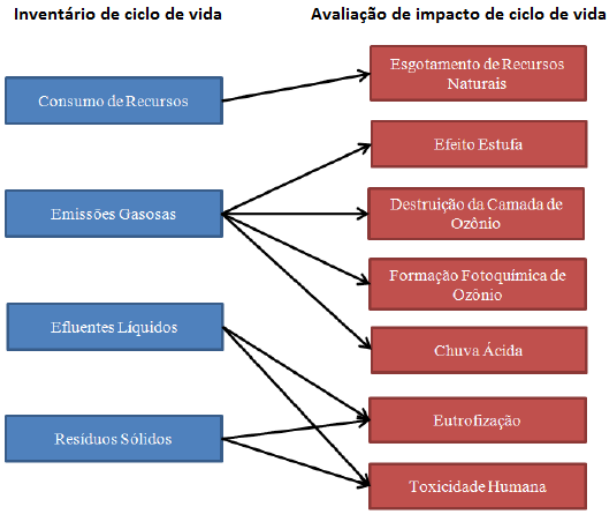


Figura E.3. Exemplo representativo da metodologia de AICV.
Fonte: Adaptado de Silva (2010).

Em termos de estrutura a AICV é composta por duas classes: elementos obrigatórios e elementos opcionais (Figura E.4).

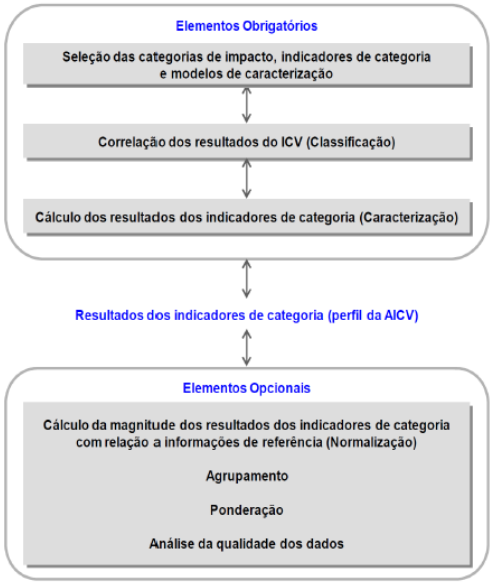


Figura E.4. Elementos obrigatórios e facultativos da AICV.
Fonte: ABNT (2009a).

Assim, diante dos elementos principais e obrigatórios de uma AICV - seleção, classificação e caracterização - a seleção corresponde à escolha das categorias de impacto (ex. toxicidade humana, acidificação). Esta escolha deve estar ligada a objetivo e ao escopo do trabalho.

A etapa de classificação relaciona os aspectos identificados no ICV às categorias de impactos selecionadas. Naturalmente, determinadas substâncias

podem contribuir simultaneamente para mais de uma categoria. A ISO 14044 (ABNT, 2009b) indica que a transferência dos dados do ICV para as categorias deve considerar os seguintes pontos, salvo disposição em contrário ao objetivo e escopo:

a) Transferência dos resultados do ICV que são exclusivos a uma categoria de impacto;

b) Identificação dos resultados do ICV que se relacionam a mais de uma categoria de impacto, incluindo:

- Distinção entre mecanismos paralelos (ex. o SO_2 é distribuído entre as categorias de impacto, toxicidade humana e acidificação);
- Transferência para mecanismos em série (ex. os NO_x podem ser classificados para ambas as categorias: formação de ozônio de baixa atitude e acidificação).

A caracterização envolve a reunião dos resultados da classificação dentro de cada categoria de impacto e sua conversão para unidades comuns (indicadores de categoria), o que resulta em um único índice numérico por categoria. Enquanto que na classificação relacionamos qualitativamente o inventário com as categorias de impacto, na caracterização relacionamos quantitativamente (YOKOTE, 2003). Este passo é realizado mediante ao uso de fatores de caracterização (ou equivalência). Segundo especialistas, existem diversos modelos ambientais sendo desenvolvidos para este propósito, os quais estabelecem meios de tratar as diferenças locais. Estes modelos fornecem os fatores de equivalência que indicam quanto determinada substância contribui para o impacto, comparando com a substância de referência.

Como importante questão a ser salientada, tendo em vista a possibilidade de omissão de alguns dados espaciais, temporais, climáticos e até mesmo culturais, não cabe à avaliação de impactos identificar, medir ou predizer impactos reais, assim como possíveis impactos futuros, consistindo, particularmente, em uma comparação relativa entre indicadores ambientais. Os impactos reais caracterizam-se pela possibilidade de ocorrência, implicando em riscos para saúde humana e ecossistemas, enquanto os impactos potenciais vinculam-se a uma série de circunstâncias, nem sempre prováveis (SILVA, 2005).

Com relação aos elementos opcionais de uma AICV - normalização, agrupamento e ponderação - a ISO 14040 (ABNT, 2009a) define que a normalização

emprega basicamente informações de referência, enquanto o agrupamento e a ponderação empregam juízo de valores.

E.1.2.3.1 Categorias de impacto

Segundo Udo de Haes (1996), os indicadores ambientais estão diretamente associados às intervenções ambientais dos processos que eles representam e, por isso, podem ser classificados de forma ampla dentro de três grupos denominados de área de proteção: recursos naturais, saúde humana e sistemas ecológicos. Cada uma destas áreas de proteção é representada por um conjunto de categorias de impacto ambiental, sendo que cada categoria é associada a pelo menos um indicador ambiental.

Algumas categorias de impacto de abrangência global ou regional, tais como aquecimento global, redução da camada de ozônio, formação de compostos foto-oxidantes, eutrofizantes ou acidificantes, podem participar com diferente importância nos três grupos de áreas de proteção citados anteriormente (recursos naturais, saúde humana e sistemas ecológicos).

Para execução da modelagem dos impactos ambientais é preciso conhecer a multidisciplinaridade e transversalidade das substâncias nos compartimentos ambientais. Portanto, o primeiro passo para realização da modelagem dos impactos é a divisão do ambiente em compartimentos ou meios principais: ar, água e solo.

Segundo Guinée et al.(2002) após a emissão de uma determinada substância química em um compartimento ambiental (ar, água, solo) vários mecanismos de transporte e reação afetam a concentração desta substância em cada um dos compartimentos ambientais. Uma das abordagens mais comuns é focada nos mecanismos ambientais ocorrendo apenas no próprio compartimento em que houve a emissão. A outra abordagem emprega modelos multimeios também denominados multicomportamentais, os quais prevêem simultaneamente as concentrações químicas nos diferentes compartimentos considerados.

Não existem categorias de impactos predeterminadas utilizadas como padrão. Cada objetivo e escopo requerem diferentes categorias de impactos, usualmente determinadas pelo interesse do público alvo. A escolha das categorias é feita mediante julgamentos subjetivos.

Um aspecto importante na caracterização de uma categoria de impacto específica é o ponto em que cada indicador é modelado. Este ponto pode ter

diferentes localizações dentro da cadeia de estruturas ambientais, estando relacionada com a intervenção representada pelas emissões das substâncias e o efeito final ou dano ambiental causado pela ação desta substância. Segundo Guinée et. al.(2002) dois tipos de indicadores são normalmente usados (Figura E.5):

- *Midpoints*: são indicadores definidos perto da intervenção, ou seja, são indicadores baseados em pontos intermediários, conhecidos pela abordagem orientada ao problema. Nesta abordagem são calculadas as causas dos impactos, por exemplo, potencial de toxicidade humana, acidificação, etc.
- *Endpoints*: são indicadores definidos próximo ao dano ambiental causado, ou seja, são indicadores de pontos finais de categoria, conhecidos pela abordagem orientada ao dano. Neste processo são calculados os efeitos dos impactos, por exemplo, quantos casos de câncer adicionais por ano serão provocados pela emissão de compostos tóxicos, ou qual a perda de biodiversidade causada pela acidificação de uma área, etc.

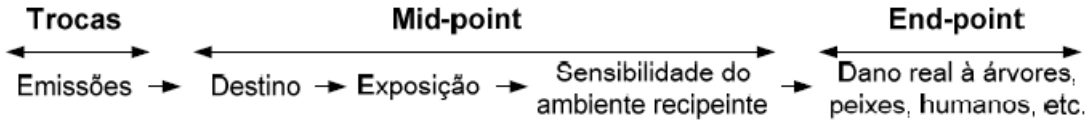


Figura E.5. Cadeia de impactos causada pela emissão de alguma substância estudada.
Fonte: TAKEDA, 2010.

A Figura E.6 representa a estrutura geral da AICV, mostrando a relação entre os resultados do ICV, categorias de impacto, indicadores de categoria e categorias de ponto final (*end-point*).

A partir dessa abordagem é possível diferenciar como os métodos de avaliação atuam. O método EDIP e CML representa uma abordagem *midpoint*, focando nos diferentes temas ambientais (categorias de impacto) e se finaliza no ponto das trocas ambientais.

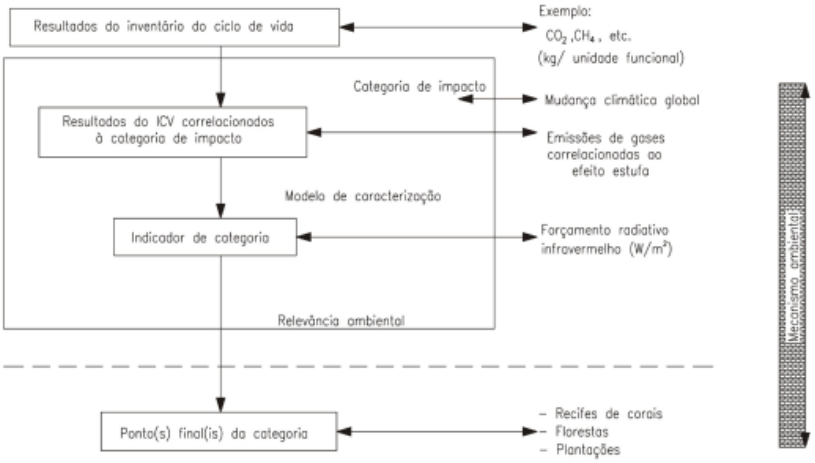


Figura E.6. Conceito de indicadores de categoria.
Fonte: ABNT, 2004.

Um exemplo de método que aplica a abordagem *endpoint* é o método holandês Eco-indicator 99 descrito por Goedkoop e Spriensma (2000). Os métodos que modelam a influência nos *endpoints* vão além, e podem ser classificados em três categorias denominadas áreas de proteção (AoP - *areas of Protection*). As três áreas AoP no Eco-indicator 99 expressam o dano aos (1) ecossistemas, (2) saúde humana e (3) recursos. Tipicamente, os métodos *endpoint* utilizam uma abordagem "*top-down"*, isto implica que as informações (tais como o número de pessoas que morrem ou ficam doentes por poluição de particulados por ano) são usadas para estimar o quão danosas são as várias emissões. É o oposto da abordagem "*bottom up*" onde o conhecimento de propriedades fundamentais das substâncias é utilizado para estimar os impactos potenciais. A abordagem *bottom up* é aplicada em abordagens *midpoint* como EDIP e CML. (UDO de HAES et. al., 2002).

É argumentado que os métodos *midpoints* fornecem resultados mais fieis, enquanto os resultados de métodos *endpoints* são mais fáceis de entender e utilizados para tomadas de decisão (UDO de HAES et al., 2002).

E.1.2.4 Interpretação dos resultados dos estudos de ACV

A Interpretação dos resultados constitui a última etapa dos estudos de ACV. Essa fase pode envolver o processo interativo de análise crítica e revisão do escopo da ACV, assim como da natureza e da qualidade dos dados coletados de forma consistente com o objetivo definido. Ela dá condições de relacionar a ACV e outras técnicas de gestão ambiental, enfatizando o tamanho e os limites do estudo em

relação aos objetivos e escopo. A norma ISO 14044 (ABNT, 2009b) recomendada que a interpretação dos resultados da ACV contenha:

- A identificação dos itens mais significativos, baseado nos resultados de inventário e avaliação de impacto;
- Uma avaliação que considere checagens de integridade, sensibilidade e consistência;
- Conclusões, limitações e recomendações.

E.1.3 Abordagens da ACV

Segundo Curran et. al. (2005) são empregados os termos *atribucional* e *consequencial* para classificar os estudos de ACV. Ambos são métodos de modelagem de ICV que respondem a diferentes questões:

a. *Atribucional:* “como os fluxos (poluentes, recursos e trocas entre processos) ocorrem dentro de uma determinada janela temporal?”; e

b. *Consequencial:* “como os fluxos irão variar em decorrência da tomada de decisões?”

Entende-se assim, que a ACV atribucional quantifica as entradas e saídas dentro de um sistema de produto, de acordo com a unidade funcional estabelecida. É a modelagem adotada desde os primeiros estudos e, segundo Comissão Européia (2010) ela descreve a cadeia produtiva existente; para tanto, utiliza dados mensuráveis de uma série histórica. Por outro lado, a ACV consequencial é uma nova abordagem em que se busca estimar (ou prever) como as entradas e saídas irão se alterar dentro de um sistema de produto por decorrência de uma tomada de decisão que varia o valor da unidade funcional (WEIDEMA et. al.; 2009).

No entanto, não existe uma metodologia de ACV consolidada e aceita por todos os praticantes no mundo. Foi dentro deste contexto de debate metodológico que a distinção entre as ACV atribucional e consequencial surgiu. Os problemas de alocação e escolha de dados fomentaram a consolidação destas duas abordagens, o que significa que existe uma grande conexão entre as modelagens e a questão de como tratar os coprodutos.

ANEXO F – ICV COMPLETO DO BIODIESEL PRODUZIDO A PARTIR DO ÓLEO DE SOJA VIA ROTA ETÍLICA

Este texto refere-se ao projeto BIOACV - Comparação da ACV de Biodiesel Produzido a partir de Óleo de Soja e Gordura Bovina via Rota Metílica e Etílica (CNPq nº 558733/2010-7), executado pelo CENBIO/IEE/USP e parceiros.

F.1 Subsistema produção de grãos de soja

Uma vez que a comercialização dos produtos ultrapassa as fronteiras dos estados, ou seja, tanto as extratoras de óleo de soja como as indústrias de biodiesel não compram seus insumos somente de produtores localizados no mesmo estado, assumiu-se que a para o inventário da produção de grãos de soja serão considerados os 4 maiores estados produtores, que representam 72% da soja produzida no país (MAPA, 2011).

O levantamento de dados para o inventário adotado neste estudo foi realizado essencialmente a partir de uma média ponderada (com base na quantidade de soja produzida em cada estado) dos custos específicos de produção da soja convencional e transgênica nos estados do Mato Grosso (MT), Paraná (PR), Rio Grande do Sul (RS) e Goiás (GO), para os anos de 2010 e 2011, apresentados no Agrianual: Anuário da Agricultura Brasileira (INFORMA ECONOMICS FNP, 2010; 2011). A Tabela F.1 apresenta os valores dos insumos para produção de grãos de soja.

Nos casos em que os dados apresentados pelo Agrianual não foram suficientemente esclarecedores foram utilizadas fontes bibliográficas complementares e ainda a opinião de especialistas. As justificativas para seleção dos estados é a representatividade diante da produção brasileira, enquanto que a utilização de um histórico de dois anos para o inventário (safras 2009/2010 e 2010/2011) reduz as incertezas dos inventários.

Tabela F.1 Valores dos insumos para produção de grãos de soja, média Agrianual, anos 2010 e 2011.

Inventário	Unidades	Média Agrianual (2010)					Média Agrianual (2011)				
		MT	GO	PR	RS	Brasil	MT_{RR}	GO_{RR}	PR_{RR}	RS_{RR}	Brasil
Insumos	**(por ha)**	**26%**	**11%**	**20%**	**15%**	**72%**	**26%**	**11%**	**20%**	**15%**	**72%**
Sementes /Material de plantio											
Sementes	kg	60	70	65	65		60	70	65	65	
Inoculante + micronutrientes	L	1,7	1	1,5	1		1,7	1	1,5	1	
Corretivos											
Calcário dolomítico	kg	560	560	200	250		560	560	200	250	
Fertilizantes											
02 20 20 + Micronutrientes	kg	400					400	0	0	0	
00 20 20 + Micronutrientes	kg			300	250		0	0	300	250	
02 20 15 + Micronutrientes	kg		450				0	450	0	0	
TOTAL	kg	400	450	300	250		400	450	300	250	
Defensivos agrícolas											
Formicidas	L		0,2	0	0,5		0,2	0,2	0,2	0,5	
Formicidas	kg	0,2					0,535				
Fungicidas	L	0,96	0,96	0,96	0,8		0,87	0,96	0,96	0,8	
Herbicidas	L	4,95	5,53	5,45	5,7		3,5	3,5	3,5	4	
		Média Agrianual (2010 e 2011)					**Média Agrianual (2010 e 2011), RR**				
Inventário	**Unidades**	**MT**	**GO**	**PR**	**RS**	**Brasil**	**MT_{RR}**	**GO_{RR}**	**PR_{RR}**	**RS_{RR}**	**Brasil**
Insumos	**(por ha)**	**26%**	**11%**	**20%**	**15%**	**72%**	**26%**	**11%**	**20%**	**15%**	**72%**
Sementes /Material de plantio											
Inseticidas	L	0,57	1	2,95	0,56		0,57	1	1,975	0,56	
Outros prod. Químicos	L	0,7	0,7	1,1	0,7		0,7	0,7	0,95	0,7	
TOTAL	kg	7,38	8,39	10,46	8,26		5,49	6,36	7,485	6,56	

Continua...

continuação

Inventário		Unidades	Média Agrianual (2010)					Média Agrianual (2011)				
Insumos		(por ha)	MT 26%	GO 11%	PR 20%	RS 15%	Brasil 72%	MT_{RR} 26%	GO_{RR} 11%	PR_{RR} 20%	RS_{RR} 15%	Brasil 72%
Operações agrícolas												
Man. de terraços	Tp 120 cv, 4x4 + terrac. arrasto 20x26"	hm	0,1	0,1		0,1		0,1	0,1		0,3	
Calagem	Tp 65 cv, 4x2 + districuidor de calcario	hm	0,5	0,5	0,45	0,5		0,5	0,5	0,45	0,6	
Plantio	Tp 120 cv, 4x4 + plantadeira	hm	0,55	0,65	0,67	0,7		0,55	0,65	0,67	0,79	
Tratamento de sementes	misturador	hm	0,1	0,1	0,1	0,15		0,1	0,1	0,1	0,15	
Aplicação de defensivos	Tp 90 cv, 4x2 + pulv. Barra 18m 2000L	hm	0,9	0,9	1,2	1,32		0,54	0,54	0,8	0,88	
Colheita mecânica	colhedora	hm	0,5	0,534964	0,65	0,6		0,5	0,534964	0,65	0,6	
Transportes internos		hm	0,35	0,39	0,34	0,4		0,48	0,39	0,34	0,48	
Produtos												
Soja em grão		kg	2925	2970	2940	2340		2925	2970	2940	2340	

Fonte: INFORMA ECONOMICS FNP; 2010 e 2011.

F.1.1 Detalhamento do ICV do cultivo de soja

A elaboração do ICV do cultivo de soja foi realizada de acordo com as seguintes informações:

a) Fonte dos dados: predominantemente secundários;

b) Cobertura Temporal: 2010 a 2011, com exceção ao uso de banco de dados, visto que o mesmo representa realidades anteriores à cobertura temporal deste ICV;

c) Cobertura Geográfica: estados de Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás. Variação de ordem geográfica foram introduzida por conta do uso de banco de dados;

d) Cobertura Tecnológica: combinação de produção convencional e transgênica.

Para o presente ICV do cultivo de soja foi considerado o valor de 1 kg de grãos de soja produzido, ou seja, todos os valores de entrada e saída estão correlacionados a essa referência. A Tabela F.2 apresenta o ICV consolidado do cultivo de grãos de soja. Para caracterização do ICV, os processos elementares considerados podem ser observados na Figura F.1.

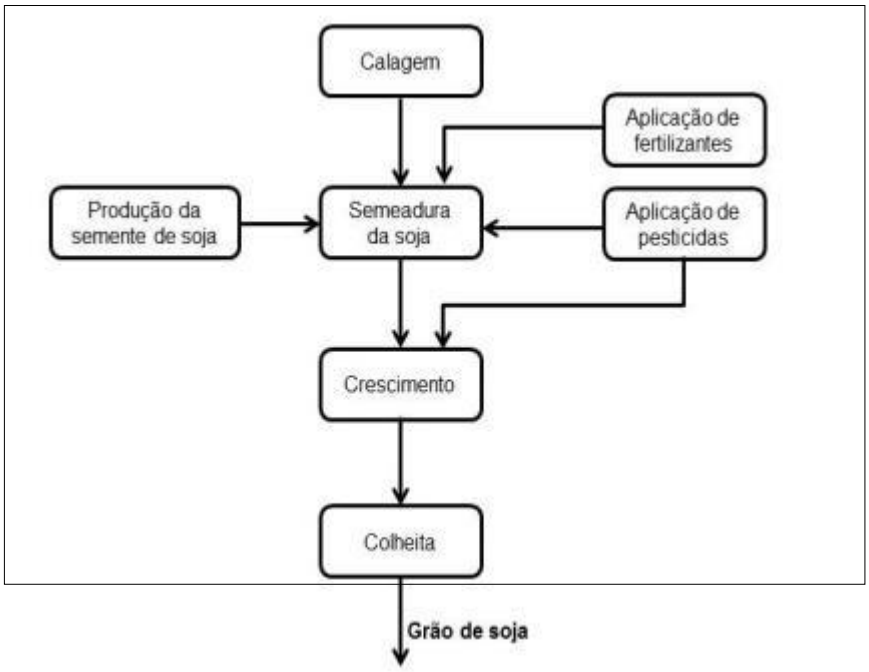


Figura F.1. Processos elementares para a etapa de produção de grãos de soja.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Tabela F.2. Inventário consolidado do cultivo de grãos de soja

	Média Agrianual (2010 e 2011)				Média Agrianual (2010 e 2011), RR			
	MT	**GO**	**PR**	**RS**	**MT_{RR}**	**GO_{RR}**	**PR_{RR}**	**RS_{RR}**
Occupation, arable, non-irrigation								
Limestone, crushed, for mill/CH U (kg/kg soja)	1,91E-01	1,89E-01	6,80E-02	1,07E-01	1,91E-01	1,89E-01	6,80E-02	1,07E-01
Pea seed IP, at regional storehouse/ CH U	2,05E-02	2,36E-02	2,21E-02	2,78E-02	2,05E-02	2,36E-02	2,21E-02	2,78E-02
Fertilizantes (kg/kg soja)								
Potassium chloride, as K2O, at regional storehouse/RER U	2,74E-02	2,27E-02	2,04E-02	2,14E-02	2,74E-02	2,27E-02	2,04E-02	2,14E-02
Monoammonium nitrate phosphate, as N, at regional storehouse/RER U	2,74E-03	3,03E-03	0	0	2,74E-03	3,03E-03	0	0
Monoammonium nitrate phosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U	1,46E-02	1,62E-02	0	0	1,46E-02	1,62E-02	0	0
Single superphosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U	4,33E-03	8,99E-03	5,48E-03	5,74E-03	4,33E-03	8,99E-03	5,48E-03	5,74E-03
Triple superphosphate, as P2O5 at regional storehouse/RER U	8,44E-03	5,15E-03	1,49E-02	1,56E-02	8,44E-03	5,15E-03	1,49E-02	1,56E-02
Pesticidas (kg/kg soja)								
Organophosphorus-coumponds	1,06E-04	1,83E-04	5,46E-04	1,30E-04	1,06E-04	1,83E-04	3,66E-04	1,30E-04
Pyretroid-compounds	9,70E-07	1,68E-06	5,00E-06	1,19E-06	9,70E-07	1,68E-06	3,34E-06	1,19E-06
Organophosphorus-coumponds	2,91E-05	5,03E-05	1,50E-04	3,57E-05	2,91E-05	5,03E-05	1,00E-04	3,57E-05
Benzimidazole-compound	1,88E-05	1,86E-05	1,87E-05	3,57E-05	1,71E-05	1,86E-05	1,87E-05	1,96E-05
Cyclic N-compounds	3,48E-05	3,42E-05	3,46E-05	3,62E-05	3,15E-05	3,42E-05	3,46E-05	3,62E-05
[Thio]carbamate-compound	1,13E-05	1,11E-05	1,12E-05	1,17E-05	1,02E-05	1,11E-05	1,12E-05	1,17E-05
Cyclic N-compounds	1,59E-06	1,57E-06	1,59E-06	1,66E-06	1,44E-06	1,57E-06	1,59E-06	1,66E-06
Glyphosate	4,78E-04	5,26E-04	5,24E-04	6,88E-04	3,38E-04	3,33E-04	3,36E-04	4,83E-04
2,4 D	5,61E-04	6,18E-04	6,15E-04	8,08E-04	3,97E-04	3,91E-04	3,95E-04	5,67E-04
pesticides (unspecified)	6,84E-05	1,35E-05	0,00E+00	4,27E-05	1,05E-04	6,73E-05	6,80E-05	2,14E-04

***Organophosphorus-coumponds* (TOTAL)**	1,35E-04	2,34E-04	6,96E-04	1,66E-04	1,35E-04	2,34E-04	4,66E-04	1,66E-04
***Cyclic N-compounds (*TOTAL)**	3,64E-05	3,58E-05	3,62E-05	3,79E-05	3,30E-05	3,58E-05	3,62E-05	3,79E-05
Operações agrícolas (ha/kg soja)								
Tillage, rolling/CH U	1,31E-04	1,29E-04	0,00E+00	1,64E-04	1,31E-04	1,29E-04	0,00E+00	4,93E-04
Fertilising, by broadcaster/CH U	2,14E-04	2,11E-04	1,92E-04	2,67E-04	2,14E-04	2,11E-04	1,92E-04	3,21E-04
Sowing/CH U	6,02E-04	7,00E-04	7,29E-04	9,57E-04	6,02E-04	7,00E-04	7,29E-04	1,08E-03
Application of plant protection products, by field sprayer/CH U	1,60E-03	1,58E-03	2,13E-03	2,94E-03	9,62E-04	9,47E-04	1,42E-03	1,96E-03
Combine harvesting/CH U	1,93E-04	2,04E-04	2,50E-04	2,90E-04	1,93E-04	2,04E-04	2,50E-04	2,90E-04
Emissões para o ar (kg/kg soja)								
NH3	1,33E-04	1,47E-04	0,00E+00	0,00E+00	1,33E-04	1,47E-04	0,00E+00	0,00E+00
N2O	3,37E-04	3,43E-04	2,83E-04	2,83E-04	3,37E-04	3,43E-04	2,83E-04	2,83E-04
NOx	1,61E-03	1,63E-03	1,35E-03	1,35E-03	1,61E-03	1,63E-03	1,35E-03	1,35E-03
CO2	9,13E-02	8,99E-02	3,24E-02	5,09E-02	9,13E-02	8,99E-02	3,24E-02	5,09E-02
Emissões para a água (kg/kg soja)								
Agua subterranea P	2,39E-05	2,36E-05	2,38E-05	2,99E-05	2,39E-05	2,36E-05	2,38E-05	2,99E-05
Escoamento superficial P	7,18E-05	7,22E-05	6,85E-05	8,41E-05	7,18E-05	7,22E-05	6,85E-05	8,41E-05
Erosão superficial P	1,16E-03	1,14E-03	1,16E-03	1,45E-03	1,16E-03	1,14E-03	1,16E-03	1,45E-03
emissões NO3	1,10E-01	1,10E-01	1,06E-01	1,06E-01	1,10E-01	1,10E-01	1,06E-01	1,06E-01
Emissões para o solo								
Cd	4,82E-08	5,47E-08	2,82E-08	2,95E-08	4,82E-08	5,47E-08	2,82E-08	2,95E-08
Pb	4,98E-07	7,42E-07	4,53E-07	4,75E-07	4,98E-07	7,42E-07	4,53E-07	4,75E-07
Ni	3,67E-07	4,91E-07	2,13E-07	2,23E-07	3,67E-07	4,91E-07	2,13E-07	2,23E-07
Cu	-7,59E-06	-7,57E-06	-9,02E-06	-8,60E-06	-7,59E-06	-7,57E-06	-9,02E-06	-8,60E-06
Zn	-3,36E-05	-3,32E-05	-3,74E-05	-3,63E-05	-3,36E-05	-3,32E-05	-3,74E-05	-3,63E-05
Cr	1,06E-05	1,06E-05	3,89E-06	6,00E-06	1,06E-05	1,06E-05	3,89E-06	6,00E-06
Sr	4,81E-04	4,85E-04	1,99E-04	2,92E-04	4,81E-04	4,85E-04	1,99E-04	2,92E-04

Acephate	1,06E-04	1,83E-04	5,46E-04	1,30E-04	1,06E-04	1,83E-04	3,66E-04	1,30E-04
Cypermethrin	9,70E-07	1,68E-06	5,00E-06	1,19E-06	9,70E-07	1,68E-06	3,34E-06	1,19E-06
Methamidophos	2,91E-05	5,03E-05	1,50E-04	3,57E-05	2,91E-05	5,03E-05	1,00E-04	3,57E-05
Carbendazim	1,88E-05	1,86E-05	1,87E-05	1,96E-05	1,71E-05	1,86E-05	1,87E-05	1,96E-05
Tebuconazole	3,48E-05	3,42E-05	3,46E-05	3,62E-05	3,15E-05	3,42E-05	3,46E-05	3,62E-05
Pyraclostrobin	1,13E-05	1,11E-05	1,12E-05	1,17E-05	1,02E-05	1,11E-05	1,12E-05	1,17E-05
Epoxiconazole	1,59E-06	1,57E-06	1,59E-06	1,66E-06	1,44E-06	1,57E-06	1,59E-06	1,66E-06
Glyphosate	4,78E-04	5,26E-04	5,24E-04	6,88E-04	3,38E-04	3,33E-04	3,36E-04	4,83E-04
2,4 D	5,61E-04	6,18E-04	6,15E-04	8,08E-04	3,97E-04	3,91E-04	3,95E-04	5,67E-04
Transportes								
Operação agrícola: Transport, van <3.5t/RER U	1,34E-06	1,47E-06	1,30E-06	1,92E-06	1,84E-06	1,47E-06	1,30E-06	2,30E-06
Lorry 16-32t, EURO 5/RER U	3,68E-03	3,16E-03	2,71E-03	2,83E-03	3,68E-03	3,16E-03	2,71E-03	2,83E-03
Transoceanic freight ship/OCE	8,26E-01	7,05E-01	5,92E-01	6,56E-01	8,16E-01	7,05E-01	5,92E-01	6,56E-01
Lorry 16-32t, EURO 3/RER U	1,95E-01	1,38E-01	9,07E-02	5,61E-02	1,95E-01	1,38E-01	9,03E-02	5,59E-02

Fonte: INFORMA ECONOMICS FNP; 2010 e 2011.

F.1.1.1 Calcário

De acordo com a base de dados utilizada, média de dois anos do Agrianual (2010; 2011), estes são reportados por hectare (ha) de soja plantado. Para converter os consumos de hectare (ha) para kg de soja, foram utilizados os valores de produtividade por estado, apresentados na Tabela F.1

F.1.1.2 Sementes

Para inventariar o consumo de sementes foi seguida a mesma abordagem do consumo de calcário, com a transformação dos valores para kg de soja. Para correspondência no banco de dados do Ecoinvent, utilizou-se o processo Pea seed IP, at regional storehouse/ CH U, que é aquele que mais se aproxima das características de semente de soja, uma vez que para esta, especificamente, não há referências na base de dados.

F.1.1.2.1 Uso de fertilizantes

De acordo com a referência utilizada para elaboração do ICV para o cultivo de soja, os dados indicados nos Anuários do Agrianual referem-se às quantidades de fertilizantes de acordo com as formulações dos macronutrientes NPK, ou seja, não há a especificação de qual fertilizante é realmente utilizado.

Com relação à formulação, o primeiro valor indica a porcentagem de nitrogênio, enquanto que o segundo e terceiro indicam, respectivamente, as porcentagens de pentóxido de difósforo (P_2O_5) e óxido de potássio (K_2O).

Na Tabela F.3 são apresentados os valores médios dos fertilizantes utilizados em cada estado, de acordo com as premissas relatadas nos parágrafos anteriores.

Tabela F.3. Valores médio do consumo de fertilizantes.

Fertilizantes (kg/kg soja)	Média Agrianual (2010 e 2011)				Média Agrianual (2010 e 2011), RR			
	MT	GO	PR	RS	MT_{RR}	GO_{RR}	PR_{RR}	RS_{RR}
KCl	2,74E-02	2,27E-02	2,04E-02	2,14E-02	2,74E-02	2,27E-02	2,04E-02	2,14E-02
MAP, N	2,74E-03	3,03E-03	0	0	2,74E-03	3,03E-03	0	0
MAP, P2O5	1,46E-02	1,62E-02	0	0	1,46E-02	1,62E-02	0	0
SSP	4,33E-03	8,99E-03	5,48E-03	5,74E-03	4,33E-03	8,99E-03	5,48E-03	5,74E-03
TSP	8,44E-03	5,15E-03	1,49E-02	1,56E-02	8,44E-03	5,15E-03	1,49E-02	1,56E-02

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

F.1.1.2.2 Uso de pesticidas

Da mesma maneira que os Anuários do Agrianual não especificam quais são os fertilizantes utilizados, indicando apenas as quantidade pelas formulações, com relação aos pesticidas o que é indicado é apenas a quantidade por classe: formicida, fungicida, inseticida, herbicida, acaricida e inseticida.

A Tabela F.4 resume as principais informações adotadas com relação ao uso de pesticidas na cultura de soja no país.

Tabela F.4. Considerações sobre a particidação de pesticidas na cultura de soja.

Classe de pesticida	Produto comercial	i.a.	Concentração do i.a. (g/l)	Dose do Produto Comercial (P.C)	unidade	Dosagem média recomendada (kg/ha)	% de participação na categoria de defensivo
Inseticida	Nortox	Acefato	750	0,875	kg/ha.	875	73%
	Arrivo 200 CE	Cipermetrina	200	150	ml/ha.	30	2%
	Tamaron	Metamidofós	600	500	ml/ha.	300	25%
	Derosal 500 SC	Carbendazim	500	65	ml/ha.*	32,5	11%
Fungicida	Nortox	Tebuconazol	200	0,75	l/ha.	150	53%
	Opera	Piraclostrobina	133	0,55	l/ha.	73,15	26%
		Epoxiconazole	50	0,55		27,5	10%
Herbicida	Nortox	Glifosato	480	3	l/ha.	1440	59%
	DMA 806 BR	2,4-D	806	1,25	l/ha.	1007,5	41%
Formicida	KLAP	fipronil	200	20	ml/ha.	4	100%

*A dosagem comercial era 100ml/100kg de sementes. Dados adaptados considerando em media 65kg de semente/ha.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

F.1.1.3 Operações agrícolas

Com relação aos impactos decorrentes das operações agrícolas, estes estão principalmente relacionados ao consumo de óleo diesel na operação das diversas máquinas agrícolas. Os dados dos Anuários do Agrianual indicam os valores de horas gastas pelos maquinários (horas máquina, ou HM), por hectare, para as diferentes operações que ocorrem no campo.

Considerou-se para o cálculo do consumo de óleo diesel, o consumo específico de combustível igual a 0,163 l/kWh, independente do tipo de máquina agrícola (Romanelli e Milan, 2010). Esse valor foi relacionado com as indicações do Anuário que estão em potência. Assim considerou-se o consumo para 0,12 l/CVh (no qual 1kW=1,36 CV).

Com isso, a partir da potência de cada máquina agrícola, das horas gastas para cada operação e do seu consumo específico, foi possível estimar o consumo de óleo diesel nas atividades do campo, conforme Tabela F.5.

Tabela F.5. Consumo de óleo diesel por operação agrícola na produção de grãos de soja.

Operações	Média Agrianual (2010 e 2011)				Média Agrianual (2010 e 2011), RR			
	MT	GO	PR	RS	MT_{RR}	GO_{RR}	PR_{RR}	RS_{RR}
	Consumo de óleo diesel (kg de diesel/kg soja)							
Man. de terraços	4,2E-04	4,1E-04	0,0E+00	5,2E-04	4,2E-04	4,1E-04	0,0E+00	1,6E-03
Calagem	1,1E-03	1,1E-03	1,0E-03	1,4E-03	1,1E-03	1,1E-03	1,0E-03	1,7E-03
Plantio	2,3E-03	2,7E-03	2,8E-03	3,7E-03	2,3E-03	2,7E-03	2,8E-03	4,1E-03
Aplicação de defensivos	2,8E-03	2,8E-03	3,7E-03	5,2E-03	1,7E-03	1,7E-03	2,5E-03	3,4E-03
Colheita mecânica	6,4E-03	6,8E-03	8,3E-03	9,7E-03	6,4E-03	6,8E-03	8,3E-03	9,7E-03
Transportes internos	1,3E-03	1,5E-03	1,3E-03	1,9E-03	1,8E-03	1,5E-03	1,3E-03	2,3E-03

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Para inserção desses processos indicados, foi necessária a correlação com a base de dados do Ecoinvent, de acordo com os processos já existentes. Para isso considerou-se: Manutenção dos terraços (Tillage, rolling/CH U); Calagem (Fertilising, by broadcaster/CH U); Plantio (Sowing/CH U); Aplicação de defensivos (Application of plant protection products, by field sprayer/CH U); Colheita mecanizada (Combine harvesting/CH U); Transportes internos (Transport, van <3.5t/ RER U).

Uma vez que para o inventário, os processos agrícolas utilizam maquinários para realizar a operação em uma determinada área – com exceção dos transportes - a unidade funcional destes ICVs é definida como um hectare coberto pela operação agrícola, e neles o consumo de óleo diesel é um dado de entrada. A partir disso, para o consumo de diesel em cada processo descrito por hectare, foi calculada a quantidade em hectares necessária para atender ao cultivo de 1kg de soja.

As emissões atmosféricas da queima do óleo diesel nos processos agrícolas ou nos modais de transporte são aquelas reportadas nos próprios ICVs do Ecoinvent utilizados neste estudo.

F.1.1.4 Ocupação do solo

Para a consideração da ocupação do solo foi quantificada a ocupação do meio físico, ou seja, a partir da média de produtividade observada em 2010 e 2011 (Agrianual 2010; 2011). Para cada estado, a ocupação do solo foi calculado considerando um período de cultivo de meio ano (6 meses). Este aspecto é

classificado como “ocupação, terra arável, não irrigada” e é medido em m^2*ano. Na Tabela F.6 é possível observar os valores estimados para ocupação do solo.

Tabela F.6. Valores para ocupação do solo no cultivo de graos de soja (unidade: m^2a).

MT	GO	PR	RS
1,71	1,68	1,70	2,137

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Vale destacar que não foram calculados os valores referentes à transformação do solo, uma vez que estes foram considerados separadamente no item F.1.4.1, relacionado aos impactos decorrentes da mudança de uso da terra.

F.1.1.5 Captura de CO_2

Para o conteúdo de carbono no grão foi adotado o valor reportado por Aita e Giacomini (2006), que equivale a 0,42 kg de C/kg de grão. Dessa forma, a captura de CO_2 adotada neste estudo corresponde a 1,54 kg CO_2/kg de grão e esta entrada é caracterizada no ICV como “CO_2, no ar”.

F.1.2 Emissões no ciclo de vida do cultivo da soja

F.1.2.1 Emissões para o ar

<u>Mudança da ocupação do solo</u>

A Figura F.2 apresenta a utilização de terras no Brasil desde 1970, entre matas, pastagens e lavouras.

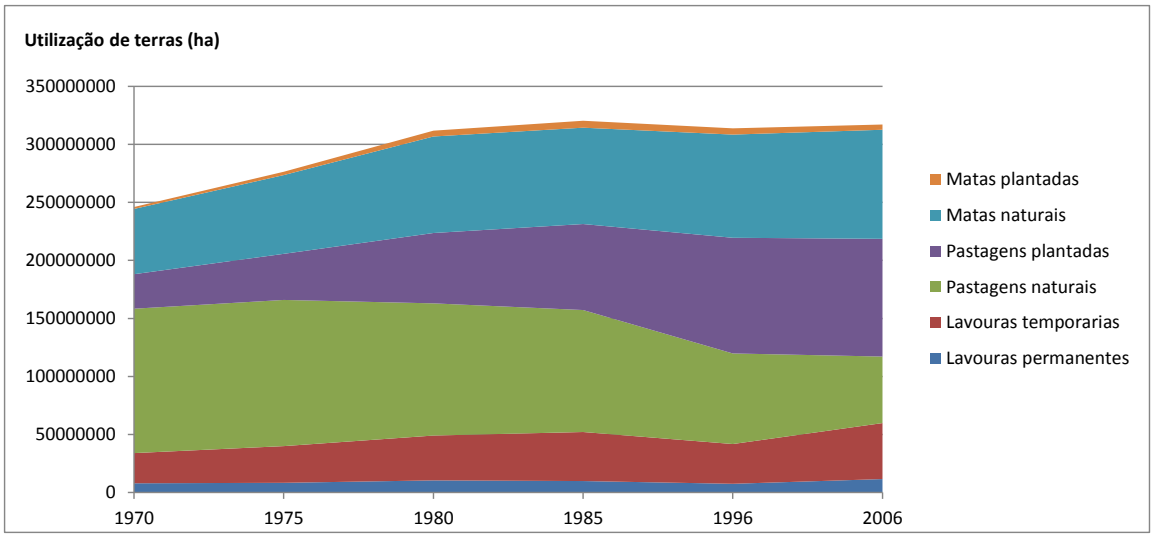


Figura F.2. Utilização de terras no Brasil
Fonte: IBGE, 2012.

A área cultivada com soja nos quatro estados considerados neste estudo registrou um aumento significativo entre os anos de 1996 e 2006, como mostra a Tabela 6. Segundo dados do IBGE (Produção Agrícola Municipal), a área total de soja plantada aumentou 66% no MT, 65% em GO, 39% no PR e 34% no RS entre 1996 e 2006. De forma a associar este acréscimo de área cultivada com soja com as reduções de área ocupada com outros usos do solo, recorreu-se ao Censo Agropecuário 1920/2006, para análise dos dados para o período de 1996-2006, como também apresentado na Tabela F.7.

Tabela F.7. Ocupação do solo nos estados do MT, GO, PR e RS –Δ 2006-1996.

Ocupação do solo	**Área (ha)** **MT** **Δ 96-06**	**GO** **Δ 96-06**	**PR** **Δ 96-06**	**RS** **Δ 96-06**
Lavouras permanentes	227619	191904	664629	85194
Lavouras temporária (incluem a cultura de soja)	3144111	1239983	705588	1185026
Pastagens naturais	-1822335	-2003401	-70331	-2271062
Pastagens plantadas	2155009	-1691424	-1904435	-202602
Matas naturais	-2857790	1785864	709169	387841
Matas plantadas	566	7378	-97388	148386

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Para a quantificação das emissões de GEE decorrentes das MUT devido à expansão de área para cultivo da soja, foi adotada a metodologia de cálculo do

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006), recentemente adaptada na Decisão da Comissão relativa a diretrizes para o cálculo das reservas de carbono nos solos, no âmbito da Renewable Energy Directive (RED) (COMISSÃO EUROPEIA, 2009; 2010).

As emissões são calculadas com base na diferença entre o carbono armazenado associado aos diferentes usos de referência do solo (CS_R), ou seja, os usos do solo anteriores à expansão do cultivo da soja em cada estado, e ao uso efetivo do solo (CS_A), o cultivo de soja. O cálculo de CS_i é realizado através do produto do fator de conversão da superfície em causa (A) e a soma entre o carbono orgânico do solo (SOC) e o carbono armazenado na vegetação aérea e subterrânea (C_{VEG}). Os valores de SOC, C_{VEG} calculados para o uso atual e para cada uso de referência do solo, bem como os valores de SOC_{ST}, F_{LU}, F_{MG} e F_I adotados nos cálculos são apresentados na Tabela F.8. Os usos de referência em cada estado foram definidos com base na variação da área ocupada com diferentes usos do solo entre 1996 e 2006 (Tabela F.7) e em diferentes hipóteses de uso e manejo do solo.

Tabela F.8. SOC e C_{VEG} determinados para a ocupação do solo atual (soja) e para os usos de referência considerados em cada estado. Diferença entre CS_{Ri} e CS_A.

Região climática	Estado	Uso e manejo do solo	SOCi = SOCST*FLU*FMG*FI								
			SOC_{ST} (t C/ha)	F_{LU}	F_{MG}	F_I	SOCi (t C/ha)	C_{VEG} (t C/ha)	A	CS_i (t C/ha)	$\sum CS_{Ri}$-CS_A (t C/ha)
Tropical semi-úmida	MT	A	47	0,48	1,22	1	28	0	0,66	18,3	33,3
		R1	47	1	1	1	47	53	0,20	20,3	
		R2	47	1	0,7	1	33	53	0,20	17,4	
		R3	47	1	0,97	1	46	8,1	0,26	13,9	
	GO	A	47	0,48	1,22	1	28	0	0,65	17,8	17,7
		R4	47	1	1	1	47	8,1	0,35	19,3	
		R5	47	1	1,17	1,11	61	8,1	0,10	6,8	
		R6	47	1	0,97	1	46	8,1	0,10	5,3	
		R7	47	1	0,7	1	33	8,1	0,10	4,0	
Temperada quente úmida	PR	A	63	0,48	1,22	1	37	0	0,39	14,5	19,4
		R8	63	1	1	1	63	31	0,02	1,7	
		R9	63	1	1	1	63	6,8	0,01	0,9	
		R10	63	1	1,14	1,11	80	6,8	0,36	31,2	
	RS	A	63	0,48	1,22	1	37	0	0,34	12,6	11,2
		R11	63	1	1	1	63	6,8	0,31	21,9	
		R12	63	1	1,14	1,11	80	6,8	0,01	1,2	
		R13	63	1	0,7	1	44	6,8	0,01	0,7	

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Legendas: SOC ST = carbono orgânico normal do solo na camada superior do solo até aos 30 centímetros de profundidade (em massa de carbono por hectare);

F LU = fator de ocupação do solo que reflete a diferença na quantidade de carbono orgânico do solo decorrente do tipo de ocupação do solo, comparativamente à quantidade de carbono orgânico normal do solo;

F MG = fator de gestão que reflete a diferença na quantidade de carbono orgânico do solo decorrente da principal prática de gestão, comparativamente à quantidade de carbono orgânico normal do solo;

F I = fator de aporte que reflete a diferença na quantidade de carbono orgânico do solo decorrente de aportes diferentes de carbono ao solo, comparativamente à quantidade de carbono orgânico normal do solo.
Para uso e manejo do solo: Mata natural – Cerrado: R1- Intervenção mínima, R2- Grande degradação; Pastagem natural: R3 - Degradação moderada, R4- Intervenção mínima; Pastagem plantada: R5- Melhorado e elevado aporte, R6- Degradação moderada, R7- Grande degradação; Mata plantada: R8 - Floresta gerida (<10% coberto vegetal); Pastagem natural: R9 - Intervenção mínima, Pastagem plantada: R10 - Melhorado e elevado aporte; Pastagem natural: R11-Intervenção mínima; Pastagem plantada: R12- Melhorado e elevado aporte; R13- Grande degradação.

Nesse contexto, considerando a produtividade indicada no agrianual, na Tabela F.9 é possível observar os valores finais das emissões para o ar, indicados para cada estado. Para esse ICV foi considerada a emissões de "CO_2, transformação da terra".

Tabela F.9. Emissões de CO_2 para o ar decorrentes da MUT (unidade: kg CO_2/kg de soja).

MT	GO	PR	RS
2,09	1,09	1,21	0,88

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Também para o presente estudo foram consideradas as emissões atmosféricas resultante do uso de fertilizantes, principalmente emissões de compostos nitrogenados (NH_3, N_2O e NO_x), da aplicação de calcário e emissões da queima do óleo diesel nas máquinas agrícolas e nos modais de transporte de carga, sendo que estas ultimas, no presente estudo, considerou-se as informações do ICV do *Ecoinvent* utilizados para estes processos, sem adaptações.

Emissões de CO_2 – aplicação de calcário

Uma parcela do CO_2 emitido nessa cadeia produtiva é ocorre devido a aplicação de calcário no solo. Para essa estimativa, de acordo com IPCC (2006), 13% da entrada de calcário é liberada para a atmosfera na forma de carbono, e multiplicando-se esta emissão por 44/12, tem-se a emissão de CO_2 a partir do uso de calcário. Os resultados obtidos são observados na F.10.

Emissões de NH_3

Para calculo das emissões de NH_3, utilizou-se as indicações de EPFL (2011), que se baseiam na quantidade de fertilizante mineral nitrogenado utilizado e em um fator de emissão para o fertilizante.

Segundo a EPFL (2011) o valor do fator de emissão para o fertilizante composto (NPK) – como é o caso do MAP – é igual a 4%. Os estados do Paraná e Rio Grande do Sul não utilizam fertilizantes nitrogenados e, sendo assim não possuem emissões de NH_3 associadas. Os resultados podem ser observados na Tabela F.10.

Emissões de N_2O

Para a emissão de N_2O também foi utilizado a metodologia de acordo com EPFL (2011).

Para o item de entrada de N_{total} este pode ser observado na Tabela F.3. Para o nitrogênio contido nos restos vegetais, segundo Embrapa (2010) o valor é de 0,032 kg N por kg de soja. Os resultados das emissões de N_2O estimadas são apresentados na Tabela F.10.

Emissões de NOx

Com relação às emissões de NOx, segundo EPFL (2011), esta é obtida multiplicando-se o valor da emissão de N_2O por um fator de emissão equivalente a 21%. Os resultados são observados na Tabela F.10.

Resuno das emissões para o ar

De acordo com as indicações acima na Tabela F.10 podem ser observados os resultados finais para as emissões de compostos para o ar, decorrente da produção de 1 kg de soja.

Tabela F.10. Resumo das emissões para o ar.

Emissões para o ar (kg/kg soja)	Média Agrianual (2010 e 2011)				Média Agrianual (2010 e 2011), RR			
	MT	GO	PR	RS	MT_{RR}	GO_{RR}	PR_{RR}	RS_{RR}
NH_3	1,3E-04	1,5E-04	0,0E+00	0,0E+00	1,3E-04	1,5E-04	0,0E+00	0,0E+00
N_2O	3,4E-04	3,4E-04	2,8E-04	2,8E-04	3,4E-04	3,4E-04	2,8E-04	2,8E-04
NOx	1,6E-03	1,6E-03	1,3E-03	1,3E-03	1,6E-03	1,6E-03	1,3E-03	1,3E-03
CO_2	9,1E-02	9,0E-02	3,2E-02	5,1E-02	9,1E-02	9,0E-02	3,2E-02	5,1E-02

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

F.1.2.2 Emissões para a água

Com relação às emissões para a água estas se baseiam, principalmente, no uso de fertilizantes no campo e representam as liberações de fósforo (P) – para água subterrânea e água superficial – e nitrato (NO_3^-) para água subterrânea.

Emissões de fósforo – água subterrânea

As estimativas para emissão de P para água subterrânea foram calculadas baseadas em (NEMECEK; KÄGI, 2007),

Foram anulados os valores referentes a $P_2O_{5efluente}$, uma vez que não são utilizados efluentes na cultura de soja, como por exemplo a vinhaça, como substitutos de fertilizantes minerais. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela F.11.

Emissões de fósforo – água superficial (escoamento)

Também foram estimadas as emissões de fósforo para a água superficial, que pode ocorrer por meio do escoamento direto das águas pluviais ou do solo erodido pela chuva. A estimativa devido ao escoamento da água pluvial foi feita com base em (NEMECEK; KÄGI, 2007).

Para o item $P_2O_{5fert.min}$, os valores foram calculados com base na quantidade dos fertilizantes fosfatados (MAP, SSP e TSP) consumida (Tabela F.3), levando-se em consideração o teor de P_2O_5 de cada um destes fertilizantes. Do mesmo modo do item anterior, como não há uso de P_2O_{5eflu} como fertilizante, também foi assumido que não há aplicação de resíduos animais ($P_2O_{5res.animais}$) como fonte de fósforo para a cultura da soja. Os resultados estimados podem ser observados na Tabela F.11.

Emissões de fósforo – água superficial (erosão do solo)

Com relação a emissão de P para a água superficial decorrente da erosão do solo, foi utilizado a metodologia utilizada por Emmenegger et. al. (2009).

De acordo com Cavalett (2008) são perdidas anualmente nas áreas de cultivo de soja, 17 toneladas de solo. Neste estudo, foi adotada a duração de quatro meses para o cultivo da soja. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela F.11.

Emissões de nitrato

Para a emissão de nitrato (NO_3^-) para a água subterrânea foi utilizada a metodologia de Jungbluth et. al. (2007).

Para o valor de fixação biológica de nitrogênio foi adotado 0,08 kg N/kg soja, segundo EMBRAPA (2010). Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela F.11.

.

Resuno das emissões para a água

De acordo com as indicações anteriores, na Tabela F.11 podem ser observados os resultados finais para as emissões para a água, decorrente da produção de 1 kg de soja.

Tabela F.11. Resumo das emissões para a água.

	Média Agrianual (2010 e 2011)				Média Agrianual (2010 e 2011), RR			
	MT	GO	PR	RS	MT_{RR}	GO_{RR}	PR_{RR}	RS_{RR}
Emissões para a água (kg/kg soja)								
Água subterrânea P	2,4E-05	2,4E-05	2,4E-05	3,0E-05	2,4E-05	2,4E-05	2,4E-05	3,0E-05
Escoamento superficial P	7,5E-05	7,6E-05	6,8E-05	8,4E-05	7,5E-05	7,6E-05	6,8E-05	8,4E-05
Erosão superficial P	7,7E-04	7,6E-04	7,7E-04	9,7E-04	7,7E-04	7,6E-04	7,7E-04	9,7E-04
Emissões NO_3	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01	1,1E-01

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

F.1.2.3 Emissões para o solo

No presente estudo as estimativas de emissões para o solo foram relacionadas aos pesticidas utilizados e os metais pesados.

Emissões – pesticidas

Com relação aos pesticidas, segundo Jungbluth et. al. (2007), foi adotado como premissa que todo o defensivo aplicado na cultura de soja atinge integralmente o meio ambiente na forma de emissões para o solo, não ocorrendo nenhuma partição de destino destes materiais para outros meios, como ar e água.

Ainda de acordo com *Ecoinvent* (NEMECEK; KÄGI, 2007) a quantidade aplicada é a mesma utilizada para as emissões, a partir da substância correspondente. Apenas para aqueles admitidos como classe "...*unspecified*" não foi atribuído o fluxo correspondente. Neste caso, apenas o i.a. do formicida (item

F.1.3.2) não consta na lista de emissões de pesticidas do *Simapro*, e por conta disso não foi considerado nesta etapa. Os resultados são apresentados na Tabela F.12.

Emissões – metais pesados

A estimativa das emissões para o solo de metais pesados foi consolidada a partir da metodologia descrita por (NEMECEK; KÄGI, 2007).

Apesar do grande número de elementos que podem se enquadrar como metais pesados, dentro do contexto ambiental, optou-se por considerar: arsênico, cádmio, cromo, cobre, níquel, zinco, chumbo e mercúrio.

Para o teor de metais pesados nos fertilizantes e no calcário estes foram utilizados baseados em Gabe e Rodella (1999), enquanto que a quantidade de metais no grão de soja foi estimada com base em Embrapa (2010). Os resultados podem ser observados na Tabela F.12.

No caso nos quais os metais pesados possuem valores negativos, a premissa é que houve uma captura por parte do grão maior do que a quantidade que foi adicionada por meio da aplicação de fertilizantes e calcário. Isto pode ser justificado pela absorção desta diferença a partir de uma quantidade do metal que estava armazenada no solo antes do início do plantio da soja (JUNGBLUTH et. al., 2007).

Resumo das emissões para o solo

De acordo com as indicações acima na Tabela F.12 podem ser observados os resultados finais para as emissões para a água, decorrente da produção de 1 kg de soja.

Tabela F.12. Resumo das emissões para o solo.

Emissões para o solo	Média Agrianual (2010 e 2011)				Média Agrianual (2010 e 2011), RR			
	MT	GO	PR	RS	MT_{RR}	GO_{RR}	PR_{RR}	RS_{RR}
				Emissões - metais pesados				
Cd	4,82E-08	5,47E-08	2,82E-08	2,95E-08	4,82E-08	5,47E-08	2,82E-08	2,95E-08
Pb	4,98E-07	7,42E-07	4,53E-07	4,75E-07	4,98E-07	7,42E-07	4,53E-07	4,75E-07
Ni	3,67E-07	4,91E-07	2,13E-07	2,23E-07	3,67E-07	4,91E-07	2,13E-07	2,23E-07
Cu	-7,59E-06	-7,57E-06	-9,02E-06	-8,60E-06	-7,59E-06	-7,57E-06	-9,02E-06	-8,60E-06
Zn	-3,36E-05	-3,32E-05	-3,74E-05	-3,63E-05	-3,36E-05	-3,32E-05	-3,74E-05	-3,63E-05

Cr	1,06E-05	1,06E-05	3,89E-06	6,00E-06	1,06E-05	1,06E-05	3,89E-06	6,00E-06
Sr	4,81E-04	4,85E-04	1,99E-04	2,92E-04	4,81E-04	4,85E-04	1,99E-04	2,92E-04
				Emissões - pesticidas				
Acephate	1,10E-04	1,80E-04	5,50E-04	1,30E-04	1,10E-04	1,80E-04	3,70E-04	1,30E-04
Cypermethrin	9,70E-07	1,70E-06	5,00E-06	1,20E-06	9,70E-07	1,70E-06	3,30E-06	1,20E-06
Methamidophos	2,90E-05	5,00E-05	1,50E-04	3,60E-05	2,90E-05	5,00E-05	1,00E-04	3,60E-05
Carbendazim	1,90E-05	1,90E-05	1,90E-05	2,00E-05	1,70E-05	1,90E-05	1,90E-05	2,00E-05
Tebuconazole	3,50E-05	3,40E-05	3,50E-05	3,60E-05	3,20E-05	3,40E-05	3,50E-05	3,60E-05
Pyraclostrobin	1,10E-05	1,10E-05	1,10E-05	1,20E-05	1,00E-05	1,10E-05	1,10E-05	1,20E-05
Epoxiconazole	1,60E-06	1,60E-06	1,60E-06	1,70E-06	1,40E-06	1,60E-06	1,60E-06	1,70E-06
Glyphosate	4,80E-04	5,30E-04	5,20E-04	6,90E-04	3,40E-04	3,30E-04	3,40E-04	4,80E-04
2,4 D	5,60E-04	6,20E-04	6,20E-04	8,10E-04	4,00E-04	3,90E-04	3,90E-04	5,70E-04

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

F.2 Subsistema de extração do óleo de soja

Para a elaboração do ICV de produção de óleo de soja foram procurados os maiores grupos do Brasil responsáveis pela extração de óleo de soja no país. Entretanto, para este estudo foram utilizados dados da unidade extratora de Ponta Grossa/PR. Especialistas do setor informaram que as atividades e consumos dessa planta eram semelhantes às demais unidades no país de mesmo porte, podendo ser representativa para o setor.

A unidade industrial considerada possui duas principais linhas de trabalho: a primeira que atua na revenda de grãos de soja (sendo 99% para exportação) e outra que produz farelo e óleo de soja. A unidade de extração de óleo de soja possui capacidade instalada de 3.500 toneladas de óleo por dia, tendo a produção real média em torno de 3.000 t/d. A tecnologia de extração utilizada é a química, com a utilização de hexano.

F.2.1 Detalhamento do ICV da extração de óleo de soja

A elaboração do ICV da extração de óleo de soja foi realizada de acordo com as seguintes informações:

a) Fonte dos dados: primários;

b) Cobertura Temporal: ano de 2010. A exceção deste período ocorreu quando se fez uso do banco de dados, uma vez que o mesmo representa realidades anteriores a cobertura temporal deste ICV;

c) Cobertura Geográfica: estado do Paraná, sendo que variações de ordem geográfica são decorrentes do uso de banco de dados;
d) Cobertura Tecnológica: extração de óleo de soja por solvente;
e) Alocação: foi adotado o critério econômico, a partir dos valores de mercado do óleo bruto e do farelo calculados pela cotação mensal média entre os anos de 2007 e 2010, de acordo com a bolsa de Chicago (ABIOVE, 2011). Assim, os fatores de alocação estimados para óleo e farelo são 38% e 62%, respectivamente.

Para o presente ICV foi considerado o valor de 1 kg de óleo de soja produzido, ou seja, todos os valores de entrada e saída estão correlacionados a essa referência. Para caracterização do ICV, os processos elementares considerados podem ser observados na Figura F.3.

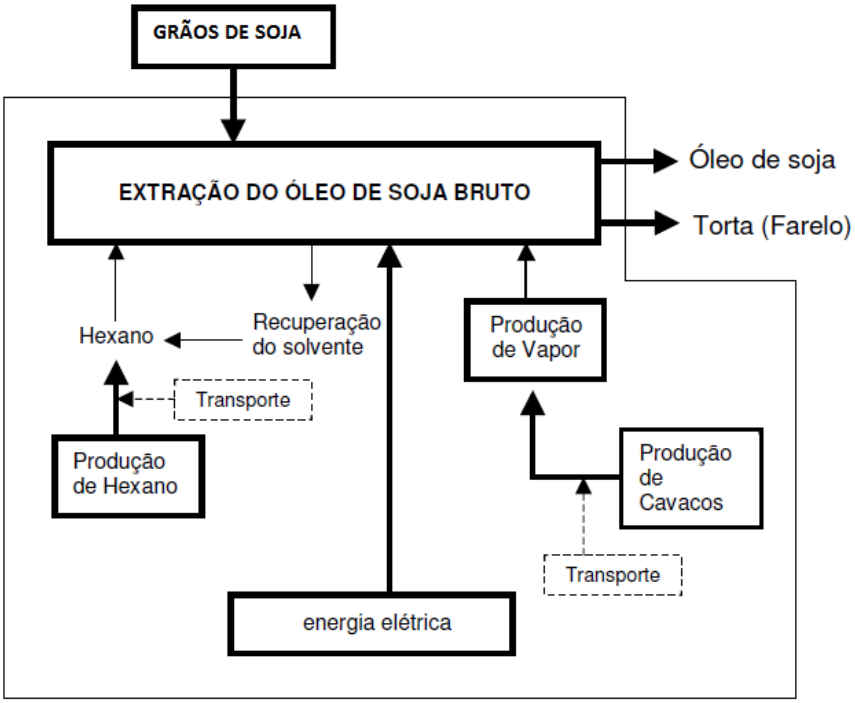


Figura F.3. Processos elementares para a etapa de extração de óleo de soja.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

A Tabela F.13 apresenta os dados primários coletados que serviram como base para a elaboração deste ICV.

Tabela F.13. Inventário referente à produção de farelo de soja e extração de óleo de soja.

Inventário		Unidades	Unidade extratora de Ponta Grossa	Para 1 kg de óleo de soja
Insumos				
Soja (em grão)		kg	1000	5,21
Hexano		kg	1,1	0,01
Água		kg	450	2,34
Eletricidade		kWh	35	0,18
Biomassa (para produção de vapor)	Lenha + cavacos	kg	86	0,45
Óleo diesel		kg	0,1	0,0005
Produtos				
Farelo de soja	Inclui lecitina e cascas	kg	800	4,17
Óleo de soja		kg	192	1,00
Emissões				
Efluente líquido		kg	300	1,56

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Em comparação com outras publicações consultadas (DORSA, 2004; MARZULLO, 2007; CAVALETT, 2008; MOURAD, 2008), de maneira geral, todas apresentam dados de entrada e saída semelhantes. Variando fundamentalmente a fonte de energia para a geração de vapor de água, indo desde as alternativas fósseis (óleo combustível e óleo diesel) até as opções renováveis (bagaço de cana e cavaco de madeira).

O uso de determinada fonte de combustível depende da infraestrutura, disponibilidade e preço de mercado na região da planta industrial que utiliza este recurso.

A unidade considerada para este ICV utiliza lenha e cavacos de madeira proveniente de florestas plantadas como combustível para geração de vapor. Segundo especialistas da unidade em Ponta Grossa/PT, essa é uma realidade predominante na maioria das extratoras do país.

Para efeito da modelagem deste ICV, e ao passo em que ainda não há um inventário nacional consolidado sobre o uso de biomassa de madeira para a geração de energia, foi necessária a adoção de determinadas premissas. Para o ICV da produção de lenha e cavaco foi adotada a referência de Schmidt et. al. (2011), que relaciona o inventário de cultivo de eucalipto no Brasil. Para o PCI, utilizou-se o valor de 3.300 kcal/kg, segundo EPE (2012). Para o transporte da biomassa foi

considerado o raio máximo de 150 km conforme indicação de especialista da planta de extração de Ponta Grossa/PR.

Para avaliação das emissões da caldeira, utilizou-se como referência dados de fornecedores, com adaptações (RUIZ-POVEDA, 2008) e a referência limite das emissões segundo regulamentação do CONAMA. Para empreendimentos de grande porte, como é o caso nesta realidade, para o valor calculado de 47 MW[36], os poluentes que possuem limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº436/11 (complementar a Resolução CONAMA nº382/06) são material particulado (MP); e NO_x, sendo expresso como dióxido de nitrogênio (NO_2). Outras emissões como CO (monóxido de carbono) estão regulamentadas apenas para empreendimentos de pequeno porte (menor que 10 MW), uma vez que, segundo informação de especialista[37], é utilizado como indicativo de verificação da qualidade de queima de biomassa. Na Tabela F.14 são indicados os valores utilizados.

Tabela F.14. Emissões calculadas para caldeira a biomassa

Emissões para o ar	**kg/kg oleo de soja**
MP	0,001479021
No_x	0,003697552

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Com relação às cinzas provenientes da combustão da biomassa, que nesse estudo considera-se a sua disposição em aterro sanitário, segundo Nogueira e Lora (2003), o valor de referência para eucalipto é 0,72% da composição elementar. Para o presente estudo a quantidade foi calculada considerando 80% de eficiência na combustão.

Nos casos em que há a utilização de energia elétrica da rede, para este ICV foram adaptados os valores da base de dados para a matriz elétrica brasileira no ano de 2010 (EPE, 2011). O ICV completo para o presente subsistema pode ser observado na Tabela F.15.

Tabela F.15. Inventário da produção de 1 kg de óleo de soja com alocação.

[36] Potencia térmica nominal calculada com base no PCI multiplicado pela quantidade máxima de combustível queimada por unidade de tempo.

[37] Comunicação pessoal com Claudio Alonso da CETESB em fevereiro de 2013, responsável pela equipe que elaborou a Resolução CONAMA 382/06.

Entradas	Unidade	Valor
Soybeans, at farm/BR BioACV (kg/kg óleo de soja)	*kg*	1,98E+00
Hexane, at plant/RER U (kg/kg óleo de soja)	*kg*	2,18E-03
Tap water, at user/RER U (kg/kg óleo de soja)	*kg*	8,91E-01
Electricity mix, BioACV-2010/BR U (kWh/kg óleo)	*kWh*	6,93E-02
Cavaco de eucalipto	*kg*	1,70E-01
Transport, lorry 7.5-16t, EURO3/RER U (hexano)	*tkm*	2,22E-03
Transport, lorry 16-32t, EURO3/RER U (biomassa combustão)	*tkm*	2,55E-02
Transport, lorry 16-32t, EURO3/RER U (óleo de soja para transesterificação)	*tkm*	3,58E-01
Emissões para o ar		
Hexane	*kg*	2,18E-03
Particulates, unspecified	*kg*	5,62E-04
Nitrogen oxides	*kg*	1,41E-03
Saídas		
Treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2/CH U (kg/kg óleo de soja)	*m3*	2,97E-01
Disposal, wood ash mixture, pure, 0% water, to sanitary landfill/CH U	*kg*	2,19E-03

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

F.3 Transporte de insumos e produtos

F.3.1 Metodologia utilizada para a modelagem do transporte

Os impactos ambientais que decorrem do transporte de matérias-primas e produtos na cadeia de produção do biodiesel de soja são calculados tendo por base o meio de transporte utilizado, as características do transporte, as distâncias percorridas e a quantidade de insumos e produtos a transportar.

A logística de transporte de cargas brasileira está fortemente baseada no modal rodoviário; apesar da modalidade rodoviária ser a mais onerosa (por causa das longas distâncias percorridas e da precariedade das estradas), o transporte dos produtos agrícolas via rodovias é o mais utilizado no Brasil (Castro et al., 2010). Além disso, a predominância de modal rodoviário utilizando caminhões é apontado como um dos fatores críticos ao desempenho do complexo agroindustrial do biodiesel (Castro et al., 2010). Por esta razão, considerou-se neste projeto que o transporte interno de insumos e produtos no Brasil é realizado via rodovia, enquanto que no caso dos insumos importados considerou-se o transporte marítimo.

Quanto às características da frota brasileira de transporte rodoviário de cargas, a Confederação Nacional do Transporte (2008) informa que esta possui uma idade média de aproximadamente 17,5 anos e cerca de 76% dos veículos têm idade superior a dez anos, sendo movidos a diesel (Castro et al., 2010).

Nas próximas seções serão detalhadas as informações apresentadas nos subsistemas, analisados anteriormente, que foram utilizados para o cálculo dos impactos ambientais decorrentes do transporte no ciclo de vida do biodiesel de soja - nomeadamente as distâncias percorridas (adotadas ou específicas) e o meio de transporte utilizado no transporte de insumos e produtos nas plantações de soja, nas usinas de extração de óleo e de produção de biodiesel.

F.3.1.1 Transporte de insumos: cultivo do grão de soja

Cloreto de potássio

Para introduzir as considerações sobre o transporte do cloreto de potássio (KCl) utilizado (item F.1.3.1), de acordo com ANDA (2010), no Brasil há apenas uma empresa que o produz este insumo, localizada em Sergipe. Diante disso, 90% do total de KCl utilizado no Brasil é importado. Para este estudo, foi considerado que todo KCl utilizado na cultura da soja é proveniente de importação.

Segundo DNPM (2009), o Brasil situa-se no contexto mundial como grande importador de potássio fertilizante, tendo como principais fornecedores, em 2008, o Canadá (33%), a Bielorrússia (29%), a Alemanha (13%), Israel (12%) e a Rússia (11%). Estes valores de importação, por país de origem, foram adotados no presente ICV.

A distância terrestre percorrida dentro do país de origem, do ponto de fabricação de KCl até o porto de embarque, foi considerada de 50 km, de acordo com as diretrizes do *Ecoinvent* (FRISCHKNECHT et al., 2007).

Para consideração das distâncias marítimas percorrida, foram adotados os seguintes portos de embarque nos países de origem: no Canadá (Montreal), na Bielorrússia (Klaipeda -Lituânia), na Alemanha (Hamburgo), em Israel (Haifa) e na Rússia (São Petersburgo). De acordo com ANDA (2010), os principais portos brasileiros que recebem KCl são: Paranaguá-PR (45%); Santos-SP (20%) e Rio Grande-RS (11%).

Mediante a ausência de informações acerca da relação entre os portos de origem e de destino, foi adotado a premissa de que todos os portos brasileiros recebem KCl de todos os portos internacionais. Assim, foi calculada uma distância marítima média para cada porto de chegada de KCl, fazendo a média ponderada entre as distâncias e participação dos cinco portos de origem.

Uma vez que o produto importado chega ao Brasil, partiu-se para a definição da distribuição nacional do KCl. Não foram encontrados dados sobre esta logística, sendo adotadas as seguintes hipóteses: Paranaguá-PR (distribui para PR); Santos-SP (distribui para MT e GO) e Rio Grande-RS (distribui para RS). Essas considerações basearam-se na análise qualitativa do território brasileiro.

Para calcular a distância terrestre foram levantadas todas as distâncias entre os municípios de origem e destino do KCl (campo) e em seguida calculou-se a distância média ponderada dos principais municípios produtores de grãos de soja por estado brasileiro.

Na Tabela F.37 são indicadas as estimativas para o transporte do KCl para cultura de soja.

Superfosfato Simples (SSP)

Segundo ANDA (2010), o Brasil produz 94% do SSP consumido no país. Para este estudo considerou-se que todo SSP utilizado na cultura da soja é proveniente da produção interna.

Da mesma maneira que foi estimada a distribuição do KCl dentro do país, determinou-se qual empresa fornece SSP para cada estado a partir de análises qualitativa, sendo: Araxá/MG (distribui para MT); Rio Grande/RS (distribui para RS); Paranaguá/PR (distribui para PR) e Catalão/GO (distribui para GO).

Em seguida foram levantadas todas as distâncias entre os municípios de origem e destino do SSP, e em seguida calculou-se a distância média ponderada para cada estado, assim como realizado para o transporte do KCl para o campo.

Na Tabela F.37 são indicadas as estimativas para o transporte do SSP para cultura de soja.

Superfosfato Triplo (TSP)

Para o TSP, segundo a ANDA (2010), 48% do total utilizado no Brasil é proveniente de produção nacional e 52% corresponde à importação. Dessa forma,

consideraram-se neste estudo os dois cenários: produção nacional e importação de TSP, cada qual com suas respectivas contribuições.

A respeito da importação do TSP, DNPM (2009) reporta que as importações em 2008 foram provenientes de Israel (28%), Marrocos (21%), Tunísia (20%), China (17,25%) e outros (13,75%). A distância terrestre percorrida no país de origem, do ponto de fabricação do TSP até o porto de embarque, foi considerada de 50 km, seguindo o procedimento adotado por Frischknecht et. al. (2007).

Segundo ANDA (2010), os principais portos brasileiros que recebem TSP são Paranaguá (PR), Rio Grande (RS) e Itaquí (MA), com participações no recebimento de TSP igual a 53%, 24% e 10%, respectivamente. Para o estudo, foram considerados apenas os dois primeiros, devido a concentração dos estados analisados dar-se na região Centro-Sul do país.

Foi calculada uma distância marítima média para cada porto de chegada de TSP, fazendo a média ponderada entre as distâncias e participação dos quatro portos de origem. Para a distribuição nacional do produto, foi considerado que apenas os portos de Paranaguá e Rio Grande abastecem os estados produtores de soja, sendo que o porto de Rio Grande fornece para o estado do Rio Grande do Sul e o porto de Paranaguá, para os demais estados.

Após o levantamento de todas as distâncias entre os municípios dos portos de origem e os munícipios de destino do TSP, foi estimada a distância média ponderada para cada estado, que representa o transporte do TSP importado dentro do país.

Na Tabela F.37 são indicadas as estimativas para o transporte do SSP para cultura de soja.

Fosfato Monoamônico (MAP)

Da mesma forma como para o TSP, o consumo de MAP no Brasil ocorre a partir da produção nacional e por meio de importação, sendo 48% e 52%, respectivamente (ANDA, 2010). No Brasil, o MAP é produzido por 4 empresas, e para o estudo foi selecionada a mais representativa que é a Vale Fertilizantes, localizada em Uberaba/MG, que corresponde a 75% da produção nacional de TSP.

Os estados de Paraná e Rio Grande do Sul não recebem MAP porque o fertilizante utilizado nestes estados é o NPK 00-20-20, e nesta modelagem o MAP não entra na análise.

Com relação às importações de MAP, de acordo com DNPM (2009), estas foram provenientes da Rússia (36%), Marrocos (24%), Estados Unidos (24%), China (12%) e Ucrânia (4%). A distância terrestre percorrida no país de origem, do ponto de fabricação de MAP até o porto de embarque, foi considerada de 50 km, seguindo o procedimento adotado por Frischknecht et al. (2007).

Segundo ANDA (2010), os principais portos brasileiros que recebem MAP são Paranaguá (PR), Rio Grande (RS), Aratu (BA) e Itaquí (MA), com participações no recebimento de MAP igual a 43%, 31%, 12% e 6%, respectivamente. Dessa forma, considerou-se que o porto de Paranaguá fornece o MAP para todos os estados consumidores deste produto. Foi calculada uma distância marítima média entre os portos de origem e o porto de Paranaguá.

Por fim, foram levantadas todas as distâncias entre o porto de Paranaguá e os munícipios de destino produtores de soja, culminando no cálculo de uma distância média ponderada para cada estado.

Na Tabela F.37 são indicadas as estimativas para o transporte do SSP para cultura de soja.

Calcário

De acordo com os Anuários do Agrianual, o consumo de calcário dá-se na forma de calcário dolomítico. Os níveis da demanda interna de calcário agrícola de cada Unidade da Federação são bastante semelhantes aos da sua produção. Razões para tal relação podem ser justificadas tanto pelo fato de ser um produto relativamente barato, que não comporta grandes deslocamentos, quanto à quase inexistência do comércio exterior da substância (DNPM, 2009).

Dessa forma, as empresas fabricantes de tal produto para cada estado foram levantadas em DNPM (2006), e assim para o estudo foram consideradas empresas dentro dos estados, com os municípios a saber: Nobres/MT (que distribui para MT); Goiânia/GO (que distribui para GO) ; Itaperuçu/PR (que distribui para PR) e Caçapava do Sul/RS (que distribui para RS).

Na Tabela F.37 são indicadas as estimativas para o transporte do SSP para cultura de soja.

Transporte dos pesticidas

Com relação ao uso de pesticidas, detalhado no item F.1.3.2, não foi possível definir especificidades por região do país, dada a ausência de informações disponíveis, sendo consideradas uma das limitações do estudo. Assim, a modelagem para o transporte mostra-se problemática, pois não é possível rastrear os locais específicos de origem desses compostos.

Dessa forma, foram adotadas as distâncias padrões estabelecidas no relatório do *Ecoinvent* (FRISCHKNECHT et al, 2007), que indicam para o uso de pesticidas na Europa distâncias percorridas de 600 km via trem e 100 km via caminhão. No presente estudo foi adotado o valor de 700 km, dado que os compostos são produzidos no Brasil e são transportados exclusivamente por caminhão.

Resumo dos transportes da fase agrícola

Para o transporte de fertilizantes assumiu-se as seguintes premissas:

- O transporte dentro do país exportador é rodoviário e se dá por meio de caminhões de carga EURO 5, com capacidade de carga de 16 a 32 t. Para tanto, utilizou-se o ICV de transporte do *Ecoinvent* nomeado *Lorry 16-32t, EURO 5/RER U*;
- O transporte do país de origem até o Brasil ocorre pelo sistema marítimo, por meio de navio de carga transoceânico. Foi adotado o ICV de transporte do *Ecoinvent* caracterizado como *Transoceanic freight ship/OCE*;
- O deslocamento do fertilizante no Brasil, seja ele importado ou de produção nacional, é via rodovia e realizado por meio de caminhões de carga EURO 3, com capacidade de carga de 16 a 32 t. Da base *Ecoinvent*, adotou-se o tipo *Lorry 16-32t, EURO 3/RER U*.

No que diz respeito ao calcário, adotou-se que o mesmo é transportado pelo mesmo tipo de caminhão que transporta os fertilizantes dentro do país, ou seja, EURO 3 com capacidade de carga de 16 a 32 t.

Na Tabela F.37 são apresentadas as estimativas de transporte dos insumos necessários na produção da soja.

Tabela F.37. Resumo dos transportes dos insumos na etapa de produção de soja.

Participação		Média Agrianual (2010 e 2011)				Média Agrianual (2010 e 2011), RR			
		MT	GO	PR	RS	MT_{RR}	GO_{RR}	PR_{RR}	RS_{RR}
	KCl (t/kg soja)	**4,72E-05**	**3,92E-05**	**3,52E-05**	**3,68E-05**	**4,72E-05**	**3,92E-05**	**3,52E-05**	**3,68E-05**
100%	Internacional	2,36E-03	1,96E-03	1,76E-03	1,84E-03	2,36E-03	1,96E-03	1,76E-03	1,84E-03
100%	Marítimo	5,25E-01	4,27E-01	3,92E-01	4,37E-01	5,14E-01	4,27E-01	3,92E-01	4,37E-01
100%	Nacional	9,31E-02	3,93E-02	2,13E-02	1,26E-02	9,31E-02	3,93E-02	2,13E-02	1,26E-02
	MAP (t/kg soja)	**3,04E-05**	**3,37E-05**	**0**	**0**	**3,04E-05**	**3,37E-05**	**0**	**0**
52%	Internacional	7,90E-04	8,75E-04	0	0	7,90E-04	8,75E-04	0	0
52%	Marítimo	1,89E-01	2,09E-01	0	0	1,89E-01	2,09E-01	0	0
52%	Nacional	3,41E-02	1,06E-02	0	0	3,41E-02	1,06E-02	0	0
48%	Nacional	2,18E-02	7,95E-03	0	0	2,18E-02	7,95E-03	0	0
	SSP (t/kg soja)	**2,40E-05**	**4,99E-05**	**3,04E-05**	**3,19E-05**	**2,40E-05**	**4,99E-05**	**3,04E-05**	**3,19E-05**
100%	Nacional	1,02E-02	3,02E-02	1,62E-02	0	1,02E-02	3,02E-02	1,62E-02	0
	TSP (t/kg soja)	**2,06E-05**	**1,26E-05**	**3,64E-05**	**3,81E-05**	**2,06E-05**	**1,26E-05**	**3,64E-05**	**3,81E-05**
52%	Internacional	5,35E-04	3,27E-04	9,47E-04	9,91E-04	5,35E-04	3,27E-04	9,47E-04	9,91E-04
52%	Marítimo	1,13E-01	6,91E-02	2,00E-01	2,20E-01	1,13E-01	6,91E-02	2,00E-01	2,20E-01
52%	Nacional	2,31E-02	0	1,15E-02	1,06E-02	2,31E-02	0	1,15E-02	1,06E-02
48%	Nacional	1,47E-02	2,83E-03	1,58E-02	9,75E-03	1,47E-02	2,83E-03	1,58E-02	9,75E-03
	Calcário (t/kg soja)	**1,91E-04**	**1,89E-04**	**6,80E-05**	**1,07E-04**	**1,91E-04**	**1,89E-04**	**6,80E-05**	**1,07E-04**
100%	Nacional	5,41E-02	5,66E-02	3,61E-02	3,25E-02	5,41E-02	5,66E-02	3,61E-02	3,25E-02
	Pesticidas (t/kg soja)	**1,31E-06**	**1,46E-06**	**1,91E-06**	**1,79E-06**	**1,04E-06**	**1,09E-06**	**1,33E-06**	**1,50E-06**
100%	Nacional	9,17E-04	1,02E-03	1,33E-03	1,25E-03	7,25E-04	7,64E-04	9,34E-04	1,05E-03

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

F.3.1.2 Transporte para a etapa de extração do óleo de soja

Na fase de extração de óleo de soja é considerado o transporte de soja em grão, hexano, lenha e cavacos, utilizados como combustível para produção de energia térmica na usina. As distâncias percorridas no transporte da soja desde as áreas de cultivo até às unidades de esmagamento e extração de óleo foram calculadas com base nas distâncias entre os principais estados produtores de soja e os estados com maior capacidade instalada de esmagamento de soja: MT, GO, PR e RS.

Cerca de 72% da soja produzida no Brasil provém dos estados de MT (36%), GO (15%), PR (28%) e RS (21%). A capacidade instalada de extração de óleo de soja destes estados corresponde a cerca de 70% do total nacional, sendo 32% provenientes do MT, 17% de GO, 31% do PR e 20% do RS.

Para efeito de cálculo das distâncias apresentadas, no caso do estado do MT e GO, consideraram-se os municípios que produzem cerca de 32% da soja desses

mesmos estados e extraem cerca de 63% do óleo desses estados. No caso do PR e RS consideraram-se os municípios das microrregiões que produzem, respectivamente, cerca de 33% e 31% da soja desses mesmos estados e extraem cerca de 43% e 48% do óleo desses estados.

As distâncias entre os municípios referidos são apresentadas na Tabela F.38. A partir desses dados calculou-se uma distância média ponderada de 1170 km para o transporte de soja em grão entre as plantações e as usinas, assumindo este valor como referência para o Brasil. Porém, neste cálculo foi adotada a premissa de que a soja cruza as fronteiras estaduais quando é transportada entre as plantações e as usinas de extração. Esta premissa foi estabelecida após consulta dos especialistas na usina de extração de Ponta Grossa/PR, a qual consome soja de outros estados.

Alguns especialistas apontam a inviabilidade econômica no caso em que a produção e o processamento da soja não for realizada no mesmo estado. A partir deste ponto de vista, decidiu-se também calcular a distância média ponderada para o transporte de soja em grão entre as plantações e as usinas, assumindo que a soja não atravessa as fronteiras estaduais (440 km). Esta distância será apenas utilizada para efeitos de análise de sensibilidade aos resultados obtidos no projeto.

A distância de transporte de hexano até às unidades de esmagamento de soja e extração de óleo é de 1021 km. Esta distância foi calculada com base na média ponderada das distâncias entre os estados com maior capacidade instalada de extração de óleo de soja e a única usina produtora de hexano no Brasil, localizada em Itupeva (SP). A distância adotada para o transporte de lenha e cavacos até às usinas extratoras foi de 150 km, valor indicado por especialistas da unidade de Ponta Grossa/PR de modo a garantir a viabilidade econômica do uso de biomassa em caldeiras.

Considera-se ainda neste estudo que a distância para o transporte da soja, hexano, lenha e cavacos é realizado na totalidade por modal rodoviário.

Tabela F.38. Distâncias consideradas entre os municípios produtores de gãos de soja e os municipios para extração do óleo de soja.

Distâncias			Soja															Hexano
			MT					GO				PR				RS			SP
			Campo Novo do Parecis	Diamantino	Nova Mutum	Sapezal	Sorriso	Chapadão do Céu	Cristalina	Rio Verde	Jataí	Cascavel	Goioerê	Campo Mourão	Toledo	Santo Ângelo	Passo Fundo	Cruz Alta	Itupeva
Extração de óleo	MT	Rondonopolis	657	401	453	694	547	396	977	494	405	1123	1147	1190	1078	1700	1627	1668	1307
		Nova Mutum	377	121	10	717	156	850	1297	948	859	1574	1598	1644	1529	2151	2078	2119	1757
		Alto Araguaia	819	611	662	906	757	186	765	282	194	1083	1051	980	1038	1661	1719	1629	1094
	GO	Rio Verde	1112	896	948	1188	1039	234	484	10	91	1061	956	885	1046	1666	1600	1611	865
		Anápolis	1325	1109	1092	1401	1174	522	230	289	379	1279	1174	1103	1305	1872	1660	1817	925
		Itumbiara	1315	1099	1151	1391	1242	437	381	205	294	1022	917	846	1048	1615	1403	1561	668
	PR	Ponta Grossa	2036	1820	1872	2112	1963	1043	1178	1119	1077	401	415	345	444	737	526	683	587
		Maringá	1727	1511	1563	1803	1654	780	1019	803	814	268	163	92	283	873	763	818	613
		Araucária	2145	1930	1981	2221	2072	1152	1284	1228	1186	489	521	451	532	742	530	687	481
	RS	Rio Grande	2758	2543	2594	2835	2686	2011	2264	2164	2122	1028	1146	1203	1068	564	573	479	1461
		Canoas	2536	2320	2372	2612	2463	1766	1941	1842	1800	805	923	960	845	446	277	335	1138
		Cachoeira do Sul	2497	2281	2333	2573	2424	1750	1972	1913	1836	766	885	942	807	303	282	217	1280

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

F.3.1.3 Transporte para a etapa: transesterificação – rota etílica

A distância média de transporte de óleo de soja até à usina de biodiesel de Catanduva/SP é de 942 km. Esta distância foi calculada com base numa ponderação das distâncias entre os estados com maior capacidade instalada de extração de óleo de soja (ver transporte de soja) e a usina de Catanduva. As restantes distâncias adotadas para o transporte de insumos até à usina de biodiesel, indicadas pelos especialistas da própria usina, são apresentadas na Tabela F.39. Deve-se salientar que o transporte de insumos na usina de Catanduva é realizado na totalidade por modal rodoviário, de acordo com as informações dos especialistas da usina.

Tabela F.39. Resumo dos transportes dos insumos na etapa de transesterificação.

Produto	Distância percorrida (km)
Óleo de soja	942
Etanol	70
Ácido cítrico	160
Hidróxido de sódio	160
AGA	70

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

F.4 Subsistema produção de etanol

Este estudo utilizou os resultados do inventário de ciclo de vida do cultivo da cana-de-açúcar produzido e disponibilizado pelo Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), utilizando a ferramenta Biorrefinaria Virtual de Cana-de-açúcar (BVC) em desenvolvimento pelo Programa de Avaliação Tecnológica do CTBE. Este ICV representa as condições de produção de etanol de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste brasileira para a safra 2010/2011 (CAVALETT et. al, 2012).

No início da modelagem deste subsistema, identificou-se que o CTBE já vinha elaborando o ICV da cana-de-açúcar e, dessa forma, buscou-se o aproveitamento – e adequação em função das definições de escopo – dos dados para o presente projeto. A utilização deste inventário se deu, pois este é o trabalho mais recente disponível e apresenta resultados mais consistentes e representativos da realidade brasileira em comparação ao inventário preparado pela Ecoinvent (ECOINVENT, 2007).

O ICV compreende dois principais subsistemas: produção de cana-de-açúcar e produção industrial de etanol. As fronteiras do sistema retratado para atividades de produção agrícola, transporte e processamento industrial da cana-de-açúcar são mostradas na Figura F.4.

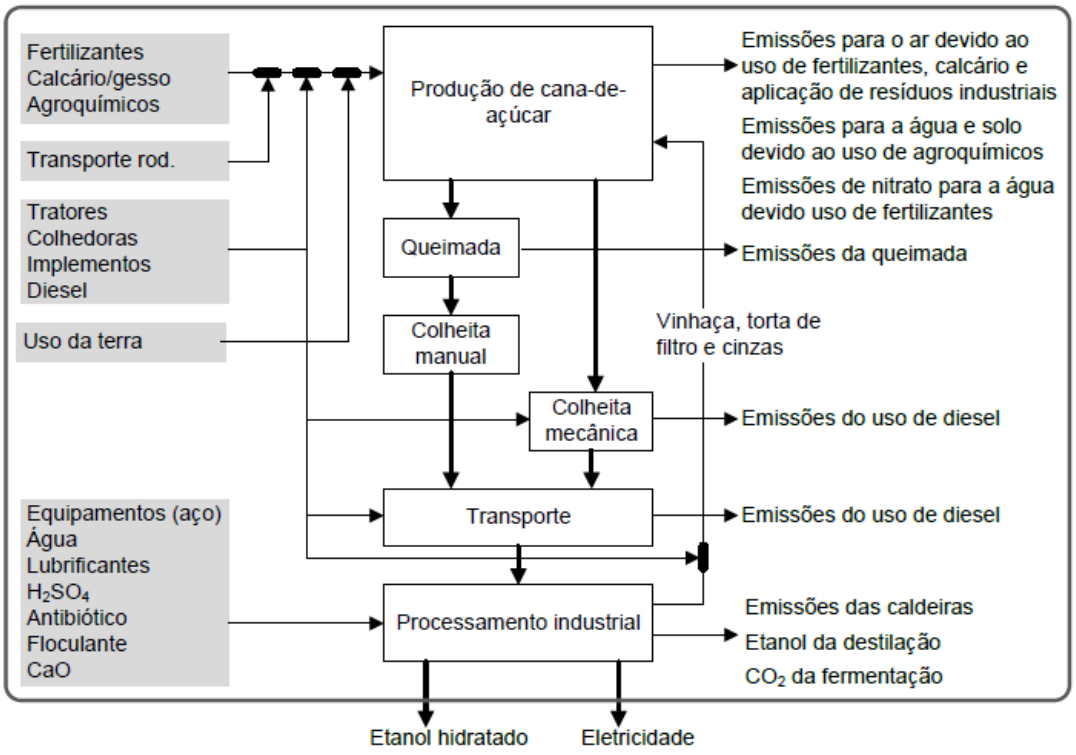


Figura F.4. Fronteiras do ICV para o subsistema de produção de cana-de-açúcar.
Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

As sessões seguintes irão detalhar, separadamente, o ICV da produção agrícola da cana-de-açúcar e seu transporte do campo à usina, e o ICV do processamento industrial.

F.4.1 Descrição e detalhamento do ICV do cultivo da cana-de-açúcar

A elaboração do ICV do cultivo da cana-de-açúcar foi realizada de acordo com as seguintes informações:

a) Fonte dos dados: secundários;

b) Cobertura Temporal: 2008 a 2011. A exceção ocorreu quando se fez uso do banco de dados, visto que o mesmo representa realidades anteriores à cobertura temporal deste ICV;

c) Cobertura Geográfica: estado de São Paulo. Qualquer variação de ordem geográfica foi introduzida por conta do uso de banco de dados;

d) Cobertura Tecnológica: mix das formas manual e mecanizada, tanto para plantio quanto para colheita.

Para a elaboração do ICV da cana-de-açúcar, que compreende as atividades agrícolas e o transporte da biomassa, foi utilizado o modelo computacional “Canasoft”, também de desenvolvido pelo CTBE. Neste modelo, que consiste de planilhas eletrônicas, o ICV é calculado a partir do cenário de produção agrícola e transporte da cana-de-açúcar definido pelo usuário. O ICV consolidado para o cultivo da cana-de-açúcar é apresento na Tabela F.16.

Tabela F.16. Inventário consolidado do cultivo da cana-de-açúcar

Entradas		
Ocupação do solo		
Ocupação de terra agrícola, não irrigada	0,9167	ha a
Conversão, de pastagens extensivas	0,0219	ha
Conversão de área arável, não irrigada	0,0052	ha
Conversão de cerrado	0,0003	ha
Conversão para cultivo de cana, não irrigada	0,0274	ha
Rejeitos industriais		
Vinhaça	56,99	m^3
Torta de filtro	558,90	kg (base seca)
Fertilizantes		
Amônia	8,31	kg
Uréia	80,572	kg
Nitrato de amônia (como N)	8,92	kg
Fosfato monoamônio (como P_2O_5)	3,08	kg
Fosfato monoamônio (como N)	0,58	kg
Super fosfato simples (como P_2O_5)	41,06	kg
Cloreto de potássio (como K_2O)	74,68	kg
Calcário	456,22	kg
Gesso	228,11	kg
Agroquímicos		
Glifosato	0,26	kg
Diuron	0,11	kg
Carbofurano	0,48	kg
Hormônios de crescimento	0,1	kg
Inseticidas	0,05	kg
Herbicidas	0,28	kg
Maquinário		

Colhedora	3,51	kg
Trator	7,83	kg
Maquinário agrícola	11,65	kg
Diesel	133,6	kg
Transporte da cana-de-açúcar		
Caminhão, 16-32t, EURO3	139,8	tkm
Caminhão, >32t, EURO3	2125	tkm
Transporte		
Caminhão, 7,5-16t, EURO3	43,8	tkm
Caminhão, 16-32t, EURO3	1020,30	tkm
Frete transoceânico, navio	2313,80	tkm
Transporte da vinhaça		
Caminhão, 16-32t, EURO3	235,9	tkm
Aplicação de vinhaça		
Aspersores a vácuo	3,42	m^3
Canal de transporte de vinhaça	5,18E-05	km
Operação de sistemas de bombeamento e armazenagem	35,91	m^3
Operação de sistemas de asperção de vinhaça	53,57	m^3
Emissões		
Para o ar		
Mudança da ocupação do solo		
Dióxido de carbono	0,00353	kg
Queima da palha		
Compostos orgânicos voláteis (COV)	20,93	kg
Monóxido de carbono (biogênico)	275,08	kg
Óxidos de nitrogênio	7,48	kg
Particulados, <10um	23,32	kg
Particulados, <2,5um	11,66	kg
Dióxido de enxofre	1,2	kg
Óxido nitroso (N_2O)	0,21	kg
Metano (biogênico)	8,07	kg
Fertilizantes e resíduos		
Óxido nitroso (N_2O) (fertilizante nitrogenado)	1,92	kg
Amônia (fertilizante nitrogenado)	32	kg
Dióxido de carbono (uréia)	126,6	kg
Dióxido de carbono (calcário)	217,46	kg
Monóxido de carbono (vinhaça)	0,4	kg
Monóxido de carbono (torta de filtro)	0,13	kg
Monóxido de carbono (palha não queimada)	0,82	Kg
Monóxido de carbono (cana soca)	0,66	kg

Queima de diesel		
Dióxido de carbono (fóssil)	416,7	kg
Metano (fóssil)	17,23	g
Óxido nitroso (N_2O)	16,03	g
Amônia	26,71	g
Dióxido de enxofre (SO_2)	134,9	g
Benzeno	0,975	g
Cádmio	0,0013	g
Cromo	0,0067	g
Cobre	0,227	g
Níquel	0,0093	g
Selênio	0,0013	g
Zinco	0,134	g
Benzopireno	0,004	g
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	0,439	g
Monóxido de carbono (fóssil)	712,2	g
NOx	5676	g
Compostos orgânicos voláteis não metano	400,7	g
Particulados, < 2,5 µm	1301,5	g
Para água (subterrânea)		
Fertilizantes		
Percolação de nitrogênio (nitrato) do fertilizante nitrogenado	19,35	kg
Para água (superficial)		
Emissões de pesticidas		
Carbofurano	7,90E-03	kg
Diuron	1,67E-03	kg
Fipronil	6,84E-04	kg
Glifosato	3,90E-03	kg
Hexazinona	4,86E-04	kg
Imazapique	2,03E-03	kg
Tebuthiuron	1,71E-03	kg
Trinexapaque-etílico	1,45E-03	kg
Para o solo		
Carbofurano	4,72E-01	kg
Diuron	1,10E-01	kg
Fipronil	4,49E-02	kg
Glifosato	2,56E-01	kg
Hexazinona	3,19E-02	kg
Imazapique	1,33E-01	kg
Tebuthiuron	1,12E-01	kg

Trinexapaque-etílico	9,50E-02	kg
Cádmio	1,05E-03	kg
Cobre	1,28E-02	kg
Zinco	5,62E-02	kg
Chumbo	2,31E-02	kg
Nique;	1,24E-02	kg
Cromo	1,53E-02	kg
Emissões dos pneus (maquinário)		
Zinco	25,48	G
Chumbo	4,14	G
Cádmio	0,96	G

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

O sistema utilizado no ICV compreende as seguintes atividades relacionadas à produção de cana-de-açúcar: plantio, cultivo, colheita e transporte. Para cada um dos processos foi considerado o consumo de matéria-prima, energia, infraestrutura e ocupação do solo. O processo de transporte considera o transporte de matérias-primas para um armazém regional, bem como da cana-de-açúcar colhida para a usina. São também contabilizadas as emissões para o ar, água e solo. A unidade funcional adotada para a fase de produção e transporte de cana-de-açúcar foi 1 hectare.

A Figura F.5 ilustra as atividades contidas nas fronteiras do sistema estudado. Durante a fase agrícola foram consideradas as atividades de plantio, cultivo, colheita e transporte, bem como os insumos necessários.

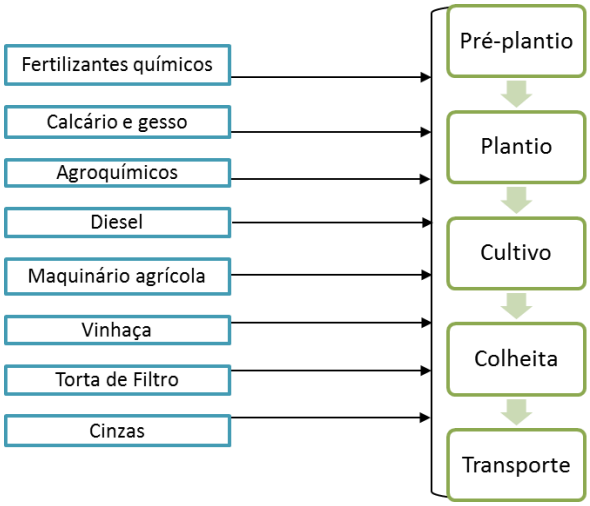


Figura F.5. Caracterização da produção de cana-de-açúcar.
Fonte: Adaptado de CAVALETT et. al., 2012.

F.4.1.1 Plantio da cana-de-açúcar

O plantio da cana-de-açúcar acontece quando há expansão da cultura para novas áreas, bem como nas áreas de reforma do canavial. A reforma, em geral deve ser feita a cada 5 ou 6 anos e acontece em 20% da área plantada. A área que necessita de operações de pré-plantio são as áreas de expansão, que correspondem a 5,5% e as áreas de reforma que representam 17,3%. Considerou-se também a plantação para cultivo de novos colmos. Assim, a área plantada adotada corresponde a 22,8%. As atividades de plantio podem ser realizadas de semi-mecânica (90%) ou mecanicamente (10%).

A Tabela F.17 mostra a caracterização do sistema de plantio adotada no inventário. O número de colmos utilizados no sistema de plantio semi-mecanizado (12 toneladas/ha) é menor do que plantio mecanizado (20 toneladas/ha) a fim de evitar distribuição desigual nos sulcos. As operações de cultivo das soqueiras de cana-de-açúcar envolvem as seguintes etapas: controle e monitoramento de pragas, pré-análise tecnológica da cana e fertilização.

Tabela F.17. Operações de cultivo de cana planta e soqueiras.

Cultivo	% da área total
Cultivo de cana planta	
Controle e monitoramento de pragas	22,81%
Aplicação de agroquímicos	22,81%
Pré-análise tecnológica da cana	22,81%
Nivelamento	22,81%
Carpa manual	22,81%
Cultivo de soqueiras	
Enleiramento da palha	58,69%
Carpa manual repasse	77,19%
Controle e monitoramento de pragas	77,19%
Aplicação de agroquímicos	77,19%
Pré-análise tecnológica da cana	77,19%
Fertilização da soqueira – cana queimada	8,92%
Fertilização química sobre a palha – cana não queimada	28,28%
Aplicação de vinhaça	51,81%
Aplicação de reguladores de crescimento	77,19%

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

F.4.1.2 Colheita da cana-de-açúcar

De maneira geral, a colheita da cana envolve tradicionalmente a queima prévia do canavial e o corte manual da cana inteira queimada. Esse procedimento, no entanto, vem sendo aos poucos substituído pela colheita mecanizada da cana

crua picada (sem queima), por conta das restrições ambientais às práticas da queima (GRISOLI, 2011)[38].

No ICV foi considerada colheita manual em 17,6% da área, consequentemente 82,4% sendo colhido mecanicamente. No caso da colheita manual, em 91,5% houve emprego do fogo antes da colheita, o que também aconteceu em 11,3% da área colhida mecanicamente. O detalhamento a seguir apresentam valores relativos aos sistemas de colheita manual e mecânica.

F.4.1.3 Rendimento da cana-de-açúcar

O rendimento da produção de cana-de-açúcar adotada pelo ICV refere-se aos resultados observados no estado de São Paulo na safra 2011/2012. A produtividade da cana colhida foi de 70,3 t/ha.ano, considerando-se os índices de perdas na colheita manual (1,35%) e mecânica (1,52%), atinge-se uma produtividade real da cana-de-açúcar (no campo) de 71,4 t/ha.ano.

Segundo Hassuani et. al. (2005) cana tonelada de cana produz 140 kg de palha, em base seca, considerando um teor de umidade de 15%, o valor é de 164,7 kg por tonelada de cana, em base úmida. Considerando a produtividade média da cana-de-açúcar para o estado de São Paulo como sendo 70,3 toneladas por hectare, ao ano, a quantidade de palha produzida é de aproximadamente 11,75 toneladas. Observando-se a área colhida com queima prévia do canavial, é possível calcular que 2,99 toneladas de palha são queimadas por hectare. Conclui-se que 8,77 toneladas de palha são deixadas no campo[39].

F.4.1.4 Matérias-primas e auxiliares

<u>Fertilizantes</u>

Ainda que a aplicação de vinhaça e torta de filtro contribua com parcela significativa para nutrição do solo, ainda é necessário uso de fertilizantes em complementação. A Tabela F.18 apresenta as quantidades médias de utilização de

[38] No que se refere à colheita mecanizada, o Decreto Federal 2.661/1998 que regulamenta o artigo 27 da Lei 4.771/6516 prevê a extinção do uso de fogo nas plantações de cana-de-açúcar em 25% da área plantada em cada propriedade a cada 5 anos, nas áreas mecanizáveis, ou seja, a completa eliminação do uso do fogo deveria acontecer em 2018 (GUARDABASSI, 2011).

[39] Não há ainda um consenso entre os especialistas com relação à quantidade que deve ser obrigatoriamente deixada no campo para proteção do solo. Vários estudos estão em andamento procurando determinar esta fração deixada no solo, para cada tipo de solo e condições edafoclimáticas.

fertilizantes recomendadas para a cultura da cana-de-açúcar. Estes valores são apresentados em função dos principais nutrientes contidos nos fertilizantes.

Tabela F.18. Valores médios recomendados de nutrientes no cultivo da cana-de-açúcar.

Estágio de produção da cana-de-açúcar	**Fertilizantes (kg/ha.ano)**		
	N	P (como P_2O_5)	K (como K_2O)
Cana planta	30	150	150
Soqueira com queima prévia do canavial	100	0	100
Soqueira sem queima prévia do canavial	100	0	150
Soqueira com aplicação de vinhaça	67,5	0	0

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

Corretores de solo e resíduos industriais

A utilização de calcário nas atividades agrícolas ajuda a aumentar a produtividade das colheitas, pois corrige a acidez do solo, melhora a sua porosidade e permeabilidade e ainda tem ação nutriente, favorecendo a ação da matéria orgânica adicionada ao solo para adubação e nutrição. A aplicação destes materiais costuma ser realizada antes do plantio da cana-de-açúcar. A torta de filtro e cinzas das caldeiras de bagaço costuma ser aplicadas ao solo, bem como a vinhaça.

A torta de filtro é um resíduo composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação, sendo proveniente do processo de clarificação do açúcar. Para cada tonelada de cana moída são produzidos de 30 a 40 kg de torta. É um composto orgânico (85% da sua composição), rico em cálcio, nitrogênio e potássio, com composições variáveis dependendo da variedade da cana e da sua maturação (CORTEZ *et. al.*, 1992).

Os valores utilizados dependem das quantidades produzidas e das taxas de aplicação. O ICV preparado pelo CTBE adotou 58% da área plantada recebendo torta de filtro, 43,5% cinzas e 51,8% da área cultivada com aplicação de vinhaça. A Tabela F.19 resume os valores e as áreas em que cada produto é aplicado.

Tabela F.19. Aplicação de calcário, gesso e resíduos industriais no cultivo da cana-de-açúcar.

	Taxa de aplicação recomendada (kg/ha.ano)	Área de aplicação (% da área total de cana-de-açúcar)
Calcário	2.000	22,7%
Gesso	1.000	22,8%
Torta de filtro	5.000*	11,2%
Cinzas	5.000*	8,4%
Vinhaça	100	51,8%

* base seca
Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

Agroquímicos

Comparativamente a outras culturas, a cana-de-açúcar se caracteriza pelo reduzido consumo de defensivos agrícolas, ausência do uso de fungicidas e acaricidas, além do uso de inseticidas considerado baixo. Assim, os herbicidas são os defensivos mais utilizados, uma vez que as plantas daninhas são prejudiciais à cultura da cana-de-açúcar, sendo que perdas de 24% na produção já foram observadas (MACEDO, 2004).

A Tabela F.20 apresenta as quantidades de agroquímicos utilizada na cultura da cana-de-açúcar.

Tabela F.20. Taxas de aplicação de agroquímicos no cultivo da cana-de-açúcar.

Ativo principal	Taxa de aplicação (kg/ha.ano)			
	Plantio	Reforma	Cana planta	Soqueira
Fipronil	0,20	0	0	0
Carbofuran	2,10	0	0	0
Glifosato	0	1,30	0	0
Tebuthiurom	0	0	0,50	0
Hexazinona	0	0	0,14	0
Diuron	0	0	0,49	0
Imazapique	0	0	0	0,175
Trinexapaque-etílico	0	0	0,125	0,125

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

Diesel e uso de maquinário

Para o cálculo do consumo de diesel foram consideradas a potência da máquina agrícola, sua eficiência, consumo específico de diesel e o tempo dispendido em cada operação agrícola. O uso do maquinário agrícola foi calculado com base em seu peso total, uso anual e vida útil. A Tabela F.21 sumariza as operações mecanizadas e o consumo de diesel.

Tabela F.21. Resumo do consumo de diesel e maquinário agrícola no cultivo da cana-de-açúcar.

Atividade agrícola	Uso de diesel (kg/ha.ano)	Uso de maquinário agrícola		
		Colhedora	Trator	Implementos
Pré-plantio/preparo do sol	14,72	0	0,881	0,225
Plantio	8,47	0,0151	0,537	0,295
Cultivo	14,29	0	0,829	0,204
Colheita	96,08	3,495	5,581	10,927
Total	133,56	3,510	7,828	11,651

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

F.4.1.5 Transporte associado ao cultivo da cana-de-açúcar

Após o corte, a cana deve ser transportada rapidamente para a usina, a fim de evitar perdas de sacarose. Uma vez transportada até a usina, a cana é estocada ou diretamente enviada para moagem. No ICV aqui apresentado, a distância de transporte do campo à usina foi calculada com base na produção de cana-de-açúcar necessária para suprimento de uma usina que moa, anualmente, 2 milhões de toneladas de cana. O fator de aglomeração adotado, ou seja, a concentração de cana-de-açúcar ao redor da usina, considerado representativo da realidade paulista, é de 0,04.

Três tipos de caminhão são utilizados: Romeu e Julieta, rodotrem e treminhão, os quais são definidos pelo número e características do reboque, seu comprimento e peso que suportam carregar. De modo geral, pode-se afirmar que a cana colhida manualmente apresenta densidade menor, requerendo menor utilização de transporte. Considerou-se a vida útil dos caminhões de transporte de cana-de-açúcar de 10 anos, e o uso de motores EURO 3 (Tabela F.22).

Tabela F.22. Sistema de transporte da cana-de-açúcar.

Tipo de colheita	Tipo de caminhão	Peso transportado (t/ha.ano)	Distância (km)	Transporte (tkm/ha.ano)
Manual	Rodotrem (caminhão > 32t)	8,0	32,3	259,7
	Romeu e Julieta (caminhão 16-32t)	4,3	32,3	139,8
Mecânica	Rodotrem (caminhão >32t)	57,9	32,3	1.865,3

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

Transporte de insumos

A Tabela F.23 apresenta as distâncias típicas percorridas para os insumos agrícolas.

Tabela F.23. Transporte de insumos agrícolas no cultivo de cana-de-açúcar.

Produto	Caminhão de 7,5-16t (tkm)	Caminhão de 16-32t (tkm)	Frete transoceânico (tkm)
Amônia	0	4,0	12,1
Uréia	0	70,9	1074,3
Nitrato de amônio	0	14,2	224,2
Fosfato monoamônico	0	3,2	32,0
Superfostato simples	0	89,7	116,8
Cloreto de potássio	0	68,4	854,4
Calcário	0	194,1	0
Gesso	0	557,7	0
Torta de filtro	0	18,1	0
Sementes	43,8	0	0

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

Distribuição da vinhaça e aplicações auxiliares

O ICV assumiu que a vinhaça é transportada por canais abertos e por caminhões, segundo Macedo et. al. (2004):

- 6% aplicada diretamente por caminhões, em áreas próximas à usina (em média 7 km). Os insumos considerados são o transporte por 23,9 tkm em caminhões de 7,5 a 16 toneladas e aspersão da vinhaça em 3,42 m^3 por hectare;
- 31% da vinhaça são transportadas por caminhões e aplicadas diretamente por sistemas de aspersão, em áreas intermediárias (em média 12 km de distância). O insumo considerado é o transporte por 212 tkm por caminhões de 7,5 a 16 toneladas;
- 63% da vinhaça são transferidas em canais abertos e distribuídas por sistemas de aspersão.

O sistema de distribuição de vinhaça foi calculado segundo ROCHA (2009). A vida útil do sistema é de 20 anos. Foram também contabilizadas no ICV as quantidades de eletricidade e diesel necessárias para a operação das bombas.

F.4.1.6 Recursos Naturais

Ocupação do solo

A alocação utilizada para a ocupação do solo é apresentada na Tabela F.24. A ocupação da área adotada é de 5 anos e meio (para um ciclo de 6 anos). A área de expansão foi baseada em CONAB (2011).

Tabela F.24. Quantidade de área utilizada para o cultivo da cana-de-açúcar

Ocupação do solo	Quantidade
Área de expansão	
De pastagem	89%
De culturas anuais	5%
De culturas permanentes	6%
Ocupação e transformação	
Ocupação de terra agrícola, não irrigada	9167 m^2/ha.ano
Conversão, de pastagens extensivas	402,9 m^2/ha.ano
Conversão de cultura permanente	27,16 m^2/ha.ano
Conversão de área arável, não irrigada	22,64 m^2/ha.ano
Conversão para cultivo de cana, não irrigada	452,71 m^2/ha.ano

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

Absorção de carbono e biomassa energética

O valor de absorção de carbono adotado é de 653 kg CO_2 por tonelada de cana (BNDES e CGEE, 2008). Em relação à unidade funcional, o valor corresponde a 45,9 tCO_2/ha.

F.4.1.7 Cultivo da cana – emissões para o ar

Foram consideradas as emissões provenientes do uso de diesel, fertilizantes, operações de queima da cana no campo, uso de resíduos industriais no campo e calcário.

Uso do diesel em máquinas agrícolas

Foram a adotados os fatores de emissões para hidrocarbonetos, monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio do diesel, conforme (NEMECEK; KÄGI 2007).

Fertilizantes químicos

As emissões provenientes de fertilizantes químicos foram baseadas em Trivelin e Franco (2011), COSTA et. al. (2003), NEMECEK e KÄGI (2007) e IPCC (2006) e são resumidas na Tabela F.25.

Tabela F.25. Fator de emissões atmosféricas dos fertilizantes utilizados.

Fertilizante	Fator de emissão (g/kg de fertilizante)		
	NH_3	N_2O	CO_2
Uréia	170	9,83	733
Nitrato de amônia	8,26	5,45	0
Sulfato de amônia	19,43	0,34	0
Fosfato monoamônico	4,37	1,47	0
Fosfato diamônico	8,26	2,78	0

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

Calcário

Considerou-se que todo o carbono contido no calcário é convertido em emissão de dióxido de carbono fóssil para o ar. O fator de emissão do IPCC (2006) de 0,13 kg de carbono por quilograma de calcário foi adotado. O que corresponde a 0,48 kgCO_2/kg calcário.

Reuso de resíduos industriais (vinhaça, torta de filtro e cinzas)

Consideraram-se também as emissões provenientes da reciclagem da torta de filtro e da vinhaça. Os valores são baseados em IPCC (2006) e MACEDO (2004) e apresentados na Tabela F.26.

Tabela F.26. Conteúdo de nitrogênio de e fatores de emissão de N_2O para resíduos industriais.

Resíduo	Unidade	Conteúdo de nitrogênio em kg N	Emissões de N_2O
Vinhaça	m^3	0,36	0,00693 kg N_2O/m^3 de vinhaça
Torta de filtro	Mg (base seca)	12,5	0,241 kg N_2O/t de torta de filtro (base seca)
Palha não queimada	Mg (base seca)	4,77	0,0918 kg N_2O/t de palha não queimada (base seca)

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

Queima da palha

Os fatores de emissão para a queima da palha são baseados em GREET (2010) e apresentados na Tabela F.27. O cálculo considera a quantidade de 140 kg/ tonelada de cana (base seca), conforme SEABRA et. al. (2008). A parcela da cana colhida com queima é de 24%, e a quantidade de palha queimada é 2,818 kg/ha.ano.

Tabela F.27. Fatores de emissão para a queima de palha de cana.

Substância	Fator de emissão (kg/t palha)
Compostos orgânicos voláteis (COV)	7
Monóxido de carbono (biogênico)	92
Óxidos de nitrogênio	2,5
Particulados, <10um e > 2,5um	7,8
Particulados, <2,5um	3,9
Dióxido de enxofre	0,4
Óxido nitroso (N_2O)	0,070
Metano (biogênico)	2,70

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

Palha não queimada

Seguindo as premissas adotadas para as emissões da queima de palha, a quantidade de palha não queimada é de 8,937 kg/ha.ano. As emissões são calculadas com base em IPCC (2006), considerando que 1,255% do conteúdo de nitrogênio é emitido como N_2O. O conteúdo na palha não queimada é de 0,477% em base seca.

Sistema radicular

O sistema radicular da cana é renovado anualmente pela rebrota da soqueira. As emissões estimadas são de 1,255% do conteúdo de nitrogênio das raízes como N_2O (IPCC, 2006). O conteúdo de nitrogênio nas raízes é de 0,514% (FRANCO, 2008).

Emissões pela mudança da ocupação do solo

As emissões de dióxido de carbono devido à perda de carbono causada pela mudança da ocupação do solo foram estimadas segundo COMISSÃO EUROPÉIA (2009; 2010). Os tipos e porcentagens de ocupação do solo adotados, já apresentados anteriormente, são 89% provenientes de pastagens, 5% de culturas anuais e 6% de culturas permanentes.

Combinando-se os parâmetros definidos pela Comissão Européia com as porcentagens de mudança do solo pela expansão da cana-de-açúcar, calcula-se as emissões de dióxido de carbono em 5.002,54 kg. Segundo IBGE (2012), nos últimos

20 anos houve um aumento de 3,37 milhões de hectares da área de cana, o que resulta em emissões de $1,64.10^{10}$ $kgCO_2$.

Ainda segundo IBGE a área cultivada de cana-de-açúcar em 2011 foi de 5,84 milhões de hectares, sendo as emissões de estimadas em 2,81 tCO_2/ha.ano.

F.4.1.8 Cultivo da cana – emissões para a água

Fertilizantes químicos

Considerou-se que 5% de todo o nitrogênio aplicado como uréia, ou como amônia, percola para águas subterrâneas, sendo convertido em nitrato (TRIVELIN e FRANCO, 2011). No entanto, pelo fato dos solos brasileiros serem ácidos, não há evidências de percolação de potássio, fósforo ou nitrogênio para águas subterrâneas.

Agroquímicos

Foi considerado no ICV que 1,5% dos agroquímicos aplicados na cana-de-açúcar acabam escoando para águas superficiais (RENOUF et. al., 2010). Este estudo foi realizado para canaviais da Austrália, no entanto por falta de estudos nacionais foi adotado.

F.4.1.9 Cultivo da cana – emissões para o solo

Maquinário agrícola

Foram adotadas as emissões causadas pela degradação dos pneus com base nos valores apresentados por Nemecek e Kägi (2007), apresentados na Tabela F.28.

Tabela F.28. Fator de emissão para a degradação de pneus das máquinas agrícolas

Emissão	Fator de emissão
Zinco	8,96 g/kg de pneu
Chumbo	1,456 g/kg de pneu
Cádmio	0,336 g/kg de pneu

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

Agroquímicos

Considerou-se que 98,5% do pesticida aplicado é emitido para o solo.

Fertilizantes químicos

As emissões de metais pesados contidas nos fertilizantes minerais, calcário e gesso são também assumidas como emissões para o solo. As premissas adotadas são:

- A cana-de-açúcar colhida absorve uma parte dos metais pesados, ficando o restante no solo;
- Os metais pesados podem ser incorporados aos produtos (etanol, açúcar, cinzas, vinhaça e torta de filtro) durante o processamento industrial da cana;
- O etanol possui valores desprezíveis de metais em sua composição;
- Como as cinzas, a torta de filtro e a vinhaça retornam ao campo. Os metais pesados são considerados emissões para o solo.

A Tabela F.29 apresenta os valores referentes as emissões de metais pesados para o solo.

Tabela F.29. Emissão de metais pesados para o solo (mg/ha).

Entrada	Cd	Pb	Ni	Cu	Zn	Cr
Amônia	0,3	8,0	25,7	33,4	182	11,7
Uréia	4,7	101,1	184,1	551,7	4047,2	184,1
Nitrato de amônia	0,9	35,9	245,8	132,3	945,4	75,7
Fosfato monoamônio	84,2	103,1	161,8	214,8	1163,9	911,3
Superfosfato simples	636,8	16575,9	8677,6	5094,4	32781,1	5854,8
Cloreto de potássio	5,75	528	201	479	4410	192
Calcário	0	0	0	2737,3	3193,5	4516,6
Gesso	182,5	2258,3	1117,7	2281,1	1140,5	2258,3
Total	**915,15**	**19610,3**	**10613,7**	**11524**	**47863,6**	**14004,5**

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

F.4.2 Descrição e detalhamento do ICV da produção industrial de etanol anidro

A elaboração do ICV da produção industrial de etanol foi realizada de acordo com as seguintes informações:

a) Cobertura Temporal: 2004 a 2010. A exceção ocorreu quando se fez uso do banco de dados, visto que o mesmo representa realidades anteriores à cobertura temporal deste ICV;

b) Cobertura Geográfica: estado de São Paulo. Qualquer variação de ordem geográfica foi introduzida por conta do banco uso de dados;

c) Cobertura Tecnológica: típica das usinas brasileiras. Desidratação do etanol hidratado por destilação azeotrópica;

d) Alocação: Como há diferentes coprodutos do processamento da cana-de-açúcar, alguns deles, como é o caso do etanol, do açúcar e do material lignocelulósico (bagaço), a alocação econômica do ICV foi baseada nos valores de mercado dos produtos. Em resumo, os resultados obtidos são apresentados na Tabela F.30.

Tabela F.30. Alocação econômica dos produtos da cana-de-açúcar.

Produto	**Valor (US$/kg)**	**Destilaria anexa**		**Destilaria autônoma**	
		Renda (US$/tc)	**Alocação (%)**	**Renda (US$/tc)**	**Alocação (%)**
Etanol anidro	0,76	30,7	58,1	49,17	99,6
Açúcar	0,43	21,89	41,5	0	0
Bagaço	0,02	0,23	0,4	0,20	0,4
Total		**52,82**		**49,37**	

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

O ICV considerou a produção de etanol de primeira geração em destilarias autônomas e plantas anexas. Particularmente no estado de São Paulo, 87,6% da cana-de-açúcar produzida é processada em destilarias anexas, que são responsáveis pela produção de 80,4% do etanol anidro, 93% do etanol hidratado e 97% do açúcar no estado. O estudo adotou informação disponibilizada pela UNICA sobre a distribuição da produção de etanol na safra 2008/2009 a qual identifica 93% da produção de etanol anidro ocorrendo em destilarias anexas e os 7% restantes em destilarias autônomas (UNICA, 2011). O ICV consolidado pode ser observado na Tabela F.31.

Tabela F.31. Inventário consolidado da produção industrial de etanol

		Destilaria anexa	Destilaria autônoma
Produtos	Unit	Quantidade	Quantidade
Etanol Anidro	kg	1	1
Açúcar	kg	1,25990099	0
Vinhaça	kg	13,7549505	13,72488408
Torta de filtro	kg	0,851485149	0,395672334
Cinzas da caldeira	kg	0,143564356	0,089644513
Material celulósico	kg	0,257425743	0,139103555
Recursos			
Ocupação de área industrial	m^2	0,000126238	7,88253E-05

Conversão de área agrícola	m^2	2,47525E-06	1,5456E-06
Conversão para área industrial	m^2	2,47525E-06	1,5456E-06
Materiais / combustíveis			
Cana-de-açúcar	kg	24,75247525	15,45595054
Palha	kg	0	0
Ácido sulfúrico	g	8,861386139	7,588871716
Calcário	kg	0,025	0,01251932
Químicos inorgânicos	g	0,183168317	0,120556414
Aço	kg	0,001311881	0,00072643
Óleo lubrificante	kg	0,000321782	0,000200927
Ciclohexano	kg	0,001064356	0,001081917
Floculante	g	0	0
Água do subsolo	kg	0,037128713	0,023183926
Hidróxido de sódio	kg	0	0
Transporte, caminhão 16--32t, EURO3/RER U	tkm	0,015717822	0,010401855
Emissões para o ar			
Etanol	kg	0,001980198	0,002009274
Fermentação			
Dióxido de carbono, biogênico	kg	1,024752475	1,018547141
Combustão do bagaço			
Dióxido de carbono (biogênico)	kg	4,126237624	2,591962906
Monóxido de carbono	kg	0,00324	0,00204
Dióxidos de enxofre	kg	0,00017	0,00011
Óxidos de nitrogênio	kg	0,003217822	0,00202473
Óxido nitroso	kg	0,000173267	0,000108192
Metano	kg	0,001336634	0,000834621
Compostos orgânicos voláteis (COV)	kg	0,000222772	0,000139104
Particulados, >2,5µm and < 10µm	kg	0,003663366	0,002302937
Particulados, < 2,5µm	kg	0,00183004	0,001149374
Área	ha	0,000352098	0,000219857

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Em geral, metade do suco extraído da cana-de-açúcar é destinado à produção de açúcar, e a outra metade, juntamente com o melaço residual da produção de açúcar, é destinado à produção de etanol.

Outra característica importante é a utilização do bagaço de cana-de-açúcar como combustível dos sistemas de cogeração, para suprir as demandas térmicas e de eletricidade das usinas. Todas as usinas brasileiras são autossuficientes em termos energéticos, sendo que algumas exportam eletricidade para a rede. O inventário produzido pelo CTBE não considerou o transporte de produtos do processo industrial, porém considerou o transporte dos insumos utilizados. O

processo de produção de etanol foi simulado utilizando o modelo Aspen Plus, com o intuito de obter os balanços energético e mássico para o inventário.

O ICV considerou uma usina com capacidade de moagem de 500 toneladas de cana por hora, operando durante 167 dias ao ano, processamento uma quantidade total de 2 milhões de toneladas de cana por ano. É considerado que apenas etanol anidro é produzido. Na fase industrial, o inventário foi construído tendo como base uma tonelada de cana-de-açúcar processada.

Na Figura F.6, é possui identificar as fronteiras do sistema considerado no presente ICV.

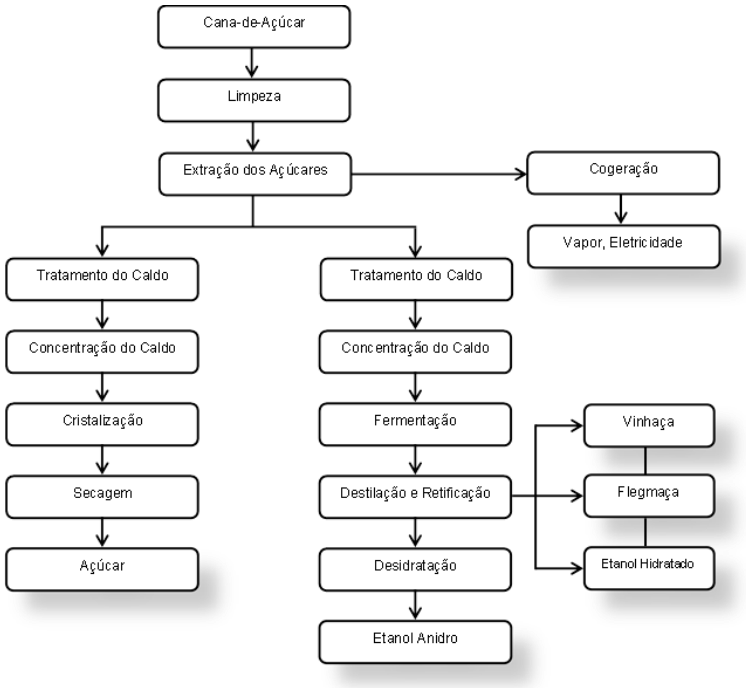


Figura F.6. Fronteira do sistema de produção industrial do etanol de cana-de-açúcar.
Fonte: Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Conforme indicado na Figura F.6, depois de recebida na usina, a cana que segue para a moagem passa pela lavagem (usada somente para cana inteira) e pelo preparo através de picadores e desfibradores. Na moenda, o caldo é separado da fibra da cana (bagaço), que, por sua vez, segue para a planta de geração de energia (SEABRA, 2008).

A extração do caldo nas moendas possui uma eficiência de 96%, que corresponde à quantidade de açúcares recuperados observado nas usinas paulistas (WALTER et. al., 2008).

O caldo obtido é peneirado (para eliminação de partículas grosseiras) e levado à balança, para controle de produção da usina. Após a pesagem, o caldo é enviado à calagem para elevação do pH, visando melhor decantação na fase seguinte e, também, maior proteção dos equipamentos (vida útil).

O caldo então é encaminhado a um decantador e daí bombeado para um sistema de aquecimento (aquecedores tubulares) que irá elevar sua temperatura até 105°C, sendo, logo após, conduzido ao clarificador (decantador), para sedimentação de suas impurezas. Essas impurezas formam o lodo que é filtrado, em filtro rotativo a vácuo, para recuperação de caldo, originando a torta. Convém salientar que, nesta operação, pode haver influência do vácuo e da chapa de suporte da torta na eficiência do processo de fermentação. O caldo recuperado, depois do processo de calagem, é usado para embebição na moenda, enquanto a torta é remetida para utilização na lavoura (complemento de adubação e fonte de matéria orgânica). Do clarificador, o caldo decantado passa por uma peneira e daí é levado a um pré-evaporador.

No pré-evaporador parte da água é evaporada aumentando a concentração do caldo, a fim de se obter adequado grau alcoólico na etapa posterior (fermentação). O caldo pré–evaporado passa por um resfriador (trocador de calor) ocorrendo a pasteurização, visto que neste ponto há um resfriamento brusco para 30° C.

Algumas usinas, para o caso de falta de matéria-prima ou em razão de chuvas continuadas, utilizam-se, ainda, de um processo adicional para concentração de caldo em forma de xarope. Neste caso, após passagem pelo pré–evaporador, o caldo é enviado aos evaporadores de múltiplo efeito (obtendo-se o xarope) sendo os gases desprendidos do caldo em ebulição encaminhados a um condensador do tipo barométrico (multijato). O xarope obtido, para ser usado, é diluído em água e enviado à etapa posterior.

A produção de açúcar consiste na cristalização da sacarose presente no caldo. Estes cristais são separados da solução em equipamentos a vácuo, que operam em bateladas. Assumiu-se nete ICV a produção de dois tipos de açúcar, o tipo A (produto final), e o tipo B (produto intermediário, reciclado no processo).

- **Fermentação**

O caldo posteriormente segue para a fermentação, cujo processo geralmente adotado é o Melle–Boinot[40]. A fermentação é realizada em dornas onde o caldo é inoculado com leite de leveduras, constituído por uma suspensão aqüosa em meio ácido do microorganismo *Saccharomyces sp.* A ação das leveduras propicia a fermentação através da inversão da sacarose, seguida da conversão do açúcar invertido em álcool etílico e dióxido de carbono. O período de permanência do caldo nas dornas se estende de 8 a 10 horas. Da fermentação do caldo resulta um líquido chamado vinho. O vinho é então submetido à centrifugação visando à recuperação do creme de levedura, que é encaminhado ao pé de cuba (pequena dorna) donde, após tratamento adequado (até pH=3), retorna às dornas de fermentação, dando seqüência ao processo.

- **Destilação**

O vinho propriamente dito é encaminhado às dornas volantes e destas ao depósito de vinho, já em condição de ser destilado. O vinho então é enviado à coluna de destilação, dando origem ao flegma e como subproduto o restilo ou vinhaça. O flegma passa em seguida pelas colunas de retificação, onde se obtém o álcool hidratado e, como resíduo, a flegmaça. Para obtenção do álcool anidro (carburante), submete-se o álcool hidratado ao processo de desidratação com emprego de arrastadores (ciclo hexano) em peneira molecular. Desta operação resulta como subproduto o óleo fúsel. O ciclo hexano é reciclado no processo.

- **Cogeração**

A unidade de cogeração adotada no ICV produz vapor a 22 bar usando bagaço de cana como combustível. Este vapor é utilizado para suprir toda a demanda de vapor e eletricidade do processo, tais como, operação de moendas, colunas de destilação, trocadores de calor e evaporadores.

[40] O processo de Melle-Boinot fundamenta-se no reaproveitamento das células de leveduras provenientes de uma fermentação anterior e que são separadas do vinho por centrifugação. A seguir, as células obtidas são tratadas com acido até pH 2,5 a 3,0 por 3 horas, em dornas menores, denominadas cubas de tratamento, onde também recebem nutrientes, água e agitação, revigorando-se antes de uma nova fermentação (BECKER et. al., 2009).

- **Produtos**

A Tabela F.32 apresenta a alocação dos coprodutos e resíduos obtidos no processamento da cana-de-açúcar. Neste inventário o óleo fúsel e a levedura não são considerados produtos, e o bagaço da cana é queimado no sistema de cogeração.

Tabela F.32. Quantidades dos produtos gerados no processo industrial de produção de etanol.

Produto	Destilaria anexa Quantidade (kg)	Destilaria autônoma Quantidade (kg)
Etanol anidro	40,4 kg	64,7 kg
Açúcar	50,9 kg	0 kg
Vinhaça	555,7 kg	888 kg
Torta de filtro	34,4 kg	25,6 kg
Cinzas	5,8 kg	5,8 kg
Material lignocelulósico	10,4 kg	9 kg

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

F.4.2.1 Recursos naturais

Ocupação do solo

A ocupação de área é considerada igual tanto para a destilaria autônoma quanto para a anexa sendo equivalentes a 0,0051 metros quadrados por ano. A área descolada da produção agrícola para a unidade industrial é de 0,0001m^2.

Uso de água

A captação de água adotada é de 1,5 m^3 por tonelada de cana, este valor é menor do que a quantidade utilizada nos processos, pois a maioria dos processos ocorre em ciclo fechado, havendo reciclagem da água[41].

F.4.2.2 Matérias-primas e auxiliares

Produtos químicos

A Tabela F.33 resume os valores de produtos químicos necessários para o processamento da cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol.

[41] No Estado de Sao Paulo, entretanto, para as novas usinas, a SMA/SP exige um consumo de 0,85 m^3/tc e há usinas já utilizando a limpeza da cana a seco. Neste estudo foi mantida a media de 1,5 m^3/tc em termos conservadores.

Tabela F.33. Quantidade de produtos químicos por tonelada de cana processada.

Produto químico	Destilaria anexa	Destilaria autônoma
Ácido sulfúrico	358 g	491 g
Calcário	1,01 kg	0,81 kg
Polímero floculante	6,76 g	6,76 g
Antibiótico	0,67 g	1,07 g
Óleo lubrificante, na planta	0,013 kg	0,013 kg
Ciclohexano	0,043 kg	0,069 kg

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

F.4.2.3 Equipamentos

A estimativa de utilização de aço nos equipamentos foi baseada em Macedo et. al. (2008), e considera para um destilaria autônoma o fator de 0,047 kg de aço por tonelada de cana processada, e na destilaria anexa 0,053 kg de aço por tonelada de cana processada.

F.4.2.4 Consumo de energia

Como mencionado anteriormente, as usinas de cana-de-açúcar são autossuficientes energeticamente, pois todas as necessidades de energia térmica e elétrica são produzidas em sistemas de cogeração utilizando o bagaço de cana como combustível.

F.4.2.5 Transporte

O transporte do etanol para fora das usinas extrapola as fronteiras do sistema estabelecido para este inventário. O transporte da cana-de-açúcar colhida entre o campo e a usina, de insumos e coprodutos (vinhaça, torta de filtro e cinzas) foram incluídos no ICV da cana-de-açúcar. Neste ICV foram consideradas as emissões do processo de fermentação, da destilação e da queima do bagaço de cana no sistema de cogeração.

As emissões foram estimadas com base na quantidade de bagaço necessário para atender à demanda de vapor do processo, que são: 240,2 kg de bagaço por tonelada de cana para a destilaria anexa, e 241,6 kg de bagaço por tonelada de cana para a destilaria autônoma. A Tabela F.34 resume as emissões atmosféricas dos processos de produção de etanol.

Tabela F.34. Emissões atmosféricas da unidade industrial de produção de etanol.

Substância	Destilaria Anexa	Destilaria Autônoma
Cogeração		
Dióxido de carbono (biogênico) (kg)	166,7	167,7
Monóxido de carbono (biogênico) (kg)	91,02	91,56
Óxidos de nitrogênio (g)	90,52	91,06
Óxido nitroso (g)	50,01	50,31
Óxidos de enxofre (g)	4,83	4,86
Metano (biogênico) (g)	37,51	37,73
Compostos orgânicos voláteis (COV) (g)	6,33	6,37
Particulados, >2,5um e < 10um (g)	102,69	103,3
Particulados, <2,5um (g)	51,34	51,65
Fermentação		
Dióxido de carbono (biogênico) (kg)	41,4	65,9
Destilação		
Etanol (kg)	0,08	0,13

Fonte: CAVALETT et. al., 2012.

F.5 Subsistema produção de biodiesel de soja (rota etílica)

Segundo a ANP (2011), das 54 empresas que produziram biodiesel (B100) em 2010, 51 adotaram a rota metílica (uso de metanol), representando 96,7% desta produção. Em contrapartida, duas empresas localizadas nas regiões Sudeste e Centro-Oeste produziram biodiesel (B100) pela rota etílica (uso de etanol anidro), representando 3,3% da produção total de biodiesel do País.

Assim, para realização desse estudo foi contatada uma das poucas usinas que utilizam a rota etílica para produção de biodiesel (usina localizada em Catanduva no Estado de São Paulo), a única usina em atividade que opera exclusivamente com etanol anidro, justificando ser o estudo de caso analisado neste projeto.

F.5.1 Detalhamento do ICV da produção de biodiesel

A elaboração do ICV da produção de biodiesel de soja via rota etílica foi realizada de acordo com as seguintes informações:

a) Fonte dos dados: primários e secundários (quando foram feitas adaptações dos dados primários);

b) Cobertura Temporal: 2011. A exceção ocorreu quando se fez uso do banco de dados, visto que o mesmo representa realidades anteriores à cobertura temporal deste ICV;

c) Cobertura Geográfica: estado de São Paulo. Qualquer variação de ordem geográfica foi introduzida por conta do uso de banco de dados;

d) Cobertura Tecnológica: transesterificação via rota etílica; e

e) Alocação: Não foi realizada a alocação neste subsistema, uma vez que para a planta estudada a glicerina permanece no sistema, pois há a recuperação do etanol em uma destilaria próxima a unidade de transesterificação. A partir disso, a glicerina é utilizada na fertirrigação da cana junto com a vinhaça. Por falta de informações a cerca dos impactos e benefícios da disposição de glicerina no solo, este estudo considerou esse fluxo como inerte e sem carga ambiental que pudesse ser alocada.

Para caracterização do ICV, os processos elementares considerados podem ser observados na Figura F.7.

O inventário do subsistema de produção de biodiesel foi elaborado com a utilização de dados primários fornecidos pela usina de Catanduva/SP. Foram considerados os dados reais para o ano 2011, sabendo que com relação às matérias-primas para esse ano indicado, 80% era soja; 10% gordura animal e 10% outros óleos.

No entanto, de acordo com indicação dos especialistas, não há alteração no processo (em termos de consumo de energia e outros insumos, quando são utilizados diferentes óleos, e mesmo para a utilização do sebo, nestas proporções indicadas). A energia térmica utilizada no aquecimento do mesmo é proveniente do próprio calor de processo, não sendo necessária fonte extra de energia para tal atividade.

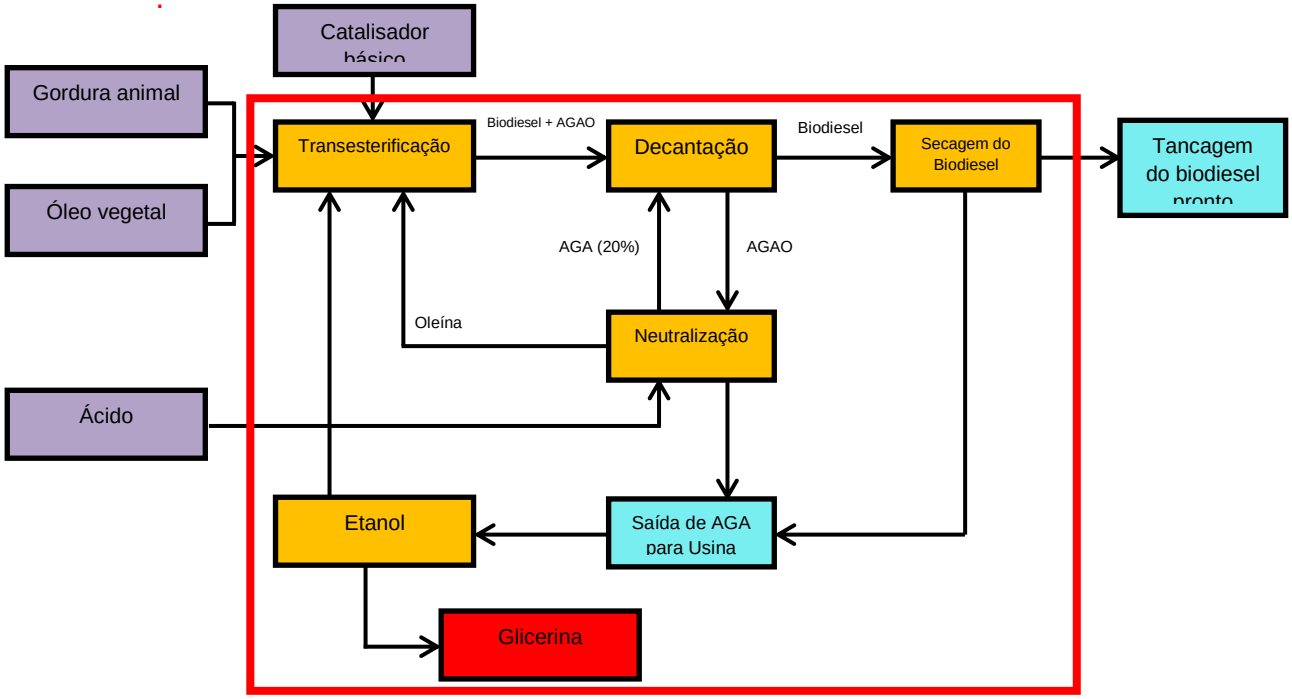


Figura F.7. Processos elementares para a etapa de produção de biodiesel de soja (rota etílica).
Fonte: Adaptado de CENBIO/IEE/USP, 2013.

Para efeito do presente estudo assumiu-se a produção de biodiesel exclusivamente a partir de óleo de soja. Além disso, assumiu-se que o óleo de soja substitui os outros tipos de óleo vegetais (e gordura animal) nas mesmas quantidades.

A partir da reação de transesterificação destas oleaginosas com o etanol anidro (em excesso), são gerados o biodiesel e a AGAO – que é uma mistura composta de álcool, glicerina, água e oleína – na seguinte proporção mássica, respectivamente: 35%, 10%, 35% e 20%. A oleína é separada da AGAO na própria instalação e reaproveitada no processo produtivo, enquanto que a mistura residual – chamada AGA – é encaminhada para uma usina de etanol encarregada de fazer a separação dos componentes.

Na Tabela F.35, são apresentados os dados obtidos a partir da operação da unidade de Catanduva/SP em 2011, e que serão utilizados no inventário do biodiesel de soja pela rota etílica, uma vez que não há variações no consumo de energia e outros insumos, apesar da participação de outras matérias-primas.

O consumo de energia indicado na Tabela F.35 não contempla a quantidade necessária para o processo de separação dos componentes da AGA. Isto se justifica em função desta etapa ser realizada em unidade externa de produção de etanol fora da planta de biodiesel, e não ter sido possível a coleta de dados específicos do processo. Neste contexto, segundo informação dos especialistas a água e glicerina separadas do álcool recuperado, entram no processo da usina de etanol e são utilizadas na fertirrigação.

Tabela F.35. ICV para produção de biodiesel a partir do óleo de soja pela rota etílica, ano de 2011.

Entradas/saídas	Unidade	Quantidade
Entradas		
Óleo de soja degomado e neutralizado	t	62.069,0
Óleo de algodão	t	4.965,0
Óleo de amendoim	t	1.241,0
Óleo residual	t	1.552,0
Gordura animal	t	7.759,0
Água	t	27.310,5
Etanol (em excesso)	t	34.914,0
Ácido cítrico	t	47,0
Hidróxido de sódio	t	621,0
Eletricidade da rede	kWh	1.055,0

Óleo diesel (geração de energia térmica)	l	242.000,0
Saídas		
Biodiesel	t	78.030,0
AGAO	t	71.787,6

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Assim para esta análise considerou-se a glicerina como inerte, uma vez que não há na literatura científica a descrição sobre suas emissões e/ou benefícios quando aplicadas no solo.

A respeito do ácido, o banco de dados *Ecoinvent* não possui o inventário da produção de ácido cítrico. De acordo com um colaborador da empresa produtora de biodiesel, desde o início da operação da planta tem-se adotado o ácido cítrico, mas as alternativas sugeridas seriam os ácidos fosfórico ou clorídrico. Para o presente estudo, decidiu-se pela adoção do ácido fosfórico em razão deste apresentar menor potencial de corrosão para as instalações e possuir inventário disponível no banco de dados.

Nos casos em que há a utilização de energia elétrica da rede, para esse ICV foram adaptados os valores da base de dados para a matriz elétrica brasileira no ano de 2010 (EPE, 2011).

A Tabela F.36 apresenta o inventário consolidado para produção de 1 kg de biodiesel de óleo de soja via rota etílica.

Tabela F.36. Inventário da produção de 1 kg de biodiesel de soja pela rota etílica.

Entradas/saídas	Unidade	Quantidade
Soybean oil, at oil mill/BR U BioACV	0,994	kg
Tap water, at user/RER U	0,350	kg
Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant/RER U	0,008	kg
Phosphoric acid, industrial grade, 85% in H2O, at plant/RER U	0,000030	kg
Electricity, medium voltage, at grid - BioACV-2010/BR U	0,014	kWh
Heat, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW/RER U	0,106	MJ
Anydrous ethanol, from sugarcane, mix SP - BioACV	0,125	kg
Transport, lorry >32t, EURO3/RER U (SOJA)	9,37E-01	tkm
Transport, lorry 16-32t, EURO3/RER U (etanol e AGA)	7,32E-02	tkm
Transport, lorry 7.5-16t, EURO3/RER U (acido citrico e hidroxido de sodio)	1,28E-03	tkm

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

ANEXO G – ICV COMPLETO DO BIODIESEL PRODUZIDO A PARTIR DA GORDURA BOVINA VIA ROTA METÍLICA

Este texto refere-se ao projeto BIOACV - Comparação da ACV de Biodiesel Produzido a partir de Óleo de Soja e Gordura Bovina via Rota Metílica e Etílica (CNPq nº 558733/2010-7), executado pelo CENBIO/IEE/USP e parceiros.

G.1 Subsistema de criação de bovinos

Além de sua relevância como produtora de alimentos, a pecuária também tem destaque na produção de biocombustíveis. Isto porque a gordura obtida como coproduto do abate dos bovinos pode ser utilizada como fonte de material oleaginoso para a produção de biodiesel, sendo considerada a segunda principal matéria-prima deste setor.

G.1.1 Detalhamento do ICV da criação de bovinos

A elaboração do ICV da criação de bovinos foi realizada de acordo com as seguintes informações:

a) Fonte dos dados: predominantemente secundários;
b) Cobertura Temporal: maioria dos dados utilizados foram publicados entre 2007 e 2012. Entretanto, é admitido que o sistema de produção apresentado é representativo para o contexto brasileiro entre 2005 e 2011. Exceção está associada ao uso de elementos de bancos de dados;
c) Cobertura Geográfica: os dados apresentados referem-se às regiões brasileiras do Sudeste e Centro-Oeste, nas quais ocorreram 53% da criação de bovinos no período indicado no item anterior. Variações podem ter sido incorporadas em função do uso de bancos de dados;
d) Cobertura Tecnológica: sistema de produção diz respeito à pecuária extensiva, tecnologia atual predominante no Brasil, segundo a qual ocorreu cerca de 80% da produção de bovinos no período.
e) Alocação: a modelagem deste subsistema não leva em consideração a pecuária leiteira no país, nem a integração da pecuária com outros sistemas agrícolas. Além disso, considera-se que as matrizes criadas para a reprodução do rebanho também são abatidas para a produção de carne, no fim da sua vida útil. Assim,

assume-se que o único produto deste subsistema é o gado, não havendo necessidade de alocação.

Para efeito de cálculo dos fluxos associados ao subsistema de criação de bovinos, estabeleceu-se como fluxo de referência a produção de 1 kg de carcaça bovina, ou seja, a fração de carne e ossos presente no animal abatido após sua esfola e evisceração (JORGE, 2010a).

G.1.1.1 Considerações sobre o sistema de produção de bovinos

Neste estudo será representado o sistema de criação de bovinos mais comum nas regiões Centro-Oeste e Sudeste (regiões mais representativas), segundo cenários identificados por Cederberg et. al. (2009), Almeida (2010), Cardoso (2012) e Ruviaro (2012). Tratam-se de estudos que seguiram a lógica do ciclo de vida de produtos, nos quais os pesquisadores tinham como objetivo analisar o desempenho ambiental da pecuária brasileira.

As premissas fundamentais deste sistema são apresentadas na Tabela G.1.

Tabela G.1. Principais premissas consideradas para a definição do sistema de criação de bovinos adotado neste estudo.

Parâmetro	Definição
Raça predominante	zebuínos do tipo Nelore
Fases do ciclo de produção consideradas	cria, recria e engorda
Controle zootécnico	Esporádico
Alimentação	Predominantemente pasto
Manejo	Intervenção mínima
Ganho de peso durante a recria	0,30 kg/dia
Ganho de peso durante a engorda	0,60 kg/dia
Taxa de lotação	1,016 UA/ha
Peso dos animais abatidos	450 kg
Quantidade de carcaça por animal	261 kg (rendimento de 58%)
Área média das propriedades	900 ha
Produção anual de carcaça	63,7 t de carcaça/propriedade

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

G.1.1.2 Considerações sobre o consumo de insumos

Para este estudo, foi considerada a aplicação de 2 toneladas de calcário dolomítico/ha, o que resultou no valor de 28,25 kg de calcário para cada kg de carcaça (equivalente) produzida no ano de referência (ALMEIDA, 2010).

Além disso, os solos da região Centro-Oeste são muito deficientes em fósforo, fato que dificulta o desenvolvimento das forragens. Correa e Santos (2003) observaram que aplicações de até 200 kg de P_2O_5/ha levam a bons resultados, sendo mais comum o uso de variedades solúveis de fertilizantes fosfatados, como o superfosfato simples (do inglês, SSP), superfosfato triplo (TSP), fosfato monoamônio (MAP) e fosfato diamônio (DAP).

No que diz respeito ao nitrogênio, Correa e Santos (2003) afirmam que este é o nutriente mais deficiente no solo, apesar de sua importância para aumentar a produção de matéria seca das gramíneas forrageiras (que serão ingeridas pelos bovinos). Neste caso, para os autores citados, números entre 10 a 40 kg de nitrogênio/ha seriam frequentes em estabelecimentos que optam pelo sistema extensivo, embora seja insuficiente para possibilitar aumentos expressivos de ganho de peso por animal (CORREA; SANTOS, 2003).

Há, também, a necessidade de aplicação dos macronutrientes potássio e enxofre, os quais levam a bons resultados em termos de produtividade das pastagens (CORREA; SANTOS, 2003). Entretanto, estes nutrientes não foram considerados, pois admite-se que eles sejam aplicados apenas em sistemas de produção mais intensivos.

Thiago e Silva (2006) também chamam a atenção para a necessidade de aplicação de suplementos nutricionais, mesmo em sistemas extensivos. Isto porque compostos com esta função ajudam a complementar os nutrientes necessários para que os microrganismos presentes no rúmen aumentem a digestão das pastagens ingeridas. Neste caso, admitiu-se o uso de suplemento mineral formado por um sal e fósforo, sendo que a taxa de ingestão diária foi de 20 gramas por animal (CEDERBERG et. al., 2009).

Por fim, outro insumo necessário para as atividades da fazenda, e considerado neste estudo, foi o diesel. Almeida (2010) identificou o consumo anual de 12.600 litros do combustível para a movimentação das máquinas e implementos em uma fazenda de 1.000 hectares, o que resultou num consumo de 0,153 L/kg de carcaça produzida.

G.1.1.3 Considerações sobre as emissões atmosféricas

A pecuária é a principal atividade em termos de emissão de metano para a atmosfera no Brasil. Isto se deve ao fato de que a dieta dos bovinos baseia-se

fundamentalmente em pastagens, cuja digestão é muito baixa. Assim, somando-se as peculiaridades do sistema digestivo dos ruminantes, as condições são favoráveis para a formação de metano, que é expelido para a atmosfera num movimento chamado de eructação (MCT, 2010). Há, ainda, a parcela de emissões de metano relacionada à decomposição do esterco, a qual representou 4% do valor total estimado.

Neste estudo, o resultado médio calculado por Almeida (2010) foi de 1,46 kg de metano para cada kg de carcaça produzida a partir dos bovinos, valor compatível com o que foi calculado por Cardoso (2012).

Outra emissão importante foi a de óxido nitroso (N_2O). A principal fonte de óxido nitroso, quando se trata de pecuária, é o manejo de desejos (fezes e urina) e do solo, o qual deve ser feito de forma a manter o nitrogênio no solo, como nutriente. Assim, a emissão do poluente é evitada (MCT, 2010).

Neste estudo, foi admitido o valor médio de calculado por Almeida (2010), no total de 0,012 kg de óxido nitroso para cada kg de carcaça produzida. Salienta-se que este valor é igual àquele calculado por Cardoso (2012) para condições semelhantes.

Por fim, outra emissão atmosférica considerada foi a de gás carbônico (CO_2). Considerou-se que a principal fonte de emissão deste gás foi a combustão do diesel usado para movimentação das máquinas no campo.

No total, a emissão calculada por Almeida (2010) foi de 0,324 kg de gás carbônico para cada kg de carcaça produzida. Este valor é 30% menor do que aquele estimado por Cardoso (2012). Entretanto, assume-se que os números são compatíveis, sendo que a diferença provavelmente se deve ao nível de mecanização considerado em cada caso.

G.1.1.4 Considerações sobre o transporte de insumos

Conforme indicado anteriormente, os principais insumos considerados neste modelo da pecuária extensiva são: Uréia; Superfosfato Simples; Calcário; Diesel e o Suplemento para a alimentação dos bovinos.

No que diz respeito à distância pela qual os insumos são transportados, os valores adotados neste caso são frutos de estimativas obtidas a partir da consulta a bibliografia e a especialistas da área. Tais estimativas foram feitas com o objetivo de

representar uma distância média entre fazendas e um centro urbano próximo a elas, nas regiões Centro-Oeste e Sudeste.

Para a modelagem das atividades de transporte consideradas neste estudo, as informações sobre o tipo de veículo (e, consequentemente, seu desempenho) foram extraídas do banco de dados do Ecoinvent (SPIELMANN et. al., 2007).

Na Tabela G.2, são apresentadas as distâncias consideradas para o transporte de cada insumo. Destaca-se que foram escolhidos caminhões com perfil de emissões EURO 3, e capacidades de 7,5 a 16 toneladas (SPIELMANN et al., 2007).

Tabela G.2. Resumo das informações adotadas para a modelagem do transporte dos insumos desde um centro urbano até a fazenda.

Insumo	Distância (km)	Modal
Uréia	50	Rodoviário
Superfosfato simples	50	Rodoviário
Calcário	50	Rodoviário
Suplemento mineral	50	Rodoviário
Diesel	50	Rodoviário

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

G.1.1.5 Consolidação do inventário do subsistema de criação de bovinos

Na Tabela G.3 é apresentada a consolidação do inventários que representa o sistema extensivo de produção de bovinos considerado neste estudo. Deve-se ressaltar que os valores foram baseados nos resultados publicados por Cederberg et al. (2009), Almeida (2010), Cardoso (2012) e Ruviaro (2012).

Tabela G.3. Inventário consolidado do subsistema de criação de bovinos.

Fluxo	Unidade	Quantidade
Geração de coprodutos		
Gado bovino (equivalente carcaça)[1]	kg	1,000
Consumo de insumos		
Área ocupada por pastagem	m^2a	37,713
Uréia	kg	0,706
Superfosfato simples	kg	0,742
Calcário	kg	28,250
Suplemento mineral	kg	0,101
Diesel	kg	0,130
Transporte de insumos		

Uréia	tkm	0,035
Superfosfato simples	tkm	0,037
Calcário	tkm	1,413
Suplemento mineral	tkm	0,005
Diesel	tkm	0,007
Emissões atmosféricas		
Metano (CH_4)	kg	1,460
Óxido Nitroso (N_2O)	kg	0,012
Gás carbônico (CO_2)	kg	0,324
Emissão para o solo		
Nitrogênio	kg	0,007

[1]Apesar do gado ser abatido com 450 kg, os valores estão referidos apenas à quantidade de carcaça a ser obtida (ou seja, 261 kg equivalente de carcaça).
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

G.1.1.6 Considerações sobre a mudança do uso da terra

Em análise feita por Dias-Filho (2010), o autor cita que a expansão desenfreada era fenômeno típico da região até meados da década de 1980, com destaque para o estado do Pará, que hoje concentra cerca de 42% de todo o rebanho da região. Entretanto, a partir da década de 1990, pressões do governo federal contra o desmatamento, bem como a fiscalização contra práticas ilegais, têm forçado os pecuaristas da região a intensificar a produção.

Martha Jr et. al. (2011) analisaram a evolução da área de pastagem nas últimas décadas, bem como os indicadores de produção da pecuária referentes ao mesmo período apresentados na Tabela G.4, e constataram que o principal impulsionador do desenvolvimento desta atividade nas áreas de fronteira foi o aumento da produtividade nos estabelecimentos.

Conforme pode ser observado na Tabela G.4, o aumento significativo da produção de carcaças não é acompanhado pelo crescimento da área de pastagens, e sim pela maior produtividade nas fazendas. De acordo com os dados apresentados, o aumento de produtividade foi de 331%, considerado bastante expressivo (MARTHA JR et. al., 2011).

Tabela G.4.1 Indicadores de produção e de áreas de pastagens na pecuária brasileira nos anos de 1950 e 2006.

Indicador	Unidade	1950	2006
Produção	Milhões de t de carcaça	1,084	6,887
Área de pastagem	Milhões de ha	107,6	158,8
Taxa de lotação	Animais/ha	0,44	1,08
Produtividade	kg de carcaça/ha	10,1	43,4

Fonte: MARTHA JR et. al., 2011.

Neste contexto, e considerando-se que a área de pastagens no país sofreu uma redução de 19 milhões de hectares entre os anos de 1996 e 2006 (último ano para o qual existem dados oficiais publicados pelo governo brasileiro), optou-se por não calcular as emissões de gases de efeito estufa devidas à pecuária no presente estudo.

G.2 Subsistema de abate e processamento de bovinos

Após passarem pelo ciclo completo da atividade pecuária (etapas de cria, recria e engorda), os bovinos são então encaminhados para o abate em matadouros. Para efeito da modelagem deste ICV, dado que o foco do estudo não é estudar a produção de carne, o estabelecimento aqui adotado/representado desempenha somente as atividades de abatedouro e conta com uma graxaria anexa, arranjo apontado por especialistas como comum no setor.

Para o modelo do subsistema que representa o abate e processamento de bovinos, foi adotado o fluxo de referência de 1 kg de gordura bovina.

G.2.1 Detalhamento do ICV do abate de bovinos

A elaboração do ICV do abate de bovinos foi realizada de acordo com as seguintes informações:

a) Fonte dos dados: predominantemente secundários;
b) Cobertura Temporal: a maior parte das informações diz respeito aos anos de 2006 a 2010. Exceção é feita aos itens obtidos a partir de bancos de dados, os quais refletem uma realidade anterior a este período;
c) Cobertura Geográfica: dados apresentados são representativos para as regiões brasileiras do Sudeste, Centro-Oeste e Sul. Variações podem ter sido introduzidas por ocasião do uso de itens de bancos de dados;

d) Cobertura Tecnológica: o modelo representa a tecnologia corrente nas regiões citadas, onde predomina a ocorrência de estabelecimentos de médio e grande portes, com capacidade de abate de mais de 300 animais por dia, e produção de carcaça bovina para posterior industrialização;
e) Alocação: o critério padrão adotado foi o econômico, baseado na cotação da carne e demais derivados no ano de 2010.

G.2.1.1 Considerações sobre o abate e processamento dos animais

Para a modelagem desta atividade, foram consideradas as informações apresentados por Roça (2000); CNTL (2003), CETESB (2006), Carvalho (2007), Paiva (2008), Cederberg et. al. (2009), Campos e Cunha (2010) e pelo IBGE (2012).

Adicionalmente, informações complementares sobre o funcionamento dos abatedouros foram obtidas a partir dos frigoríficos de Curitiba/PR (2011), PAUDALHO (2011) e BIG BOI (2012), bem como consulta a especialistas.

Na Figura G.1 apresentado um fluxograma do processo de abate do bovinos, juntamente com os principais insumos e rejeitos gerados em cada atividade (CETESB, 2006).

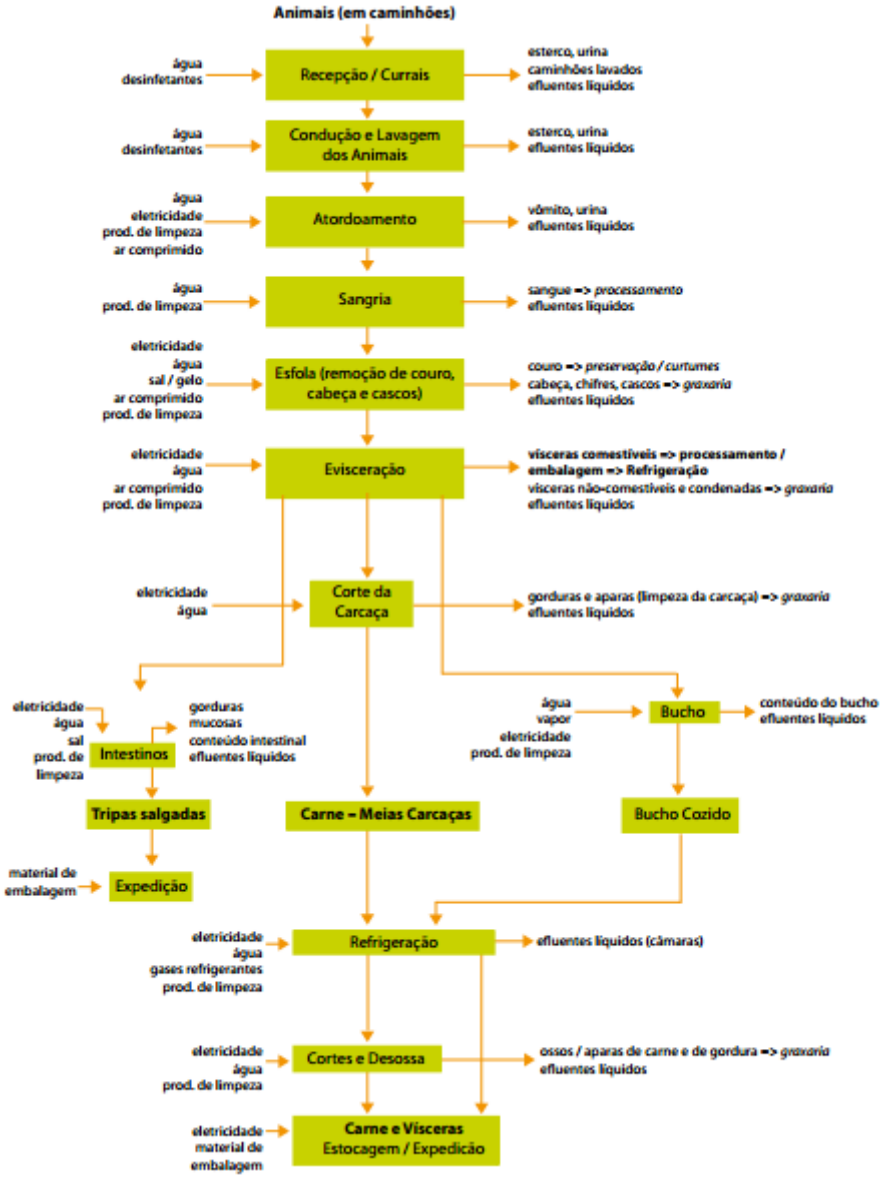


Figura G.1. Fluxograma do abate de bovinos.
Fonte: CETESB; 2006.

Conforme pode ser observado na Figura G.1, os principais insumos consumidos em um abatedouro são: Água (aqui adotado o valor de 1.500 l/animal); Energia; e Produtos desinfetantes. Entretanto, assumiu-se que a quantidade e a concentração dos princípios ativos destes últimos não são significativas em relação à operação do estabelecimento, de forma que este fluxo foi excluído do modelo.

Já no que diz respeito aos coprodutos obtidos a partir do processamento dos animais, a lista é extensa. Roça (2000), bem como Paiva (2008) afirmam que a taxa de aproveitamento dos bovinos pode chegar a 94%, informação consonante com o que foi levantado nos frigoríficos consultados (ARGUS, 2011; PAUDALHO, 2011; BIG BOI, 2012).

Com relação à gordura animal mais especificamente, como citado anteriormente, este produto provém dos resíduos gerados na limpeza das carcaças e dos órgãos dos animais abatidos, bem como de vísceras condenadas nas linhas de inspeção. Entretanto, antes de serem comercializados, todos estes resíduos são encaminhados a um tratamento que envolve sua trituração e cozimento.

Um resumo dos coprodutos resultantes do abate e processamento de bovinos é apresentado na Tabela G.5. Para a elaboração da Tabela G.5, foram consideradas as seguintes premissas (ALMEIDA, 2010; JORGE, 2010b; CARDOSO, 2012):

- Animal abatido é da raça zebu;
- Massa do animal a ser abatido: 450 kg;
- Rendimento da carcaça: 58%;
- Produção de gordura conforme Martins et. al. (2011);
- Preço dos coprodutos em 2010, segundo a consultoria INTERCARNES (2010);

Tabela G.5. Resumo da geração e cotação de coprodutos após o abate e processamento de um bovino de 450 kg.

Coproduto	Massa (kg)	Fração em massa (%)	Preço (R$/kg)
Traseiro (carcaça)	127,0	0,303	6,35
Dianteiro (carcaça)	97,0	0,232	4,30
Ponta de Agulha (carcaça)	37,0	0,088	4,00
Diafragma	1,5	0,004	3,25
Lombinho	0,8	0,002	3,90
Carne Industrial	7,3	0,017	1,95
Sangria	1,8	0,004	3,55
Pacu	2,7	0,006	6,15
Couro	55,3	0,132	1,36
Farinha de carne/ossos	25,7	0,061	0,42
Farinha de sangue	5,5	0,013	1,05
Gordura bovina	23,0	0,055	2,00
Casco	0,5	0,001	0,18
Chifre	0,6	0,001	0,18
Figado	7,0	0,017	2,55
Bucho	6,5	0,016	3,90
Lingua	1,3	0,003	2,95
Coração	2,0	0,005	1,35

Rabo	1,6	0,004	5,45
Mocotó	5,0	0,012	1,90
Rins	0,9	0,002	0,95
Omaso	1,0	0,002	5,00
Retículo (colméia)	0,8	0,002	5,10
Nervo cervival	0,4	0,001	1,65
Tendão	1,5	0,004	4,85
Medula	0,3	0,001	3,40
Glote	0,3	0,001	1,15
Traquéia	0,3	0,001	1,15
Vergalho	1,0	0,002	5,05
Aorta	0,2	0,001	5,10
Esofago	0,2	0,001	1,15
Pulmão	3,0	0,007	0,65

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

G.2.1.2 Considerações sobre o tratamento de efluentes

A Figura G.1, apresentada anteriormente, também mostra em que cada uma das etapas envolvidas no processamento dos animais ocorre a geração de efluentes líquidos, que precisam ser tratados adequadamente.

Segundo CETESB (2006), Dornelles (2009) e José et. al. (2009), os efluentes de abatedouros a serem tratados caracterizam-se por apresentarem:

- Elevada carga orgânica, fruto da incorporação de restos de sangue;
- Concentração elevada de compostos de nitrogênio e fósforo;
- Alto teor de gordura não aproveitada;
- Oscilações de temperatura, uma vez que há o uso de água quente e de vapor em algumas etapas.

Tradicionalmente, os efluentes líquidos de um abatedouro são divididos em duas correntes, de acordo com a concentração de material orgânico (CETESB, 2006; DORNELLES, 2009; JOSÉ et. al., 2009). No caso dos efluentes gerados, por exemplo, nas etapas de recepção, lavagem dos currais e limpeza de bucharia (ou seja, sem a presença de sangue), esta corrente recebe o nome de linha verde.

Já a corrente de efluentes rica em sangue recebe o nome de linha vermelha. Dada a concentração de sangue, a linha vermelha tem um potencial poluidor muito

superior à verde. Por exemplo, a DQO do sangue pode chegar a 400 g/l, valor equivalente ao esgoto produzido por 50 pessoas em um dia (CETESB, 2006).

Assim, a diferenciação torna-se bastante importante, pois permite que a linha vermelha seja submetida a um pré-tratamento, com o objetivo de reduzir a sua carga poluidora. Mesmo assim, ainda há a mistura dos efluentes líquidos do abatedouro, que são encaminhados para uma estação de tratamento de efluentes (CETESB, 2006; DORNELLES, 2009; JOSÉ et. al., 2009).

Para este estudo, a modelagem dos lançamentos de efluentes líquidos após o tratamento foi baseada nos dados publicados por José et. al. (2009). Apesar de se tratar de um estudo de caso, os valores de concentração de poluentes encontram-se dentro da faixa de abrangência citada pela CETESB (2006), e são assumidos como representativos para os demais estabelecimentos da região indicada na cobertura geográfica deste subsistema.

Complementarmente, de acordo com os dados obtidos dos frigoríficos e também da CETESB (2006), foi considerado o descarte de 1.200 L de água na forma de efluente para cada animal abatido. A composição desta corrente de efluentes após o tratamento foi obtida com base nos valores da Tabela G.6 (JOSÉ et. al., 2009).

Tabela G.6. Composição dos efluentes lançados em corpo d'água, após o tratamento pela técnica de lagoas de estabilização.

Poluente	Concentração (mg/L)
Cálcio, íon	15,3
Magnésio, íon	5,1
Potássio, íon	66,6
Sódio, íon	88,3
Nitrogênio	28,7
Fósforo	328,2
DBO	641,0
DQO	789,0

Fonte: José et. al., 2009.

G.2.1.3 Considerações sobre o consumo de energia

Conforme apresentado pela CETESB (2006) e por Cederberg et. al., (2009), e por meio dos dados levantados (ARGUS, 2011; PAUDALHO, 2011; BIG BOI, 2012), o consumo de energia em abatedouros ocorre, basicamente, de duas formas: eletricidade e vapor.

A eletricidade é usada para a movimentação dos equipamentos e, principalmente, nas câmaras para resfriamento das carcaças produzidas. Cederberg et. al. (2009) reportam um consumo de eletricidade de 2,4 MJ para cada kg de carcaça desossada. Já a CETESB (2006) aponta que a eletricidade representa cerca de 20% de toda a energia consumida em um abatedouro, podendo variar entre 14 e 60 kWh para cada animal abatido. Ainda, a agência afirma que praticamente 60% deste montante é consumido para o resfriamento das carcaças.

Neste estudo, os dados referentes à produção de eletricidade são frutos de adaptações das informações disponibilizadas pelo banco de dados do *Ecoinvent*. Estas adaptações levaram em consideração os inventários disponíveis para a geração de eletricidade a partir das fontes primárias de energia, ponderados pela matriz elétrica brasileira no ano de 2010 informada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2011).

Por outro lado, a energia térmica na forma de vapor e água quente representa cerca de 80% de todo o montante consumido pelo estabelecimento. Estas correntes são essenciais para a segurança da operação dos abatedouros, pois contribuem para a limpeza e minimização dos riscos de contaminação das carcaças (PAIVA, 2008).

Adicionalmente, boa parte do vapor produzido também é usado para o processamento dos demais coprodutos (com destaque para a produção de farinhas de carne e de osso) e também para aquecer e diminuir a viscosidade da gordura enquanto esta é armazenada (CETESB, 2006; ARGUS, 2011; PAUDALHO, 2011; BIG BOI, 2012).

Para o caso do vapor neste estudo, foi observado que a prática mais comum para a produção desta utilidade é a queima de biomassa (cavacos de madeira) em caldeiras (CETESB, 2009; DORNELLES, 2009; ARGUS, 2011; PAUDALHO, 2011; BIG BOI, 2012). Desta forma, a modelagem da produção de vapor foi feita com base no trabalho de Marzullo (2007) e Ruiz-Poveda (2008), respeitando-se as seguintes premissas:

- Combustível utilizado: cavaco de madeira;
- Poder calorífico do cavaco: 13,8 MJ/kg (EPE, 2012);
- Potência da caldeira: 3 MW;
- Eficiência da caldeira: 80%;

- Consumo de cavaco: 580 t/mês.

A estimativa da emissão de poluentes atmosféricos e de geração de cinzas decorrentes da queima dos cavacos é apresentada na Tabela G.7. É importante salientar que os valores encontram-se em conformidade com a Resolução CONAMA 382/2006, que estabelece limites para a emissão de poluentes atmosféricos a partir de fontes estacionárias.

Tabela G.7. Fatores de emissão estimados para a produção de vapor a partir da queima de cavacos de madeira.

Rejeito	kg/kg de cavaco
Dióxido de carbono (biogênico)	1,117E+00
Monóxido de carbono (biogênico)	1,513E-02
Óxidos de nitrogênio	1,594E-03
Material Particulado	1,564E-03
Cinzas (encaminhadas para aterro)	6,319E-03

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Com relação ao tipo de madeira, as informações coletadas indicaram o predomínio do uso de eucalipto plantado em atividades de reflorestamento. Assim, os dados referentes à produção da madeira são iguais àqueles utilizados no caso da extração de óleo de soja, obtidos de Schmidt et. al. (2011).

G.2.1.4 Considerações sobre o transporte de insumos

Conforme indicado anteriormente, os principais insumos de um abatedouro são os animais, a energia elétrica e os cavacos para a produção de vapor e água quente.

No caso do transporte dos animais, as informações obtidas dos frigoríficos não foram satisfatórias. Assim, optou-se por usar o mesmo valor identificado por Cederberg et. al. (2009), a partir de entrevistas a abatedouros localizados no estado de São Paulo.

Já o transporte dos cavacos de madeira foi modelado a partir de dados fornecidos pelos frigoríficos, e confirmados pelos especialistas consultados (ARGUS, 2011; PAUDALHO, 2011; BIG BOI, 2012).

Na Tabela G.8, são apresentadas as distâncias consideradas para o transporte de cada insumo. Destaca-se que foram escolhidos caminhões com perfil

de emissões EURO 3, e capacidades de 7,5 a 16 toneladas e 32 toneladas, respectivamente, para os cavacos e para o gado bovino (SPIELMANN et. al., 2007).

Tabela G.8. Resumo das informações adotadas para a modelagem do transporte dos insumos até o abatedouro.

Insumo	Distância (km)	Modal
Bois	200	Rodoviário
Cavacos de eucalipto	50	Rodoviário

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

G.2.1.5 Consolidação do inventário do subsistema de abate e processamento de bovinos

Na Tabela G.9, é apresentado um resumo dos dados considerados para o inventário do subsistema do abate e processamento de carne bovina. Conforme citado anteriormente, estes dados referem-se a 1 kg de gordura bovina produzida.

Tabela G.9. Inventário consolidado do subsistema de abate e processamento dos bovinos.

Fluxo	Unidade	Quantidade
Geração de coprodutos		
Gordura bovina	kg	1,000
Carcaça	kg	11,348
Couro	kg	2,404
Demais derivados	kg	3,465
Consumo de insumos		
Boi (equivalente em carcaça)	kg	11,348
Água	kg	65,217
Eletricidade	kWh	1,082
Cavacos de eucalipto	kg	2,784
Transporte de insumos		
Boi[1]	tkm	3,913
Cavacos de eucalipto	tkm	0,140
Emissões atmosféricas		
Dióxido de carbono (biogênico)	kg	3,110
Monóxido de carbono (biogênico)	kg	0,042
Óxidos de nitrogênio	kg	0,004
Material Particulado	kg	0,026
Efluentes líquidos		
Geração de efluentes líquidos	L	52,174
Cálcio, íon	g	0,798
Magnésio, íon	g	0,267
Potássio, íon	g	3,476
Sódio, íon	g	4,605
Nitrogênio	g	1,498
Fósforo	g	17,124
DBO	g	33,444

DQO	g	41,165
Rejeito para aterro		
Cinzas	kg	0,018

[1] O boi abatido tem massa total de 450 kg e 261 kg de carcaça.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

G.2.1.6 Considerações sobre a alocação de coprodutos

Para a alocação de coprodutos, foram analisados apenas dois critérios distintos:

- Mássico: os fatores foram determinados a partir dos valores apresentados na Tabela 46 e estão diretamente relacionados ao rendimento do abate;
- Econômico: neste caso, os fatores foram determinados a partir das cotações dos coprodutos informadas pela consultoria INTERCARNES (2010).

Como a grande maioria dos coprodutos do processamento dos bovinos não é aproveitada para fins energéticos, considerou-se que a alocação segundo este critério não faria sentido neste caso. Assim, os fatores de alocação segundo os dois critérios analisados são apresentados na Tabela G.10. Deve-se salientar que a análise padrão foi feita com base no critério econômico.

Tabela G.10. Fatores de alocação determinados para os coprodutos do subsistema de abate e processamento de bovinos.

Coproduto	**Critério**	
	Econômico	**Mássico**
Gordura bovina	2,79%	5,49%
Carcaça	83,20%	62,29%
Couro	4,56%	13,20%
Demais derivados	9,45%	19,02%

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

G.3 Subsistema de produção de metanol

Uma vez que o metanol consumido no Brasil é, em sua maioria, importado (68%) (PT, 2012), optou-se neste trabalho em utilizar os dados do inventário consolidado, segundo o *Ecoinvent – Life Cycle Inventories of Chemicals* (2007).

Além disso, como a produção comercial de metanol é derivada, principalmente, do gás natural (conforme apresentado no Capítulo 3 – item 3.2.1), para a elaboração do Inventário foi utilizada apenas esse insumo fóssil para a produção de metanol considerado no estudo.

G.3.1 Detalhamento do ICV do metanol

Para esse processo o gás natural é utilizado como matéria-prima. Os recursos de menor importância são eletricidade, água de refrigeração e água de alimentação das caldeiras (deionizada). Os catalisadores utilizados no processo também são contabilizados como recursos. Assume-se que esses catalisadores são reciclados e, portanto, não são considerados como resíduos. Além disso, admitiu-se que o excedente de hidrogênio que deixa o processo é queimado no forno.

A maioria das emissões para o ar já estão incluídas no processo precedente ao forno. As únicas emissões adicionais para o ar consideradas são o dióxido de enxofre a partir da dessulfuração da alimentação e as emissões de óxido nítrico pela combustão do hidrogênio. A maior parte do calor residual já está incluída no processo anterior à fornalha. O único calor residual adicional considerado é o calor residual do hidrogênio queimado e da eletricidade utilizada.

O efluente do processo é a água proveniente do arrefecimento, que é ligeiramente poluída, e a água da coluna de destilação, que é poluída com hidrocarbonetos.

G.3.1.1 Processo de produção de metanol

Para a síntese do metanol normal, a reformação é realizada em uma etapa um reator tubular com temperatura de 850 – 900 ºC e pressão de 1,5 – 2,5 MPa, a fim de obter a menor quantidade possível de metano no gás de síntese. Para melhores resultados nas plantas de grande porte de síntese de metanol, foi introduzida uma combinação de duas fases (processo combinado): aplicou-se um reformador primário tubular com temperatura mais baixa (cerca de 800 ºC) e pressão mais elevada (2,5 – 4,0 MPa) (Ecoinvent, 2007).

Mais recentemente foi desenvolvido outro esquema de duas fases para a produção de gás, com base na reformação catalítica autotérmica com performance adiabática, o qual proporciona vantagens econômicas para plantas de metanol de porte muito grande.

A maioria das plantas de metanol em locais onde não há dióxido de carbono disponível são baseadas nas seguintes tecnologias de produção de gás de acordo com sua capacidade: reforma a vapor para capacidades de até 2000 t/dia ou reformação combinada para capacidades entre 1.800 e 2.500 t/dia.

O metanol produzido utilizando o processo de reforma a vapor a baixa pressão é responsável por aproximadamente 60% da capacidade mundial. Além da reforma a vapor, o processo combinado ganhou importância devido à produção de metanol em grandes plantas em locais remotos.

Devido ao fato da produção de metanol ser um processo altamente integrado, com um sistema a vapor complicado, recuperação de calor e produção de energia, há apenas os dados do consumo de energia e da eficiência do processo total. Portanto, o processo não foi dividido em processo de reformação, processo de síntese e processo de purificação para a estimativa dos fluxos de energia e recursos. Além disso, os fluxos de energia e de recursos são específicos nas plantas de produção de metanol (dependem da disponibilidade local de recursos, como o CO_2, O_2 ou eletricidade). Neste inventário foram utilizados os valores típicos de uma planta de metanol utilizando reforma a vapor obtidos a partir de Ecoinvent (2007).

G.3.1.2 Recursos

Gás Natural

O principal recurso para a produção de metanol é o gás natural, que atua como matéria-prima e combustível. Geralmente uma planta de metanol consome de 29 a 37 MJ de gás natural por 1 kg de metanol. Esse gás é utilizado como matéria-prima para a produção de metanol (20 MJ/kg LHV) e como combustível para as utilidades da planta (Ecoinvent, 2007).

Os valores selecionados para este inventário são apresentados na Tabela G.11. Os valores mínimos e máximos são utilizados para a avaliação de incertezas.

Os valores médios apresentados são representativos para o consumo total de gás natural em uma planta típica de produção de metanol com capacidade de 750.000 t/ano. O consumo de energia para alimentação e combustível foi calculado a partir deste valor, com a mesma proporção que os valores máximos apresentados, que representam uma eficiência moderada do processo de reforma a vapor.

Tabela G.11. Demanda de gás natural para a produção de metanol. Visão geral do consumo para alimentação e combustível.

Valor	Demanda de gás natural por kg de metanol (PCI) – MJ			Demanda de gás natural por kg de metanol (PCS) - MJ		
	Total	**Alimentação**	**Combustível**	**Total**	**Alimentação**	**Combustível**
Médio	32,7	30,2	2,5	36,3	33,5	2,8
Máximo	36,7	33,9	2,8	40,7	37,6	3,1
Mínimo	28,5	27,5	1,0	31,6	30,5	1,1

*Fator de conversão de PCI para PCS: 1,11 (para gás natural).
Fonte: Ecoinvent, 2007.

Água de Processo (Alimentação da Caldeira) e Água de Refrigeração

A produção de vapor para a reforma e síntese utiliza água para alimentação na caldeira. São necessários 0,3 a 0,85 kg de água deionizada para a produção de vapor por kg de metanol. Para refrigeração, circulam cerca de 60 kg de água por kg de metanol produzido. A aplicação de água de arrefecimento difere dependendo se o sistema de arrefecimento utiliza torres de refrigeração para dissipar o calor residual para o ar ou se é aplicado o arrefecimento diretamente com a água.

Se apenas as perdas por evaporação das torres de arrefecimento tiverem que ser substituídas, a quantidade de água chega a 1,3 kg de água por kg de metanol. Se houver resfriamento direto com a água, a quantidade pode chegar a 70 kg de água por kg de metanol.

O valor médio e os intervalos apresentados foram obtidos a partir dos tipos de processos e tamanho das plantas. Os valores selecionados para este inventário são apresentados na Tabela G.12, que representam um processo de reforma a vapor com 0,85 kg de água deionizada por kg de metanol para a água de processo. Para a demanda de água de resfriamento adotou-se uma média de 8,2 kg de água por kg de metanol.

Tabela G.12. Demanda de água para a produção de metanol. Valores selecionados para este inventário.

Valor	Demanda de água de processo (kg) por kg de metanol		Demanda de água de resfriamento (kg) por kg de metanol	
	Compensar	Circulando	Compensar	Circulando
Médio	0,85	2,7 (vapor)	8,16	60
Máximo	1,15	-	70	70
Mínimo	0,3	-	1,32	45

Fator de conversão utilizado para a água: 1 m^3 = 1.000 kg. Assumiu-se que não existe qualquer reciclagem da água de arrefecimento. Caso contrário os valores máximos devem ser utilizados.
Fonte: Ecoinvent, 2007.

Eletricidade

A demanda de energia externa pode variar amplamente, na maioria das vezes, devido ao projeto da planta. Assim, fica difícil determinar um valor médio. O consumo de eletricidade de uma planta típica de metanol à base de gás natural como matéria-prima (750.000 t/ano) foi tomada como média para este inventário, conforme indicado na Tabela G.13.

Tabela G.13. ICV do metanol considerado no estudo

	Nome	Valor	Unidade
Da tecnosfera	Gás natural, alta pressão, no consumidor, RER	8,65	MJ
	Gás natural, produção em terra, DZ	4,30 * 10-^{1}	Nm^3
	Gás natural, queimado em forno industrial – baixo NOx > 100 kW	7,70	MJ
	Eletricidade, média tensão, produção UCTE, na grade	7,40 * 10^{-2}	kWh
	Água, deionizada, na planta, CH	8,50 * 10^{-1}	Kg
	Óxido de alumínio, na planta, RER	2,40 * 10-^{4}	Kg
	Óxido de cobre, na planta, RER	9,00 * 10^{-5}	Kg
	Zinco para revestimento, armazenagem regional, RER	3,00 * 10^{-5}	Kg
	Níquel, 99,5%, na planta, GLO	2,00 * 10^{-5}	Kg
	Molibdênio, armazenagem regional, RER	1,00 * 10^{-5}	Kg
	Planta de metanol, GLO	3,72 * 10^{-11}	Unidade
	Forno industrial, gás natural, RER	-2,16 * 10^{-8}	Unidade
	Água, refrigeração, origem natural não especificada	8,16 * 10^{-3}	m^3
Emissões	Calor, resíduos, ar, baixa densidade populacional	4,87	MJ
	Óxidos de nitrogênio, ar, baixa densidade populacional	1,50 * 10^{-4}	Kg
	Dióxido de enxofre, ar, baixa densidade populacional	1,38 * 10^{-5}	Kg
	Metano, fóssil, ar, baixa densidade populacional	9,80 * 10^{-4}	Kg
	Metanol, ar, baixa densidade populacional	5,30 * 10^{-4}	Kg
	Calor, resíduo, água, não especificado	4,00 * 10^{-1}	MJ
	DQO, água, não especificada	4,90 * 10^{-4}	Kg
	DBO, água, não especificada	1,80 * 10^{-4}	Kg
	COD, água, não especificada	2,40 * 10^{-4}	Kg
	COT, água, não especificada	2,40 * 10^{-4}	Kg
	AOX, água, não especificada	1,00 * 10^{-6}	Kg
	Formaldeído, água, não especificada	1,00 * 10^{-4}	Kg
	Metanol, água, não especificada	3,00 * 10^{-5}	Kg
	Fenol, água, não especificada	1,00 * 10^{-5}	Kg
	Sólidos suspensos, não especificados, água, não especificada	2,00 * 10^{-5}	Kg
	Cloreto, água, não especificada	2,00 * 10^{-6}	Kg
	Fósforo, água, não especificada	1,00 * 10^{-5}	Kg

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Catalisadores

Os catalisadores utilizados nas plantas de síntese do metanol são, principalmente, à base de cobre, alumínio, zinco e molibdênio. A composição típica

(% em peso) dos catalisadores para as diferentes fases do processo é apresentada a seguir:

- Dessulfuração: 4% NiO, 14% MoO_3, equilíbrio Al_2O_3, densidade 600 kg/m^3
- Reforma a vapor: 16% NiO, equilíbrio Al_2O_3, densidade 900 kg/m^3
- Síntese do metanol: 64% CuO, 24% ZnO, equilíbrio Al_2O_3, densidade 1.300 kg/m^3

G.3.1.3 Emissões associadas à produção de metanol

Calor Residual

O calor total do processo é calculado pela diferença entre a entrada de energia total (gás natural e eletricidade), menos o teor de energia do metanol (PCS). O valor calculado para o calor residual a ser considerado é 5,27 MJ/kg (máximo de 6,56 MJ/kg e mínimo de 5 MJ/kg). Um valor médio de 0,4 MJ/kg é liberado para a água e o restante (4,87 MJ/kg) para o ar.

Emissões para o Ar

As emissões para o ar são dominadas pelas emissões do forno. Como essas emissões já estão incluídas no processo do forno, não são discutidas aqui. O forno utilizado foi de baixo NO_x (> 100 kW).

Partindo desse pressuposto, as emissões de CO_2 do forno foram calculadas a partir dos fatores de emissões para forno industrial de baixo NO_x> 100 kW (56 g de CO_2 / MJ (PCI)). A Tabela G.14 apresenta alguns dados disponíveis das emissões totais de CO_2 em diferentes processos das plantas de metanol para comparar os resultados.

Tabela G.14. Emissões para o ar para a produção de metanol por kg de metanol produzido.

Substância	**Processo da Planta de Metanol**			**Valores para este Inventário**	
	Reforma a Vapor (kg)	Reforma Combinada (kg)	Reforma autotérmica (kg)	Incluída no Processo de Forno (kg)	Emissões Adicionais (kg)
CO_2	0,47	0,31	0,33	0,431 (0,196 – 0,655)	-
NO_x	$0,69 * 10^{-3}$	$0,18 * 10^{-3}$ a $0,20 * 10^{-3}$	$0,05 * 10^{-3}$ a $0,10 * 10^{-3}$	$0,18 * 10^{-3}$ ($0,08 – 0,27 * 10^{-3}$)	$0,15 *10^{-3}$ (0 – $0,42 *10^{-3}$)
SO_x	-	-	-	$4,2 * 10^{-6}$ ($1,9 – 6,4 * 10^{-6}$)	$13,8 *10^{-6*}$
CH_4	$0,98 * 10^{-3}$			-	$0,98 *10^{-3}$
CH_3OH	$0,53 * 10^{-3}$	-	-	-	$0,53 *10^{-3}$

* As emissões adicionais de SO2 referem-se à dessulfuração dos 25 MJ de alimentação de gás natural convertido.

Fonte: Ecoinvent, 2007.

Emissões para a Água

O único resíduo produzido regularmente que apresenta problemas é o resíduo obtido após a destilação do metanol puro, pois contem água, metanol, etanol, alcoóis superiores e outros compostos orgânicos que contenham oxigênio, além de quantidades variáveis de parafina. Os valores selecionados para este inventário são apresentados na Tabela G.15.

Tabela G.15. Emissões para a água para a produção de metanol por kg de metanol produzido

Substância	**Emissões de águas residuais**		**Emissões de água de arrefecimento**	
	Kg por kg de metanol	**Concentração: g/m^3**	**Kg por kg de metanol**	**Concentração: g/m^3**
DQO (Demanda Química de Oxigênio)	$0,3 * 10^{-3}$	1,5	$0,19 * 10^{-3}$	30
DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio)	$0,18 * 10^{-3}$	0,9	-	-
COD (Carbono Orgânico Dissolvido), COT (Carbono Orgânico Total)	$0,18 * 10^{-3}$	0,5	$0,06 * 10^{-3}$	10
AOX (Orgânicos Halogenados Adsorvíveis como Cl)	-	-	$0,001 * 10^{-3}$	0,15
Fósforo (P_{total})	-	-	$0,01 * 10^{-3}$	0,5
Formaldeído (CH_2O)	$0,1 * 10^{-3}$	0,5	-	-
Metanol (CH_3OH)	$0,03 * 10^{-3}$	0,13	-	-
Fenol (C_6H_6)	$0,01 * 10^{-3}$	0,07	-	-
Sólidos Suspensos	$0,02 * 10^{-3}$	0,1	-	-
Cloreto (Cl^-)	-	-	$0,002 * 10^{-3}$	0,3

Fonte: Ecoinvent, 2007.

Catalisadores Utilizados

Os catalisadores utilizados contêm cobre (síntese), níquel (geração de gás) e cobalto e molibdênio (dessulfuração) como componentes ativos. Estes metais são, geralmente, recuperados ou utilizados para outros fins. Neste inventário assumiu-se que todos os catalisadores foram reciclados.

G.3.1.4 Transporte do metanol

Os dados referentes ao transporte do metanol foram alterados conforme as condições brasileiras. Os dados que foram atualizados no sistema referem-se ao transporte do metanol utilizado na usina de Lins/SP, produtora de biodiesel de gordura animal com metanol.

Diante do fato da usina localizar-se em Lins / São Paulo, para a elaboração deste inventário, foi considerado apenas o metanol importado para o porto de Santos / SP, via rota marítima, pois é o porto mais próximo da região da usina. A Tabela G.16 apresenta a importação do metanol, por país, desde 2008 até 2012, para São Paulo, via rota marítima, sendo descarregado no Porto de Santos.

Tabela G.16. Importação do metanol (kg), por país, para São Paulo via rota marítima, sendo descarregado no Porto de Santos.

	Quantidade (kg)				
Origem	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012***
Alemanha	28.925	21.667	29.764	28.347	56.505
Chile	-	-	2.042.622	-	1.750.000
Coréia do Sul	10	-	-	-	-
EUA	169.482	80.141	68.818	66.403	5.905
França	-	-	7.603	3.041	4.732
Itália	17.572	26.828	1.503	1.473	6.210
México	9.672	9.222	69.623	80.827	81.863
Países Baixos (Holanda)	525	1.250	12.580	8.155	17.924
Venezuela	10.979.066	32.704.477	47.926.462	66.318.446	98.783.583
TOTAL	**11.205.252**	**32.843.585**	**50.158.975**	**66.506.692**	**100.706.722**

* Período compreendido: janeiro a novembro de 2012.
Fonte: MDIC / AliceWeb, 2012.

Considerando a densidade do metanol 0,7932 g/cm^3 (igual a 793,2 kg/m^3), a Tabela G.17 apresenta a quantidade de metanol importado para São Paulo (m^3), por país, via rota marítima, sendo descarregado no Porto de Santos.

Tabela G.17. Importação do metanol (m^3), por país, para São Paulo via rota marítima, sendo descarregado no Porto de Santos.

	Quantidade (m^3)						
Origem	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012***	**TOTAL**	**%**
Alemanha	36	27	38	36	71	**208**	0,063
Chile	-	-	2.575	-	2.206	**4.781**	1,451
Coréia do Sul	10	-	-	-	-	**10**	0,003
EUA	214	101	87	84	7	**493**	0,149
França	-	-	10	4	6	**19**	0,006
Itália	22	34	2	2	8	**68**	0,020
México	12	12	88	102	103	**317**	0,096
Países Baixos (Holanda)	1	2	16	10	23	**51**	0,015
Venezuela	13.841	41.231	60.422	83.609	124.538	**323641**	98,196
TOTAL	**14.137**	**41.406**	**63.236**	**83.846**	**126.963**	**329.588**	

* Período compreendido: janeiro a novembro de 2012.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

De acordo com informações da usina de Lins/SP, há três possibilidades de importação do metanol consumido na empresa: Chile, Venezuela e EUA. O

consumo de metanol na usina para a produção de biodiesel em 2009 e 2010 foi de 8.631,69 kg (10,88 m^3) e 11.144,40 kg (14,05 m^3), respectivamente.

O metanol importado do Chile é proveniente da Methanex Chile S.A., localizada em Cabo Negro / Punta Arenas, próxima ao porto de carregamento para importação (Porto Punta Arenas). São Paulo importou metanol do Chile apenas em 2010 e 2012, representando apenas 1,451% de todo o metanol importado para São Paulo (via rota marítima, sendo descarregado no Porto de Santos) desde 2008.

O metanol importado da Venezuela é proveniente da Metor S.A., uma parceria da estatal Pequiven com a Mitsubishi Corporation, localizada no Estado de Sucre, no Complexo José Antonio Anzoátegui. Os três principais portos comerciais da Venezuela são: Puerto Cabello, Porto de Maracaíbo e Porto La Guairá, que são responsáveis, principalmente, pelo escoamento de minerais. Entretanto, para o carregamento do metanol o porto utilizado é o Puerto Sucre, localizado em Cumana, próximo ao Complexo José Antonio Anzoátegui.

De acordo com a Tabela G.17, a Venezuela é o maior exportador de metanol para São Paulo (via rota marítima, sendo descarregado no Porto de Santos), representando 98,196% de todo o metanol recebido desde 2008.

O metanol proveniente dos EUA é carregado no Porto de Houston e representa apenas 0,149% de todo o metanol importado para São Paulo (via rota marítima, sendo descarregado no Porto de Santos) desde 2008.

Diante dos dados apresentados na Tabela G.17, optou-se neste inventário por utilizar as informações referentes somente à importação do metanol proveniente da Venezuela, uma vez que representa quase 100% de todo o metanol importado para São Paulo (via rota marítima, sendo descarregado no Porto de Santos) desde 2008.

Portanto, considerou-se que o metanol utilizado na usina de Lins/SP também é, em sua totalidade, importado da Venezuela para São Paulo via rota marítima, sendo descarregado no Porto de Santos.

A Tabela G.18 apresenta o tipo de transporte e a distância percorrida (km) pelo metanol utilizado pela usina.

Tabela G.18. Transporte e Distância percorrida – Metanol utilizado na usina de biodiesel de Lins/SP.

Origem	Origem	Transporte/veículo			Regresso sem carga
	Distância percorrida (km)		Tipo	Capacidade (t)	Sim/Não
Venezuela (transporte internacional - Metor até Puerto Sucre)	50	0,05	rodo	35	sim
Venezuela (Puerto Sucre até Porto de Santos)	6445,4	6,4454	navio	navio tanque	não
Porto de Santos até a usina em Lins - transporte nacional	539	0,539	rodo	35	sim

Fonte: SEARATES, 2012.

G.4 Subsistema produção de biodiesel de gordura animal (rota metílica)

Embora os óleos vegetais produzam um biodiesel de excelente qualidade, seu valor agregado é bastante elevado comparativamente a outras possíveis matérias-primas. Além disso, muitos dos óleos vegetais são amplamente demandados pela indústria alimentícia e outras, o que reduz a sua disponibilidade (FIORESE & GOMES, 2009), como no caso da mamona, óleo de palma, etc. (conforme apresentado no Capítulo 3).

Neste contexto, cada vez mais, ganha força a busca por insumos alternativos para a produção de combustíveis em condições competitivas, com destaque para a gordura animal (NAE, 2004; NIEDERL & NARODOSLAWSKY, 2004).

Conforme apresentado anteriormente, a produção de bovinos é crescente no Brasil. Por consequência, é possível assumir que a quantidade de gordura animal também cresce praticamente na mesma proporção. Por exemplo, considerando-se a premissa de que 23 kg de gordura animal são obtidos a partir de cada animal, o montante de gordura para o qual foi necessária uma destinação no ano de 2010 foi de 947.878 toneladas (MARTINS et al., 2011).

Para este estudo, as informações sobre o processo de transesterificação pela rota metílica foram obtidas a partir de contatos com a unidade industrial da usina localizada no município de Lins/SP. Trata-se de uma planta cujo principal insumo é a gordura bovina.

A unidade produz biodiesel deste março de 2007, e tem capacidade nominal de 201.683 m^3/ano. Entretanto, de acordo com a ANP (2012a), a produção no ano de 2011 foi de apenas 99.503,2 m^3.

G.4.1 Detalhamento do ICV da produção de biodiesel

A elaboração do ICV da produção de biodiesel de gordura animal via rota metílica foi realizada de acordo com as seguintes informações:

a) Fonte dos dados: predominantemente primários;
b) Cobertura Temporal: os dados referem-se ao ano de 2009. Exceções são devidas ao uso de elementos de bancos de dados;
c) Cobertura Geográfica: o desempenho apresentado diz respeito à planta de produção de biodiesel de Lins/SP. Entretanto, assume-se que ele seja representativo para demais unidades industriais instaladas nas regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, desde que sejam feitas as adequações quanto à logística de transporte de insumos. Ainda, variações podem ter sido introduzidas pelo uso de bancos de dados;
d) Cobertura Tecnológica: o inventário reflete uma tecnologia usual (Dedini/Ballestra), associada a cerca de 40% do biodiesel efetivamente produzido no Brasil no ano de 2009;
e) Alocação: adotou-se o critério econômico. O valor do biodiesel foi calculado com base na média dos preços de venda em leilões da ANP entre novembro de 2009 e novembro de 2011 (R$ 2.582,33/tonelada). Já para os demais coprodutos, os valores foram obtidos a partir de consultas a especialistas.

No caso dos inventários referentes à transesterificação pela rota metílica, foi adotado como fluxo de referência o valor de 1 tonelada de biodiesel produzido.

G.4.1.1 Considerações sobre a tecnologia de produção

De acordo com Castro et. al. (2010), existem cinco grandes empresas fornecedoras de plantas industriais para produção de biodiesel no mundo. Em geral, estas desenvolvedoras de tecnologia estabelecem parcerias com grupos nacionais, transferindo conhecimento de processamento e gestão das unidades industriais. São elas:

a) Lurgi;
b) Wesrphalia;
c) Ferrostaal;
d) Desmet Ballestra;
e) Crown.

Os dados considerados na modelagem deste subsistema ora em questão são associados à tecnologia Dedini/Ballestra. Trata-se do resultado de uma parceria entre a Dedini (tradicional fabricante brasileira de equipamentos para o setor sucroalcoleiro) e a Desmet Ballestra (empresa líder mundial no fornecimento de plantas para extração de gorduras e óleos, e conversão destes em produtos industriais) (DEDINI, 2012).

Segundo Castro et. al. (2010), esta é a principal tecnologia no país, com capacidade instalada no ano de 2009 para produção de 1.547,3 milhões de litros/ano de biodiesel, o que representava 21,2% de todo o potencial à época. No que diz respeito ao biodiesel efetivamente produzido, esta tecnologia também foi predominante, com 641 milhões de litros, ou seja, 39,2% de todo o montante produzido.

Del Vecchio (2006) aponta algumas das principais características da Tecnologia Dedini/Ballestra, que impulsionaram a sua disseminação, quais sejam:

- Processamento em fluxo contínuo;
- Flexibilidade quanto ao tipo de óleo e/ou gordura admitido como matéria-prima;
- Rendimento da transesterificação elevado;
- Baixa geração de efluentes;
- Condições operacionais moderadas;
- Biodiesel produzido em conformidade com as principais regulamentações.

Na Figura G.3 é apresentado um fluxograma que exemplifica o processo de transesterificação metílica da gordura bovina desenvolvido pela Dedini/Ballestra (DEL VECCHIO, 2006; JBS, 2011; DEDINI, 2012).

Conforme informações obtidas junto à usina de Lins/SP, o processo se inicia com um tratamento prévio da gordura recebida dos diversos frigoríficos. Nesta etapa, o objetivo é adequar alguns parâmetros considerados sensíveis para a transesterificação, como umidade e acidez (cujos valores devem estar abaixo de 2% e 2,5%, respectivamente).

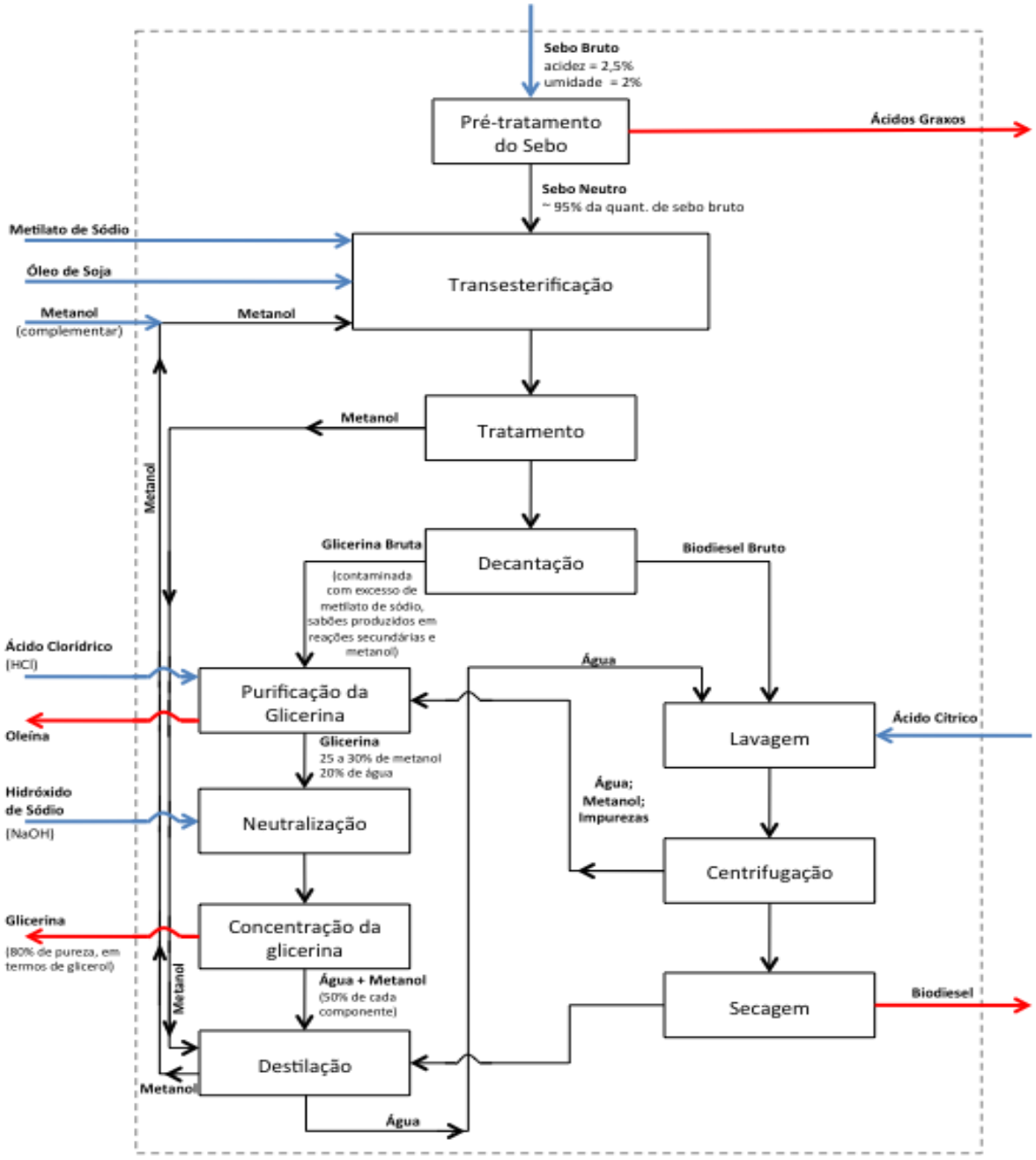


Figura G.3. Fluxograma com descrição dos processos para a produção de biodiesel segundo a tecnologia Dedini/Ballestra.
Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Como produto deste tratamento, obtém-se uma corrente chamada de sebo bruto, que é encaminhada para os reatores, onde serão misturados os demais insumos (álcool e catalisador).

Terminado o processo de conversão da gordura em biodiesel, iniciam-se as operações de separação dos componentes constituintes da mistura resultante. A principal delas é a operação de decantação, na qual se obtém o biodiesel bruto e a glicerina bruta (LOPES, 2006; CORDOBA, 2011; DEDINI, 2012).

Quanto ao biodiesel, para que possa se adequar à legislação vigente, este passa por uma sequência de operações para neutralização e remoção dos excessos de água, metanol e demais impurezas (como sabões e glicerina livre) (NAE, 2004; CASTRO et. al., 2010; JBS, 2011).

Já a glicerina bruta precisa ser submetida a um processo de purificação, que tem os objetivos de: agregar valor à glicerina (uma vez que o teor de glicerol é elevado desde 50% até 80% em massa); remover a fração de sabões e de oleína produzidos durante a reação; e, principalmente, aumentar a taxa de recuperação do metanol (insumo de origem fóssil, importando da Venezuela).

Para isso, as operações para a purificação da glicerina compreendem a sua neutralização (visto que a reação de transesterificação ocorre em pH entre 11 e 14), e a destilação da corrente restante para obtenção de glicerina loira e metanol (NAE, 2004; LOPES, 2006; CORDOBA, 2011; JBS, 2011).

Finalmente, vale destacar mais um ponto positivo da tecnologia desenvolvida pela Dedini/Ballestra: trata-se da taxa elevada de reciclagem da água, o que minimiza o consumo de quantidades adicionais deste recurso natural já escasso (JBS, 2011).

G.4.1.2 Considerações sobre a energia consumida

No que diz respeito à energia consumida na planta de produção de biodiesel de Lins/SP, observou-se que este consumo ocorre de três formas, quais sejam:

- Eletricidade: para movimentação, em geral, dos equipamentos, com destaque para o bombeamento dos insumos e produtos, e a agitação dos reatores;
- Vapor: usado principalmente para o aquecimento dos reatores, bem como para o controle da viscosidade da gordura bovina;
- Óleo diesel: usado em caldeiras nos casos em que há interrupção do fornecimento de vapor.

Deve-se salientar que a produção do vapor e da eletricidade consumidos na unidade industrial de Lins/SP é feita a partir da queima de biomassa (JBS, 2011). No caso, o grupo informou que se usa o bagaço de cana-de-açúcar excedente de destilarias autônomas localizadas na região.

Assim, no caso da modelagem da queima de bagaço de cana-de-açúcar para a produção de vapor, foram usados os mesmos dados apresentados no caso do inventário do subsistema de produção de etanol (para biodiesel pela rota etílica).

Estes dados foram adaptados de GREET (2010) e de CAVALETTI et. al (2012), e encontram-se na Tabela G.19.

Tabela G.19. Fatores de emissão utilizados para representar a queima de bagaço de cana-de-açúcar.

Substância emitida	Unidade	emissão para 1 kg de bagaço
Dióxido de carbono (biogênico)	kg	0,69412
Monóxido de carbono (biogênico)	g	0,54597
Óxidos de nitrogênio	g	0,54318
Óxido nitroso	g	0,03000
Óxidos de enxofre	g	0,02915
Metano (biogênico)	g	0,22499
Compostos orgânicos voláteis (COV)	g	0,03797
Particulados, >2,5um e < 10um	g	0,61560
Particulados, <2,5um	g	0,30780

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

Por outro lado, os dados relativos à produção de eletricidade foram obtidos a partir de um inventário produzido pelo *Ecoinvent*, no qual os pesquisadores representaram a situação brasileira no ano de 2005 (JUNGBLUTH, 2007).

G.4.1.3 Considerações sobre o transporte de insumos

Para a modelagem do transporte de insumos, a maior parte das informações foi baseada no contexto praticado pela usina de Lins/SP no ano de 2009.

Considerando-se a indisponibilidade de dados primários, exceções foram feitas nos casos citados a seguir:

- Gordura bovina: este insumo é fornecido por abatedouros dispersos na região da planta de produção de biodiesel. Porém, as distâncias não foram informadas pela usina de Lins/SP. Assim, considerando-se o grande número de abatedouros e de usinas de biodiesel nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, definiu-se que a distância média pela qual a gordura bovina é transportada seria de 200 km;
- Óleo de soja: neste caso, a distância média para o transporte do óleo desde as empresas extratoras até a planta de biodiesel foi a mesma estimada no caso da rota etílica, ou seja, 942 km;

- Metanol: conforme indicado anteriormente, assumiu-se que todo o metanol seria produzido na Venezuela. Assim, este insumo seria transportado, respectivamente: em caminhões até Puerto Sucre (50 km); em navio até o Porto de Santos (6445 km); e, novamente, em caminhões até a usina de Lins/SP (539 km).

Finalmente, feitas estas considerações, as informações sobre o transporte dos insumos até a unidade industrial para transesterificação metílica são resumidas na Tabela G.20.

Tabela G.20. Resumo das informações adotadas para a modelagem do transporte de insumos até a planta de produção de biodiesel.

Insumo	Distância (km)	Modal
Gordura bovina	200	Rodoviário
Óleo de soja	942	Rodoviário
Metanol	589	Rodoviário
	6445	Marítimo
Metilato de sódio	250	Rodoviário
Ácido clorídrico	250	Rodoviário
Ácido cítrico	410	Rodoviário
Hidróxido de sódio	250	Rodoviário
Bagaço de cana-de-açúcar	50	Rodoviário
Diesel	100	Rodoviário

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

G.4.1.4 Consolidação do inventário do subsistema de produção de biodiesel de gordura animal (rota metílica)

O resumo dos dados fornecidos pela usina de Lins/SP e complementados pelo levantamento bibliográfico é apresentado na Tabela G.21.

Tabela G.21. Inventário consolidado do subsistema de produção de biodiesel pela rota metílica.

Fluxo	Unidade	Quantidade
Geração de coprodutos		
Biodiesel	t	1,0000
Glicerina	t	0,1255
Ácidos graxos	t	0,0404
Oleína	t	0,0105
Consumo de insumos		
Gordura bovina	t	1,0655
Água	t	0,3500
Metanol	t	0,1099
Metilato de sódio	t	0,0233
Ácido clorídrico	t	0,0139
Ácido cítrico	t	0,0034
Hidróxido de sódio	t	0,0015
Eletricidade	kWh	45,5939
Bagaço (para geração de vapor)	t	0,1473
Diesel	L	0,0066
Transporte de insumos		
Gordura bovina[1]	tkm	203,094
Metanol (rodoviário)	tkm	64,748
Metanol (marítimo)	tkm	708,533
Metilato de sódio	tkm	5,814
Ácido clorídrico	tkm	3,465
Ácido cítrico	tkm	1,403
Hidróxido de sódio	tkm	0,365
Bagaço de cana-de-açúcar	tkm	7,366
Diesel	tkm	0,0005
Emissões atmosféricas		
Dióxido de carbono (biogênico)	kg	102,269
Monóxido de carbono (biogênico)	g	80,441
Óxidos de nitrogênio	g	80,030
Óxido nitroso	g	4,420
Óxidos de enxofre	g	4,295
Metano (biogênico)	g	33,149
Compostos orgânicos voláteis (COV)	g	5,594
Particulados, >2,5µm e < 10 µm	g	90,700
Particulados, <2,5µm	g	45,350

[1] para biodiesel de óleo de soja, este valor foi substituído por 1.003,671 tkm.

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.

É importante destacar que os dados apresentados na Tabela 56 são compatíveis com aqueles citados por outros pesquisadores (DEL VECHIO, 2006; LOPES, 2006; BONI, 2008; KRAUSE, 2008; CUNHA, 2008; CASTRO et. al., 2010).

G.4.1.5 Considerações sobre a alocação de coprodutos

Para a alocação de coprodutos, foram analisados três critérios distintos, quais sejam:

- Mássico: os fatores foram determinados a partir dos valores apresentados na Tabela G.22;
- Energético: neste caso, após a multiplicação dos valores da Tabela G.22 pelo poder calorífico de cada coproduto (CORDOBA, 2011; ANP, 2012). Em seguida, foi feito o cálculo da fração do conteúdo energético produzido neste subsistema associado a cada produto;
- Econômico: neste caso, os fatores foram determinados a partir da média dos preços do biodiesel em leilões realizados entre novembro de 2009 e novembro de 2011, bem como de cotações dos demais coprodutos obtidas de especialistas (CORDOBA, 2011; FERTIBOM, 2011; ANP, 2012).

Os fatores de alocação segundo cada um dos critérios analisados são apresentados na Tabela G.22. Deve-se salientar que a análise padrão foi feita com base no critério econômico.

Tabela G.22. Fatores de alocação determinados para o subsistema de produção de biodiesel pela rota metílica.

Coproduto	Critério		
	Econômico	Energético	Mássico
Biodiesel	89,58%	90,85%	85,01%
Glicerina	8,71%	4,46%	10,67%
Ácidos graxos	1,40%	3,70%	3,43%
Oleína	0,31%	0,98%	0,89%

Fonte: CENBIO/IEE/USP, 2013.