

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DO CARBONO NA
QUEIMA DE BIODIESEL À BASE DE ÓLEO DE SOJA**

Renata Maéry de Lima Mendonça

ORIENTADOR: ARMANDO CALDEIRA PIRES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS MECÂNICAS

PUBLICAÇÃO: 110A /2007.

BRASÍLIA – DF: ABRIL – 2007.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**AValiação DE CICLO DE VIDA DO CARBONO NA QUEIMA DE
BIODIESEL À BASE DE ÓLEO DE SOJA**

Renata Maéry de Lima Mendonça

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA
DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM CIÊNCIAS MECÂNICAS.**

APROVADA POR:

**Prof. Armando Caldeira Pires, Dr. (ENM-UnB)
(Orientador)**

**Prof. João Nildo de Souza Viana, Dr. (ENM-UnB)
(Examinador interno)**

**Prof^a.: Magda Eva Soares de Faria Wehrmann, Dra (CDS)
(Examinadora externa)**

BRASÍLIA/DF, 19 DE ABRIL DE 2007.

FICHA CATALOGRÁFICA

MENDONÇA, RENATA MAÉRY DE LIMA

Avaliação do Ciclo de Vida do Carbono na Queima de Biodiesel à Base de Óleo de Soja [Distrito Federal] 2007.

xvii, 111p., 210 x 297 mm (ENM/FT/UnB, Mestre, Ciências Mecânicas, 2007).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Biodiesel

2. ACV

3. Produção de soja

4. Impacto ambiental

I. ENM/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MENDONÇA, R.M.L. (2007). Avaliação do Ciclo de Vida do Carbono na Queima de Biodiesel à Base de Óleo de Soja, Publicação 110A/07, Departamento de Engenharia Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 111p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Renata Maéry de Lima Mendonça .

TÍTULO: Avaliação do Ciclo de Vida do Carbono na Queima de Biodiesel à Base de Óleo de Soja.

GRAU: Mestre

ANO: 2007

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Renata Maéry de Lima Mendonça
SQN 103 Bloco I Apto 205, Asa Norte
70732 – 090 Brasília – DF – Brasil.
renatamaery@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço Papai do céu, pela força nas horas difíceis. Meu guia e meu caminho.

Aos meus pais, Romero e Lourdes, que me proporcionaram amor, carinho e compreensão.

Meu irmão, André, que mesmo de longe, sempre torceu por mim.

Ao meu orientador, Dr. Armando Caldeira – Pires, pela maneira tranquila como administrou minha ansiedade e soube me direcionar com presteza, principalmente nos fins de semana, quando eu estava morando fora de Brasília.

A Dr. Magda Wehrmann, pelo apoio da Fazenda Wehrmann para a obtenção dos dados de campo para este trabalho.

Aos amigos de Eng. Mecânica, Rafael Davidson Cova Lima, Ricardo da Silva Ribeiro, Marcos Gonçalves Noleto e o Ms. José Gustavo Coelho, pelas brincadeiras na sala de mestrado que amenizam a tensão do trabalho e pelo apoio na pesquisa.

Às amigas Claudimeire e Caroline, pela força e apoio durante o último ano, fora de Brasília, quando vocês se tornaram minha família também.

Às minhas amigas – irmãs de toda hora, tempo e espaço, Cely, Drica e Mari, pela amizade incondicional, papo sério na hora certa e o restante de diversão.

A todas as outras pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A preocupação com o meio ambiente aliada à necessidade de crescimento econômico incessante torna inadiável o desenvolvimento sustentável: inovações tecnológicas e a utilização cada vez maior de energia renovável, substituindo principalmente os combustíveis de origem fóssil, que são as maiores fontes de emissão de poluentes causadores do aquecimento global. Uma alternativa é o biodiesel, obtido pela transesterificação de um óleo vegetal com um álcool de cadeia curta. O trabalho realizado avaliou o balanço energético e de dióxido de carbono equivalente na produção e utilização do biodiesel à base de óleo de soja, utilizando o método de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) nesse sistema. A ACV é uma técnica para investigação de um produto, com todas as entradas e saídas pertinentes ao ciclo de vida abordado pelo estudo. Elaborou – se o sistema com auxílio da ferramenta *GaBi*, incluindo toda a produção agrícola da soja, a transesterificação utilizando etanol da cana de açúcar e a queima em motores diesel, comparando com a utilização de misturas com o óleo diesel e com o diesel puro. Os resultados mostraram que o ciclo de vida da produção e uso de biodiesel é completamente renovável dentro da fronteira analisada para o sistema, proporcionando maior absorção que produção de CO₂ equivalente na utilização de 100% de biodiesel com razão de -1,124 ton de CO₂ equivalente por cada 1 ton de biodiesel consumido. O óleo diesel apresentou emissão de 3,55 ton / ton de combustível consumido. A energia no ciclo resultou em um balanço equilibrado e consumo de 1,65 MJ por MJ de energia produzido.

Palavras – chave:

Biodiesel, Análise de Ciclo de Vida (ACV), impacto ambiental, produção de soja.

ABSTRACT

The concern with the allied environment to the necessity of incessant economic growth getting no postpone. The sustainable development: innovations technologies and the use of renewable energy, mainly substituting fossil fuels. They are the biggest source of global warming emissions. An alternative is the biodiesel, gotten for the transesterification to a vegetal oil and a alcohol. The developed work has evaluating the energy and carbon dioxide balance about biodiesel production and use to engines diesel, using the method of Life Cycle Assessment (LCA). LCA is a technique for inquiry of a product, with all the pertinent inputs and outputs to the boarded life cycle for the study. The system was building with the tool *GaBi*, including all the agricultural production of the soybean, transesterification using ethanol and combustion in engines diesel, comparing with the use of mixtures with the oil diesel and pure diesel. The results had shown biodiesel like completely renewable for this system, the life cycle provide a carbon deficit, greater CO₂ equivalent absorption in the production and using 100% of biodiesel, reason of – 1,24 ton of CO₂ equivalent for each 1 ton of biodiesel consumed. The diesel oil shows emissions of 3,55 ton/ton of consumed fuel. The energy used in the cycle resulted in a equilibrate rocking to biodiesel and use of 1,65 MJ/MJ produced fuel.

Keywords:

Biodiesel, Life Cycle Assessment (LCA), environmental impact, soybean production.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	10
INTRODUÇÃO.....	11
1. REFERENCIAL CONCEITUAL.....	16
1.1 CARACTERIZAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS ANALISADOS	16
1.1.1 Óleo diesel	16
1.1.2 Biodiesel	18
1.2 DADOS DA LITERATURA E ASPECTOS TÉCNICOS SOBRE BIODIESEL.....	18
1.3 CARACTERIZAÇÃO DE OLEAGINOSAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL	24
1.3.1 Mamona.....	25
1.3.2 Amendoim	26
1.3.3 Girassol.....	26
1.3.4 Dendê.....	27
1.3.5 Soja.....	27
1.3.5.1 Surgimento da Soja	28
1.3.5.2 Plantio da Soja.....	30
1.4.5.3 Processo de tratamento da soja	32
1.5 PROCESSOS DE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE BIODIESEL.....	33
1.5.1 Transesterificação.....	33
1.5.2 Processo de Craqueamento	36
1.5.3 H – Bio.....	37
1.6 DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE BIODIESEL NO MUNDO	39
1.7 DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL	42
1.7.1 Políticas Nacionais de Biodiesel.....	42
1.7.2 Iniciativas nacionais	49
1.7.3 Inclusão social e desenvolvimento regional com o biodiesel.....	51
1.7.4 Características Regionais na Produção de Biodiesel.....	53
2. AVALIAÇÃO AMBIENTAL.....	55
2.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV).....	55
2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS	58
2.2.1 Balanço energético	59
2.2.2 Aquecimento Global.....	59
2.2.3 Acidificação da Atmosfera	60
2.2.4 Eutrofização	60
2.2.5 Toxicidade Humana e Terrestre.....	60

3. DESENVOLVIMENTO DA ACV.....	61
3.1 ASPECTOS GERAIS DA ACV	61
3.2 OBJETIVO DA ACV	61
3.3 ESCOPO DA ACV.....	61
3.3.1 Aspectos Locais	62
3.3.2 Caracterização dos Dados.....	64
3.4 METODOLOGIA.....	65
3.5 DESCRIÇÃO GERAL DO CICLO DE VIDA.....	66
3.5.1.1 Tipos de entradas e saídas do ciclo de vida	66
3.5.1.2 Processos envolvidos.....	67
3.6 RESULTADOS DA ACV	84
CONCLUSÕES	100
REFERÊNCIAS	103
ANEXO I.....	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Esquema de obtenção dos principais derivados do petróleo.	17
Figura 1.2 – Produção de Oleaginosas no Brasil.....	25
Figura 1.3 – Fluxo de produção e utilização do biodiesel.....	33
Figura 1.4 – Processo produtivo de biodiesel por transesterificação.....	36
Figura 1.5 – Rota de Produção H – Bio e Biodiesel.....	38
Figura 1.6 – Distribuição do Consumo de Energia no Brasil.....	42
Figura 1.7 - Logística de suprimento do biodiesel	48
Figura 1.8 – Distribuição de interesses em biodiesel pelas regiões do Brasil.....	54
Figura 3.1 – Evolução da área plantada e produção de soja na região do cerrado.	63
Figura 3.2 – Diagrama simplificado da produção e utilização do biodiesel.	68
Figura 3.3 – Diagrama do sistema de produção e uso de B100.	82
Figura 3.4 – Diagrama do sistema de produção e uso de B20.	83
Figura 3.5 – Diagrama do ciclo do óleo diesel para consumo de B100.....	84
Figura 3.6 – Diagrama do ciclo de óleo diesel para consumo de B20.....	84
Figura 3.7 – Entrada de CO ₂ no ciclo de vida do biodiesel (B100).....	85
Figura 3.8 – Saída de CO ₂ no ciclo de vida do biodiesel (B100).	86
Figura 3.9 – Emissão e consumo de CO ₂ para produção e uso de Bxx.	87
Figura 3.10 –Emissões de CO ₂ no ciclo de vida do diesel.....	88
Figura 3.11 – Entradas e saídas de CO ₂ para produção e uso de combustíveis na utilização de Bxx.	89
Figura 3.12 – Consumo de energia elétrica no ciclo de vida do biodiesel.....	92
Figura 3.13 – Distribuição percentual do consumo de energia elétrica no ciclo do B100..	92
Figura 3.14 – Distribuição de energia de biomassa no ciclo de vida do B100.	93
Figura 3.15 – Consumo de energia pela combustão no ciclo de vida de B100.....	94
Figura 3.16 – Consumo energético por insumos químicos no ciclo de vida de B100.....	94
Figura 3.17 – Balanço energético geral no ciclo de vida da produção e uso de B100.	95

LISTA DE TABELAS

Tabela I – Variação da proporção de produtos fósseis e não fósseis na energia total consumida no Brasil.....	13
Tabela 1.1 – Problemas no processo de produção e uso de biodiesel	22
Tabela 1.2 – Produção de Óleos Vegetais do Brasil.....	28
Tabela 1.3 – Produção de soja para cada 1 ton de fertilizante.	31
Tabela 1.4 – Capacidade esmagadora (t/dia) do país.....	32
Tabela 3.1 – Balanço de CO ₂ na utilização de biodiesel e de óleo diesel.....	90
Tabela 3.2 – Balanço energético da produção de B100.....	91
Tabela 3.3 – Resultados obtidos para o ciclo de vida do biodiesel à partir do óleo de soja.	99

INTRODUÇÃO

Esta dissertação discute a substituição do diesel oriundo do petróleo pelo biodiesel, óleo vegetal transesterificado à base de soja, comparando o balanço energético e balanço de dióxido de carbono equivalente dos seus ciclos de vida.

Desde o início do século XX, um dos resultados do debate acerca do desenvolvimento, foi o fortalecimento do conceito de desenvolvimento sustentável.

A definição mais divulgada é que o desenvolvimento sustentável "satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades", na Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1987, presidida pela ex Primeira Ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland. Ou seja, o desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento econômico, social, científico e cultural das sociedades garantindo mais saúde, conforto e conhecimento, sem exaurir os recursos naturais do planeta (UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2006).

Segundo PIRES (1998), o desenvolvimento sustentável tem suas origens na conscientização de que os recursos naturais não são infinitos e que o futuro do desenvolvimento é limitado pelas fragilidades ecológicas.

Na década de 1970, a preocupação com o meio ambiente incentivou os estudos sobre mudanças climáticas, desgaste do solo e qualidade do ar e da água e tornaram-se focos de pesquisadores, políticos e da população em geral. Os debates sobre os efeitos do progresso no meio ambiente tornaram – se indispensáveis à política mundial.

A Eco 92, no Rio de Janeiro, discutiu alternativas e metas ambientais para os países desenvolvidos, concebendo o Protocolo de Quioto. O Protocolo de Quioto, assinado em dezembro de 1997 e ratificado em fevereiro de 2005 com a adesão da Rússia, é o compromisso assumido por países desenvolvidos em restringir a emissão de gases causadores do efeito estufa, de maneira sustentável, em média, 5% abaixo dos níveis registrados em 1990, para o período entre 2008 e 2012 (LUCENA, 2004).

Dentre esses gases, as emissões mais preocupantes são de dióxido de carbono (CO₂), eleito em 1990 o responsável em 60% pelo aquecimento global e o desmatamento de florestas (HALL; HOUSE, 1995). O alto índice de CO₂ promove um meio ambiente estressante (FERRIS et al.1998), com efeitos diretos principais como: baixa fotossíntese, efeito estufa (aumento da temperatura global) e camada de ozônio degradada. Isso é consequência, principalmente, da queima de combustíveis fósseis, não renováveis, como o óleo diesel.

O óleo diesel é um combustível com alta demanda para o suprimento de diversas e inúmeras atividades de produção, pois a engenharia à diesel domina o transporte comercial e de maquinário agrícola, com fácil operação e eficiência. Suas emissões poluentes e os efeitos indesejáveis da queima deste combustível na geração de energia preocupam e atrasam o desenvolvimento sustentável, iniciando a urgente conscientização e aplicação de novas tecnologias e matérias prima renováveis.

Com isso, pesquisadores, políticos e ambientalistas despertaram para a emergência na geração de combustíveis substitutos do óleo diesel, inteira ou parcialmente, com propriedades similares e menos poluentes.

Uma alternativa é a biomassa, que engloba toda energia que tem como matéria prima uma base animal ou vegetal, tais como insumos/resíduos agrícolas, óleos vegetais, resíduos industriais, entre outros, e já é a quarta maior fonte de energia no mundo. A alternativa é a bioenergia, em especial o combustível verde ou biocombustível, o chamado biodiesel.

O biodiesel é um combustível a base de óleo vegetal ou animal, comumente oriundo de plantas oleaginosas como soja, girassol, dendê (palma), mamona, etc., com grande potencial nacional de produção, podendo ser largamente utilizado no Brasil, pois a matriz energética brasileira é dependente do óleo diesel.

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME), do total de energia consumida no Brasil, 17% são geradas pelo óleo diesel. O consumo no Brasil pode ser dividido em três grandes setores: o de transportes, representando mais de 75% do total consumido; o agropecuário, representando cerca de 16% do consumo; e o de transformação, que utiliza o produto na geração de energia elétrica e corresponde à cerca de 5% do consumo total de diesel. No período de dez anos, entre 1994 e 2004, o consumo de energia aumentou a uma

média de 3% ao ano. A Tabela I mostra a evolução da porcentagem de participação do diesel no consumo de energia no Brasil.

Tabela I – Variação da proporção de produtos fósseis e não fósseis na energia total consumida no Brasil.

Combustível		1994	1999	2004
Fóssil	%	45,5	48,8	43,3
Diesel	%	16,7	17,1	17,1
Outros	%	28,8	31,7	26,2
Não Fóssil	%	54,5	51,2	56,7
Energia Total Consumida	10 ⁶ ℓ	142.688	170.482	191.128

Fonte: ANP. 2005.

Para o Brasil, é muito importante assegurar esta fonte de energia e manter um fornecimento estável, com diretrizes ambientais importantes para o crescimento nacional.

O Governo Federal está investindo em projetos como o Programa de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), iniciado em dezembro de 2004. Um dos incentivos foi a meta de substituição de biodiesel em 2% de todo diesel produzido pelo país, até o ano de 2008.

Essa interação da tecnologia, meio ambiente e sociedade com seus múltiplos interesses e objetivos, pode resultar em impactos não intencionais, indiretos e de prazo mais longo (RODRIGUES; CAMPANHOLA; KITAMURA, 2002). Esse crescimento exige investimentos em pesquisa e tecnologia na avaliação dos impactos ambientais causados pelo progresso contínuo com desenvolvimento sustentável.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que vem ganhado força para análise de sistemas produtivos, em particular no âmbito deste estudo, e no setor da agroindústria. O desenvolvimento desta técnica se deve ao fato de que todas as atividades humanas e, conseqüentemente, seus impactos podem ser relacionados à satisfação de determinadas necessidades por meio de produtos materiais ou não materiais (XAVIER, 2003).

A ACV é definida como uma técnica para determinar os potenciais impactos associados a um produto pela compilação de um inventário das intervenções relevantes em todo o seu ciclo de vida, desde a retirada das matérias primas necessárias à sua produção até sua deposição final no meio ambiente. Portanto, essa técnica possibilita considerar todos os processos que contribuem para o produto final (WEIDEMA; MEEUSEN, 2000).

O objeto de estudo neste trabalho é o processo de produção de biodiesel à base de óleo de soja e a utilização deste como combustível em motores de combustão interna, comparando com a produção e queima do diesel oriundo do petróleo, ressaltando as consequências ambientais relacionadas à liberação e consumo de CO₂ nos dois experimentos e os principais fluxos mássicos e de energia em todo ciclo de vida dos combustíveis.

A questão que se põe é: A substituição do óleo diesel pelo biodiesel à base de óleo de soja, analisando todo seu ciclo de vida, é realmente favorável energeticamente e ambientalmente?

A hipótese deste trabalho é de que a questão do modelo agrícola de exploração baseado na utilização intensiva de insumos químicos (adubos, agrotóxicos, fertilizantes, etc.) e a mecanização com engenharias diesel influencia negativamente o desempenho ambiental e energético do biodiesel. Acredita-se que o processo de produção e utilização de biodiesel à base de soja resulta em um índice de liberação de carbono (CO₂ eq.) e um consumo de energia bastante altos, mas ainda satisfatórios comparados ao ciclo do óleo fóssil, pois o cultivo da oleaginosa requer absorção desse carbono, e a energia contida na biomassa é parte significativa do balanço no ciclo.

Para confirmar ou rejeitar esta hipótese a pesquisa deve, portanto, ser realizada no âmbito das unidades de produção e conjugando procedimentos e ferramentas metodológicas.

O trabalho não entra nos méritos sociais e econômicos dessa substituição. A comparação é exclusivamente energética, associando os resultados ao potencial impacto ambiental no aquecimento global. A expectativa da inclusão social e econômica que os programas nacionais de desenvolvimento na produção e utilização de biodiesel abrangem, para as populações interioranas beneficiadas pela produção de oleaginosas (mamona e dendê) para

obtenção de óleos vegetais, é um fator somente comentado neste trabalho, sem maior aprofundamento.

Este trabalho de dissertação tem por objetivo analisar o ciclo de vida do carbono na produção e na utilização de biodiesel em motores de combustão interna comparando com o ciclo do carbono na utilização do óleo diesel, focando sua repercussão ambiental e o balanço energético no sistema.

Para isso foram realizadas as seguintes etapas:

1. Caracterização da oleaginosa em questão (soja).
2. Caracterização da área de estudo da produção de soja.
3. Caracterização do sistema de produção da soja.
4. Caracterização da conversão do óleo bruto de soja em biodiesel.
5. Caracterização da queima do biodiesel.
6. Comparação energética entre os resultados das ACVs realizadas.
7. Avaliação do ciclo de vida do carbono para a queima do biodiesel.
8. Avaliação do ciclo de vida do carbono para a queima de diesel.
9. Impactos ambientais gerados pelos resultados apresentados.

Esta dissertação está dividida em quatro capítulos. No primeiro, apresentam-se e discutem – se os principais conceitos envolvidos na dissertação e a evolução dos conhecimentos científicos, estado da arte sobre o tema estudado, isto é, o interesse pelo tema e a evolução nacional e mundial nessa linha de produção; a história, as características, e os possíveis processos de produção dos combustíveis; as principais matérias – prima e suas aplicações; além de resultados bibliográficos de experimentos atuais. No segundo, é apresentada a aplicação da ACV para análise da cadeia energética e os impactos ambientais em geral e especificamente para este tema. No terceiro, a aplicação do método de avaliação de ciclo de vida a sistemas agrícolas propriamente dita é reportada, a ACV do biodiesel, com uma descrição detalhada dos processos envolvidos, com os passos, métodos e ferramentas metodológicas utilizadas. No quarto, apresentam-se os resultados obtidos no estudo, considerando a hipótese colocada e as discussões quanto ao tema, com conclusões e sugestões sobre o trabalho.

1. REFERENCIAL CONCEITUAL

Neste capítulo são discutidos os principais conceitos envolvidos nesta dissertação. Primeiramente, são analisadas as propriedades do óleo diesel, sua utilização e repercussão ambiental juntamente com o biodiesel, suas características, as opiniões e dados de pesquisadores diversos, focando a participação do carbono na composição. Expõem – se o biodiesel no mundo e no Brasil, com políticas nacionais para o biodiesel e as possibilidades de crescimento com as novas tecnologias para o desenvolvimento limpo.

1.1 CARACTERIZAÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS ANALISADOS

1.1.1 Óleo diesel

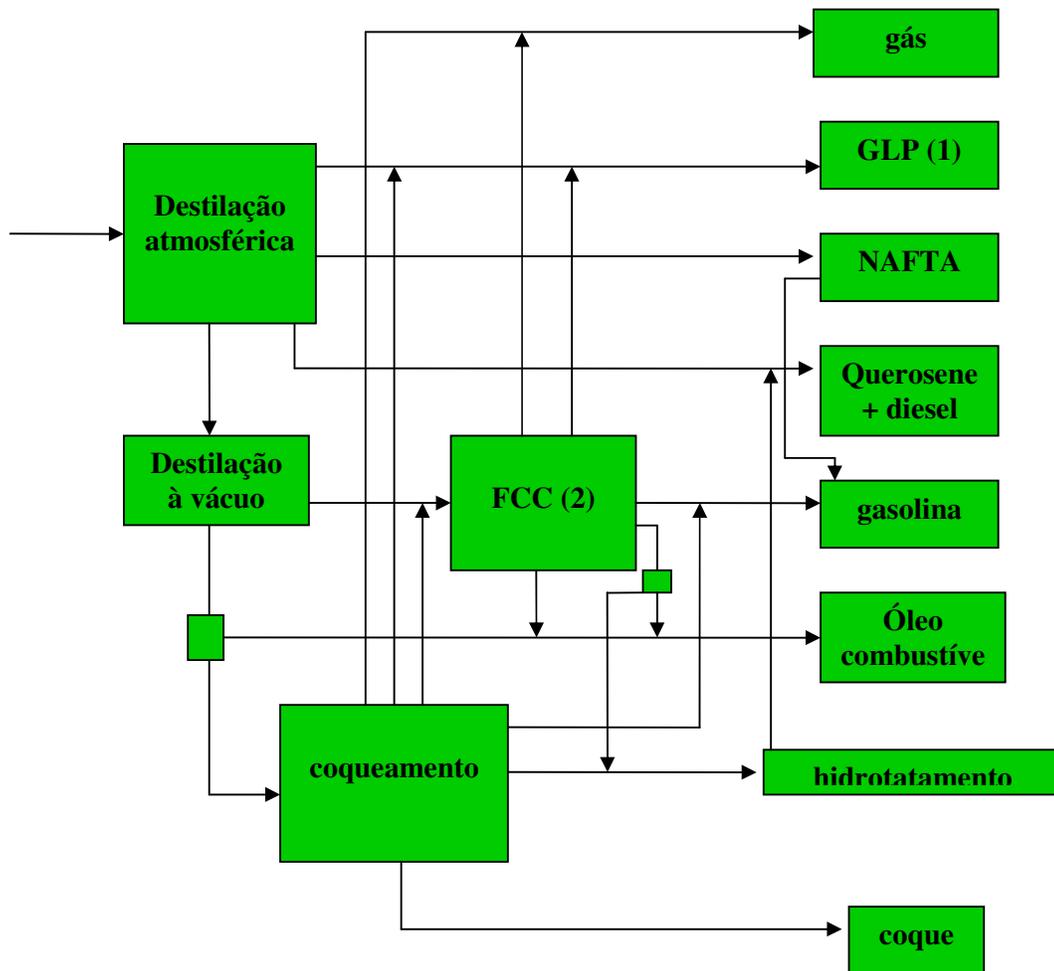
O óleo diesel ou gasóleo é um combustível derivado do petróleo, constituído basicamente por hidrocarbonetos, composto formado principalmente por átomos de carbono, hidrogênio e concentrações de enxofre, nitrogênio e oxigênio, com características e cuidados diferenciados de acordo com o tipo de aplicação. A fórmula molecular do óleo diesel é $C_{16}H_{34}$.

O óleo diesel é um produto inflamável, tóxico, volátil, límpido, isento de material em suspensão e com odor forte e característico. O produto recebeu este nome em homenagem ao criador do motor diesel, o engenheiro alemão Rudolf Diesel. Após sua morte, a indústria do petróleo criou um tipo de óleo que denominou de "Óleo Diesel" que, por ser mais barato que os demais combustíveis, passou a ser largamente utilizado (BIODIESELBR, 2006).

O óleo diesel é utilizado em motores de combustão interna e ignição por compressão (motores do ciclo diesel) empregados nas mais diversas aplicações, tais como: automóveis, furgões, ônibus, caminhões, pequenas embarcações marítimas, máquinas de grande porte, locomotivas, navios e aplicações estacionárias (geradores elétricos, por exemplo).

A produção de óleo diesel acontece à partir do refino do petróleo. Pelo processo inicial de destilação atmosférica, obtém – se, entre outras, as frações denominadas de óleo diesel leve

e pesado. A elas podem ser agregadas outras frações como a nafta, o querosene e o gasóleo leve destilado à vácuo, resultando no produto conhecido como óleo diesel (PETROBRÁS, 2004 in KUCEK, 2004). A Figura 1.1 mostra o esquema de produção dos principais derivados do petróleo, incluindo o óleo diesel.



(1) GLP = Gás Liquefeito de Petróleo

(2) FCC = Craqueamento catalítico em leito fluidizado

Figura 1.1 – Esquema de obtenção dos principais derivados do petróleo.

Fonte: ANP, 2006.

A demanda global de derivados de petróleo pelo mercado consumidor é que define quantitativamente a incorporação das frações e de outras obtidas por outros processos de refinação no combustível.

1.1.2 Biodiesel

Uma fonte de bioenergia que atrai a atenção de governos e pesquisadores de todo o mundo, inclusive no Brasil, são os biocombustíveis, óleos vegetais transesterificados utilizando álcool de cadeia curta, etanol ou metanol, para a substituição ou adição ao tradicional óleo diesel.

A composição do biodiesel é, em média, 77% de carbono, 12% de hidrogênio e 11% de oxigênio.

Para identificar a concentração de biodiesel na mistura com óleo diesel é comum a utilização de uma nomenclatura específica, definida como BX, onde X refere-se à percentagem em volume do biodiesel. Assim, B5, B20 e B100 referem-se, respectivamente, aos combustíveis com uma concentração de 5%, 20% e 100% de biodiesel (puro).

1.2 DADOS DA LITERATURA E ASPECTOS TÉCNICOS SOBRE BIODIESEL

Existe atualmente uma série de pesquisas e testes voltados à utilização de biodiesel. Muitos estudos de desempenho e emissões em motores de ignição de compressão, abastecidos com biodiesel puro ou em mistura com óleo diesel, foram executados e são relatados na literatura. Destacam-se a seguir algumas dessas iniciativas.

Rudolph Diesel, o Pai da engenharia a diesel, demonstrou o primeiro uso de óleos vegetais na combustão. Ele utilizou óleo de amendoim como combustível no motor que leva seu nome em Paris, França, em 1898 na Feira Mundial, quando apresentou sua experiência (RAMADHAS; MURALLEDHARAN; JAYARA, 2005). Entre 1911 e 1912, Rudolph Diesel afirmou que o motor a diesel pode ser alimentado por óleos vegetais e que o combustível se tornaria tão importante quanto o petróleo e o carvão da época (BIODIESELBR, 2006).

Christopher (1997) apud Ramadhas, Muralledharan e Jayara (2005) conduziu alguns testes em Chicago (USA) usando biodiesel como alternativa de combustível em motores de combustão interna. Foi uma investigação exploradora para determinar o efeito do

combustível no desempenho e infra-estrutura desse tipo de engenharia. Estes testes provaram que o biodiesel pode ser facilmente usado como uma alternativa renovável de combustíveis (MEIRELLES, 2005).

O uso de biodiesel em motores de combustão interna foi avaliado por diversos autores (BEER et al. 2002; BERNESSON; NILSSON; HANSSON, 2004; CARDONE et al. 2003; FRAGOMENI, 2004; CARRARETTO et al. 2004; MATTSON; CEDERGERG; BLIX, 2000; MDIC, 2006; MONYEM; GERPEN, 2002; OLIVEIRA; COSTA, 2003; PETERSON; HUSTRUUD, 1998; RAMADHAS; MURALLEDHARAN; JAYARA, 2005, RAMOS et al. 2003; TAN; CULABA; PURVIS, 2004; SHEEHAN et al., 1998), com conclusões semelhantes e ressaltando os mesmos problemas e sugestões. A presença de oxigênio no biodiesel conduz a processos mais completos da combustão, tendo por resultado emissões mais baixas de monóxido de carbono (CO). Ressaltam um inconveniente importante do biodiesel que é a deterioração das propriedades do lubrificante: por seu ponto de ebulição elevado, o biodiesel que flui no cárter dilui o lubrificante progressivamente, modificando suas propriedades de aditivo. Desde que o biodiesel tem características detergentes, isso pode ocasionar lama no tanque de combustível por suspensão, que pode obstruir o sistema de injeção de combustível, obstrução nos filtros de óleo e bicos injetores e diluição parcial do combustível no lubrificante. Além disso, o biodiesel não é compatível com alguns materiais plásticos usados nas tubulações e nos selos, que devem ser mudados. As investigações foram realizadas por autores usando misturas diferentes do biodiesel com o óleo diesel (B100, B80, B70, B50, B30, B20 e diesel puro).

Fragomeni (2004) mostrou que para uma operação ótima deve-se avançar em alguns graus o ponto de injeção de combustível e aumentar a temperatura de funcionamento do motor em 10°C. Afirma também que o biodiesel em seus ensaios emitiu cerca e 30% a menos de gases nocivos na atmosfera.

Monyem e Gerpen (2001) mostram que a eficiência térmica do biodiesel e suas misturas são a mesma que para o óleo diesel. Isto indica que a habilidade do motor para converter a energia química em energia mecânica é a mesmo para todos os combustíveis. Além disso,

afirma que todo o combustível diesel tem alto *flash point*¹ (mínimo de 54°C e típico de 71°C) e do B100 é geralmente mais alto que 93°C (MONYEM; GERPEN, 2002). Então, uma pequena porcentagem de biodiesel adicionado com diesel pode definitivamente aumentar o *flash point* da mistura resultante, tornando esse combustível mais seguro para estoque e transporte comparado ao diesel puro.

Por Carrareto et al. (2004), o aumento da porcentagem do biodiesel na mistura envolve uma diminuição ligeira da potência e do torque sobre toda a escala de velocidade, com biodiesel puro há uma redução de aproximadamente 3% da potência máxima e aproximadamente 5% do torque máximo. Além disso, com B100, o torque máximo é alcançado em uma velocidade mais elevada. A experiência de Carrareto et al. (2004) afirma que o uso do biodiesel em caldeiras é um tanto popular, mas com pesquisas limitadas ainda nesta área. As experiências de campo e seus trabalhos de comparação entre o desempenho do diesel e do biodiesel, concordam que usar o biodiesel em queimadores adaptados envolve menos emissão poluente e acúmulo de sujeira, não mostrando qualquer problema particular. O fato de minimizar o acúmulo de resíduos possibilitou um aumento na eficiência do combustor, também consequência da baixa temperatura dos gases de exaustão, mas as emissões médias, para a queima de biodiesel e diesel respectivamente, do CO (2,5 ppm e 1,33 ppm) e CO₂ (12,27% e 12,02%) foram similares para as duas caldeiras. Por esta razão o biodiesel pode ser considerado uma alternativa viável em caldeiras, especialmente em lugares onde não há gás natural disponível ou quando converter as caldeiras for um processo difícil ou muito caro.

Estudos da Petrobrás também indicaram alterações na potência dos motores: uma redução de 4% na potência de um motor de quatro cilindros com a utilização do biodiesel. Este fato pôde ser relacionado a um aumento da velocidade da chama observada com biodiesel. E afirma, entretanto, que reduzindo o ângulo de ataque de injeção, é possível aperfeiçoar a combustão, com potência e torque de injeção maiores. Além disso, os estudos foram realizados com biodiesel produzido a partir de álcool metílico, que apresenta baixo rendimento.

¹ *Flash point* ou ponto de fulgor é a temperatura mínima que torna a mistura combustível e ar inflamável, ou seja, a temperatura mínima de ignição do combustível no ar.

Alguns autores (RAMADHAS; MURALLEDHARAN; JAYARA, 2005; GOODRUM, 2002) demonstraram a alta viscosidade e baixa volatilidade de óleos vegetais. Esses parâmetros afetam as propriedades de escoamento do combustível. Viscosidades mais altas têm efeitos diversos na combustão de engenharias diesel existentes. Após longos períodos apresentam problemas de depósito de carbono por combustão incompleta, diminuição na eficiência lubrificante devido à ocorrência de polimerização e a atomização ineficiente e/ou entupimento de sistema de injeção.

A Volkswagen e a DaimlerChrysler encomendaram um estudo para a PE European GMBH (BAITZ et al. 2004), quanto à substituição do óleo diesel convencional por biodiesel, produzido da gaseificação de resíduos, que afirma a eficiência do processo em 64% com substituição na razão de 2,2:1, reduzindo o potencial aquecimento global em 91% futuramente.

Choi (1997) conduziu testes com biodiesel misturado com diesel em concentrações de 20 e 40% de volume em uma engenharia de cilindro simples caterpillar, usando tanto uma como múltiplas estratégias de injeção. Em altas rotações usando injeção simples, houve um decréscimo nas emissões de CO e seus particulados. Um estreito crescimento no índice de NO_x foi observado com o aumento da concentração de biodiesel. Mas no caso de múltiplas injeções, decaem as emissões particuladas com pequeno ou nenhum efeito em NO_x.

De acordo com Ramadhas, Muralledharan e Jayara (2005), os ésteres metílicos à base de óleo de semente de borracha podem ser utilizados com sucesso em engenharias diesel sem modificações.

Alguns aspectos do combustível, como a aparência, a cor e a limpidez não influenciam o desempenho do combustível, porém, auxiliam na avaliação de sua contaminação por óleos residuais, água ou partículas sólidas, ou seja, servem para indicar a uniformidade e a isenção de impurezas grosseiras nos combustíveis (PASSOS, 2004).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (MAPA) juntamente com o Banco de Cooperação Internacional do Japão (JBIC), em 2006, realizaram um estudo sobre biocombustíveis no Brasil que reporta alguns problemas causados pela utilização de biodiesel em motores diesel, como pode – se observar na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Problemas no processo de produção e uso de biodiesel

Problemas no Processo de Produção e Uso de Biodiesel		
Característica	Efeito	Problema
Metanol livre	Corrosão do alumínio e zinco	Danificação da peça
H ₂ O livre e dissolvido	Transformação do biodiesel em gordura, corrosão, contaminação por microorganismos.	Entupimento do filtro, danificação / travamento da peça.
Glicerina livre	Corrosão de metais não ferrosos, adesão de sedimentos nas partes móveis, absorção por parte das fibras da celulose.	Entupimento do filtro, danificação da peça e adesão de sedimentos.
Características Físicas e Químicas do Combustível		
Característica	Efeito	Problema
Constituição química do éster	Efeito sobre borrachas e plásticos	Vazamento de combustível
Alta viscosidade	Elevação da pressão de injeção	Redução da longevidade da peça
Alta viscosidade em baixas temperaturas	Elevação parcial da temperatura, aumento da carga sobre a peça e necessário aquecimento no inverno.	Travamento da bomba de injeção e insuficiente pulverização
Poder de combustão	Redução de potência	Não apresenta defeito, mas ocorre mau funcionamento
Instável à Deterioração e Oxidação		
Características	Efeito	Problema
Elementos ácidos corrosivos como ácido fórmico e ácido acético	Corrosão de metais	Corrosão e deterioração
Polímeros	Sedimentação de matéria	Entupimento de filtro

Fonte: MAPA; JBIC, 2006.

Então, em consenso, o biodiesel não é considerado uma substância inflamável, é biodegradável e não-tóxico, com transporte, armazenamento e manuseio mais seguros se

comparados com o diesel, além de emitir pela queima em motores de combustão interna uma quantidade menor de gases indesejáveis e emissões de carbono, com efeitos indesejáveis ainda ocorrentes com sua utilização em estruturas de engenharia diesel.

Com a conclusão de que o biodiesel é um combustível seguramente potencial como substituto do óleo diesel, resta otimizar sua produção e utilização investigando minuciosamente suas propriedades e diversas etapas do seu ciclo de vida. Pesquisas em diversas áreas como econômica, química, energética, ambiental e agrícola estão envolvidas para isso. Cita – se alguns trabalhos nacionais sobre o assunto.

Em Oliveira e Costa (2002) fez – se um levantamento sobre o biodiesel como uma alternativa ao desenvolvimento sustentável com relevância econômica, social e ambiental e conclui – se que é um combustível sustentável, capaz de auxiliar efetivamente e a curto prazo na obtenção de um transporte sustentável.

Lucena (2004) mostrou em seu trabalho sobre a matriz energética brasileira do biodiesel os aspectos econômicos da produção e utilização do combustível no Brasil e concluiu ser uma alternativa favorável e com boas perspectivas.

O estudo de Bilich e DaSilva (2006) realizou uma análise do potencial brasileiro para a produção de biodiesel e concluiu que a soja apresenta melhor resultado com base nos critérios investigados sobre o dendê, a canola, a mamona e o amendoim.

Passos (2004) realizou um estudo de sustentabilidade do biodiesel focado na análise exergética e emergética do combustível e metodologia integrada de análise ambiental, obtendo indicador de sustentabilidade para o sistema produtivo do éster etílico de soja de 12%.

O trabalho de Kucek (2004) para a otimização do processo de transesterificação etílica do óleo de soja em meio alcalino apresentou resultados de alto rendimento do processo, sob condições menos drásticas e de mais fácil condição operacional que o usual, permitindo a obtenção de biodiesel de qualidade e com especificações nacionais utilizando etanol na proporção de 12:1 e hidróxido de sódio em 0,3% .

Ferrari, Oliveira e Scabio (2005), num trabalho sobre o biodiesel de soja, investigando a taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico química e o consumo do combustível em gerador de energia, afirmou que o processo de obtenção de biodiesel a partir do óleo neutro de soja adotado neste trabalho promove uma conversão de 97,5% do óleo em ésteres etílicos, através de processo simples e rápido e que quando testado em gerador de energia elétrica em mistura com óleo diesel comercial numa proporção de até 20% de biodiesel, apresentou uma diminuição do consumo do combustível.

A relevância deste trabalho está na atualidade do tema e na necessidade de uma avaliação do ciclo de vida do biodiesel à partir do óleo de soja utilizando etanol proveniente da cana de açúcar, com dados da produção agrícola nacional (incluindo a utilização de insumos químicos e mecanização), realizando o balanço energético e quantificação do potencial aquecimento global pelo balanço de CO₂ equivalente abrangendo todo o ciclo.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DE OLEAGINOSAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

O Brasil tem o maior potencial do mundo para a produção de oleaginosas. Estudos divulgados pela *National Biodiesel Board*, dos Estados Unidos, afirmam que o Brasil tem condições de liderar a produção mundial de biodiesel, promovendo a substituição de 60% da demanda mundial de óleo diesel mineral (CAMARA DOS DEPUTADOS, 2003, CARVALHO, 2006, DOMINGOS, 2003, LUCENA, 2004, MAPA; JBIC; 2006, MEIRELLES, 2005, NAPPO, 2006, RAMOS; KUCEK; SOUZA, 2005). Essa “agricultura de energia” pode possibilitar a produção de matérias primas atualmente sem expressão comercial, como a mamona.

Com território que abrange meios climáticos variados e solo produtivo, diversas variedades de plantas extrativas de óleo vegetal são cultivadas no país, dentre elas: soja, mamona, algodão, girassol, babaçu, dendê, canola, amendoim, etc. (MEIRELLES, 2005). As principais culturas produzidas no Brasil e as regiões onde são mais cultivadas podem ser observadas na Figura 1.2.

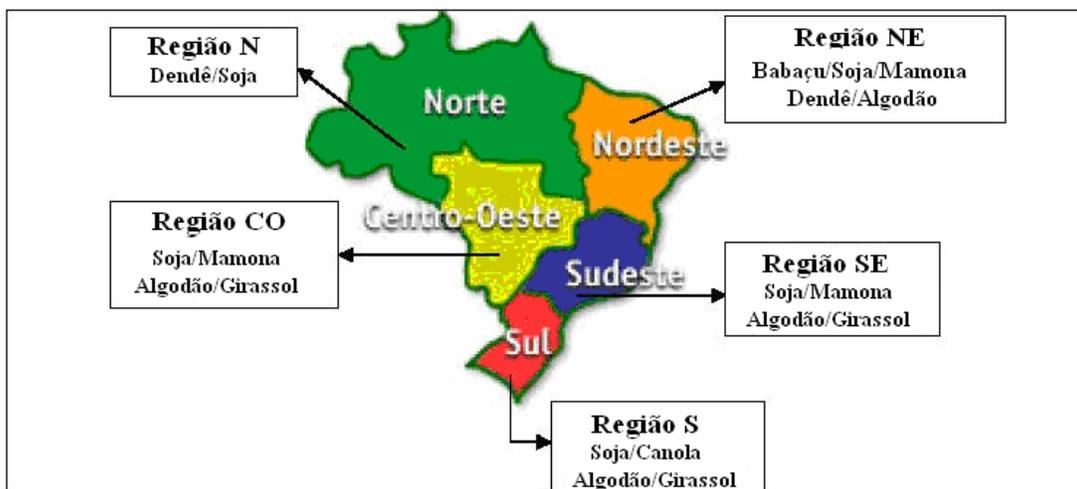


Figura 1.2 – Produção de Oleaginosas no Brasil

Fonte: Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais/Adaptado pelo Departamento Econômico da FAESP in MEIRELLES (2005).

1.3.1 Mamona

A mamona, *Ricinus communis*, também conhecida como carrapateira ou rícino, é uma planta de origem afro-asiática (MAPA; JBIC, 2006). O óleo é o mais importante constituinte da semente de mamona, com a propriedade exclusiva de solubilidade em álcool. Além disso, é estável em variadas condições de pressão e temperatura e contém em torno de 47% de óleo (PERES; FREITAS JR; GAZZONI, 2005).

Na década de 1990, o Brasil foi o maior produtor mundial de baga e óleo de mamona, seguido pela Índia. A produtividade obtida nas zonas de produção existentes atualmente é de cerca de 0,6 toneladas/ha, e a sua rentabilidade, lucros pela produção, é irrisória. Para promover o cultivo da mamona, a partir de agora será preciso ao menos que se preste assistência técnica aos produtores para que eles possam projetar seu volume de colheita e introduzir variedades que possibilitem uma maior produtividade por hectare ((MAPA; JBIC, 2006).

Um problema é que o óleo de mamona, devido à sua densidade, se separa dos outros óleos causando dificuldades em produzir biodiesel por meio de misturas. Por esse motivo, geralmente ele é utilizado sozinho. É possível que o óleo de mamona seja misturado com outros óleos vegetais se a margem de mistura for de até 10% (MAPA; JBIC, 2006).

1.3.2 Amendoim

O amendoim, *Arachis hypogaea*, possui cerca de 50% de óleo na amêndoa e já se constituiu em importante fonte de óleo comestível, antes de ser substituído pela soja. Igualmente, no início da década de 1980, foram realizados estudos no País, utilizando o óleo de amendoim em substituição ao óleo diesel, com grande sucesso (PERES; FREITAS JR; GAZZONI, 2005).

A principal região produtora é o Sudeste, principalmente no Estado de São Paulo, onde o amendoim é cultivado em áreas de renovação de canaviais. No Nordeste, a renovação dos canaviais não é feita usando culturas, o que descortina a possibilidade de incorporar 200 mil hectares por ano à cultura do amendoim. Considerando a produtividade média brasileira, seria possível obter cerca de 200 milhões de litros de óleo vegetal de amendoim por ano, que poderiam ser destinados para a produção de biodiesel. Esse volume produzido na renovação dos canaviais representaria 3,7% do consumo regional. Outra possibilidade de crescimento é a sua utilização em consórcio com a mamona, podendo quase duplicar a produção de óleo por hectare. O amendoim é um produto de baixa estabilidade no país e por isso não há grandes investimentos (PERES; FREITAS JR; GAZZONI, 2005).

1.3.3 Girassol

A cultura do girassol, *Helianthus annuus*, apesar de ter sido introduzida no Brasil no período da colonização, nunca ocupou lugar de destaque na economia nacional, até a década de 1990. Sempre foi vista como cultura de pouca expressão econômica apesar da existência de algumas áreas significantes na década de 1980, cultivadas por empresas de sementes e de óleo. As condições climáticas do Brasil são favoráveis ao cultivo de girassol e seu custo de produção, comparado com outros produtos, é baixo. O girassol é produzido principalmente nos estados da região Centro-Oeste, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul, ocupando uma área aproximada de 520.000 ha (MAPA, 2006). O óleo extraído do girassol é de excelente qualidade. No processo de esmagamento, dependendo da variedade utilizada, o percentual de óleo obtido está em torno de 42% (QUEIROZ, 2006). O óleo comestível é o carro chefe desta oleaginosa, com pouca expressão na produção brasileira de biocombustível.

1.3.4 Dendê

O dendê, *Elaeis guineensis*, é uma palmeira de origem africana que chegou ao Brasil no século XVI. É uma cultura permanente com produção contínua ao longo do ano, sem problemas de sazonalidade e pode ser plantado em áreas alteradas, possibilitando um perfeito recobrimento dessas áreas quando adulto e, na fase jovem, pode ser associado a leguminosas de cobertura de solo, inserindo a produção no cenário do desenvolvimento sustentável (SUFRAMA, 2003).

O Brasil é atualmente o terceiro produtor de óleo de dendê da América Latina, onde se destacam a Colômbia, em primeiro, e o Equador, em segundo lugar. A participação do Brasil na produção mundial de óleo de dendê tem sido de apenas 0,53% (PERES; FREITAS JR; GAZZONI, 2005). O Amazonas é o estado que possui a maior área potencial para o plantio do dendê com cerca de 50 milhões de hectares, 71,4% da disponibilidade (SUFRAMA, 2003), e onde se priorizou a cultura do dendezeiro como fonte geradora de matéria prima para o desenvolvimento do Programa Biodiesel, em razão dos inúmeros aspectos benéficos que a dendeicultura promove.

A implantação do Probioamazon, programa inserido no Programa Brasileiro de Biocombustíveis – Rede Nacional de Biodiesel, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia, permitirá potencializar a produção de biomassa energética e, ao mesmo tempo, implantar um amplo programa de geração de emprego e renda para melhorar a qualidade de vida da população que vive nesta região (EMBRAPA, 2000).

A produção do óleo de dendê exige longos tempos para colheita, mínimo de 3 anos, necessidade de extração do óleo dentro de 24 horas após sua colheita e a mecanização de colheita bastante difícil (SUFRAMA, 2003, MAPA; JBIC, 2006), aspecto questionável dessa cultura para uma produção industrial mas que favorece a geração de empregos locais.

1.3.5 Soja

A soja, *Glycine Max*, tornou-se a mais importante oleaginosa em produção sob cultivo intensivo, consumida no mundo todo com aplicações variadas. As dimensões do sistema agroindustrial (SAG) da soja no Brasil são consideráveis: é a única oleaginosa com escala

suficiente para a produção imediata de Biodiesel, uma vez que cerca de 90% da produção brasileira de óleo provém dessa leguminosa (MEIRELLES, 2005). A soja rende de 18 a 22% de seu peso seco como óleo (WEHRMANN, 2004).

Tabela 1.2 – Produção de Óleos Vegetais do Brasil.

Produção de Óleos Vegetais	Produção (mil ton)	Porcentagem
Soja	5354	76,3
Dendê	170	2,4
Mamona	56	0,8
Girassol	37	0,5
Sebos e Graxas	549	7,8
Total*	7022	100

*Inclui a produção das demais oleaginosas e gorduras animais.
Fonte: Oilworld 2006 in Kaltner (2007).

De acordo com dados oficiais da Embrapa, o Brasil tem um potencial de 90 milhões de hectares disponíveis em áreas degradadas e/ou não exploradas para a expansão da atual fronteira agrícola. Pela grandeza do mercado da soja no Brasil, a produção dessa oleaginosa é capaz de suprir a implementação de 5% de biodiesel como aditivo em toda frota nacional com apenas 3 milhões de hectares, ou 1,8 bilhão de litros de óleo, dados da ABIOVE por NAPPO (2006), culminando ainda na geração de 234 mil empregos diretos e indiretos.

1.3.5.1 Surgimento da Soja

A soja, originária da Ásia, ficou conhecida no Ocidente somente após as navegações do fim do século XV e início do XVI, pela expansão do comércio dos antigos impérios chineses (WEHRMANN, 2004).

Os EUA foram o primeiro país a investir na produção de soja e em 1919 foi constituída a American Soybean Association (ASA). Entre guerras e novas políticas, um verdadeiro complexo de atividades se desenvolveu em torno da cultura da soja, dependendo mundialmente dos EUA. Com as crises do mercado internacional de grãos na década dos anos 1970, novos produtores, como o Brasil, abriram espaço neste cenário. No ano de

1973, o peso crescente dos novos produtores (Brasil, Argentina, Paraguai) e a estratégia de importação dos países do leste europeu e da China criaram um novo período da soja mundial. A oleaginosa continuou em ascendência e hoje representa o principal produto de exportação do Brasil.

O Estado Nacional foi decisivo na expansão da soja no Brasil criando condições de taxaço, para produço de grãos e sobre o setor de esmagamento. Com investimentos em pesquisa para obter variedades mais produtivas e melhorias das práticas culturais, incremento na aplicaco de fertilizantes e melhor controle de doencas, insetos e pragas, o rendimento médio no Brasil evoluiu bastante.

As razões para o crescimento meteórico da produço de soja no país são diversas, como por exemplo (WEHRMANN, 2004):

- aumento da demanda de soja com aumento do preço internacional no início da década de 1970;
- políticas de negociaço entressafras norte-americana;
- adaptaço climática;
- rotaço de cultura com o trigo;
- aumento da capacidade de esmagamento;
- políticas econômicas para exportaço;
- e apoio à pesquisa e à assistência técnica.

A cultura da soja iniciou-se no Rio Grande do Sul e Paraná e se estendeu. A região chamada “em expansáo” é compreendida pelo Triângulo Mineiro, sul de Goiás, Mato Grosso do Sul, sul de Mato Grosso, oeste da Bahia, Brasil Central (Distrito Federal e região, como parte do Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal, PAD-DF) e sul do Maranhão e a chamada “região potencial”, o norte do Mato Grosso, norte de Goiás (Tocantins), Rondônia, nordeste do Maranhão e Piauí, ou seja, a oleaginosa pode ser cultivada em quase todo país (WEHRMANN, 2004).

Brasil e Argentina são, hoje, os maiores exportadores mundiais de derivados de soja. Juntos respondem por mais de 50% das exportaço de farelo e óleo (WEHRMANN, 2004).

1.3.5.2 Plantio da Soja

O grau de utilização de insumos é um dos elementos que explicam a integração da sojicultura junto aos outros setores da economia, não somente pelas quantidades consumidas, como também pelo que esta integração representa em termos de dependência em relação ao setor fornecedor (financiador). Essa utilização é considerada importante indicador do índice tecnológico dos produtores (WEHRMANN, 2004).

A importância que vem adquirindo o consumo de fertilizantes e de herbicidas para a sojicultura está intrinsecamente ligada aos atuais padrões de produção, onde esses componentes estão ganhando cada vez mais espaço com a vulgarização das técnicas de plantio direto² (WEHRMANN, 2004).

A maioria dos estudos aponta significativas vantagens do sistema de plantio direto na palha em comparação com o sistema convencional. Além da diminuição dos custos de mecanização, ele dispensa de operações de gradagem e aração trazem vantagens como a não compactação do solo em virtude de menor trânsito de tratores pesados. Com a manutenção da palha sobre o solo e a conseqüente criação de condições para desenvolvimento e manutenção da fauna microbiana, as pesquisas constataram maior aeração do solo e melhor distribuição dos nutrientes, o que tem como resultado menor necessidade de adubação e calagem (ANSELMO FILHO; BADN, 1998).

Por Trigueirinho, ABIOVE (2005), os benefícios do plantio direto são: a diminuição de emissões de carbono, menor erosão e lixiviação, a redução no uso de óleo diesel, o melhor aproveitamento dos insumos, a maior retenção de água e a redução nos custos de produção.

Mas de acordo com Rosenberger et al. (2000), para uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), o consumo mínimo de pesticidas na plantação não resulta em baixas de energia devido ao alto consumo de óleo diesel que seria necessário para retirada de ervas daninhas,

² Plantio direto ou plantio direto na palha é um sistema de manejo do solo que consiste em se plantar os grãos sem revolvimento do solo, ou seja, sem preparo prévio desse solo, o que deixa a área coberta por restos das culturas anteriores (Wehrmann, 2004).

sem a utilização desses insumos, além da qualidade inferior do produto, ou seja, a utilização de insumos é indispensável à produção agrícola.

O custo médio de produção de soja é de R\$ 1.346,74/ha, sendo que aproximadamente 66% se destinam aos gastos com adubo, defensivos agrícolas e maquinarias e apenas 8% são custos despendidos com a mão de obra. A cultura de soja requer máquinas agrícolas de grande porte, é altamente mecanizada e, portanto absorve pouca mão-de-obra. Nesse contexto, a participação de pequenos produtores é bastante difícil (MAPA; JBIC, 2006).

As principais áreas brasileiras de produção de soja são latifúndios e metade dessas propriedades tem uma vegetação de cerrado, mas nesses locais, somente 4% das fazendas são maiores que 1000 ha.

No que concerne ao cerrado, a soja é semeada em outubro ou em novembro, quando a chuva é intensa e colhida em abril ou maio, ocasionando uma perda de 08 toneladas de solo por hectare ao ano. A compactação do solo, ou seja, redução de poros e conseqüente diminuição da oxigenação da terra é um problema corriqueiro do cerrado, devido ao uso de maquinário pesado e a média de utilização de fertilizantes por hectare é maior que na região tradicional de plantio de soja, Rio Grande do Sul e Paraná, devido à chuva intensa durante o verão austral, que faz com que os nutrientes e a pedra calcária afundem mais no solo (MATTSON; CEDERGERG; BLIX, 2000).

A Tabela 1.3 mostra o consumo de fertilizante por cada tonelada de soja colhida no Brasil nos dois últimos anos. Observa – se que a média mensal no consumo de insumo agrícola em 2006 é inferior a 2005 por todo ano, a quantidade de soja produzida com 1 tonelada de fertilizante aumentou.

Tabela 1.3 – Produção de soja para cada 1 ton de fertilizante.

Soja		Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média
(sc.	2005	21,2	21,3	18,8	18,7	19,0	18,9	19,0	18,5	19,2	19,7	20,3	20,8	19,6
60 kg)	2006	20,3	21,5	22,5	20,6	23,1	21,4	21,6	21,6

Fonte: IEA/ANDA in EMBRAPA; FUNDAÇÃO MERIDIONAL (2004).

A quantidade de fertilizante utilizada na soja retrata um novo cenário do país para o consumo de insumos, de que a produção agrícola pode estar investindo mais em maquinário, no aprimoramento de sementes e/ou em sistemas de irrigação por exemplo, pois a soja foi a cultura que mais consumiu fertilizantes no Brasil em 2005, com quantidade estimada em 7,5 milhões de toneladas de produto (37,1% do total) (FERREIRA; VEGRO, 2006).

O óleo de soja tem preços mais competitivos comparado a outros óleos como de girassol, milho, colza/canola, amendoim, algodão e arroz, portanto sua demanda é mais elevada. Uma parte da produção de soja não é processada, sendo exportada na forma de grãos. Internamente o óleo é refinado para óleo de cozinha e o subproduto mais importante, que é a torta de soja, é utilizado como ração (principalmente na avicultura e suinocultura).

1.4.5.3 Processo de tratamento da soja

O método de extração de óleo de soja se inicia com a limpeza dos grãos, para passar ao descasque, e à extratora. A extração de óleo vegetal pode se dar de 3 maneiras: por pressão mecânica, por solventes ou por uma combinação dos dois processos anteriores.

Boa parte das esmagadoras funciona com capacidade ociosa acima de 40%, iniciando em março e parando em setembro, período de escoamento da safra, quando cerca de 79% de toda a soja esmagada é processada. O restante processado nos outros meses pode originar-se de soja precoce no mês de fevereiro (4% a 5% do esmagamento total), e estoques (PAULA; FAVERET FILHO, 1998).

Por MAPA e JBIC (2006), a capacidade de extração de óleo de soja em todo o Brasil de 112.000 tonelada/dia, o que no caso do B2 seriam necessários 07 dias de produção e no caso do B5 de 22 dias de operação para fornecer a quantidade requerida para o biodiesel. Na Tabela 1.4 observa – se a evolução da capacidade esmagadora do Brasil nos últimos dez anos.

Tabela 1.4 – Capacidade esmagadora (t/dia) do país.

Capacidade esmagadora (ton/dia)			
Brasil	1996	2002	2005
	111.475	110.560	137.098

Fonte: ABIOVE (2005).

Além da necessidade de ampliar a capacidade esmagadora no Brasil, ressalta – se a falta de infra-estrutura no tocante ao transporte das áreas de produção de matérias – prima até as plantas extratoras de óleo, e destas, aos distribuidores de combustíveis. Ou seja, faz-se necessário estruturar toda a logística de transporte e distribuição, incluindo os armazéns e tanques de armazenagem, além do aprimoramento incessante da tecnologia de conversão do óleo in natura em biodiesel.

A cadeia de produção do biodiesel foi alocada em quadros de acordo com a seqüência participativa no processo de produção, observados na Figura 1.3.

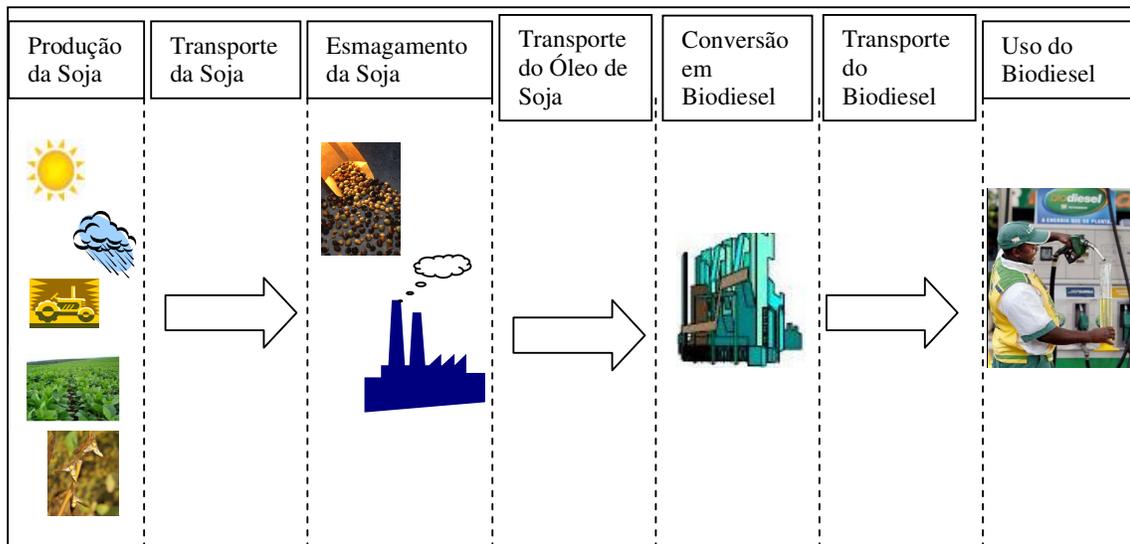


Figura 1.3 – Fluxo de produção e utilização do biodiesel.

Com o esmagamento da soja, o óleo in natura passa ao processo de conversão em biodiesel, para depois ser distribuído e utilizado na geração de energia.

1.5 PROCESSOS DE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE BIODIESEL

A conversão do óleo de soja em biodiesel pode ser realizada por dois processos distintos: a transesterificação e o craqueamento. E ainda pode ser utilizado como componente do novo combustível da Petrobrás, o H – Bio.

1.5.1 Transesterificação

O Biodiesel é uma alternativa de combustível com modificações químicas para uso em engenharias habitualmente a diesel que pode ser obtido através do processo de transesterificação entre qualquer triglicerídeo (óleos e gorduras animais ou vegetais), ou óleos de fritura residuais que normalmente são despejados nos esgotos, e álcool de cadeia curta, que pode ser de origem vegetal, rota etílica, ou mineral, como o metanol.

A transesterificação corresponde a uma reação reversível, cuja cinética é regida pelo princípio enunciado em 1888 pelo químico francês Henry Louis Le Chatelier (1850-1936), separação entre a glicerina e o óleo vegetal, e sua posterior substituição pelo álcool na cadeia (KUCEK, 2004).

O processo de transesterificação de óleos vegetais foi conduzido pela primeira vez em 1853, pelos cientistas E. Duffy e J. Patrick, muitos anos antes de o motor de ciclo diesel entrar em funcionamento (LUCENA, 2004). É definido como um reator realizando a reação química do óleo vegetal ou gordura animal com o álcool na presença de um catalisador (hidróxido de sódio ou de potássio), para remoção da glicerina, que aparece como subproduto. É necessário um volume de 10 a 15% de etanol ou metanol para a retirada da glicerina (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2003).

A glicerina é um subproduto do processo de fabricação do biodiesel. Com uma tonelada de óleo vegetal pode-se obter em torno de 100 kg de glicerina, que atualmente é utilizada na produção do sabão. Outros usos da glicerina são: farmacêutico (pasta de dente), cosméticos, alimento (bebida), tabaco, poliéster, mistura, resina, celofane, aumentando a competitividade do produto. Os principais países ou regiões consumidoras deste produto são os Estados Unidos (28%), Europa Ocidental (26%), Ásia sem o Japão (9%), Japão (7%), América Latina (5%) e outros (5%) (MAPA; JBIC, 2005).

Durante o processo, a glicerina ($C_3H_8O_3$) é removida, reduzindo a viscosidade do óleo. (RAMADHAS; MURALLEDHARAN; JAYARA, 2005).

De acordo com Ramadhas, Muralledharan e Jayara (2005), a transesterificação realça importantes propriedades de combustão do óleo vegetal em questões como gravidade, viscosidade, *flash point* e acidez.

A fonte de álcool preferencial é o etanol, produzido nacionalmente em larga escala, a partir da cana de açúcar e a custos altamente competitivos, de forma disseminada em todo território, além de inúmeras pesquisas e projetos já realizados sobre o combustível no país. enquanto o metanol, além de ser tóxico, necessita ser importado (MEIRELLES, 2005), e é mais suscetível à oxidação em curtos tempos de estocagem (RAMOS et al., 2003). Sob o ponto de vista ambiental, o uso do etanol também leva vantagem sobre o metanol, obtido de derivados do petróleo. No entanto é importante considerar que o metanol pode ser produzido a partir da biomassa.

O etanol, ou álcool etílico, é um álcool de cadeia curta, com grande expansividade no mercado mundial, que por ser utilizado na produção de biodiesel e também como substituto na gasolina e fórmula molecular: C_2H_5OH .

O problema da utilização do etanol é o seu grau de pureza, pois caso não seja de 99% ou mesmo 100% torna inviável a produção de biodiesel ou indispensável a sua purificação (destilação), ou seja, a utilização do álcool etílico restringe – se ao álcool anidro (até 1% de água) (BARBOZA; ALMEIDA,2006).

Um diagrama da reação de transesterificação pode ser observado na Figura 1.4.

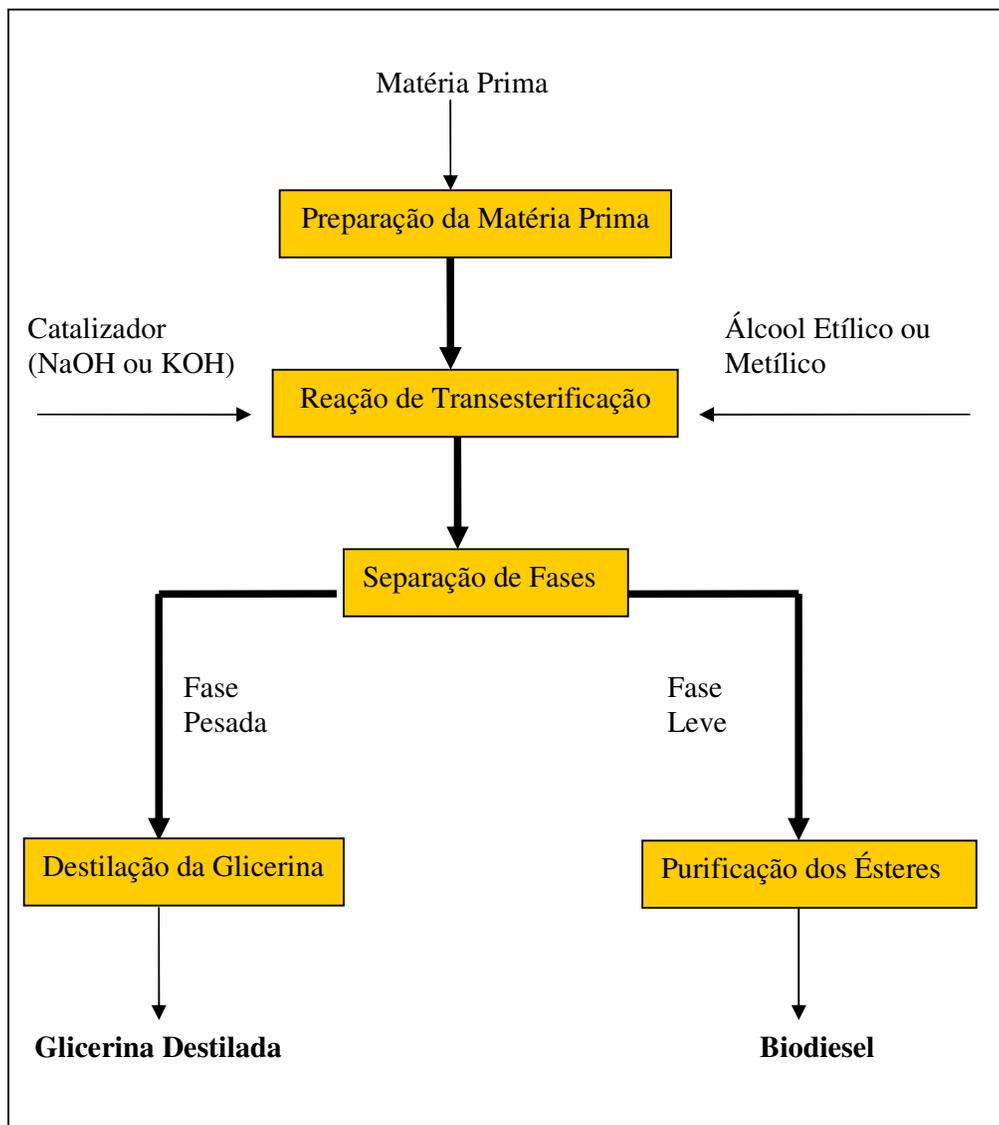


Figura 1.4 – Processo produtivo de biodiesel por transesterificação

Fonte: Câmara dos Deputados. 2003.

O rendimento da reação depende do deslocamento do equilíbrio químico em favor dos ésteres, otimização de fatores, tais como a temperatura de reação, concentração e caráter ácido – base do catalisador, bem como o excesso estequiométrico do agente de transesterificação (álcool) (KUCEK, 2004).

1.5.2 Processo de Craqueamento

A UnB vem pesquisando um mecanismo de fabricação de biodiesel em pequena escala pelo método de craqueamento com capacidade de produção de 30 l/dia a 200 l/dia. O

princípio básico é simples, e consta do aquecimento do óleo vegetal para aproveitar a diferença do ponto de ebulição de cada componente e separar o biodiesel, a gasolina, o diesel e o gás, onde um reator trabalhando a altas temperaturas promove a quebra das moléculas e um catalisador remove os compostos oxigenados corrosivos (MAPA; JBIC, 2005).

O craqueamento atualmente se encontra em fase de pesquisas e está sendo desenvolvido para atender pequenos produtores. Este método cumpriria um papel importante na região norte onde as populações se encontram dispersas em pequenos vilarejos, em zonas isoladas da Amazônia, onde não há fornecimento de energia elétrica. Existe muita expectativa quanto às possibilidades de se melhorar as condições de vida da região, com maiores possibilidades de se obter energia elétrica (MAPA; JBIC, 2006).

1.5.3 H – Bio

Outro método de obtenção de um combustível mais limpo para utilização em engenharias diesel é a produção de H – Bio, uma inovação da Petrobrás.

H – Bio é um combustível gerado a partir do refino de petróleo que utiliza óleo vegetal como matéria prima para obtenção de óleo diesel: hidrogenação de mistura diesel com óleo vegetal (BIODIESELBR, 2006).

A relação desse combustível com o biodiesel é a utilização de óleo vegetal, que têm sua produção como foco de ACV nesse trabalho. O biodiesel é óleo vegetal sem glicerina, enquanto o H – bio é diesel de petróleo hidrogenado com 10% de óleo vegetal. O processo de produção e o envolvimento dos dois combustíveis podem ser observados no esquema abaixo, Figura 1.5.

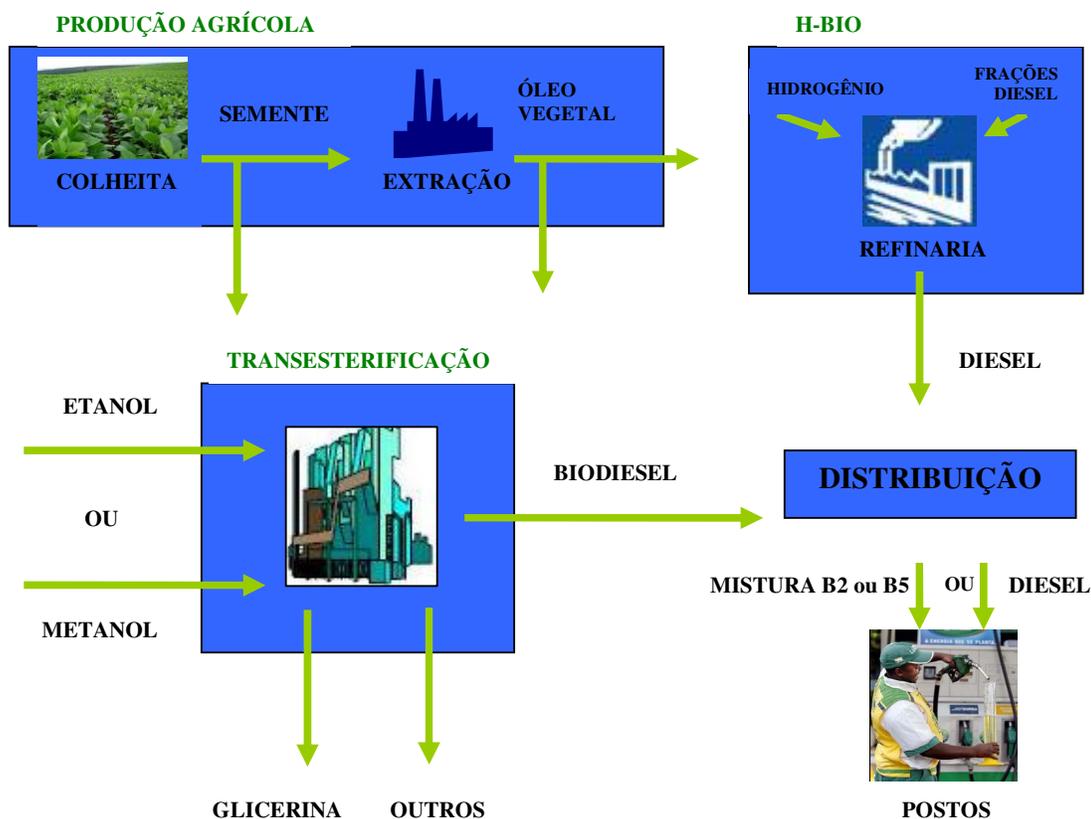


Figura 1.5 – Rota de Produção H – Bio e Biodiesel

Fonte: Biodieselbr. 2006.

Na rota H – Bio, o diesel sai da unidade de Destilação e segue para a unidade de Hidrodessulfurização (HDS). Também vai para a HDS óleo leve (LCO), depois de passar pela unidade de Craqueamento (FCC). Nesta etapa que é inserido o óleo vegetal que segue com o diesel e o LCO para a HDS. O produto que sai é um diesel tratado, de alta qualidade e baixíssimos teores de enxofre. Depois são misturadas outras frações de derivados (que não precisam do processo de hidrotreatamento) para formar o diesel final, aquele que chegará às bombas para ser consumido. O derivado final é o diesel que conhecemos, com a mesma especificação e qualidade, não exigindo nenhuma adaptação de motores ou de sistemas de transporte e estocagem (PETROBRÁS, 2006).

Atualmente, foi realizado o teste industrial com óleo de soja em uma refinaria com confirmação da viabilidade do H – Bio e depositados os pedidos de patente pela Petrobrás. Os próximos passos serão a avaliação das condições para processamento nas demais refinarias, inclusive com óleos de outras matérias – prima, e análise da logística para o recebimento do óleo vegetal (BIODIESELBR, 2006).

Com a adição de 2% de biodiesel (B2) confirmada e B5 em andamento, a meta é gradualmente aumentar a porcentagem de biodiesel ao diesel até não precisarmos do H – Bio. A decisão da Petrobrás em adicionar óleo vegetal ao diesel, só contribui para o programa de biodiesel do governo e o biodiesel em geral. Contribui na medida em que os produtores têm um comprador a mais para suas oleaginosas, muito embora a Petrobras tenha sinalizado que por enquanto utilizará apenas óleo de soja (BIODIESELBR, 2006).

1.6 DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE BIODIESEL NO MUNDO

Em 2003, cerca de 85% da energia consumida no mundo foi obtida de combustíveis fósseis. Do total, 80% da energia foi consumida por cerca de dez países ricos. Apenas os Estados Unidos respondem por 25% da poluição atmosférica mundial, em virtude do intenso uso de energia fóssil. Estima-se que o conglomerado de países ex-comunistas, inclusive a Rússia, é responsável por outros 20% (PERES; FREITAS JR; GAZZONI, 2005).

Os países desenvolvidos são os maiores interessados em tecnologias limpas como a produção de biodiesel, pois precisam alcançar a meta estabelecida pelo Protocolo de Quioto, e estão investindo na chamada tecnologia verde com pesquisas, testes e políticas em biocombustíveis. O consumo europeu de biodiesel mais que dobrou no ano de 2000 (OLIVEIRA; COSTA, 2005).

A Alemanha é o maior país produtor e consumidor de biocombustível do mundo. A introdução do biodiesel no mercado alemão deu-se por meio da frota de táxis nas principais cidades. Esses veículos foram utilizados para promover o biodiesel no país, com a distribuição de folhetos explicativos sobre as características e vantagens do novo combustível. Outra estratégia foi a disponibilização de duas saídas numa mesma bomba de combustível, sendo uma para o óleo diesel de petróleo e outra, com selo verde.

Inicialmente, grande parte dos usuários misturava nas mais diversas proporções o biodiesel com o diesel comum, até ganhar confiança no novo produto, 12% mais barato e com várias vantagens ambientais. O preço médio do diesel mineral na Alemanha, em abril de 2002, era de € 0,84/litro, enquanto o do biodiesel era de € 0,73 /litro, ultrapassando a marca de 1.000.000 ton/ano de produção. A prática de um menor preço para o biodiesel explica-se pela completa isenção dos tributos em toda a cadeia produtiva desse produto (MEIRELLES, 2005). Os alemães têm 3% da demanda interna de energia substituída por energias renováveis, destas, 60% correspondem à biomassa (MAPA, 2006). Já existe uma frota significativa de veículos leves, coletivos e de carga, utilizando biodiesel puro, obtido a partir de plantações específicas para fins energéticos. Oferecido em cerca de 1900 postos espalhados por todo território alemão, responsável por 52% do biodiesel mundial, e a capacidade de produção em 2006 ultrapassará 2 milhões de ton/ano (OLIVEIRA; COSTA, 2005, NAPPO, 2006).

Na França, segundo maior produtor mundial de biodiesel, o desenvolvimento para uso urbano deu-se pela criação do “Partenaires Diester” (“Parceiros do Biodiesel”). Trata-se de uma associação de entidades francesas que congregam grandes produtores e consumidores do combustível e que tem como finalidade disseminar e avaliar os efeitos positivos da mistura de biodiesel e diesel de petróleo nos centros urbanos, especialmente nos transportes coletivos. Os sistemas produtivos adotados no país assemelham-se aos utilizados na Alemanha. No entanto, o combustível apresenta-se, para distribuição, misturado ao óleo diesel mineral, em proporção inferior a 10%. Em razão das melhorias de qualidade das emissões veiculares, atualmente todos os ônibus urbanos franceses consomem biodiesel, numa proporção de até 30% na mistura com o diesel mineral (MEIRELLES, 2005). A cadeia produtiva de biodiesel recebe incentivos tributários para a produção. A implantação recente de B5 em todo diesel comercial do país incrementou a produção, que tem o girassol e a canola como matéria – prima (MAPA; JBIC, 2006).

O mesmo meio de produção é implantado na Itália, onde o combustível é mais utilizado no aquecimento de residências, também à base de girassol e canola. A Suécia começou a produzir biodiesel em 2001 e reduziu as taxas para todo combustível com mistura B5 (MAPA; JBIC, 2006). A Áustria iniciou a produção em 1988 e liberou a utilização de B100.

Apesar de ter rejeitado o Protocolo de Quioto, os Estados Unidos investem em pesquisa e tecnologia verde. Durante a década de 1940, foram feitas algumas tentativas com óleos vegetais. Os EUA buscavam uma maneira mais rápida de produzir glicerina para alimentar bombas e um dos primeiros usos do óleo vegetal transesterificado foi o abastecimento de veículos pesados na África do Sul, antes da Segunda Guerra Mundial (LUCENA, 2004). Neste início do século XXI, os EUA têm demonstrado grande interesse em relação à utilização de biodiesel em mistura ao óleo diesel do petróleo, com proporção mais aceita em 20%. O programa de biodiesel norte – americano apresenta como meta a produção de 5 bilhões de galões anuais (20 bilhões de litros por ano) e em Minnesota, existe uma lei desde março de 2002, que obriga que seja adicionado pelo menos 2% de biodiesel no óleo diesel mineral. No intuito de dar vazão aos estoques adicionais de óleo de soja, vários outros estados norte-americanos estão incentivando a transformação dos excedentes em biodiesel, como por exemplo, com a redução de taxas em Idaho e Arizona (MAPA; JBIC, 2006). Em outubro de 2005, o Presidente Bush ratificou Lei criando forte incentivo tributário para produção e consumo. O biodiesel está sendo utilizado em frotas de ônibus urbanos, serviços postais e órgãos do governo, e a capacidade da indústria de biodiesel está entre 126 mil toneladas.(MEIRELLES, 2005).

Na Ásia, o Governo da China estabeleceu metas com a publicação do Programa de Economia de Energia no Médio em Longo Prazo. A intenção de incluir o uso do biodiesel no plano nacional incentivou a Lei da Energia Renovável e a construção de usinas nas províncias de Hainan, Sichuan e Fujian com capacidade de 10.000 t/ano. A soja é a matéria prima do biodiesel chinês (MAPA; JBIC, 2006). No Japão, o biodiesel é produzido a partir de óleo de cozinha usado e aplicado em ônibus e caminhões de lixo. Nas Filipinas, implantou – se um programa de redução de emissões até o ano de 2010 e avançam as pesquisas e investimentos em biodiesel à base de óleo de coco.

Na Austrália o óleo de canola é a matéria – prima para a produção e utilização do biodiesel com transesterificação etílica. Malásia e Indonésia se destacam mundialmente na exportação de óleo de dendê; esses dois países são responsáveis por 75% da produção mundial. (MAPA; JBIC, 2006).

1.7 DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL

O Brasil é dependente do petróleo, pois sua matriz energética demanda por óleo diesel para todos os setores de produção, mas os investimentos em biodiesel aumentaram e o consumo de biomassa consequentemente também. A Figura 1.6 mostra a distribuição das fontes de energia nacionais.

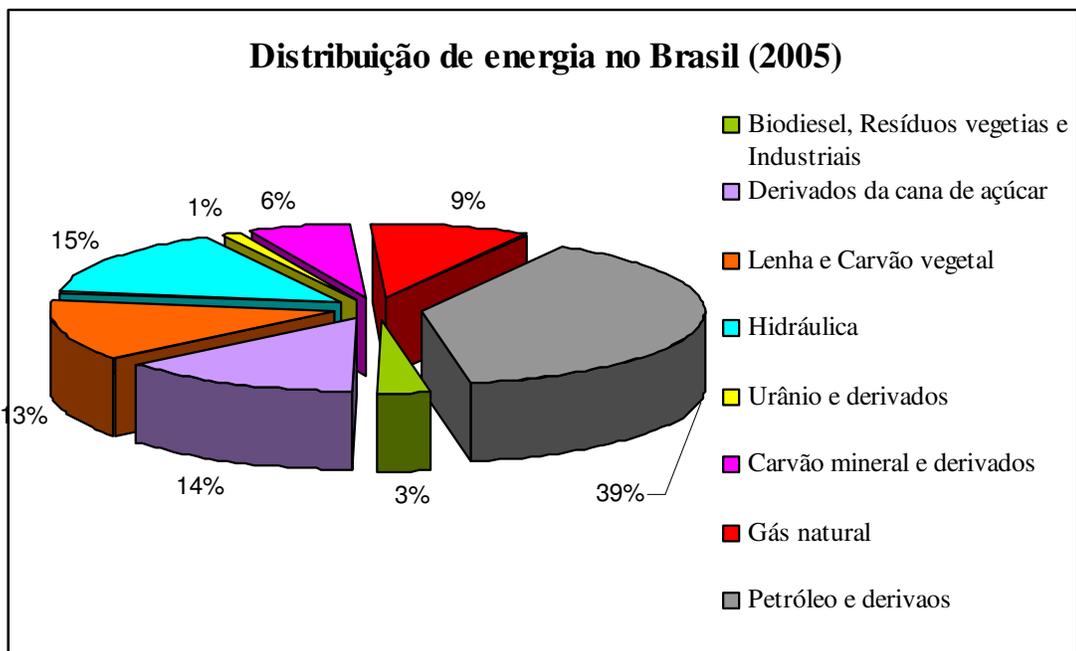


Figura 1.6 – Distribuição do Consumo de Energia no Brasil.

Fonte: MME. 2007.

Com o potencial brasileiro para produção de oleaginosas, diversidade vegetal e terras agricultáveis disponíveis, de acordo com a ANP (2005), a capacidade autorizada de produção de biodiesel é de 933,4 m³/dia e pode ser ampliada. O Governo Federal está investindo em políticas para biocombustíveis.

1.7.1 Políticas Nacionais de Biodiesel

Os estudos e testes sobre combustíveis alternativos e renováveis no Brasil não são recentes. Na década de 20, o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) já desenvolvia pesquisas nessa direção. No Brasil, o pioneiro do uso de biocombustíveis foi o Conde Francisco de Matarazzo buscando produzir óleo através dos grãos de café. Para lavar o café de forma a

retirar suas impurezas impróprias para o consumo humano, foi usado o álcool da cana de açúcar. A reação entre o álcool e o óleo de café resultou na liberação de glicerina, redundando em éster etílico, produto que hoje é chamado de biodiesel (LUCENA, 2004).

Com crise do petróleo nos anos 1970, lançou-se o programa PROALCOOL, primeiro Programa Nacional voltado à utilização de biomassa para a geração de energia, com inúmeros estudos e resultados de desempenho do álcool etílico, sendo a cana – de – açúcar a matéria – prima. A crise mundial persiste e grupos de pesquisa investem em novas alternativas.

Em 1980 foi depositada a primeira patente Biodiesel no Brasil, pelo Dr. Expedito Parente (PERES; FREITAS JR; GAZZONI, 2005). Em 1983, o Governo Federal, motivado pela alta nos preços de petróleo, lançou o Programa de Óleos Vegetais (OVEG), no qual foi testada a utilização de biodiesel e misturas combustíveis em veículos que percorreram mais de 1.000.000 km (um milhão de quilômetros), analisando as propriedades e adaptações necessárias em motores de combustão interna (MEIRELLES, 2005). E então as pesquisas em biocombustíveis adormeceram.

Com a Eco – 92, concebendo o Protocolo de Quioto, e a restrição à emissão de gases poluentes, o interesse pelo desenvolvimento de alternativas limpas despertou novamente no Brasil, pois para não comprometer as economias desses países, o protocolo estabeleceu que, caso seja impossível atingir as metas estabelecidas por meio da redução das emissões dos gases, os países poderão comprar créditos de outras nações que possuam projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O MDL é um instrumento de flexibilidade que permite a participação no mercado dos países em desenvolvimento, ou nações sem compromissos de redução, como o Brasil (LUCENA, 2004). As empresas brasileiras que reduzirem as taxas de emissões de gás carbônico podem vender créditos de carbono às nações desenvolvidas. Essa alternativa torna-se mais importante diante dos olhos políticos e econômicos brasileiros, pois o país apresenta potencial mundialmente reconhecido para produção de oleaginosas e tecnologias de redução de emissões poluentes (LUCENA, 2004).

O País passa a investir em tecnologias limpas, pesquisas e leis de incentivo, responsabilidade e normalização para utilização de bioenergia, pois a extração de biomassa para conversão de energia e a diversidade de combustíveis cresce consideravelmente com a produção mais eficiente, modernos conversores tecnológicos, investimentos em infraestrutura e subsídios fiscais.

A Lei 9.478/97 define o Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE), que tem entre outras atribuições, estabelecer diretrizes para programas específicos, como os de uso do gás natural, do carvão, da energia termonuclear, dos biocombustíveis, da energia solar, da energia eólica e da energia proveniente de outras fontes alternativas.

Além da possível entrada no MDL, com a elevação dos preços do óleo diesel e o interesse do Governo Federal em reduzir sua dependente importação e investir em bioenergia, em 1998, vários setores de P&D (Progresso e Desenvolvimento) no Brasil retomaram os projetos para o uso do biodiesel.

O Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) lança o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel (PROBIODIESEL) durante a abertura do Seminário Internacional de Biodiesel em Curitiba, e assina a Portaria n° 702 do MCT em 30 de outubro de 2002. Na ocasião do seminário também foi divulgada a criação do Centro de Referência em Biocombustível (CERBIO), com a missão de desenvolver em sua plenitude o conceito de biocombustível, desde a certificação de produtos até a evolução tecnológica de rotas que contribuam para o aumento da viabilidade e competitividade técnica do biodiesel nacional.

Em dezembro de 2003, o Governo Federal institui a Comissão Executiva Interministerial (CEIB) e os Grupos Gestores (GGs), encarregados da implantação das ações para produção e uso de biodiesel. Esta comissão tem as funções de planejar, executar e supervisionar, assim como avaliar e analisar os aspectos legais e as estratégias.

Em junho de 2004, o Ministério de Minas e Energia (MME), anunciou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, como um passo concreto para alcançar o objetivo de garantir a produção do combustível.

Em 12 de dezembro de 2004, o lançamento do Programa de Produção e Uso de Biodiesel, como marco regulatório e com metas físicas, com amparo legal na Lei 9.478/97 e redação da Lei 11.097/04:

“Art. 1º - As políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia visarão aos seguintes objetivos:

Inciso XII - incrementar, em bases econômicas, sociais e ambientais, a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional.”.

A Lei 11.097/04 dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, e estabeleceu os percentuais de mistura de 2 a 5% e o monitoramento da inserção do biodiesel no mercado pelo CNPE, e também instituiu o modelo tributário de certificação social e aproveitamento dos créditos de carbono (MDL).

A adição de 2% de biodiesel ao diesel (B2) cria um mercado interno potencial capaz de substituir nessa porcentagem todo combustível da frota brasileira a diesel e está regulamentada e validada tecnicamente, inclusive com a garantia da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) que reconheceu o resultado das pesquisas para os motores abastecidos com a mistura, e está em fase de ensaios de bancada e testes de campo para o percentual de 5% com coordenação do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), (DORNELES, 2006).

Com relação à qualidade e políticas de promoção do B2, foi estabelecido que a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) será a responsável pelo controle da legislação relacionada, Lei 9.478/97 e redação da Lei 11.097/04:

“Art. 8º - A ANP terá como finalidade promover a regulação, a contratação e a fiscalização das atividades econômicas integrantes da indústria do petróleo, do gás natural e dos biocombustíveis:

Inciso I - implementar a política nacional de petróleo, gás natural e biocombustíveis, com ênfase na garantia do suprimento de derivados de petróleo, gás natural e seus derivados, e de biocombustíveis, em todo território nacional, e na proteção dos interesses dos consumidores quanto a preço, qualidade e oferta de produtos.

Inciso IX - fazer cumprir as boas práticas de conservação e uso racional do petróleo, gás natural, seus derivados e biocombustíveis e de preservação do meio ambiente.

Inciso XI - organizar e manter o acervo das informações e dados técnicos relativos às atividades reguladas da indústria do petróleo, do gás natural e dos biocombustíveis.

Inciso XVI - regular e autorizar as atividades relacionadas à produção, importação, exportação, armazenagem, estocagem, distribuição, revenda e comercialização do Biodiesel, fiscalizando-as diretamente ou mediante convênios com outros órgãos da União, Estados, Distrito Federal ou Municípios;

Inciso XVIII - especificar a qualidade dos derivados de petróleo, gás natural e seus derivados e dos biocombustíveis.”.

Por definição, pela Lei 9.478/97, Art. 6º, Inciso XXV:

Biodiesel: biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou conforme regulamento para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustível de origem fóssil.

E de acordo com a resolução da ANP 42/2004:

Definição do Biodiesel – B100: Combustível composto de alquil ésteres de ácidos graxos oriundos de óleos vegetais ou gorduras animais, designado B100 observando atendimento ao Regulamento Técnico ANP nº 4/2004.

A Lei 11.116/2005 dispõe sobre o Registro Especial, na Secretaria da Receita Federal do Ministério da Fazenda, de produtor ou importador de biodiesel:

“Art. 11º - A ANP estabelecerá os termos e condições de marcação do Biodiesel para a sua identificação.”

As características do biodiesel nacional estabelecidas podem ser observadas no ANEXO I.

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel tem como principal objetivo sócio – econômico a inclusão social com a ampliação das oportunidades de emprego, incentivando a participação dos pequenos agricultores em empreendimentos relacionados ao projeto, investindo em pesquisa e difusão de técnicas de cultivo de matérias primas e desenvolvimento de tecnologia de produção.

Uma das normas estabelecidas para difundir essa inclusão, é o Selo Combustível Social, anunciado em 18 de maio de 2005, que pretende atender pequenos produtores para que possam fazer parte do sistema produtivo agrícola do biodiesel. Podem obter o Selo Combustível Social os produtores que compram a matéria prima de pequenos agricultores que preenchem as condições do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar. Os produtores de biodiesel que obtenham o Selo poderão estar aptos para receber benefícios tributários assim como financiamento do Governo Federal.

Com o Selo e as normas de produção e comércio, o Governo também estrutura o sistema de comercialização do biodiesel nacional.

Inicialmente, o biodiesel será comercializado através das rotas de venda do diesel. Da mesma maneira que o etanol, somente as distribuidoras estão autorizadas a adicionar biodiesel ao diesel combustível. Porém, com o ano meta (2008) para a obrigatoriedade do B2, o Ministério de Minas e Energia autorizou as refinarias a adicionar o biodiesel durante um período estabelecido, através da Resolução No. 3 do CNPE, de 23 de setembro de 2005, as refinarias de petróleo poderão comprar somente daqueles produtores que tenham obtido o Selo Combustível Social. A ANP estabelecerá o volume de biodiesel que cada refinaria deverá comprar. Desta forma, será possível às refinarias fornecerem B2 às distribuidoras. Ainda de acordo com a Resolução No. 3, as refinarias estarão obrigadas a comprar biodiesel de acordo com a capacidade de produção da região e os fornecedores estarão limitados àqueles produtores de biodiesel com o Selo Combustível Social.

A Figura 1.7 mostra o esquema logístico programado para produção e distribuição do biodiesel no Brasil.

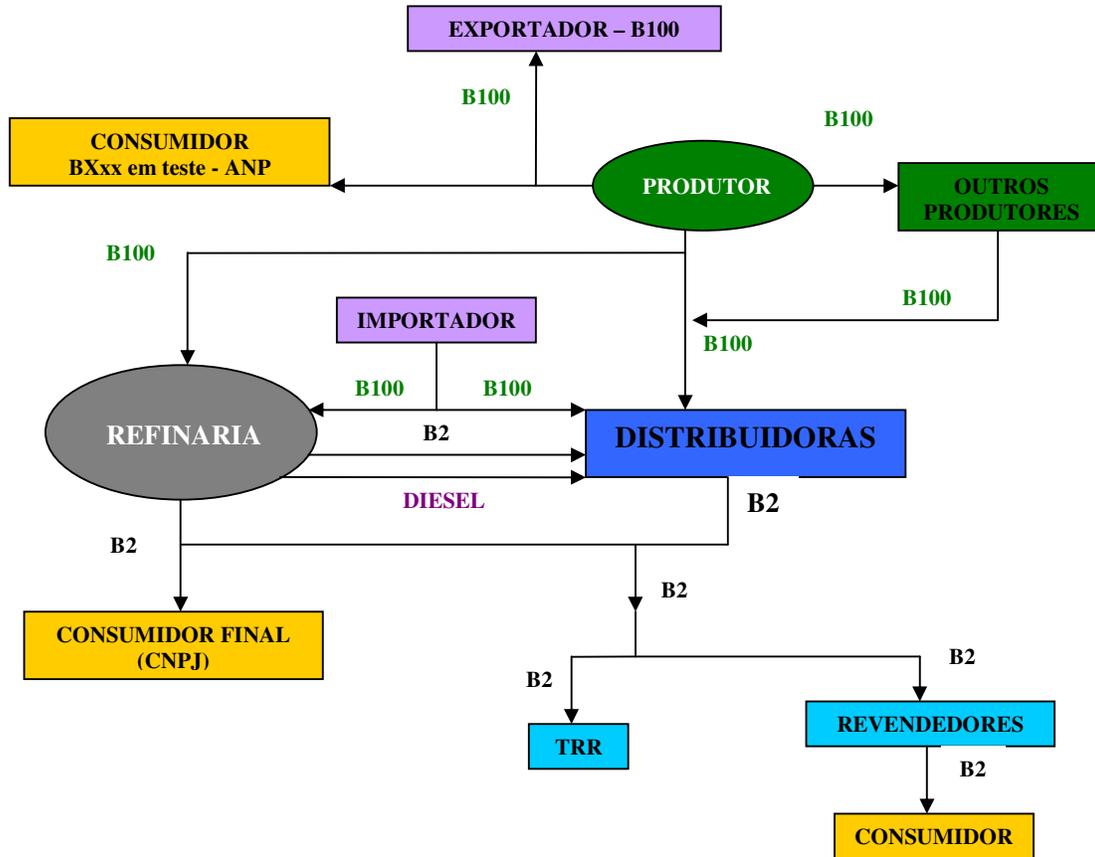


Figura 1.7 - Logística de suprimento do biodiesel

Fonte: MME, 2004.

A obrigatoriedade de 2% de biodiesel em todo óleo diesel consumido no país, nos últimos dois anos (2004-2005), a Petrobras Distribuidora investiu mais de R\$ 20 milhões na adaptação de suas instalações e em logística para receber e distribuir o novo produto. Desde o ano passado, o biodiesel começou a ser vendido em postos de serviço no estado de Belém (PA). Neste momento, o número de postos de serviços de bandeira Petrobras, em diversos estados do país, que já comercializam este combustível ultrapassa 2.500. A Petrobras Distribuidora está comprando mais de 90% do biodiesel adquirido pela Petrobras junto aos produtores (BIODIESELBR, 2006).

O atual nível de produção de biodiesel constitui um grande desafio para o cumprimento das metas estabelecidas no âmbito do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, que necessitará de, aproximadamente, 750 Mℓ em sua fase inicial. Ou seja, a capacidade

produtiva em 2006 supre somente 17% da demanda, considerando a mistura B2, o que é insuficiente (BIODIESELBR, 2006).

O Governo Federal está atento também às possibilidades do sistema de negociação que está sendo implantado pelo Mercado Brasileiro de Redução de emissões, uma iniciativa conjunta da Bolsa de Mercadorias & Futuros e do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), para acelerar o desenvolvimento do mercado de créditos de carbono no país. A primeira etapa, lançada em setembro de 2005, foi a criação de um Banco de Projetos da BM&F, que está aberto também ao registro de intenções de compra. A segunda etapa do trabalho de organização do mercado de carbono será a implantação do ambiente de negociação de créditos de carbono nos mercados de opções. Segundo estimativas do Banco Mundial, o país poderá ter uma participação de 10% no mercado de MDL, equivalente a US\$ 1,3 bilhões em 2007 (BIODIESELBR, 2006).

A negociação de contratos futuros de crédito de carbono já ocorre na Bolsa de Chicago e em países como Canadá, República Checa, Dinamarca, França, Alemanha, Japão, Holanda, Noruega e Suécia. Segundo estimativas do Banco Mundial, os principais compradores de créditos entre janeiro de 2004 e abril de 2005 foram o Japão (21%), a Holanda (16%), o Reino Unido (12%) e o restante da União Européia (32%). Em termos de oferta de créditos (volume), considerando projetos de MDL e IC, a Índia lidera o ranking, com 31%, por seus projetos de destruição do HFC23, gás cujo potencial de aquecimento global é 11.700 vezes maior que o CO₂ (BIODIESELBR, 2006).

Por isso várias empresas nacionais já se movimentam para produção ou utilização do biodiesel. O Governo Federal tem plena consciência de que para promover o biodiesel será necessária a parceria entre o setor público e o privado.

1.7.2 Iniciativas nacionais

A Vale do Rio Doce (CVRD), o agro negócio da cana – de – açúcar e o agro negócio da soja, principais produtos de exportação nacionais, apresentam juntos um consumo anual de óleo diesel de 3.405 milhões de litros, o que originaria no Brasil o consumo de 800 milhões de litros/ano de B2 (CVRD, 2003, ÚNICA; MACEDO, 2004/2005, NREL; FAO, 2004 in NAPPO, 2006).

A real e irreversível diminuição das reservas de petróleo, a significativa dependência de importações e a urgência em se manter o equilíbrio ambiental, vêm fazendo com que o Governo e Empresas Privadas invistam, cada vez mais, na pesquisa e desenvolvimento de combustíveis alternativos, mais limpos e renováveis, como o biodiesel e o álcool.

No Piauí, um projeto piloto em parceria com o Sebrae reúne 14 municípios na região de São Raimundo Nonato, a 520 km de Teresina. Cerca de 1.800 agricultores familiares trabalham em um total de 3,6 mil hectares no cultivo de mamona, o que garante a cada um uma renda mensal de R\$ 400,00. A produção esperada é de 1,5 toneladas por hectare (LUCENA, 2004).

No Rio de Janeiro, estão reciclando óleo de fritura de lanchonetes para a transformação em biodiesel e óleo diesel feito a partir de esgoto sanitário (QUATRO RODAS, 2004).

A Petrobrás, desde o início de 2005, realiza pesquisas em um novo processo para a produção de óleo diesel a partir do processamento de óleo vegetal em suas refinarias, chamado de H – Bio, testado e aprovado pela Petrobras e será desenvolvido como opção ao suprimento de diesel já a partir dos próximos dois anos, sendo outro modelo de consumo de óleo vegetal pelo Brasil (QUEIROZ, 2006), visando o desenvolvimento social, político e econômico de forma sustentável. O processo de obtenção do H – Bio.

A produção de biodiesel no Brasil pode ser uma ótima alternativa para empresas privadas com alto consumo de diesel e/ou que pagam caro por esse diesel por estarem longe das grandes refinarias (NAPPO, 2006).

A Biolix, empresa paraense e uma das pioneiras na produção de biodiesel no Brasil produz atualmente 300 mil litros por mês, utilizados em frota própria e também comercializados para ônibus de linha municipal. A Agropalma, em Belém (PA), responsável por 75% da produção de óleo de palma no país, produziu 8 milhões de litros de biodiesel em 2005. A Dedini SA Indústrias de Base produz biodiesel por batelada, com capacidade de produção anual de 8 milhões de litros. A Soyminas, do grupo Biobrás, tem capacidade de produzir até 12 milhões de litros por ano, a partir do óleo de girassol e do nabo forrageiro. A ALE

Combustíveis foi a primeira distribuidora de combustíveis no Brasil a oferecer biodiesel em um posto de gasolina (LUCENA, 2004).

Cidades como Curitiba possuem frota de ônibus para transporte coletivo movida a biodiesel. Esta ação reduziu substancialmente a poluição ambiental, aumentando, portanto, a qualidade do ar e, por conseqüência, a qualidade de vida num universo populacional de 3.000.000 de habitantes. Acredita-se que até 2010 mais de 500 cidades estarão com o biodiesel em suas bombas (BARBOZA; ALMEIDA,2006).

Uma empresa de ônibus na cidade de São Paulo já opera com diesel em mistura de 30% de biodiesel, 62% de diesel convencional e 8% de álcool anidro. A experiência tem função ambiental ambiciosa: confirmar que este combustível reduz em 40% o material particulado e a fumaça preta. Além deste aspecto, o projeto apressa o experimento já em curso de utilizar 2% de biocombustível. A empresa opera com uma frota de 1880 veículos e consome 65 milhões de litros de diesel por ano, com o projeto o grupo consumirá 19,5 milhões de litros de óleo vegetal (GAZETA MERCANTIL, 2006).

Essa iniciativas colaboram com a geração de emprego e renda em áreas carentes.

1.7.3 Inclusão social e desenvolvimento regional com o biodiesel

O sistema de produção agrícola com base em assentamentos familiares é a estratégia produtiva e de alicerce para o Programa do Biodiesel. Os óleos vegetais têm sido largamente investigados como candidatos a programas de energia renovável: proporciona uma geração descentralizada de energia e um apoio a agricultura familiar, criando melhores condições de vida (infra – estrutura) em regiões carentes, valorizando potencialidades regionais e oferecendo alternativas a problemas econômicos e sócio – ambientais de difícil solução (RAMOS et al. 2003). Os fatos fazem com que seja este o momento oportuno e inadiável para o Brasil assumir esse desafio na política social, em áreas com baixo IDH.

O Governo Federal estabeleceu diversas normas legais para promover a produção de biodiesel através de incentivos e subsídios a pequenos produtores agrícolas e, paralelamente, criou as regras que obrigam a utilização do biodiesel (Lei do B2/B5 – Lei

9478/97, Lei 11097/05 e Lei 11116/05). O Selo Combustível Social, já descrito anteriormente, é um exemplo dessa política.

De acordo com o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (2006), ao se adicionar 1% de biodiesel ao diesel (utilizando matéria – prima produzida por famílias de pequenos agricultores), seria possível criar emprego para 450.000 famílias nas zonas rurais, e sua renda média seria incrementada (R\$ 4.900/ano). Também se considera que a criação de 1 emprego no campo levaria à criação de 3 empregos na zona urbana, portanto seria possível gerar um total de 180.000 novos postos de trabalho. Com base nestes números, também foram realizadas outras projeções, segundo as quais seria possível gerar 1 milhão de novos empregos se a porcentagem de adição de biodiesel produzido com matéria prima das pequenas unidades agrícolas familiares fosse ampliada para 6%.

Um estudo elaborado pela Secretaria de Agricultura e Irrigação do Estado do Ceará em parceria com a Tecnologias Bioenergéticas Ltda (TECBIO) (CAMARA DOS DEPUTADOS, 2003), concluiu que a mamona é a cultura mais rentável para o sequeiro e afirma que o agro negócio para fins energéticos tem a capacidade de erradicar a miséria rural nordestina, onde mais de 2 milhões de famílias convivem com a fome, gerando renda complementar suficiente para eliminar a desnutrição dos ricinocultores.

A Câmara dos Deputados (2003) no Programa “Biodiesel e a Inclusão Social” calcula que no semiárido nordestino 200 mil famílias pobres, às quais se ofereçam áreas de dez hectares para o cultivo de mamona combinado com o de feijão, serão capazes de produzir aproximadamente 2,5% do Biodiesel que se consome no País.

O quarto leilão de biodiesel da ANP, julho de 2006, teve como vencedora a empresa Brasil Ecodiesel, que comprovou a possibilidade de entrar em operação em abril de 2007 e envolver 120 mil famílias no projeto com as novas unidades de produção de biodiesel a partir da mamona e da soja.

Com o aumento significativo no plantio de oleaginosas, será possível o assentamento de milhares de famílias, com uma perspectiva de negócio atraente. A implantação do processo de produção do óleo vegetal, em comunidades organizadas, e o processamento e utilização da torta para alimentação humana e de animais permitirão grande agregação de valor,

viabilizando a sustentabilidade da agricultura familiar, pois, além das culturas alimentares típicas, o agricultor disporá de um rendimento que lhe permitirá adquirir insumos e bens de consumo indispensáveis à produção e ao sustento familiar (PERES; FREITAS JR; GAZZONI, 2005).

O Brasil tem área agricultável em todas as regiões do país e necessidade de aumento de renda na maior parte do interior brasileiro.

1.7.4 Características Regionais na Produção de Biodiesel

As diversidades sociais, econômicas e ambientais geram distintas motivações regionais para a produção e consumo de combustíveis da biomassa, especialmente quando se trata do Biodiesel.

Na região Norte, isolada do resto do país e onde o custo de transporte do óleo diesel é maior que o de sua produção, o dendê e o óleo de palma possibilitariam o desenvolvimento de populações carentes e viabilizariam a utilização do combustível. A produção regional efetiva de óleos vegetais em 2005 foi de 317.000 m³ e a demanda por biodiesel em 2008 será de 90.000 m³ (NAPPO, 2006).

No Nordeste, a mamona pode ser a salvação do sertão e necessita de um aumento em torno de 200% para suprir a demanda regional por biodiesel, de 140.000 m³ (NAPPO, 2006).

No Centro – Oeste, o transporte rodoviário consumindo o biodiesel proporcionaria menor custo de produção para inúmeros produtos da região e nas regiões Sudeste e Sul, o biocombustível melhoraria a qualidade de vida nos grandes centros e evitaria o êxodo rural, fixando a população no campo com melhor renda e infra – estrutura. Nessa parte do país, região Centro – Sul, a produção em 2005 foi 6.083.000 m³ de óleos vegetais e a demanda em 2008 por biodiesel exigirá um aumento na produção de óleos vegetais em 13% ou 770.000 m³ do combustível (NAPPO, 2006).

De acordo com a Câmara dos Deputados (2003), o biodiesel pode proporcionar várias benfeitorias em todas as regiões brasileiras. Como pode ser observado na Figura 1.8, a

expectativa política com os programas de produção e uso de biodiesel no Brasil é bastante otimista.

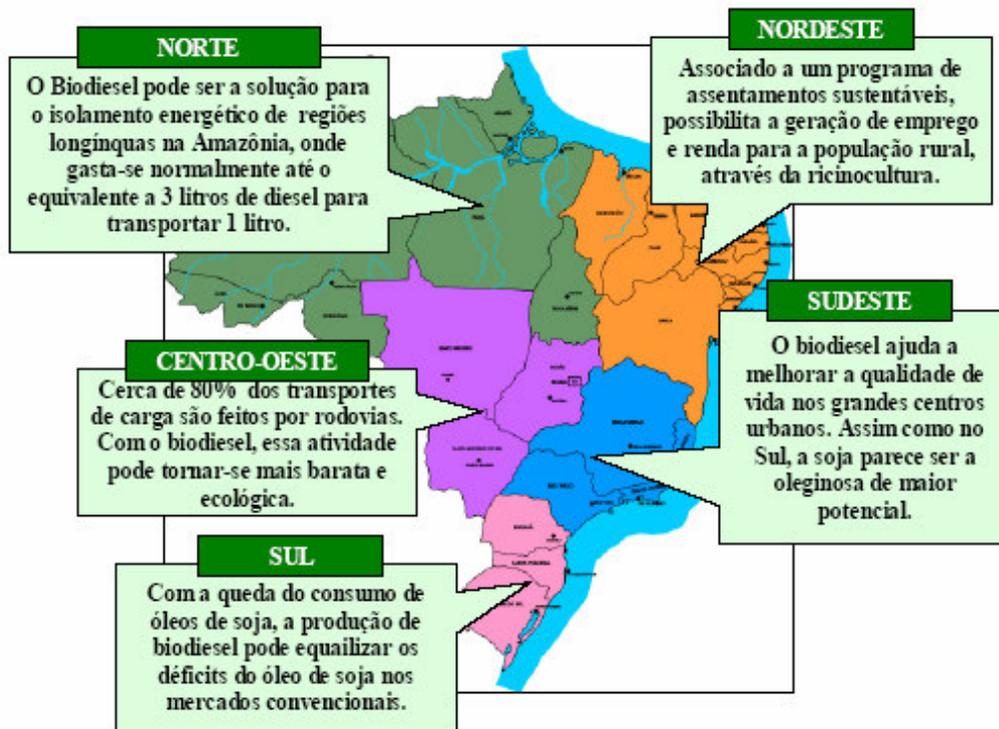


Figura 1.8 – Distribuição de interesses em biodiesel pelas regiões do Brasil.

Fonte: CÂMARA DOS DEPUTADOS. 2003.

O Governo Federal acredita que a produção de combustível pelo cultivo de oleaginosas por todo país mudará a situação econômica e social, principalmente de regiões carentes por todo o Brasil. Grandes escalas de produção tendem a reduzir os custos. E essa “agricultura de energia” pode proporcionar aos produtores de matérias primas venderem os grãos para posterior processamento ou, ainda, produzirem o óleo vegetal ou o próprio biodiesel com os subprodutos do processo podendo ser usados na alimentação animal ou como adubo (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2003). Os pequenos produtores podem se articular por meio de associações e cooperativas, para atingir a escala de produção desejada. Além disso, em comunidades isoladas aonde o custo do óleo diesel de petróleo chega a ser três vezes maior por causa do custo do transporte, pequenas escalas de produção de Biodiesel podem ser não só viabilizadas, mas estimuladas.

2. AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Nesse segundo momento, são discutidos os principais conceitos relacionados à Avaliação de Ciclo de Vida. Abordam-se, também, as fases para a realização de um estudo de ACV, assim como as particularidades de sua aplicação na agricultura e os impactos ambientais envolvidos no estudo, incluindo resultados da literatura sobre ACVs sobre biocombustíveis.

2.1 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV)

Pela ABNT NBR 14040, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto; a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas; a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos dos estudos. A ACV estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto (isto é, do “berço ao túmulo”), desde a aquisição/extração da matéria prima, passando por produção, uso e disposição. As categorias gerais de impactos que necessitam ser consideradas incluem o uso de recursos, a saúde humana e as conseqüências ecológicas. Tipicamente, a ACV não aborda os aspectos econômicos e sociais de um produto.

A ACV quantifica entradas como energia, água, nutrientes e insumos químicos e quantifica saídas como grãos, resíduos, óleo e fumaça. A partir desses dados, ela analisa o desempenho ambiental pelo uso de entradas e desprendimento de saídas, a contribuição relativa dos vários estágios da cadeia para a produção total e auxiliando onde e quais medidas devem ser tomadas para um perfil ambiental desejado (NARAYANASWAMY et al. 2003).

A ACV apresenta muitos detalhes ambientais de uma típica cadeia produtiva de grãos. Uma análise detalhada, de entradas e saídas para cada estágio do ciclo de vida, ajuda a identificar aspectos mensuráveis importantes do meio ambiente.

No âmbito deste trabalho, uma ACV de cultivo agrícola, o uso de energia fóssil, água e materiais tóxicos na produção e suprimento da soja são considerações relevantes. A energia considerada será a soma total utilizada na produção, distribuição e transporte de todo montante consumido no processo.

O caminhão é o meio comumente usado no transporte da matéria prima nas suas diversas etapas, da plantação até a armazenagem, e daí às plantas extratoras do óleo. Tratores e caminhões são geralmente utilizados por produtores de grande porte, que carregam os produtos colhidos mecanicamente.

A exploração do solo é uma categoria de impacto em ACV. A área plantada é um recurso limitado importante, e especialmente de relevante inclusão nos estudos da produção agrícola. O impacto pelo uso da terra, entretanto, foi raramente incluído nos estudos de ACV devido à falta da metodologia estabelecida. Não há nenhum acordo atual em como descrever a utilização da terra em uma análise de inventário, e os ACVs atuais são concentrados nos fluxos materiais. Esse trabalho seguirá o mesmo protocolo.

Um projeto de pesquisa sueco foi realizado nessa área, concluindo que métodos intensivos de emprego de pesticidas químicos e fertilizantes comerciais podem produzir um retorno maior e, conseqüentemente, uma utilização da terra mais eficiente, quando o cultivo mais extensivo requerer áreas maiores. É importante, entretanto, que a atenção seja dada não somente à superfície usada, mas também para fazer uma avaliação da qualidade e sustentabilidade do solo (MATTSON; CEDERGERG; BLIX, 2000), além do destino e emissões conseqüentes da utilização de insumos químicos. O nível de detalhamento da utilização do solo e os impactos conseqüentes devem, naturalmente, serem escolhidos de acordo com o objetivo e as fronteiras do estudo.

Por Carrareto et al. (2004), as análises foram executadas incluindo a produção agrícola da soja e o transporte de produtos. Todas as etapas foram avaliadas e a energia e os fluxos materiais quantificados, de acordo com a etapa do inventário da avaliação de ACV. Os rendimentos da produção da fase agrícola e o balanço na emissão de CO₂ foram são descritos.

Estudos na Alemanha, por Kaltschmitt, Reinhardt e Stelzer (1997), considerando o ciclo de vida total de óleos vegetais, como o RME (Rapeseed Methyl Esther), óleo à base de canola, mostram vantagens desse combustível sobre o diesel, de origem fóssil, tais como conservar recursos de energia ou reduzir o efeito estufa, mas apresentam também algumas desvantagens a respeito de determinados poluentes transportados por via aérea, como os óxidos de nitrogênio, e o uso de maquinários a diesel.

Diversos autores afirmam que o vilão da produção agrícola para a obtenção de óleos vegetais é o alto consumo de fertilizantes. Katajajuuri (2001) afirma em estudo piloto de ACV sobre a produção de cevada que mais de 50% da energia consumida está no cultivo e desse valor 40% é de agroquímicos, 50% maior que a energia utilizada para a secagem dos grãos. As emissões mais preocupantes aparecem através da fase de transporte e maquinário da produção, ou seja, óleo diesel.

Janullis (2003) apontou o consumo de energia total no ciclo de vida do biodiesel RME, como dividido em três momentos principais: energia usada na agricultura, energia consumida para a extração do óleo e a energia utilizada na transesterificação e utilização do combustível. Apresenta ainda que as maiores demandas de energia são relacionadas aos fertilizantes e a produtos para proteção do plantio. De acordo com o autor, os fertilizantes compõem mais de 58% do consumo de energia total na agricultura; ele afirma também que na análise de REE (Rapeseed Ester Ethyl) a energia total consumida na produção do combustível é reduzida pela utilização de álcool etílico, renovável, no lugar do álcool mineral metílico, com relações de energia do ciclo de vida do combustível dependentes linearmente da eficiência tecnológica e dos processos aplicados.

A transferência de resultados indiscriminados de ACV de um óleo vegetal a outro não é permitida porque os resultados estarão possivelmente incorretos, cada produção e obtenção do óleo tem características individuais que não podem ser manipuladas.

Ressalta-se a necessidade de uma análise completa da produção, transporte e utilização de óleos vegetais, uma análise do ciclo de vida total de biocombustíveis, para uma real comparação com o óleo diesel, de acordo com as fronteiras de cada sistema específico.

Esse trabalho propõe a avaliação de um ciclo de vida da produção e uso do biodiesel à partir do óleo de soja, cultivado no cerrado, em motores diesel analisando o sistema completo por balanços energético e de CO₂ equivalente.

2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS

O Centro de Pesquisas de Desenvolvimento de Tecnologia Limpa da Universidade de São Paulo (USP) considera que o uso de biodiesel poderia reduzir as emissões de enxofre (20%), gás carbônico (9,8%), hidrocarbono (14,2%), Particulados (26,8%) e NO_x (4,6%). Estes impactos positivos ao meio ambiente trazem benefícios econômicos e possibilitam a obtenção de créditos CDM. De acordo com dados da Agência Internacional de Energia (IEA), a porcentagem de uso de energia renovável no Brasil era a mais elevada em 2001.

A principal categoria de impactos ambientais relacionada com a emissão de gases e particulados pela combustão é a utilização e possível reutilização de fontes de matérias prima, os impactos diretos sobre a saúde humana e os impactos sobre a preservação do ecossistema. Como exemplo, a utilização desregrada da água potável, o crescimento de casos de bronquite e asma em crianças e a extinção de espécies de nossa fauna e flora.

Neste contexto, os impactos mais relevantes e analisados são:

- Uso de fontes de energia;
- Aquecimento global;
- Acidificação da atmosfera;
- Eutrofização; e
- Toxicidade para seres humanos e terrestre.

Desses impactos, o único que será analisado neste trabalho é o potencial aquecimento global, a quantificação do carbono liberado nas emissões equivalentes de dióxido de carbono (CO₂), de acordo com a metodologia e balanço resultantes nos processos no ciclo de vida no programa *GaBi*.

2.2.1 Balanço energético

Uma fonte de energia é classificada como renovável ou não renovável. O que as distingue é a quantidade e origem da energia consumida na produção: se o combustível tiver um consumo significativamente mais elevado que a energia acumulada no produto ele é não – renovável (JANULLIS, 2003). Na razão entre essas quantidades, se o resultado for maior que 1,0 o combustível é renovável, se menor é não renovável.

No caso do biodiesel, por ter oleaginosas como matéria – prima, a tendência é de que a energia consumida no crescimento da planta balanceia – se com a energia liberada em sua utilização em motores de combustão interna. Esse trabalho avaliará todo o ciclo de vida do combustível e apresentará resultados quanto à renovação dessa energia, comparando com o óleo diesel originário do petróleo, comprovadamente não – renovável, de razão quantitativa igual a 0,83 de acordo com dados do Departamento de Agricultura e Departamento de Energia dos Estados Unidos (1998).

2.2.2 Aquecimento Global

O aquecimento global é definido como o impacto de emissões antropogênicas na absorção da radiação do calor pela atmosfera terrestre, causando um aumento da temperatura superficial da Terra. Isto resulta em diversos problemas no ecossistema, na saúde humana e produção natural.

No caso da produção de grãos, a contribuição para o aquecimento global é grande, causada pelas emissões de gases estufa (em particular CO₂, N₂O e CH₄), próprios da utilização de energia fóssil em: produção direta de grãos (tratores, arados, colheitadeiras), suprimentos agrícola (fertilizantes, adubo, etc.), transporte de resíduos e produtos, estoque e processamento.

Todas as emissões que contribuem para as mudanças climáticas (CO₂, CH₄, N₂O, etc.) são multiplicados por seus respectivos potenciais aquecimentos globais para alcançar os equivalentes valores para 1 kg de CO₂ (um quilograma de dióxido de carbono) – unidade de medida de avaliação dos impactos causados por mudanças climáticas. O fator Potencial Aquecimento Global (PAG₁₀₀)* é a razão entre a absorção refratada de emissões

instantâneas de 1 kg de uma substância qualquer e uma emissão igual de dióxido de carbono num período de tempo de 100 anos (NARAYANASWAMY et al. 2003).

2.2.3 Acidificação da Atmosfera

A acidificação da atmosfera é causada por gases ácidos como o dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x), emitidos pela queima de combustíveis fósseis, e outros ácidos, como o ácido sulfúrico, pela produção de fertilizantes. Essas substâncias contribuem para ocasionar a chuva ácida e a acidificação do solo e da água, com declínio de pH.

2.2.4 Eutrofização

A eutrofização é o excessivo acúmulo de nitratos e fosfatos dissolvendo o oxigênio do ar, água e solo, o que leva à proliferação excessiva de algas num corpo d'água, que ao entrarem em decomposição levam ao aumento do número de microorganismos e à conseqüente deterioração da qualidade da água. Os fertilizantes usados nas plantações podem dissolver-se e infiltrarem-se nas águas subterrâneas e serem arrastados, tornando – se agentes de eutrofização.

2.2.5 Toxicidade Humana e Terrestre

Os impactos por toxicidade humana são aqueles que afetam diretamente a saúde dos seres humanos. O uso de produtos químicos como: pesticidas, fungicidas e repelentes para controle da produção agrícola, são substâncias que contribuem para esse impacto. Essas substâncias podem se acumular no organismo pelo compartilhamento ambiental (ar, água e solo) e entrar no sistema humano por inalação, ingestão ou contato físico, causando diversas doenças e desordens no ser humano.

A toxicidade terrestre é promovida por substâncias como pesticidas, solventes, metais pesados, etc. que se acumulam na fauna e flora do planeta incapacitando a respiração e reprodução ocasionando a extinção de diversas espécies. Neste contexto estão a perda de biodiversidade, a salinização do solo (resultando em migrações familiares pelo esgotamento do solo para a produção agrícola) e erosão/compactação do solo.

3. DESENVOLVIMENTO DA ACV

Avaliação do ciclo de vida (ACV) é a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida (ABNT NBR ISO 14040,2001).

3.1 ASPECTOS GERAIS DA ACV

O estudo foi desenvolvido com coleta de dados na Fazenda Wehrmann, e na literatura.

O estudo foi conduzido de acordo com os requisitos da norma ABNT NBR ISO 14040 (2001) – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura.

3.2 OBJETIVO DA ACV

O objetivo é a avaliação do ciclo de vida do biodiesel à partir do óleo de soja pelo fluxo energético e de carbono equivalente. Obter resultados e conclusões acerca do fluxo de carbono e energia envolvendo toda a cadeia de produção agrícola da matéria prima, no caso a soja, a conversão do óleo vegetal em biodiesel, até a utilização do biocombustível em motores de combustão interna, para comparação com o óleo diesel oriundo do petróleo.

3.3 ESCOPO DA ACV

O produto estudado é o biodiesel transesterificado do óleo de soja, utilizando o álcool etílico oriundo da cana de açúcar como éster da reação e hidróxido de sódio como catalisador.

O sistema de produção do biodiesel, à base de óleo de soja, estrutura uma cadeia energética desde a produção agrícola até sua utilização. O ciclo de vida do óleo diesel envolve a destilação petrolífera, transporte e utilização.

Neste estudo são analisados os aspectos ambientais e a energia resultantes do fluxo do carbono na utilização de biodiesel e diesel em motores de combustão interna. Os aspectos

econômicos e sociais não estão incluídos neste sistema. As fronteiras do sistema foram definidas de acordo com a necessidade de validação e precisão para os resultados. As entradas e saídas nas fronteiras são fluxos participantes do ciclo de vida.

A unidade funcional para comparação entre os sistemas é a utilização energética e a quantidade de carbono consumida e liberada pelos ciclos.

O impacto analisado é o aquecimento global, diretamente relacionado à emissão de CO₂. São ressaltados também os pontos mais afetados pelo ciclo na localidade. A avaliação e interpretação dos impactos são de acordo com os resultados consequentes da metodologia aplicada no programa *Gabi*, junto a dados da literatura para efeito de comparação.

Os dados utilizados são de pesquisa de campo em produção de grãos de soja na região do cerrado; de grupos de pesquisa nacionais e estrangeiros com consistência e representatividade reconhecida; e da base de dados da ferramenta computacional utilizada *Gabi*.

As incertezas nas informações são originárias de aproximações de valores para porcentagens, como de composição da planta e energia liberada na queima da mesma.

3.3.1 Aspectos Locais

A Fazenda Wehrmann é uma empresa agrícola produtora de hortaliças e grãos, localizada a 80 km de Brasília – DF, na divisa do Distrito Federal com o estado de Goiás, em Cristalina – GO, com uma área plantada de 6.000 hectares e produtividade de grãos e sementes de soja em torno de 19.200 ton por safra.

A Região do Cerrado ainda pode ser disponibilizada, para plantio de grãos, em uma área de mais de 20 milhões de hectares pela integração agricultura – pastagem; o que hoje é uma oportunidade e em menos de duas gerações poderá ser o mais importante componente do agronegócio brasileiro (PERES; FREITAS JR; GAZZONI, 2005).

A região do cerrado está situada no chamado “Corredor Centro – Leste”, com área de influência no entorno do Distrito Federal, todo Centro-Oeste e noroeste de Minas. O

interesse pela região na produção de soja foi resultante de três fatores básicos (FERREIRA; CAMPOS, 2004):

- aspectos edafo climáticos favoráveis: topografia plana, regularidade de chuvas, temperatura elevada e profundidade dos solos. Isto tem ajudado a proporcionar um significativo aumento de produtividade em áreas não tradicionais, isto é, fora do eixo Paraná – Rio Grande do Sul;
- a busca de terras mais baratas no início da exploração, hoje não é mais, visando aumentar a rentabilidade da exploração agrícola (lucro sobre ativos), além de possibilitar ganhos com valorização do capital fundiário;
- exploração de economias de escala: com um mesmo patrimônio, tornava-se possível aumentar de forma muito pronunciada a escala de operação, em função do menor valor das terras.

Na Figura 3.1 observa – se a variação na produção de soja e na área cultivada para a oleaginosa.

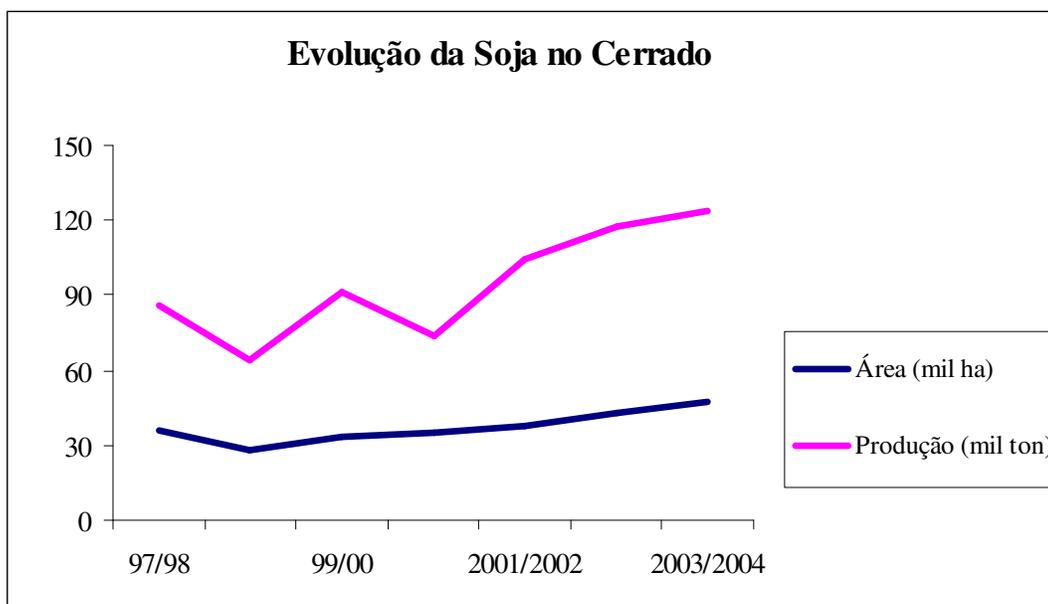


Figura 3.1 – Evolução da área plantada e produção de soja na região do cerrado.

Fonte: EMBRAPA. 2004.

Nota – se que nas safras de 1998/1999 e 2001/2002 ocorreram picos de produtividade de soja no cerrado, enquanto na safra de 1999/2000 ocorreu um declínio nessa produtividade.

O motivo dessa variação foi a oscilação climática. A área cultivada não variou muito nos últimos registros do gráfico, enquanto a produção de soja cresceu consideravelmente.

3.3.2 Caracterização dos Dados

Os dados iniciais de produção da soja foram coletados em campo de pesquisa, como já mencionado anteriormente. A transformação dos grãos em biodiesel foi dimensionada por dados coletados de fontes bibliográficas de trabalhos relacionados, grupos de pesquisa conceituados e órgãos governamentais nacionais e internacionais. A utilização do biodiesel em motor de combustão interna remete resultados de acordo com a base de dados *Gabi*, características de transporte local e resultados da literatura.

As características do biodiesel adotadas para esta ACV são originárias do emprego das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), das normas internacionais "American Society for Testing and Materials" (ASTM), da "International Organization for Standardization" (ISO) e do "Comité Européen de Normalisation" (CEN), como especificadas no ANEXO I.

A especificação para o biodiesel está de acordo com a regulamentação da ANP para o combustível, por análise do produto realizada em uma amostra representativa do mesmo obtida segundo métodos ABNT NBR 14883 - Petróleo e produtos de petróleo - Amostragem manual ou ASTM D 4057 - Prática para Amostragem de Petróleo e Produtos Líquidos de Petróleo (Practice for Manual Sampling of Petroleum and Petroleum Products) ou ISO 5555 (Animal and vegetable fats and oils - Sampling).

Os dados referentes a produção de etanol são retirados da "Análise de emissões de gases de efeito estufa na produção e uso do etanol no Brasil", realizada pelo Governo do estado de São Paulo, Macedo, Leal e Silva (2004).

Kim e Dale (2003) apresentam resultados sobre a energia de herbicidas, pesticidas e fertilizantes.

As emissões da queima de combustível são dados referentes a um motor de combustão interna comum, aplicado a todo o maquinário e proveniente, de forma comparativa, de

estudos realizados por Sheehan et al. (1998), que também é fonte dos dados relativos à energia específica consumida nos processos de prensagem e transesterificação.

O óleo retirado dos grãos tem sua porcentagem definida em 22%, otimizando o processo, que por Wehrmann (2004) apresenta variação entre 18 e 22%.

Sendo o componente primário das plantas a celulose³, a fórmula molecular da biomassa foi convertida de celulose para glicose ($C_6(OH)_6H_6$) neste trabalho, devido a simplicidade dos cálculos e a margem de erro mínima.

O transporte de combustíveis tem consumo e rendimento de acordo com dados da empresa de consultoria EngWhere Orçamentos Ltda, com um caminhão tanque L-1214.

As limitações da ACV são no âmbito social e econômico da questão.

3.4 METODOLOGIA

A ACV foi elaborada com o auxílio de uma ferramenta computacional, o programa *GaBi*. O *GaBi* é um software de análise e otimização de produtos ambientais utilizando avaliações de ciclo de vida (ACV) desses produtos. As categorias gerais de impactos ambientais podem ser consideradas pelo *GaBi*, incluindo o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas (CALDEIRA-PIRES; NOLETO; MENDONÇA, 2006).

O Programa permite a variação de parâmetros para tomada de balanços quantitativos, como foi realizado com a porcentagem de biodiesel no combustível, BXX.

Com o sistema montado por completo, com todos os processos selecionados envolvidos detalhados e quantificados, fez-se o balanço do dióxido de carbono de entradas e saídas, assim como a análise da categoria de impacto Aquecimento Global em 100 (cem) anos para os valores calculados.

³ Celulose ($C_6H_{10}O_5$) é um polímero de "cadeia longa" composto de um só monômero, carboidratado, classificado como polissacarídeo – estrutura formada pela união de moléculas de glicose.

3.5 DESCRIÇÃO GERAL DO CICLO DE VIDA

O ciclo de vida foi elaborado fixando – se como parâmetros universais a quantidade de biodiesel produzida, a porcentagem do combustível na mistura a ser utilizada na combustão e a produtividade agrícola. Todos os processos e fluxos pertencentes ao sistema são dependentes desses parâmetros.

A quantidade de biodiesel produzida será sempre a mesma quantidade de combustível misturado, BXX, que chega ao posto de distribuição. Então, os valores atingidos neste ciclo, por exemplo, são fixos para a produção de 1000 kg de biodiesel e 1000 kg de combustível a ser queimado. A quantidade mínima de biodiesel que o sistema admite é de 35 kg.

A porcentagem de biodiesel na mistura a ser utilizada como parâmetro universal possibilita a avaliação ambiental e energética de diversas composições de combustível para a queima em motores diesel.

Para produtividade da fazenda foi utilizado o valor de 3200 kg de grãos/ha, dado fornecido pela Fazenda Werhmann, que representa alta produtividade comparando com rendimentos médios brasileiros, maximizando o ciclo elaborado. Com isso, a produção de 1 tonelada de biodiesel exige área plantada de aproximadamente 1,53 ha e 4.831 kg de grãos de soja.

As proporções de entradas e saídas são definidas pela literatura ou coleta de dados de campo, como a cana – de – açúcar necessária para a produção de etanol em valores exatos para a quantidade de biodiesel fixada e a área de plantio para a produção de grãos e extração do óleo vegetal necessário para a transesterificação e conseqüente conversão no combustível fixado.

3.5.1.1 Tipos de entradas e saídas do ciclo de vida

O ciclo de vida é formado basicamente por processos individuais ou dependentes, com entradas e saídas que podem ser de quatro principais tipos de energia.

Os tipos de entradas e saídas de energia do ciclo de vida são:

- Energia primária total: as matérias primas extraídas do ambiente contêm energia. Considera-se a entrada de energia primária total para o ciclo de vida de cada combustível como o índice de energia cumulativo de todos os recursos extraídos do ambiente.
- Energia de feedstock⁴: para a produção do biodiesel, a energia de feedstock inclui a energia contida nos feedstocks do óleo de soja e do metanol/etanol que são convertidos ao biodiesel, como os insumos agrícolas utilizados na produção da soja e da cana de açúcar. Do mesmo modo, o petróleo convertido diretamente ao diesel em uma refinaria contém a energia primária que é considerada uma entrada de energia de feedstock para o diesel. É um subconjunto das entradas de energia primária.
- Energia do processo: limitada às entradas de energia no ciclo de vida, é aquela contida nas matérias – primas extraídas do ambiente, mas que não contribui à energia do produto final, como o descarte dos resíduos agrícolas após a colheita e seleção dos grãos de soja.
- Energia do produto: é a energia contida no produto final, o combustível, disponível para realizar trabalho em um motor de combustão interna.

Então, as entradas e saídas incluem recursos (combustível, insumos agrícolas e energia elétrica), resíduos e liberações no ar (monóxido e dióxido de carbono), pertinentes aos diversos processos do sistema abordado.

3.5.1.2 Processos envolvidos

Os processos envolvidos estão interligados com suas fontes de energia e fluxos mássicos para os processos seguintes. A Figura 3.2 exhibe o fluxo simplificado do sistema adotado para a ACV. O diagrama não inclui os processos de transporte de material, para facilitar a visualização geral do ciclo de vida do biodiesel. Em seguida, são descritos todos os

⁴ *Feedstock* é uma substância usada como matéria – prima em um processo industrial.

processos inclusos no ciclo de vida elaborado no *GaBi* da produção à utilização do biodiesel no maquinário agrícola e para o transporte.

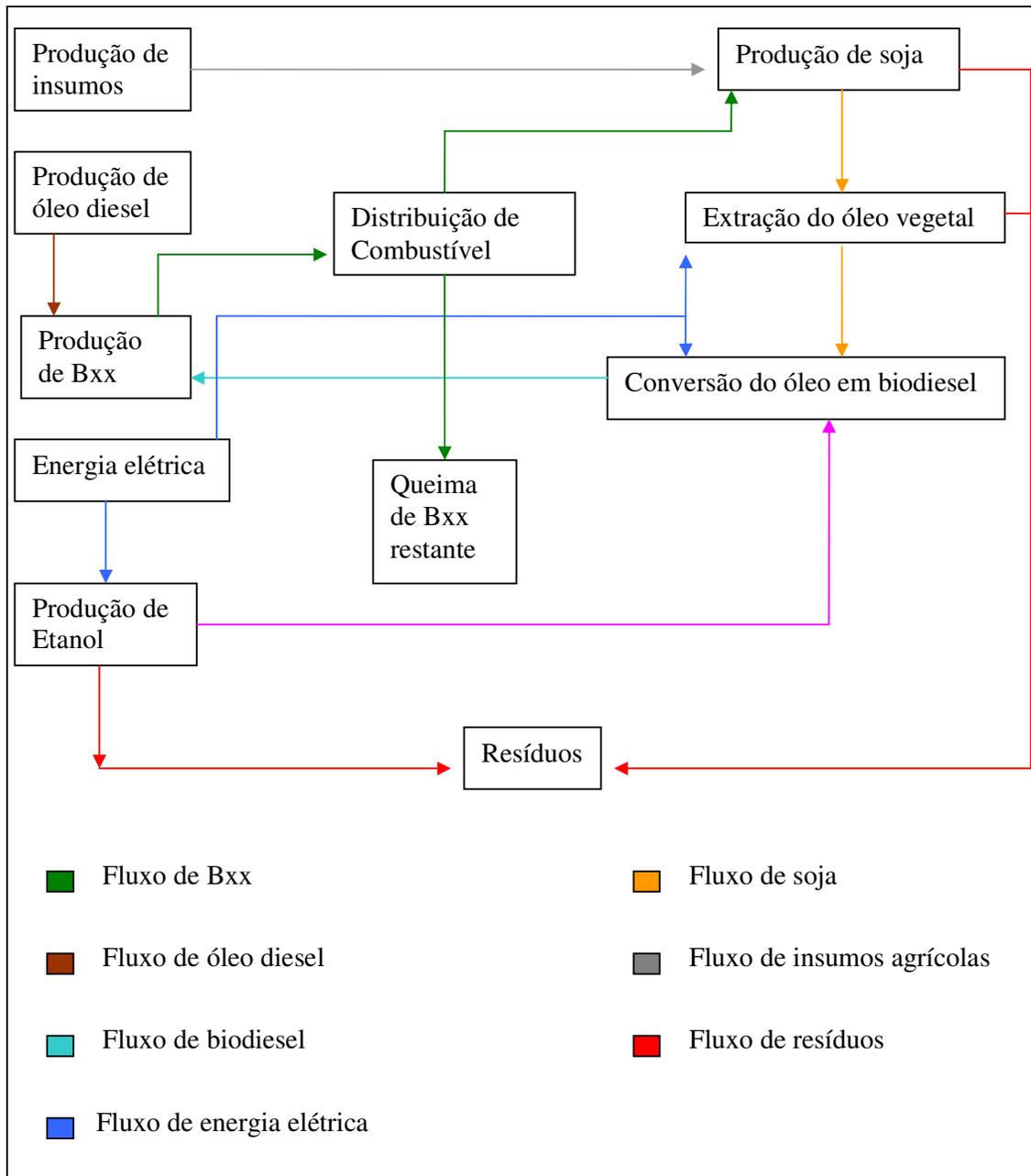


Figura 3.2 – Diagrama simplificado da produção e utilização do biodiesel.

Os processos envolvidos na produção do biodiesel formam uma cadeia longa que inclui a pré – produção, a produção de grãos, a estocagem, o processamento e a utilização do combustível.

A pré – produção refere – se à entrada de fontes e emissões de extração de matéria – prima; ela abrange a produção de fertilizantes, herbicidas e pesticidas aplicados, produção do óleo diesel, para mistura com o biodiesel, ou puro para o uso em maquinário e transporte de grãos, produção do etanol a partir da cana – de – açúcar para a conversão do óleo vegetal em biodiesel e produção de energia elétrica para utilização na armazenagem dos grãos, extração do óleo vegetal e conversão do óleo in natura em biodiesel pela transesterificação.

O processamento da produção agrícola é realizado com a prensagem dos grãos e conversão do óleo in natura em biodiesel.

A utilização do combustível inclui os processos de verificação e mistura do combustível, distribuição e queima em motor de combustão interna.

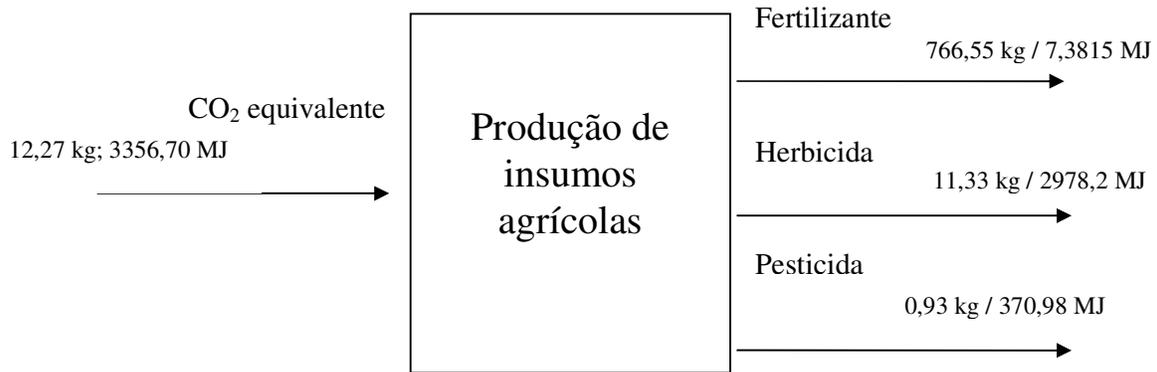
O transporte é um processo utilizado em todas as etapas do sistema. É necessário que sejam incluídos todos os meios e trajetórias de percurso em todos os estágios do ciclo de vida. Todo transporte é via rodoviária, por meio de caminhões, e tem como entradas a carga a ser transportada e o combustível necessário para a movimentação, e como saídas a própria carga e as emissões resultantes da utilização do combustível.

Os resíduos têm destino de acordo com a composição de cada material, são etapas finais da produção agrícola em que a entrada é de resíduos vegetais, como a planta da soja, e de resíduos dos insumos industriais, todos convertidos em dióxido de carbono equivalente na saída, com energia intrínseca a biomassa. Essa transformação de resíduos em carbono equivalente é um meio de aproximar os valores para produção agrícola, como se as emissões fossem incorporadas novamente, como um plantio direto, aproveitando os restos para a preparação do solo do novo plantio.

3.5.1.2.1 Produção de insumos agrícolas

A produção de herbicidas, fertilizantes e pesticidas teve como entrada a quantidade de dióxido de carbono necessária para a produção do insumo pela sua composição média e como saída os processos dessa pré – produção são os próprios herbicidas, fertilizantes e pesticidas. Os cálculos foram realizados à partir da fórmula molecular de cada material, a

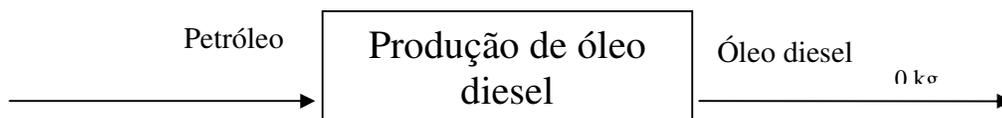
quantidade de dióxido de carbono equivalente à quantidade de carbono que compõe cada substância. A cultura da soja na fazenda Werhmann utiliza como pesticidas os fungicidas: thyophanate-methyl ($C_{12}H_{14}N_4O_4S_2$), pyraclostrobin ($C_{19}H_{12}ClN_5O_4$) e epoxiconazole ($C_{17}H_{15}ClFN_3O$) e o inseticida thiamethoxan ($C_8H_{10}ClN_5O_3S$); como herbicidas: glyphosate ($C_3H_8NO_5P$), chorimuron ($C_{13}H_{11}ClN_4O_6S$), lactofen ($C_{19}H_{15}ClF_3NO_7$), imazethapyr ($C_{15}H_{19}N_3O_3$) e fenox-prope-p-ethyl ($C_{16}H_{12}ClNO_5$); e o fertilizante a base de fósforo (P_2O_5).



Não foram incluídos os números relativos à energia ou emissões da produção industrial dos insumos. Os valores são resultados da produção de 1000 kg de biodiesel, dependendo dessa demanda pela necessidade de um total de 4,526 kg/ha de herbicida, 0,55 kg/ha de pesticida, e 500 kg/ha de fertilizante.

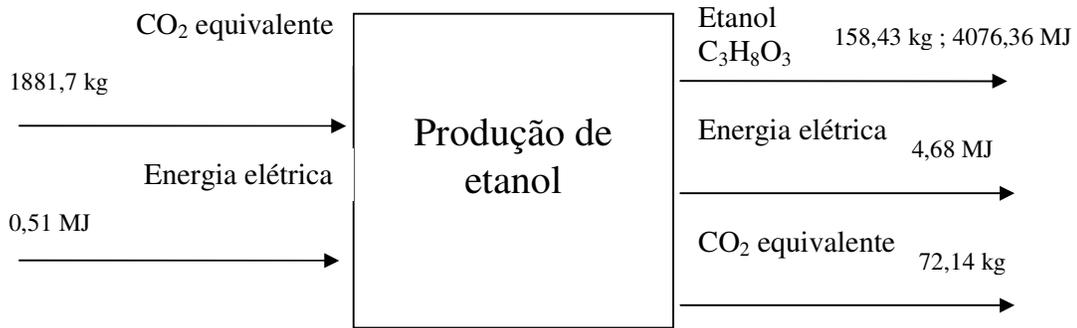
3.5.1.2.2 Produção de óleo diesel

A produção de diesel é um processo incorporado com valores da base de dados do *Gabi*. A representação deste processo será simplificada, devido à diversidade de substâncias participantes na destilação do petróleo. Neste caso, com a utilização de B100 no processo, não há utilização de óleo diesel no ciclo.



3.5.1.2.3 Produção de etanol

A produção de etanol tem como entrada o dióxido de carbono equivalente à cana – de – açúcar, como $C_6(OH)_6H_6$, e energia, saindo etanol e energia produzida pelo bagaço da cana – de – açúcar.

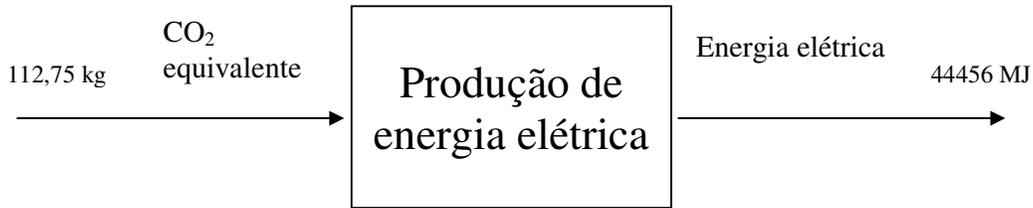


O etanol utilizado na transesterificação precisa ser transportado até a planta de biodiesel, em caminhão tanque de capacidade de 10000 ℓ, com consumo de 4,2 km/ℓ. A distância estabelecida da usina à planta de biodiesel é de 100 km



3.5.1.2.4 Produção de Energia Elétrica

A produção de energia elétrica é um processo em que as entradas e saídas estão aglomeradas como se a produção e a central de distribuição de energia ocorressem juntas, por isso provoca emissão de dióxido de carbono, quantificada como entrada no processo, e como saída, a energia elétrica necessária a sustentabilidade do sistema. Cada 1 MJ de energia produzido emite $2,54 \times 10^{-3}$ kg de CO_2 equivalente.

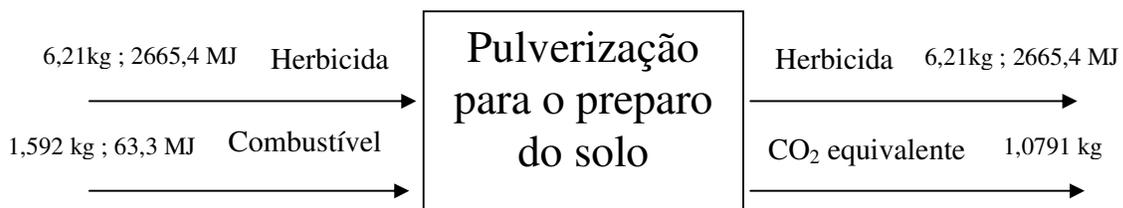


3.5.1.2.5 Produção agrícola

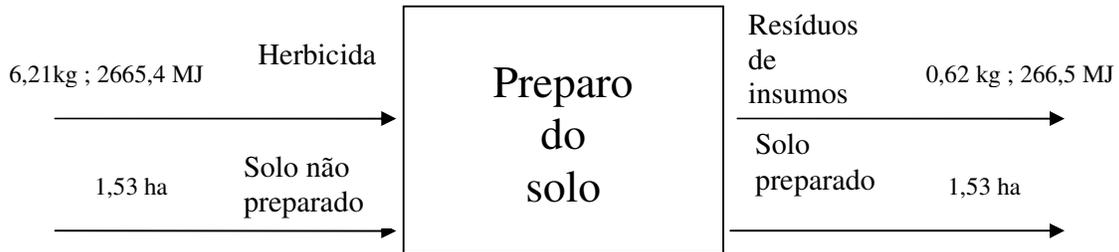
A produção agrícola é a fase de preparação do solo, plantio da soja, colheita e armazenamento dos grãos. Toda parte agrícola do ciclo é resultante da coleta de dados feita na Fazenda Wehrmann, inclusive do consumo e rendimento de maquinário e transporte utilizado com a plantação e sobre a armazenagem dos grãos.

A pulverização é feita por arrasto ou automotriz, ambos com motores diesel com consumo e rendimento calculado como uma média entre ambos. Os números estão relacionados com a utilização de B100 e o consumo do maquinário de pulverização é de 1,189 l/ha com taxa de emissão de CO₂ equivalente de 0,678 kg/kg de biodiesel queimado e de 3,146 kg/kg de diesel queimado. Para um cálculo mais prático foram fixados o potencial aquecimento global e a energia dos herbicidas (22,8 kg CO₂ eq/kg ; 429,27 MJ/kg) e pesticidas (24,5 kg CO₂ eq/kg ; 439,73 MJ/kg), de acordo com dados de Kim e Dale (2003).

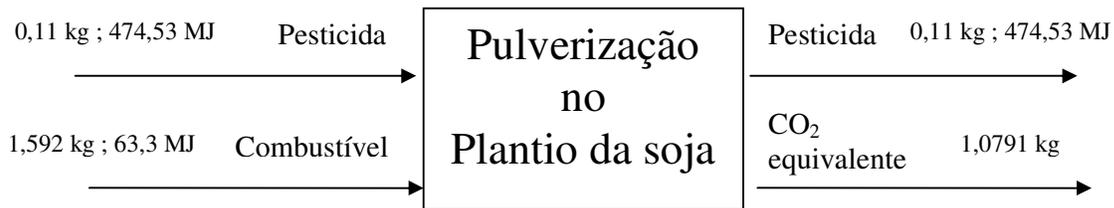
Na preparação do solo é aplicado herbicida dessecante, Glyphosate (4kg/ha), e o herbicida Chlorimoron (50g/ha) por pulverização. As entradas nesse processo são: os insumos e o combustível do maquinário para pulverização. As saídas são: os resíduos de herbicidas e emissões da queima do combustível pelo maquinário de pulverização.



O Processo de Preparação do solo depende somente da área necessária para o cultivo da soja, para a demanda de 1000 kg de biodiesel, com a produtividade da fazenda de 3200 kg de grãos por hectare.

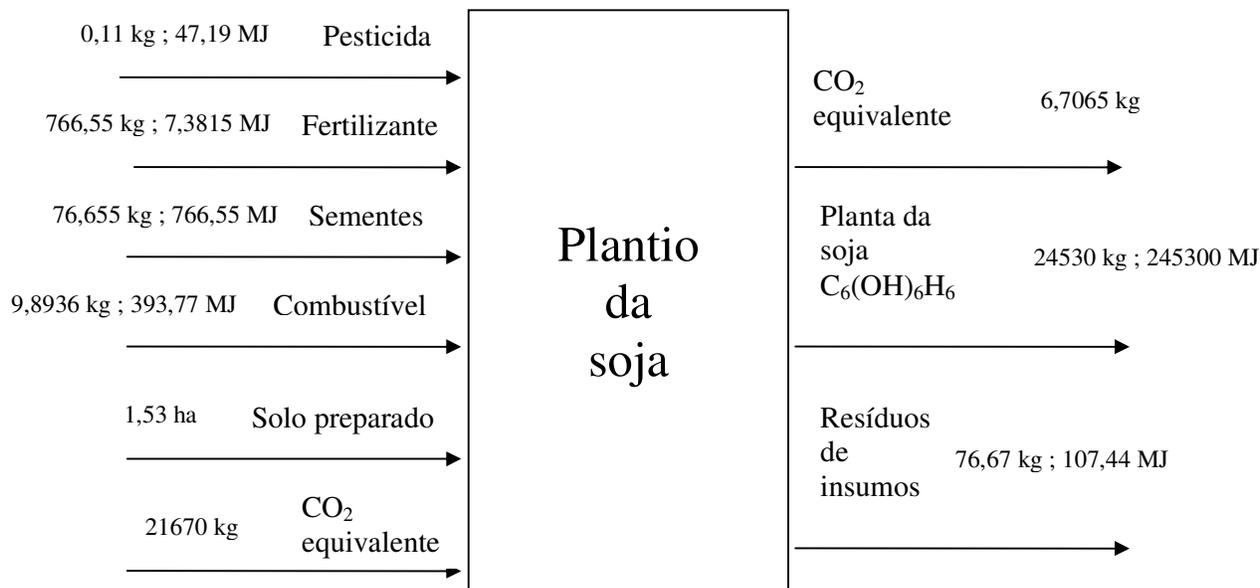


No plantio da soja aplica – se por pulverização com o consumo de 1,189 l/ha, e a emissão de 0,678 kg de CO₂ eq / kg de biodiesel usado, o pesticida fungicida Thiophanate-methyl (70g/ha).

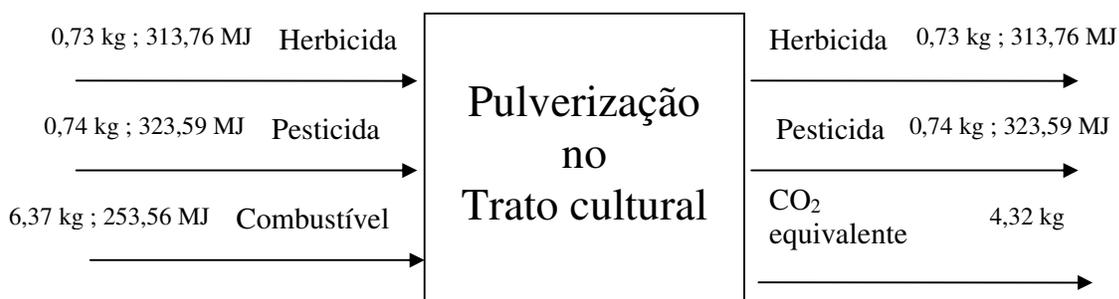


A lavoura dura 130 dias. A produção de soja independe de um sistema de irrigação, pois o plantio é realizado na estação chuvosa e dispensa a utilização de recursos hídricos. A planta da soja tem como entrada o dióxido de carbono equivalente ao carbono contido na celulose (C₆(OH)₆H₆), em torno de 10% a mais em termos mássicos. É necessária a quantidade de 50 kg/ha de sementes e 500 kg/ha de fertilizante. O consumo do trator com a plantadeira é de 7,33 l/ha.

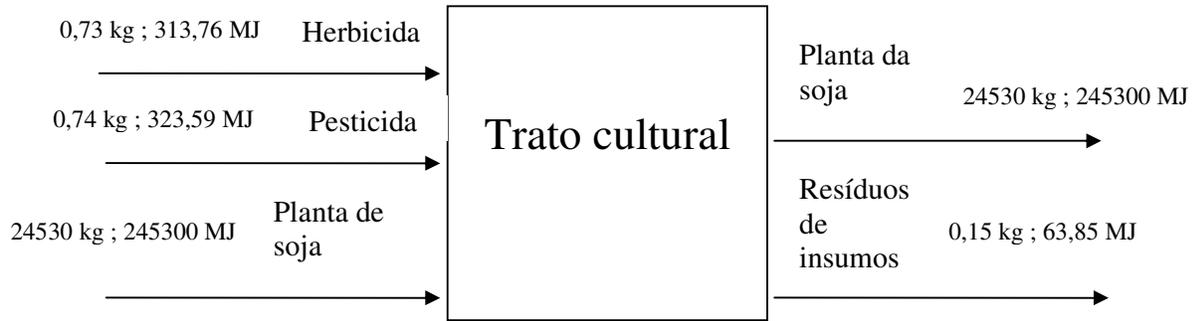
As sementes e o fertilizante são lançados utilizando o trator e a plantadeira, também a motores diesel. As entradas são: os insumos, o combustível e o CO₂ equivalente necessário para a formação da planta (celulose), e as saídas são: resíduos provenientes do fertilizante, do herbicida e do pesticida utilizado, emissões pela utilização do maquinário, e a planta da oleaginosa desenvolvida.



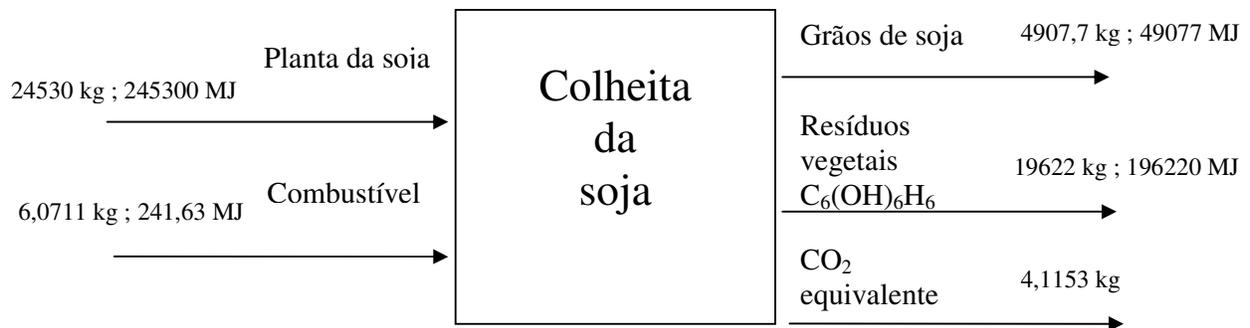
Na Pulverização para o trato cultural aplica – se o pesticida quatro vezes e mais herbicida uma vez, mantendo o consumo de 1,189 l/ha, e emissão de 0,678 kg de CO₂ eq / kg de biodiesel usado no maquinário.



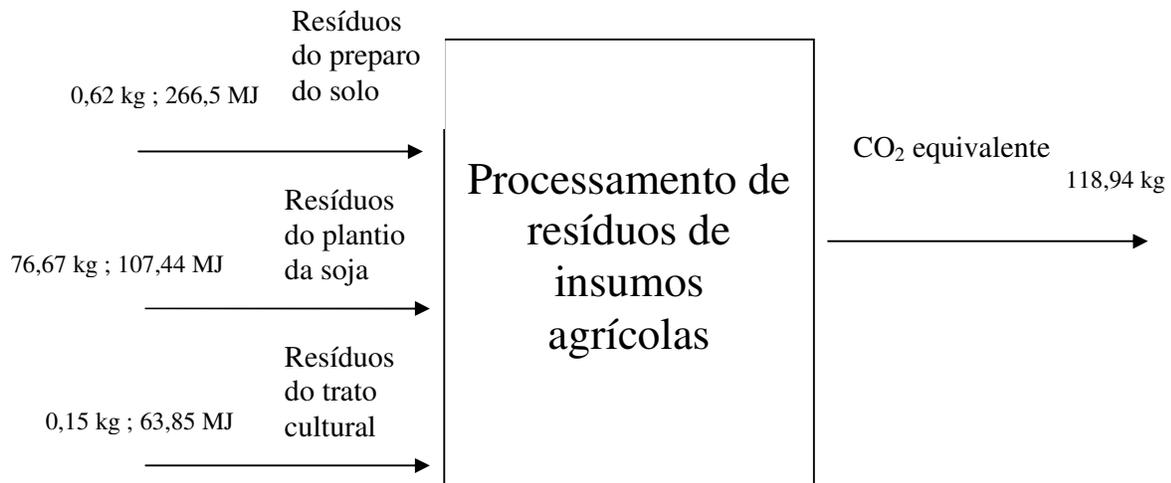
O trato cultural é a etapa da cultura agrícola que acontece entre o plantio e a colheita da soja. É a fase de manter o crescimento da planta, prevenindo de pragas e doenças e controlando as plantas daninhas. A distribuição dos insumos químicos é realizada por pulverização, já descrita anteriormente. As entradas são herbicidas e pesticidas e a planta da soja. Saída de resíduos e da planta da soja desenvolvida. Os herbicidas utilizados neste processo são Chlorimuron (50g/ha), Lactofen (96g/ha), Imazethapyr (280g/ha) e Fenox-Aprope-P-Etílico (50g/ha). Os pesticidas são o inseticida Thametoxan (28g/ha) e os fungicidas Pyraclostrobin (67g/ha) e Epoxiconazole (25g/ha).



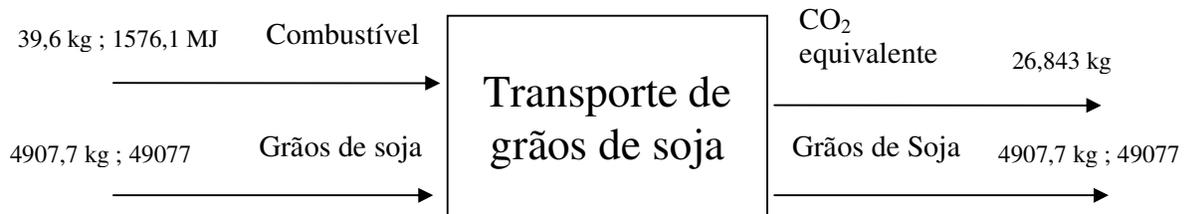
A colheita é realizada por uma colheitadeira. Entrada de combustível para maquinário e planta de soja, e saída de grãos e resíduos da planta da soja descartada e de CO₂. O consumo do maquinário é de 4,5 l/ha. A produtividade é de 3200kg/ha, e 260000 plantas/ha, com rendimento mássico de 20% em grãos.



Os resíduos de insumos agrícolas são a parte desse material que fica no solo, fixada em 10%. Os resultados são convertidos em CO₂ equivalente e retornam ao meio.

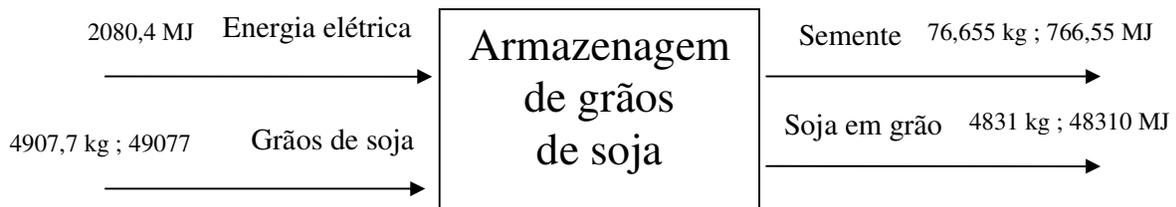


A soja é transportada para armazenagem de grãos e sementes e controle de qualidade, com dados referentes para emissões de motor diesel com fonte já citada e consumo e rendimento de acordo com o utilizado na Fazenda, caminhão de carga cheio consumindo 3 km/ℓ num percurso de 15 km.



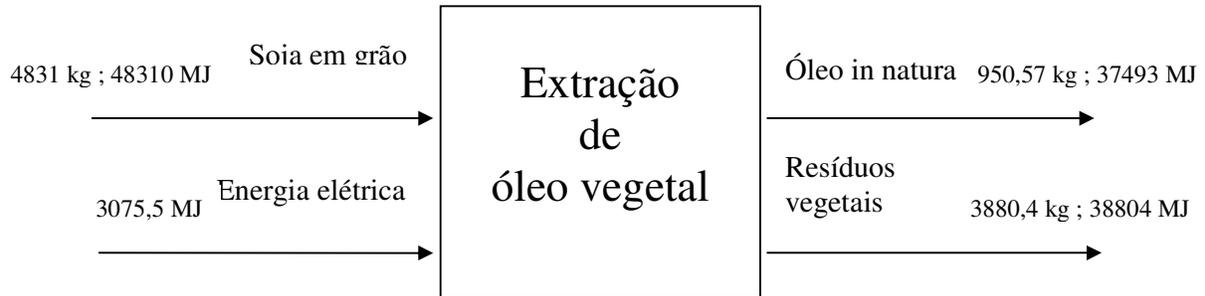
3.5.1.2.6 Armazenagem de grãos

O processo de armazenagem tem como *inputs* os grãos, e energia elétrica para o controle de qualidade e iluminação, incluindo a manutenção da umidade e temperatura locais no silo. São necessários 2,5 kJ para cada kg de soja. Os *outputs* são os grãos selecionados e prontos para a extração do óleo.

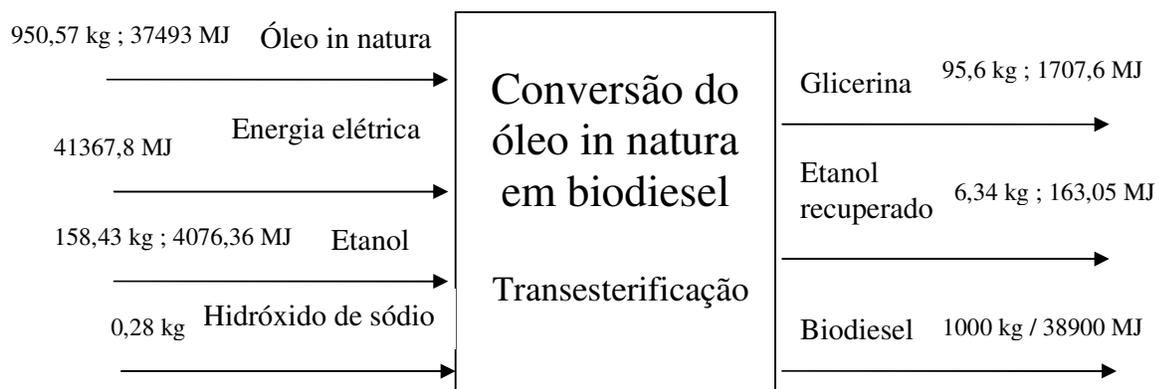


3.5.1.2.7 Processamento da soja

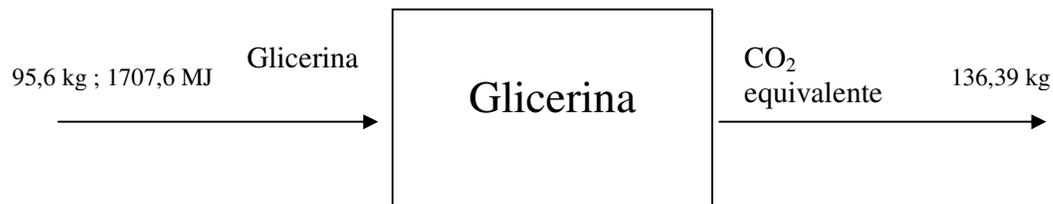
A prensagem tem como entradas a energia elétrica, 0,08 MJ/MJ de biodiesel produzido (Sheehan et.al. 1998) e os grãos, e como saídas o óleo vegetal e os resíduos. Após a prensagem é feito o transporte do óleo vegetal para transformação em biodiesel por transesterificação.



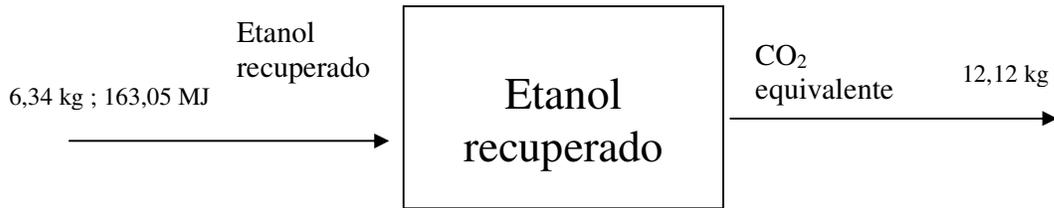
O processo de transesterificação é realizado com álcool etílico e hidróxido de sódio utilizando energia elétrica para o misturador com o óleo vegetal, e apresenta como saídas o biodiesel e a glicerina. O processo requer 1,0801 MJ/MJ de biodiesel produzido (SHEEHAN ET AL. 1998), com óleo in natura na proporção aproximada de 95% da quantidade de biodiesel a se produzida, etanol na razão de 1:6 e hidróxido de sódio 0,3% sobre o óleo vegetal (KUCEK, 2004). A glicerina removida é 10% em massa relativa a massa de biodiesel produzido (MAPA e JBIC, 2006).



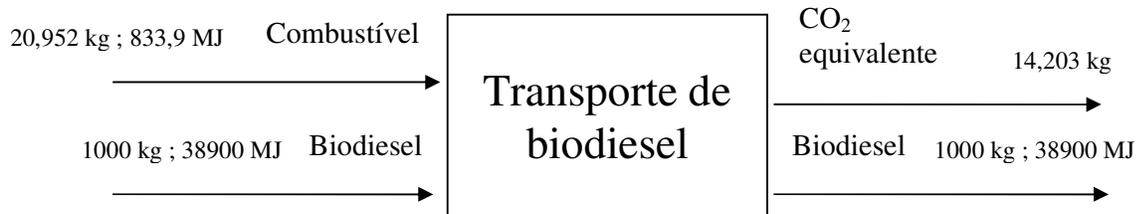
A glicerina ($C_3H_8O_3$) removida é convertida em carbono equivalente:



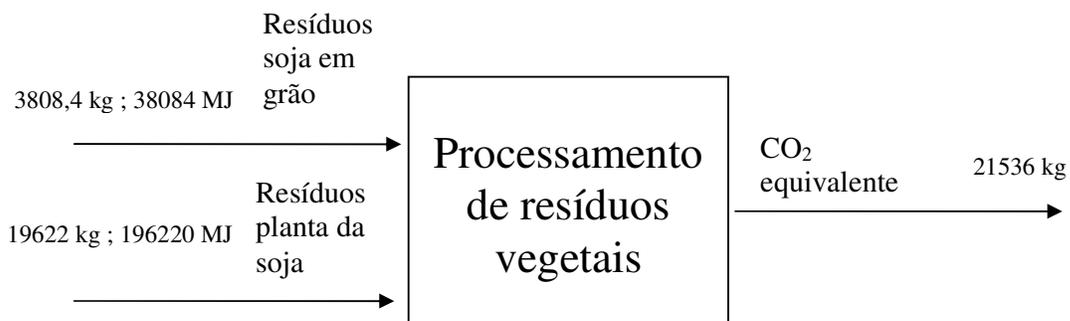
O etanol recuperado da transesterificação (4%) é convertido em carbono equivalente.



O biodiesel é transportado para a refinaria por caminhão tanque de capacidade de 10000 ℓ, com consumo de 4,2 km/ℓ e emissão de 0,678 kg de CO₂ eq / kg de biodiesel queimado e de 3,146 kg de CO₂ eq / kg de diesel. A distância estabelecida da planta de biodiesel à refinaria é de 100 km.



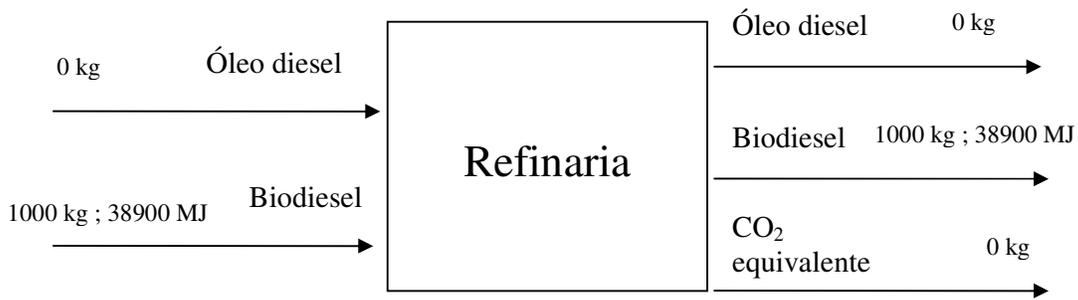
3.5.1.2.8 Processamento dos resíduos vegetais



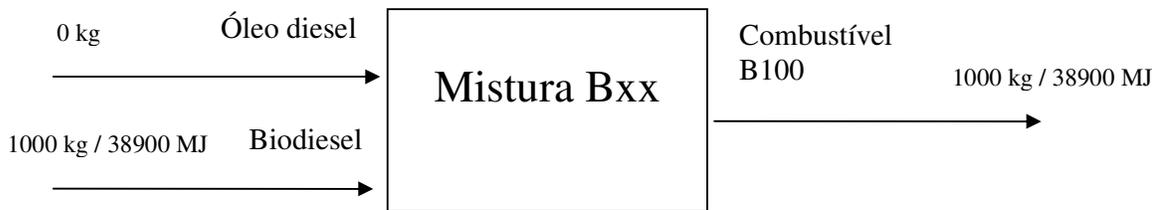
3.5.1.2.9 Tratamento e uso do biodiesel

Na refinaria entram o biodiesel produzido e o óleo diesel do petróleo, e a saída é do mesmo material, mas já na quantidade definida para a mistura e produção de BXX. O biodiesel

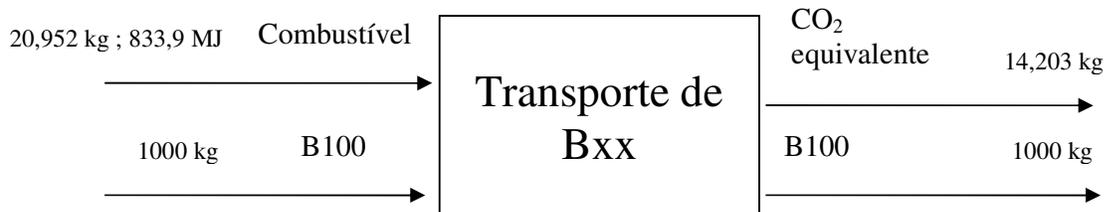
que não será utilizado na mistura é convertido em emissão de dióxido de carbono equivalente quantificada na saída para a razão de de 0,678 kg de CO₂ eq / kg de biodiesel queimado e de 3,146 kg de CO₂ eq / kg de diesel. Para a adoção de B100 não há entrada de óleo diesel e todo combustível é utilizado na produção de grãos e queima direta, não há queima na refinaria neste caso.



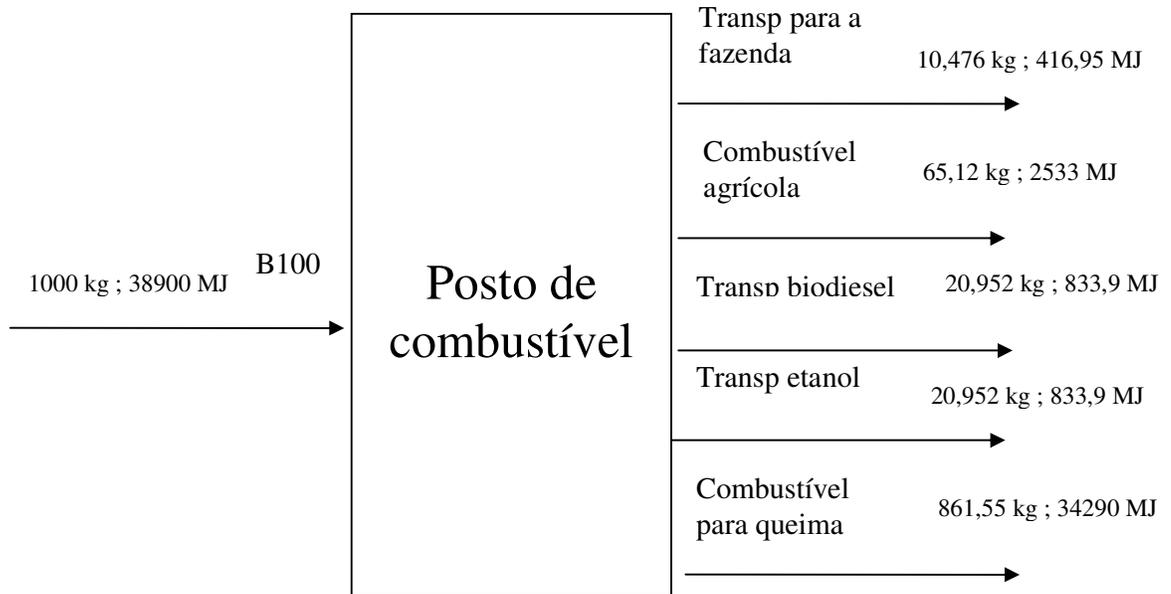
O processo de mistura dos combustíveis é realizado na própria refinaria, e o BXX transportado aos postos de distribuição de combustível.



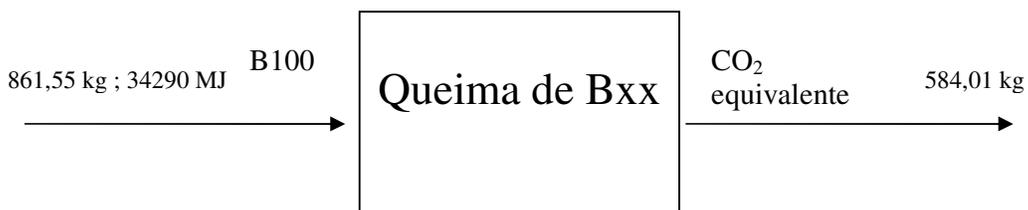
O combustível é transportado para o posto de distribuição de combustível por caminhão tanque de capacidade de 10000 ℓ, com consumo de 4km/ℓ e emissão de de 0,678 kg de CO₂ eq / kg de biodiesel queimado e de 3,146 kg de CO₂ eq / kg de diesel. A distância estabelecida da planta de biodiesel à refinaria é de 100 km.



O posto de combustível distribui o Bxx para a produção agrícola e todo transporte realizado, o restante é queimado por outra unidade de mesma especificação.

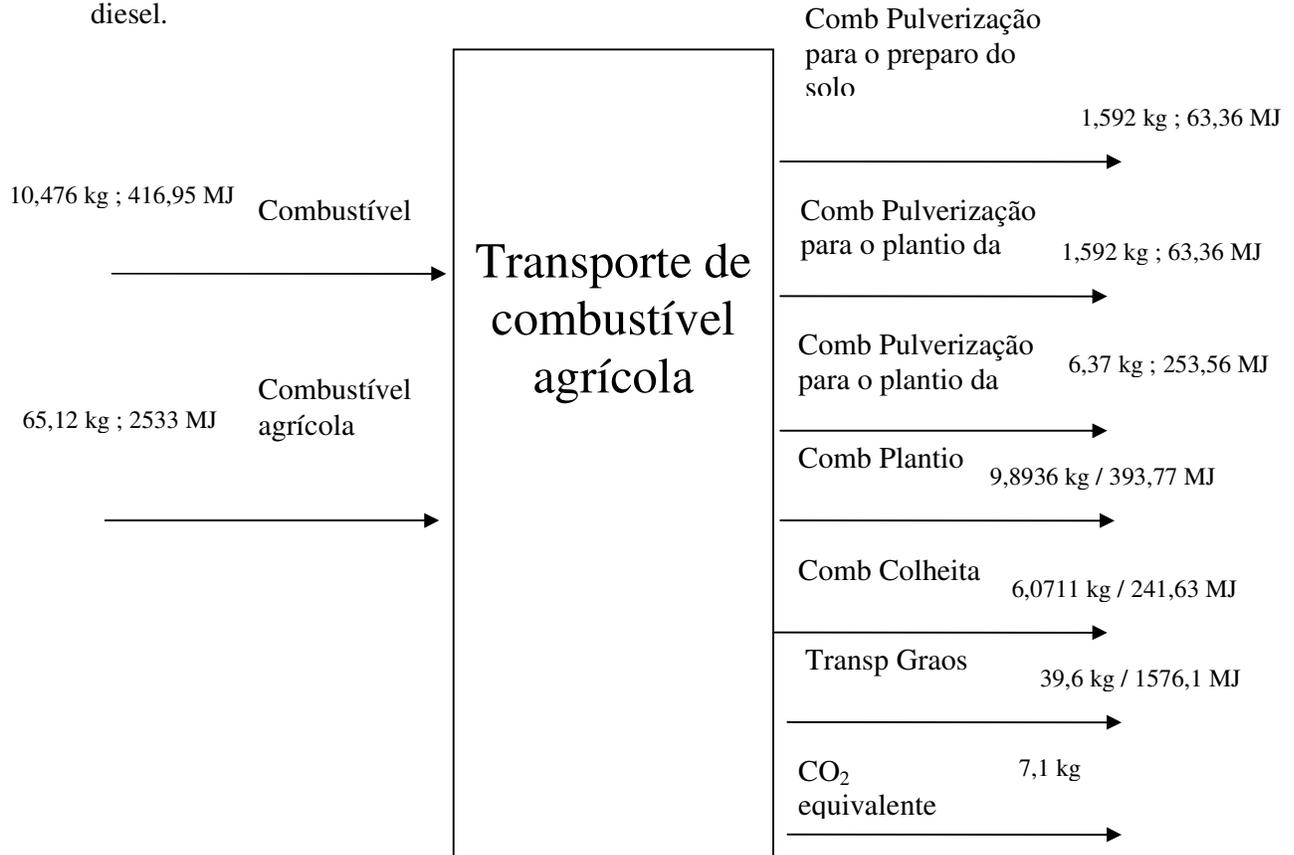


A queima do BXX é um processo realizado pela utilização do combustível em motores de combustão interna, que tem o combustível como entrada e a emissão de dióxido de carbono equivalente como saída. A proporção do combustível fixada para estes resultados é de 100% de biodiesel, B100.



O transporte de combustível para a fazenda para abastecer o maquinário agrícola e o caminhão de transporte de grãos é realizado por caminhão tanque de capacidade de 10000 ℓ, com consumo de 4,2 km/ℓ e emissão de 0,678 kg de CO₂ eq / kg de biodiesel queimado e de 3,146 kg de CO₂ eq / kg de diesel. A distância estabelecida do posto de combustível até a fazenda é de 50 km. Esse é o ponto de distribuição do combustível, que reinicia o ciclo.

de 0,678 kg de CO₂ eq / kg de biodiesel queimado e de 3,146 kg de CO₂ eq / kg de diesel.



A Figura 3.3 exibe o sistema completo elaborado em termos mássicos para a produção e utilização do B100 retirado do *GaBi*, e a Figura 3.4 apresenta o mesmo diagrama para o consumo de B20. As Figuras 3.5 e 3.6 exibem, respectivamente, o sistema para queima de óleo diesel petroquímico na mesma proporção, ou seja, para 100% biodiesel, quando não é necessária a utilização e conseqüentemente produção de óleo diesel e para o consumo de B20, 20% de biodiesel e 80% de óleo diesel. Observa – se o fluxo mássico igual a 0 (zero) para o óleo diesel em ambos os diagramas de B100.

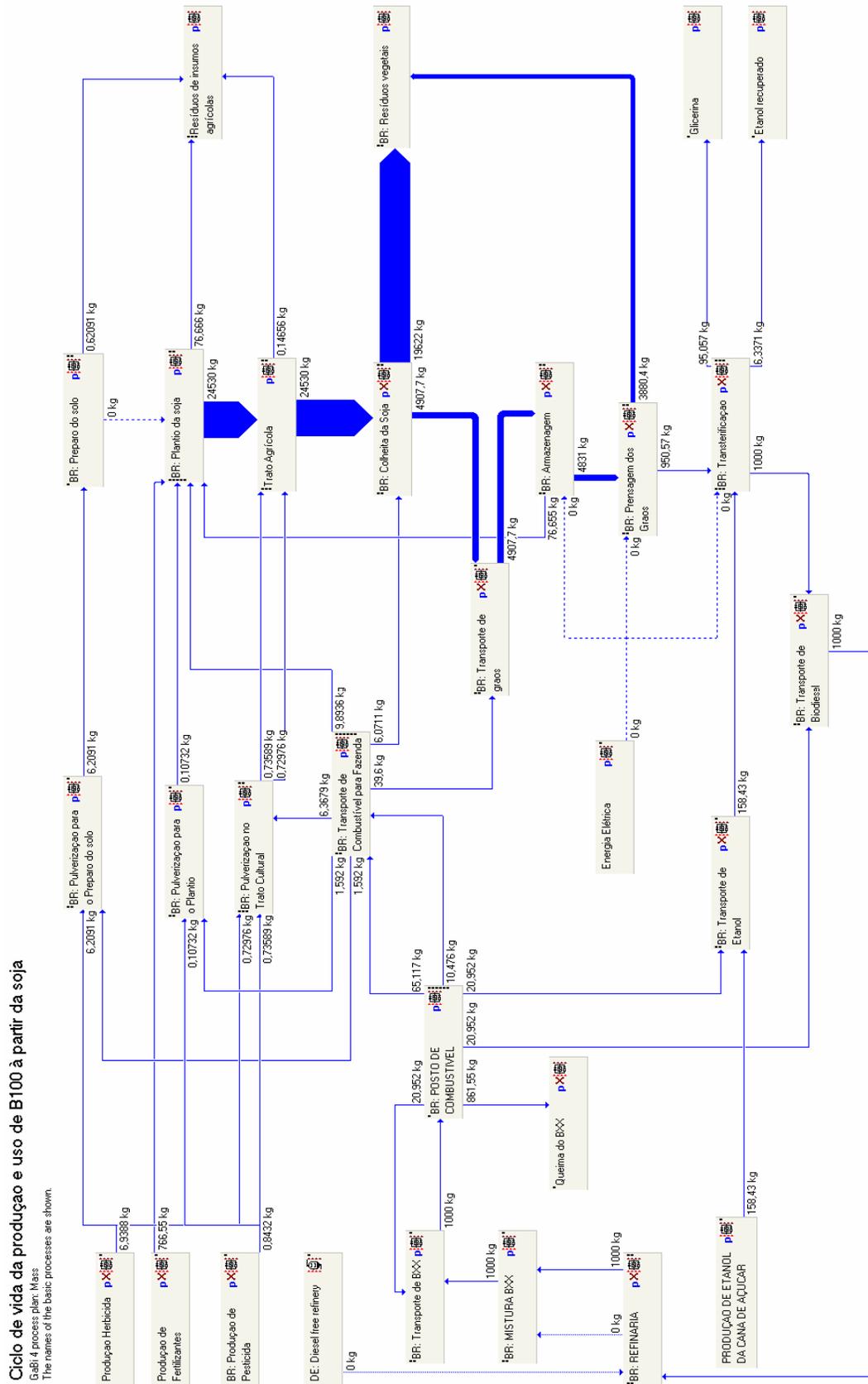


Figura 3.3 – Diagrama do sistema de produção e uso de B100.

Produção e uso de DIESEL

GaBi 4 process plan: Mass
The names of the basic processes are shown.

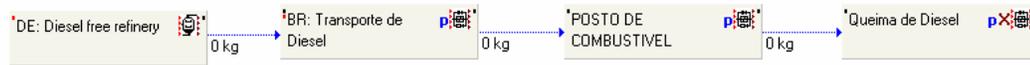


Figura 3.5 – Diagrama do ciclo do óleo diesel para consumo de B100.

Produção e uso de DIESEL

GaBi 4 process plan: Mass
The names of the basic processes are shown.



Figura 3.6 – Diagrama do ciclo de óleo diesel para consumo de B20.

3.6 RESULTADOS DA ACV

O carbono liberado e absorvido no ciclo de vida do biodiesel está envolvido diretamente com o consumo e produção de energia.

O balanço para biocombustível conta fortemente com a oscilação de três variáveis críticas que tem um impacto decisivo aqui:

- Primeiro, a energia utilizada na produção da matéria orgânica (energia solar e energia química de conversão), da planta propriamente dita, que depende de insumos químicos (fertilizantes, pesticidas e herbicidas) e de energia para o maquinário de transporte e cultivo.
- Segundo, a conversão do óleo vegetal em biodiesel é um processo de alto consumo energético no ciclo. Durante a conversão, existem diferentes tipos de produtos contendo uma energia relevante que é acumulada. Como exemplo, o etanol

utilizado na transesterificação, que tem toda a energia da produção e transformação da cana de açúcar em álcool etílico participando da produção do biodiesel.

- Terceiro, os resíduos agrícolas que também influenciam o balanço de energia.

Diferentes questões considerando essas três variáveis críticas podem facilmente mudar balanços energéticos e balanços de carbono no ciclo, e são a maior razão de variação entre diferentes estudos.

Todos os fluxos de energia e de carbono foram calculados da produção à eliminação durante o ciclo de vida do biodiesel.

As Figuras 3.7 e 3.8 mostram as entradas e saídas de CO₂ equivalente em todos os processos envolvidos no ciclo de produção e utilização de biodiesel puro (B100). São gráficos gerados pelo *Gabi*, com os resultados apresentados em termos do potencial aquecimento global gerado pelo carbono equivalente em 100 anos.

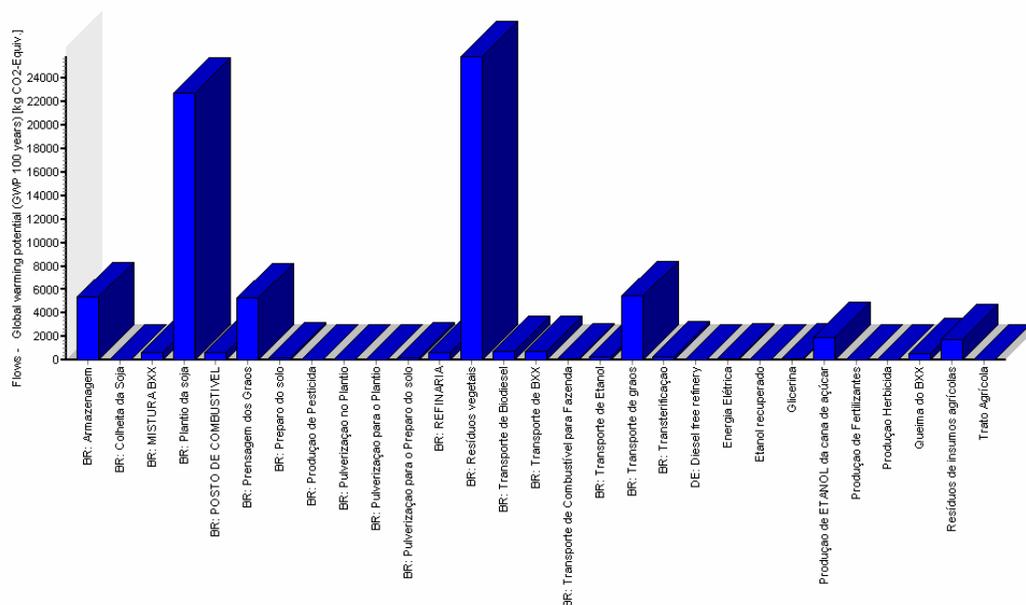


Figura 3.7 – Entrada de CO₂ no ciclo de vida do biodiesel (B100).

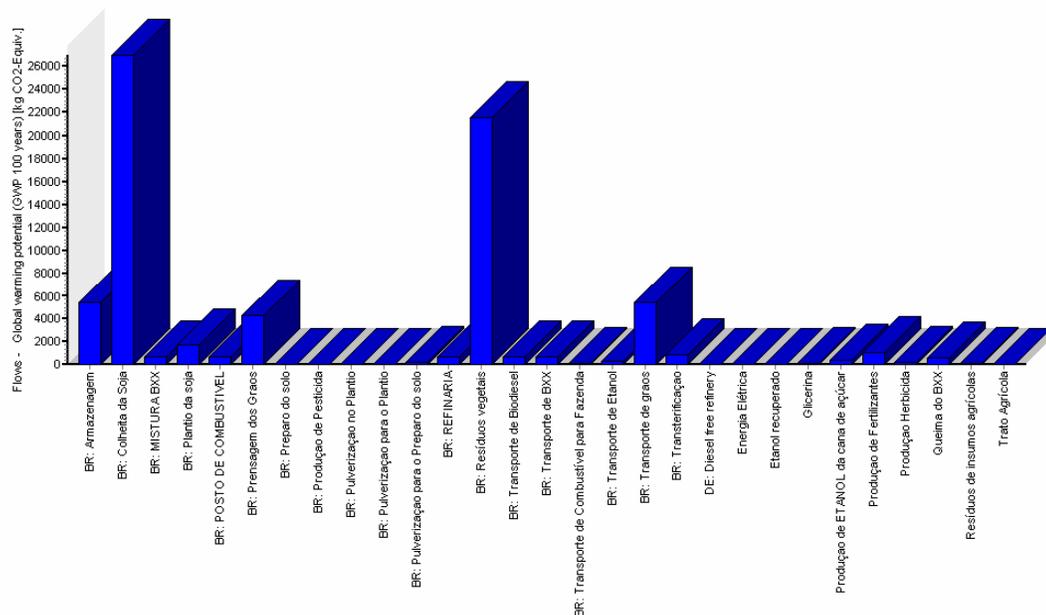


Figura 3.8 – Saída de CO₂ no ciclo de vida do biodiesel (B100).

Observa-se que o consumo de dióxido de carbono é maior no plantio da soja e da cana, quando há incorporação de CO₂ equivalente na formação celulósica, 21670 kg de CO₂ tornam-se 24530 kg de planta de soja e 1881,7 kg de CO₂ tornam-se 2186,2 kg de cana. A saída é maior na colheita pois retirados os grãos, a planta segue destino como resíduo vegetal, quando a composição da planta retorna a dióxido de carbono equivalente, total de 19622 kg de resíduo em 17267 kg de CO₂ equivalente. Essa equivalência é relativa à massa seca, retirada a porcentagem de água da planta. Os resíduos de grãos de soja, após a presagem, tem o mesmo destino residual vegetal.

Observa-se também que, como os fluxos de composições celulósicas, a produção de insumos químicos destaca-se no fluxo de entrada, com carbono na sua composição, confirmando a hipótese do trabalho de que o uso de pesticidas (0,931 kg de CO₂ para 0,843 kg) e herbicidas (11,334 kg de CO₂ para 6,94 kg) na produção agrícola é um fator relevante ambientalmente e energeticamente, como será mostrado mais a frente.

A queima de Bxx é outro processo que libera carbono em valor de destaque no ciclo, pois é a conversão direta, pela combustão, do combustível em dióxido de carbono equivalente (0,678 kg de CO₂ eq / kg de biodiesel).

Na Figura 3.9 observa – se a liberação e consumo de carbono no ciclo de vida do biodiesel para porcentagens do combustível na mistura (Bxx).

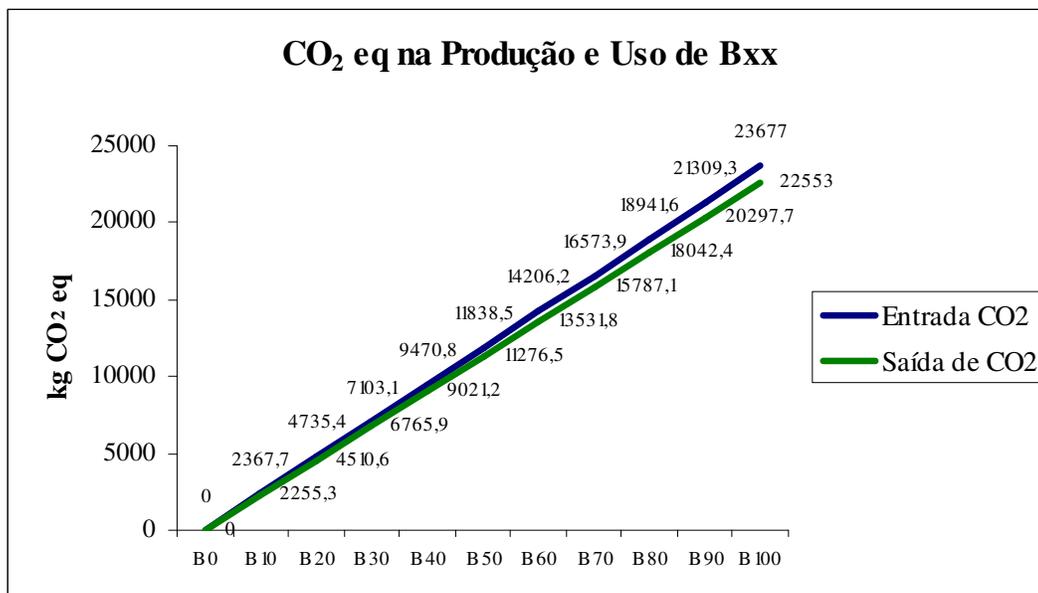


Figura 3.9 – Emissão e consumo de CO₂ para produção e uso de Bxx.

A liberação de CO₂ varia linearmente com a produção e utilização do combustível, se não há participação de biodiesel na mistura, a emissão é nula e para a produção e uso de 1000 kg de biodiesel puro a liberação é de 22553 kg CO₂ equivalente.

Com o consumo de carbono variando pela porcentagem de biodiesel na mistura, atinge-se o valor de 23677 kg de CO₂ equivalente na produção e uso de 1000 kg de biodiesel (B100). Esse resultado permite afirmar que para cada tonelada de biodiesel produzido e queimado no ciclo há absorção de 1,124 toneladas de dióxido de carbono equivalente.

A Figura 3.10 mostra os valores para emissões de CO₂ equivalente para a produção e uso de diesel de acordo com a porcentagem na mistura, facilitando a visualização do uso de 1000 kg de óleo diesel para a combustão até a mistura conter somente biodiesel, não havendo mais combustível fóssil no ciclo.

Vale lembrar que os números incluem a liberação de carbono para a produção de óleo diesel, ou seja, os valores da destilação do petróleo e suas emissões até a obtenção do

combustível em sua composição final pela refinaria incluídos no ciclo, pois como já comentado, é um processo da base de dados do *Gabi* (0,3449 kg de CO₂ / kg de diesel produzido). Incluem também o processo de liberação de carbono pela combustão no transporte do óleo diesel da refinaria ao posto de distribuição, 62,92 kg de CO₂ equivalente para o transporte de 1000 kg de combustível por 100 km, mas não incluem o dióxido de carbono equivalente na composição da matéria – prima (petróleo), ou seja, não há entrada de carbono neste ciclo.

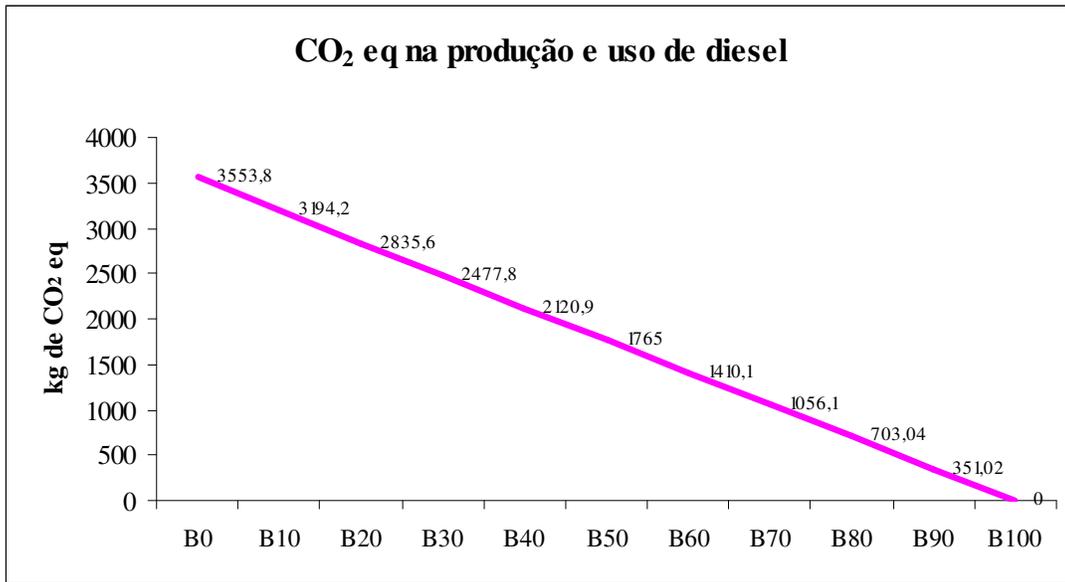


Figura 3.10 –Emissões de CO₂ no ciclo de vida do diesel.

Observa – se que a quantidade de óleo diesel na mistura é linear como as emissões relativas à massa de diesel utilizada para queima (3,146 kg de CO₂ eq / kg de diesel). A produção de 1 tonelada de biodiesel utilizando o combustível fóssil em todo o ciclo libera para o meio 3,55 toneladas de dióxido de carbono equivalente, pois não há absorção neste caso; o óleo diesel, assim como todo combustível produzido à partir do petróleo, tem um ciclo de vida do carbono de milhões de anos.

A Figura 3.11 reporta os resultados para os fluxos de entrada na produção e uso de 1 ton de biodiesel, saída na produção e uso de 1 ton de diesel, saída na produção e uso de 1 ton de biodiesel e os resultados do balanço de saída destes resultados, todos variando a porcentagem de biodiesel na composição da mistura.

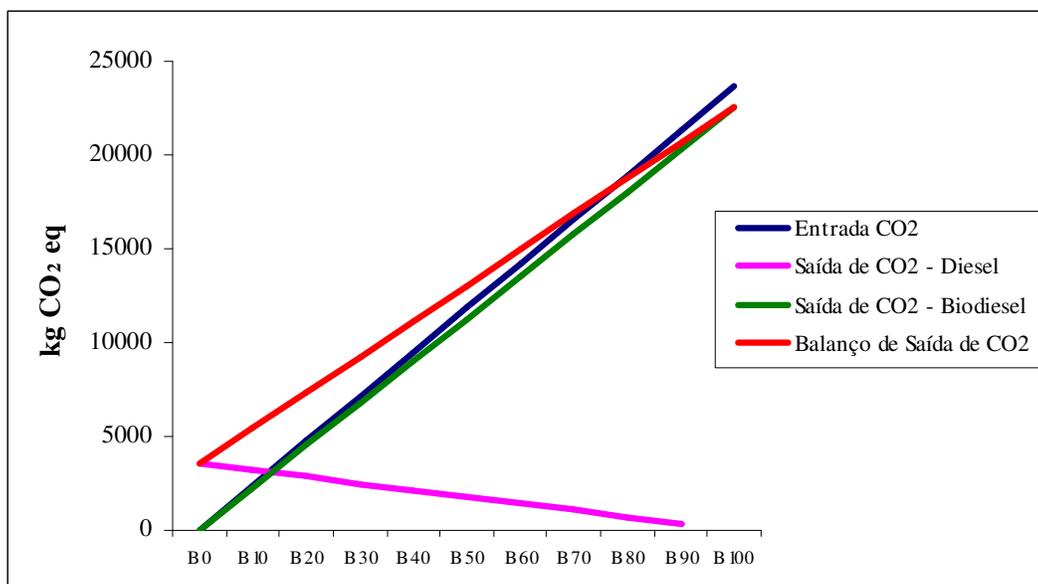


Figura 3.11 – Entradas e saídas de CO₂ para produção e uso de combustíveis na utilização de Bxx.

Observa – se que o ciclo de produção e uso do biodiesel, em qualquer porcentagem na mistura, resulta em um processo de absorção de carbono pelo meio, como ocorre nos ciclos de vida de vegetais em geral. O uso de B100 para sua própria produção requer maior quantidade de entrada de CO₂ equivalente (23677 kg) do que a emissão proveniente do ciclo (22553 kg), uma diferença significativa que mostra que a produção de biodiesel é positiva ambientalmente.

Na produção e utilização de B100, para cada tonelada de biodiesel produzido e queimado no ciclo há absorção de 1,124 toneladas de dióxido de carbono equivalente, resultado satisfatório para a redução do potencial aquecimento global.

Observa – se também que a mistura com 70% de biodiesel (B40) é um ponto de equilíbrio entre o balanço de saída de carbono equivalente da produção e uso dos combustíveis e a demanda de entrada de CO₂ para o B100. Esta é a porcentagem de participação do biodiesel na mistura que equilibra a entrada e saída de carbono na queima de combustível, ou seja, é a mistura que permite igual absorção e liberação do gás estufa (CO₂) no meio.

As saídas de óleo diesel e de biodiesel são iguais para a mistura de B12, apresentando emissão aproximada de 3,2 ton de CO₂ equivalente.

A Tabela 3.1 mostra os resultados do balanço de carbono equivalente para a produção e uso de biodiesel utilizando 1 tonelada de combustível: 100% de biodiesel (B100) e utilização de óleo diesel (1 ton) em motor de combustão interna, analisando suas emissões de CO₂ equivalente.

Tabela 3.1 – Balanço de CO₂ na utilização de biodiesel e de óleo diesel.

	Produção e uso de B100	Produção e uso de Óleo Diesel
Entrada de CO ₂ (kg)	23.677	0
Saída de CO ₂ (kg)	22.553	3.553,8
Balanço	- 1.124	3.553,8

Os resultados na liberação de carbono mostram nitidamente a variação com a diferença na composição do combustível no ciclo. A adição de biodiesel à mistura é linear e o decaimento também, apresentando resultados favoráveis para qualquer utilização de combustível na produção e conversão de óleo vegetal em biodiesel. As entradas e saídas de carbono fazem parte do cultivo e produção agrícola da soja e da cana – de – açúcar como carbono equivalente na composição da planta, celulose (C₆H₁₀O₅) convertida em glicose (C₆(OH)₆H₆), e na composição da glicerina e de insumos químicos utilizados.

O ciclo de carbono na produção de combustíveis à partir de óleos vegetais consiste no retorno e absorção do dióxido de carbono (CO₂), pois os processos de combustão e respiração balanceiam o dióxido de carbono da plantação com a absorção na fotossíntese, o que foi tratado como material eliminado pelo ciclo retornando ao meio como carbono equivalente à composição celulósica dos resíduos vegetais e à participação na fórmula molecular dos materiais consumidos. O acúmulo na atmosfera é reduzido e o tempo de ciclo do carbono, para fixação de CO₂ e substituição posterior na combustão de biodiesel, é pequeno (poucos anos) quando comparado ao carbono para óleos oriundos do petróleo (alguns milhões de anos). Neste caso, o ciclo absorveu mais carbono que com toda a produção: para cada 1 tonelada de biodiesel produzido e utilizado o meio absorve 1,124 toneladas de CO₂ equivalente. Não há saldo positivo ambientalmente na utilização de óleo diesel puro, 1 tonelada do combustível produzido e queimado libera 3,553 kg de CO₂ equivalente. Pode – se afirmar então que a produção e utilização de biodiesel “limpa” o

meio ambiente e evita o potencial aquecimento global gerado pela concentração de carbono na atmosfera.

O balanço energético do sistema envolve energia elétrica, energia de biomassa, energia consumida na combustão e a energia contida nos insumos químicos.

Na Tabela . observa-se o balanço total das principais fontes energéticas do ciclo de vida do biodiesel (B100).

Tabela 3.2 – Balanço energético da produção de B100.

	Consumo de energia (MJ)	Produção de energia (MJ)
Energia elétrica	46556	0
Biomassa	248656,79	0
Resíduos	0	235024
Biodiesel	5510,30	39800
TOTAL		- 25.899,09 MJ

Então, para produzir biodiesel são necessários 1,65 MJ/MJ de combustível produzido, excluindo os valores para o etanol. Mas é importante ressaltar que o processo de produção de etanol utiliza os resíduos da cana de açúcar para conversão em energia, utilizada na própria produção, e que o consumo energético pela biomassa, apresentado na Tabela 3.2, refere-se a energia de 10 MJ/kg de planta necessária na produção de soja (24530 kg).

A energia elétrica total utilizada no ciclo de vida do biodiesel (B100) foi de 46.556 MJ. Não há variação relevante para porcentagem de biodiesel na mistura, os processos dependem da quantidade de combustível a ser produzida que neste trabalho é uma variável fixada em 1 tonelada. A Figura 3.12 mostra a distribuição no consumo dessa energia em todos os processos envolvidos no sistema.

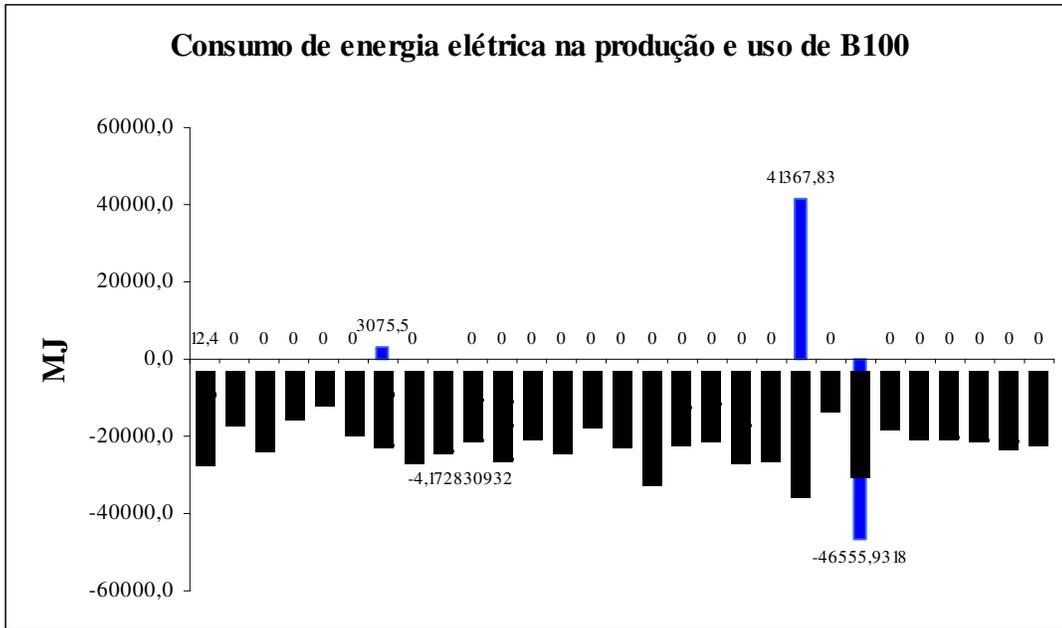


Figura 3.12 – Consumo de energia elétrica no ciclo de vida do biodiesel

Observa-se que o processo de conversão do óleo vegetal em biodiesel pela transesterificação é a etapa de maior consumo de energia elétrica do ciclo correspondendo a 93% de todo consumo de energia elétrica, concordando com resultados da literatura. A Figura 3.13 mostra a distribuição percentual de energia elétrica no sistema.

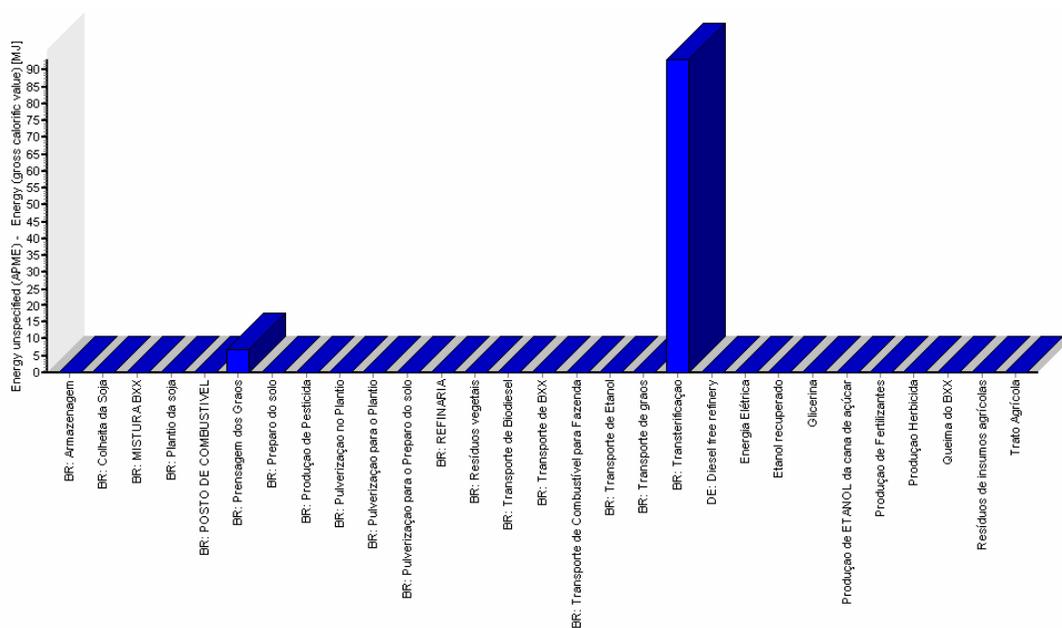


Figura 3.13 – Distribuição percentual do consumo de energia elétrica no ciclo do B100.

A Figura 3.14 mostra a distribuição de energia de biomassa em todo o ciclo de vida para produção e uso de 1 tonelada de biodiesel puro.

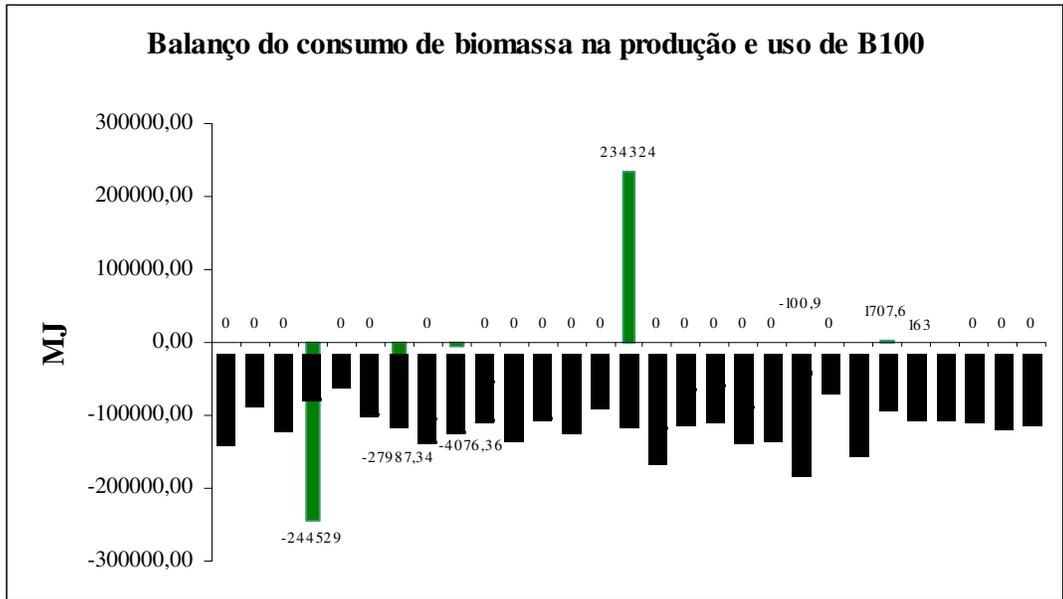


Figura 3.14 – Distribuição de energia de biomassa no ciclo de vida do B100.

Como a energia de biomassa é a energia intrínseca a planta de soja, semente, grãos, resíduos utilizados na produção do biocombustível, há diversificação de entradas e saídas nos processos do sistema. O balanço energético total da biomassa apresenta liberação de 40.499,5 MJ.

A energia total consumida pela combustão para a produção (5510,3 MJ) e utilização de 1 tonelada de B100 resultou em 39.800 MJ. A distribuição deste consumo pode ser observada na Figura 3.15 abaixo.

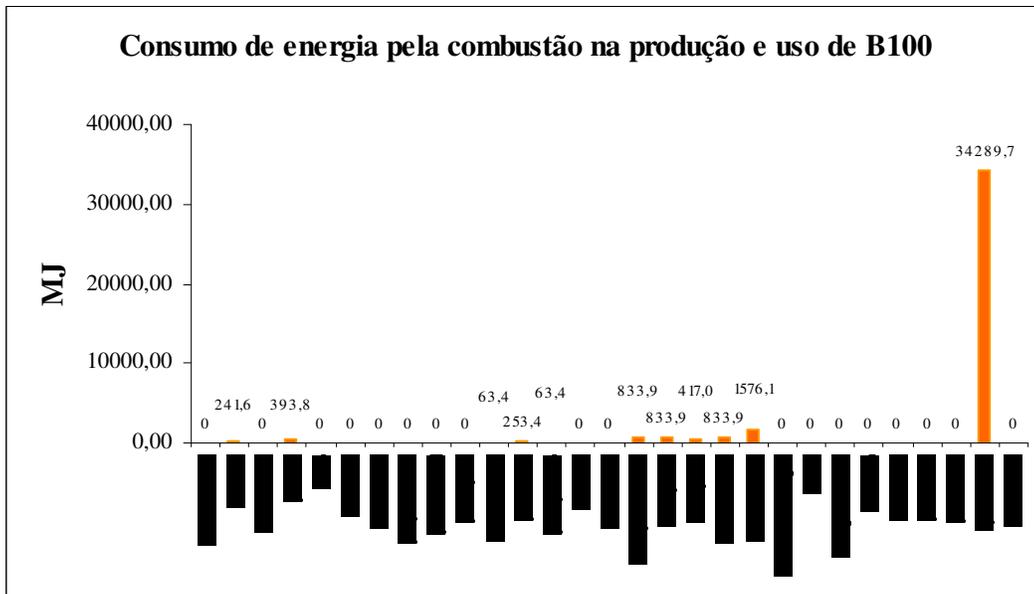


Figura 3.15 – Consumo de energia pela combustão no ciclo de vida de B100.

A combustão pela queima de biodiesel é o processo de maior consumo de energia, pois também é o processo com maior entrada de B100.

A distribuição do consumo e produção de insumos químicos (herbicidas, pesticidas e fertilizantes) nos processos participantes do ciclo pode ser observada na Figura 3.16. Os resultados correspondem a demanda necessária para a produção e uso de 1 tonelada de biodiesel.

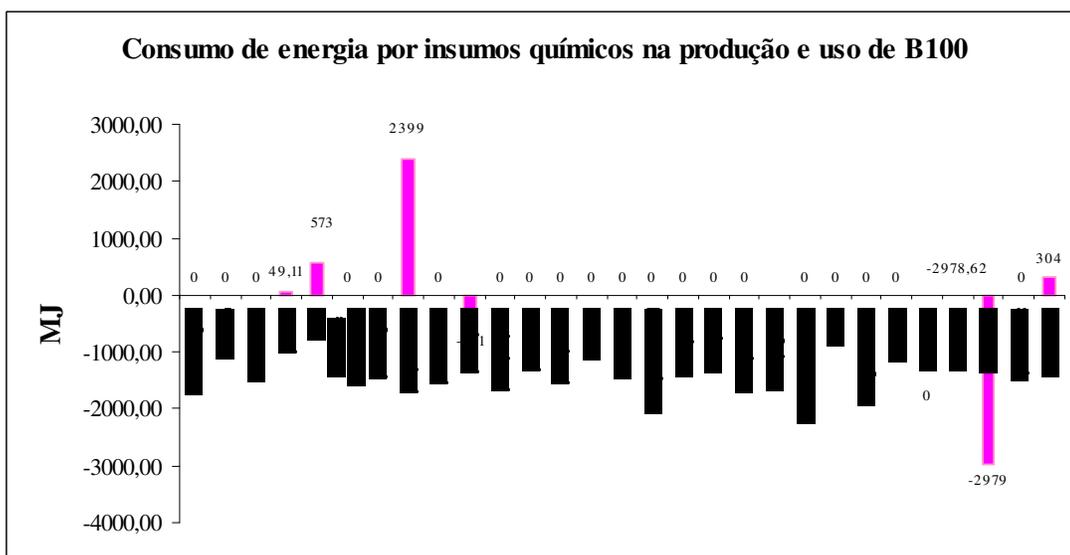


Figura 3.16 – Consumo energético por insumos químicos no ciclo de vida de B100.

A produção de insumos químicos resulta em 3356,8 MJ. A preparação do solo apresenta resultado de consumo maior devido a utilização de herbicida dessecante, que demanda mais que os outros no plantio da soja e trato cultural.

A Figura 3.17 apresenta os resultados para o balanço energético geral no sistema.

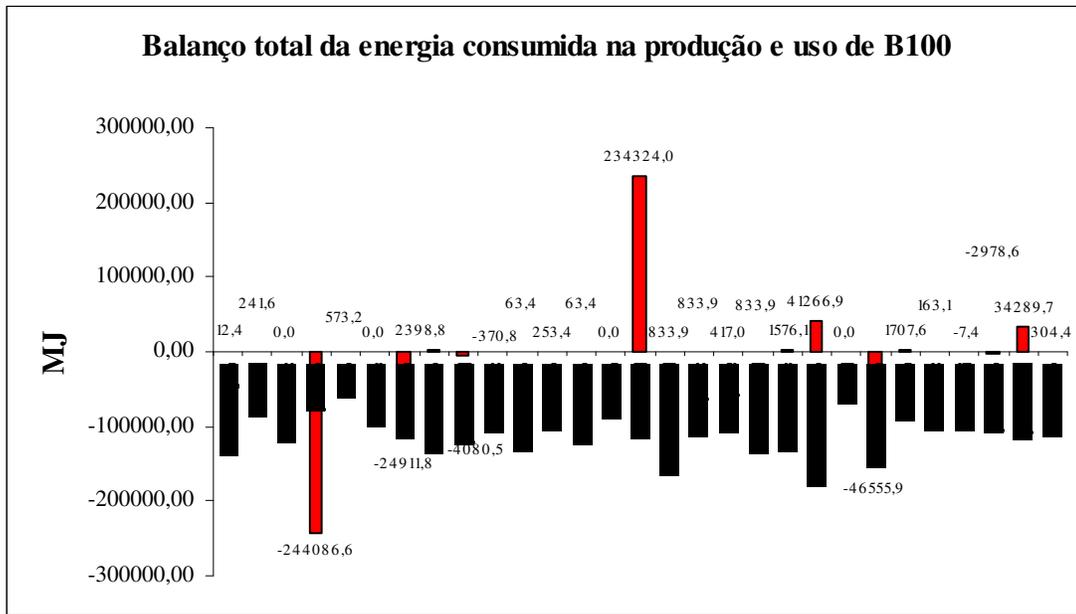


Figura 3.17 – Balanço energético geral no ciclo de vida da produção e uso de B100.

Os processos que se destacam pelo consumo ou liberação de energia são aqueles com fluxos mássicos celulósicos, como resíduos, planta de soja e grãos, a transesterificação, dependente de energia elétrica, além da produção de herbicida e de pesticida. O balanço total do sistema para produção e uso de B100 é positivo se contabilizada a produção de energia na produção de etanol. A energia produzida no ciclo de vida do biodiesel é consumida completamente com a utilização do combustível em motores diesel.

O processo de armazenagem apresenta entrada de energia elétrica e energia de biomassa, com saída da mesma energia de biomassa, consumo de energia, elétrica (12,4 MJ).

A colheita da soja tem entrada de energia do combustível utilizado no maquinário e da energia contida na planta da soja, e saída de energia pelos resíduos da planta de soja, pelos

grãos colhidos e pelo carbono equivalente emitido da queima do combustível, com balanço total de 241,6 MJ consumidos, porque a energia contida na planta da soja tem embutida a energia solar, química e de fermentação para a formação da planta.

O processo de mistura dos combustíveis, refinaria, e o posto de distribuição de combustível não apresentam entradas ou saídas de energia pelo fato de que não há atividade realizada ou produtos diferenciados de saída no processo: os combustíveis entram e saem sem consumo ou liberação de energia, é um processo que participa do sistema para facilitar a moldagem e a visualização de todo o ciclo de vida. No caso da refinaria, caso haja biodiesel como sobra da mistura, mistura diferente de B100, ele será utilizado e consumirá energia pela combustão.

O plantio da soja requer energia do combustível para o maquinário, da glicose para formação da planta, e da produção de insumos agrícolas utilizados no processo. Na saída, há planta de soja como biomassa, resultando em um processo de liberação de energia (244.086,6 MJ).

O trato cultural tem consumo de insumos químicos, entrada de planta com herbicidas e pesticidas e saída de planta da soja. O consumo energético apresentado é de 573,2 MJ.

A prensagem dos grãos utiliza energia elétrica (3075,5 MJ) para realizar a extração do óleo vegetal do grão de soja, que também participa como biomassa no balanço de energia. A saída do processo é a quantidade de óleo vegetal in natura, e os resíduos do processo, pura biomassa a ser convertida em energia. O processo resulta em liberação de energia (24911,8 MJ).

A preparo do solo para o cultivo agrícola tem entrada de energia pela adição de herbicida no processo e saída de resíduos, tornando o processo um consumidor em termos energéticos (2398,8 MJ).

O processo de produção de etanol apresenta liberação de energia, com entrada de carbono convertido em biomassa e transformado em etanol. A energia utilizada no processo de produção da cana e conversãoda matéria orgânica em álcool é obtida do bagaço da cana de

açúcar, não havendo necessidade de entrada de energia elétrica. Balanço com produção de energia (4.080,5 MJ)

A produção de insumos agrícolas tem grande liberação de energia por kg de material, resultando em 2978,62 MJ para o herbicida, 7,38 MJ para o fertilizante, e 370,78 MJ para o pesticida, pois estes materiais têm energia intrínseca em sua composição.

Tanto a pulverização no preparo do solo e no plantio da soja, como no período de trato cultural, não apresentam consumo ou produção de energia significativa porque são processos de transição de materiais. Há somente apresentação de resultados energéticos relacionados a combustão realizada no maquinário de pulverização, com consumo total de 380,16 MJ.

O destino dos resíduos vegetais (234324 MJ) é um processo com consumo de energia de biomassa que é transformada em carbono equivalente, resultando em consumo energético. Lembrando que os fluxos mássicos celulósicos são fontes de energia porque foi determinado que os resíduos vegetais (celulose) liberam, por kg de planta queimada, cerca de 10 MJ de energia.

O destino de resíduos de insumos agrícolas apresenta consumo de energia, pois é um processo com entrada de resíduos fertilizantes, herbicidas e pesticidas, 304,4 MJ no total.

Os processos de transporte apresentam balanços energéticos de consumo pela combustão, somando um total de 5510,3 MJ.

A transesterificação requer energia elétrica para a conversão do óleo in natura em biodiesel e libera combustível. O resultado é coerente com a literatura (SHEEHAN et al., 1998), de que o processo da transesterificação é a etapa do ciclo com maior consumo de energia. O resultado mostrou consumo de 93,1% da energia elétrica total utilizada no sistema (41.367,98 MJ)

A produção de diesel não contabiliza a energia de entrada e a saída é o combustível. Para a utilização de B100 no sistema não requer óleo diesel, por isso não há liberação de energia. Balanço zerado.

O processo de produção e distribuição de energia elétrica não computou valores, pois é a fonte de energia de diversos processos.

A Glicerina (1707,6 MJ) é diretamente convertida em CO₂ equivalente.

O Etanol recuperado (163,05 MJ) também é convertido em CO₂ equivalente.

A queima de Bxx tem como entrada o combustível, consumido na combustão, e liberação de carbono equivalente. O balanço energético é de consumo de 34.289,7 MJ.

A Tabela 3.3 mostra os resultados obtidos para todos os processos do ciclo avaliado e o balanço final energético e de CO₂ equivalente na produção e utilização de biodiesel (B100) à partir do óleo de soja.

Observa-se que o balanço energético resultante é equilibrado, com registro de liberação somente da energia produzida na produção de etanol pela cana de açúcar. A energia produzida no ciclo de vida do biodiesel é utilizada no próprio ciclo de produção.

As aproximações decimais provocam pequenas diferenças no resultado final.

Tabela 3.3 – Resultados obtidos para o ciclo de vida do biodiesel à partir do óleo de soja.

	Entrada de energia (MJ)	Saída de energia (MJ)	Balçoço (MJ)	Entrada de CO ₂ (kg eq.)	Saída de CO ₂ (kg eq.)	Balçoço de CO ₂ (kg eq.)
Produção de insumos agrícola	0,0	3356,8	3356,8	12,3	0,0	-12,3
Produção de Herbicida	0,0	2978,6	2978,6	11,3	0,0	-11,3
Produção de Pesticida	0,0	370,8	370,8	0,9	0,0	-0,9
Produção de Fertilizante	0,0	7,4	7,4	0,0	0,0	0,0
Produção de energia elétrica	0,0	44455,0	44455,0	112,7	0,0	-112,7
Etapa agrícola	595471,2	834376,8	238905,6	21670,0	44,1	-21625,9
Pulverização	380,2	0,0	-380,2	0,0	6,5	6,5
Preparo do solo	2665,4	266,5	-2398,8	0,0	0,0	0,0
Plantio da soja	1209,4	245301,5	244092,0	21670,0	6,7	-21663,3
Trato cultural	245936,9	245359,7	-577,2	0,0	0,0	0,0
Colheita da soja	245537,6	245296,0	-241,6	0,0	4,1	4,1
Transporte de grãos	50652,6	49076,6	-1576,1	0,0	26,8	26,8
Armazenagem	49089,1	49076,6	-12,6	0,0	0,0	0,0
Resíduos	235359,2	0,0	-235359	0,0	21652,7	21652,7
Resíduos vegetais	235023,6	0,0	-235024	0,0	21533,8	21533,8
Resíduos químicos	335,7	0,0	-335,7	0,0	118,9	118,9
Extração do óleo vegetal	51385,5	76297,3	24911,9	0,0	0,0	0,0
Transesterificação	84808,7	45751,7	-39057,0	1881,7	222,7	-1659,0
Produção de etanol	0,5	4081,0	4080,5	1881,7	71,1	-1810,6
Conversão do óleo em biodiesel	82937,5	41670,7	-41266,9	0,0	0,0	0,0
Destino da Glicerina	1707,6	0,0	-1707,6	0,0	139,4	139,4
Etanol recuperado	163,1	0,0	-163,1	0,0	12,1	12,1
Queima do B100	34289,7	0,0	-34289,7	0,0	584,0	584,0
Transportes	2918,7	0,0	-2918,7	0,0	49,7	49,7
Transporte de etanol	833,9	0,0	-833,9	0,0	14,2	14,2
Transporte de biodiesel	833,9	0,0	-833,9	0,0	14,2	14,2
Transporte de Bxx	833,9	0,0	-833,9	0,0	14,2	14,2
Transporte de combustível para a fazenda	417,0	0,0	-417,0	0,0	7,1	7,1
TOTAL	1004233,0	1004237,6	4,6	23676,7	22553,2	-1123,4

CONCLUSÕES

A necessidade de substituição dos combustíveis fósseis por fontes energéticas renováveis, como o biodiesel, exige um aprofundamento de todo o ciclo de vida abrangendo deste óleo, avaliando os potenciais impactos e os fluxos internos do sistema.

Este trabalho buscou o balanço energético e de CO₂ equivalente pela avaliação do ciclo de vida do biodiesel produzido à partir da soja, utilizando etanol da cana de açúcar na transesterificação (éster etílico de soja).

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que permitiu definir a procedência, natureza, quantidade e destino dos materiais participantes da produção e uso do biodiesel, possibilitando quantificar entradas e saídas de energia e carbono equivalente em cada processo do ciclo. Para a aplicação da ACV foi utilizada a ferramenta *GaBi*.

O balanço de CO₂ equivalente no ciclo é resultante da quantificação do potencial aquecimento global de fluxos mássicos, com entrada de carbono para crescimento da planta, ou seja, formação de biomassa e de insumos químicos utilizados no cultivo agrícola (herbicidas, pesticidas e fertilizantes). A produção de carbono equivalente é originária da queima do biodiesel em motores de combustão interna e da conversão, como combustão, da matéria orgânica e química residual em CO₂ equivalente.

A produção de grão na produção de um combustível, a utilização deste na geração de energia pela combustão torna o processo mais limpo. Princípio básico de um ciclo energético renovável.

O resultado apresentado para este balanço foi positivo ambientalmente: para cada 1 tonelada de biodiesel produzido ele seqüestra 1,136 toneladas de CO₂ equivalente. Este resultado confirma o biodiesel como uma alternativa para o desenvolvimento sustentável na substituição do óleo diesel, que emite 3,55 toneladas de CO₂ equivalente por 1 tonelada do combustível produzido e utilizado.

A mistura de combustível com 70% de biodiesel na composição (B65) é o ponto de equilíbrio entre a absorção e a liberação de carbono no sistema. Com esta porcentagem o

combustível consome o mesmo carbono que libera na produção e na utilização em motores diesel.

A participação do etanol na composição do biodiesel é um fator que também propicia esse desempenho ambiental favorável, pois é um álcool também oriundo da biomassa, incorporando carbono equivalente no ciclo, e com emissões mais limpas que os combustíveis fósseis.

O balanço energético foi calculado abrangendo todos os processos e tipos de energia do ciclo de vida. Foram utilizadas energia de biomassa e energia elétrica, consumo de energia pela combustão e produção de energia como combustíveis e matéria orgânica e química residual.

O ciclo de vida para produção e uso de 1 tonelada de biodiesel requer 65.699 MJ de energia. Isso corresponde a um consumo de 1,65 MJ/MJ de combustível produzido.

O sistema agrícola requer incorporação energética pela biomassa, como já citado, e permite o balanço energético total do ciclo. A energia produzida é reaproveitada no ciclo de vida.

Grande parte da energia consumida no sistema é elétrica, podendo ser originária de fontes renováveis, como hidroelétricas, muito comuns no Brasil, ou a própria utilização do biodiesel na geração de energia.

A produção e utilização de insumos químicos na agricultura é parte importante do ciclo de vida agrícola e conseqüentemente da produção do biodiesel. A industrialização desses insumos requer energia e provoca emissões não inclusas nesta avaliação. São processos que apresentaram alta demanda de carbono equivalente e energética no sistema, pois são substâncias derivadas e/ou produzidas com o uso de petróleo, além de indispensável ao cultivo de grãos. A energia contida nos insumos utilizados participa do sistema de forma efetiva. A produção de pesticidas, herbicidas e fertilizantes somam 5% da energia consumida no sistema, concordando com a hipótese de que a utilização desse material no cultivo é indispensável e de relevante consumo energético, além de potencial fonte poluente; o carbono liberado é 9,7 vezes maior que a incorporação da produção.

O estudo comprovou a viabilidade energética e ambiental para produção e utilização do biodiesel para transporte rodoviário e maquinário agrícola, com equilíbrio energético e reabsorção do CO₂ equivalente emitido pelo ciclo de 1,136 kg de CO₂ equivalente por 1 kg de combustível (B100) para produção do biodiesel à partir do óleo de soja.

Esse resultado permite afirmar que a utilização de biodiesel como combustível em motores diesel é comprovadamente mais limpa que o óleo derivado do petróleo, além de perfeitamente renovável, permitindo uma oportunidade de controle no impacto do CO₂ sobre o potencial aquecimento global e o desenvolvimento sustentável propriamente dito.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, C.; REALFF, M.J. **Industrial Symbiosis: Refining the Biorefinery**. Journal of Industrial Ecology, v.07. n.3 – 4. p.05-09, 2004. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/jiec.2003.7.3-4.240>>. Acesso em: 13 novembro 2005.
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Define o biodiesel observando o regulamento técnico ANP n. 4/2004. Resolução n. 42 de 24 de novembro de 2004. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp>. Acesso em: 12 novembro 2006.
- ANSELMO FILHO, P.; BADN, O. **Biomass resources for energy in North-Eastern Brazil**, Applied Energy, v.77 p.51–67, 2004.
- BAITELO, R.L.; UDAETA, M.E.M.; BURANI, G.F.; FEI, S.P. **Avaliação da geração de energia elétrica com óleo diesel através dos custos completos**, In: LATIN – AMERICAN CONGRESS: ELETRICITY GENERATION AND TRANSMISSION. 5. 2003, São Pedro. Proceedings, São Pedro : UNESP/Valparaiso Catholic University/National University of Mar del Plata, 2003. 5p.
- BAITZ, M.; BINDER, M.; DEGEN, W.; DEIMLING, S.; KRINKE, S. - VOLKSWAGEN; DAIMLER CHRYSLER. **Comparative Life Cycle Assessment for Sundiesel (Choren Process) and Conventional Diesel Fuel**. Executive Summary, 2004.
- BARBOZA, J.C.S.; ALMEIDA, C.R.O. **Química Orgânica II: EEL - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Campus USP – Lorena. Notas de Aula**. Disponível em: <http://www.dequi.eel.usp.br/~croa/Organica_2.pdf>. Acesso em: 20 outubro 2006.
- BEER, T.; GRANT, T.; WILLIAMS, D.; WATSON, H. **Fuel-cycle greenhouse gas emissions from alternative fuels in Australian heavy vehicles**, Atmospheric Environment, v.36. p.753–763, 2002.
- BERNESSON, S.; NILSSON, D.; HANSSON, P.A. **A limited LCA comparing large- and small-scale production of rape methyl ester (RME) under Swedish conditions**, Biomass and Bioenergy, v.26. p.545 – 559, 2004.
- BILICH, F.; DASILVA, R. **Análisedo potencial brasileiro na produção de biodiesel**, 1ºCongresso da Rede Brasileira de Tecnologia do do Biodiesel, 2006. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congressso2006/agricultura/AnalisePotencial.pdf>>. Acesso em: 18 dezembro 2006.
- BIODIESEL.GOV.BR - GOVERNO FEDERAL DO BRASIL. CEIB. **Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel**. 2006. Disponível em: <biodiesel.gov.br>. Acesso em: corrente.
- BIODIESELBR. **Portal do Biodiesel**. 2006. Disponível em: <<http://www.biodiesel.com>>. Acesso em: corrente.
- BOTHA, T.; BLOTTNITZ, H. **A comparison of the environmental benefits of bagasse-derived electricity and fuel ethanol on a life-cycle basis**, Energy Policy, v.34. p.2654–2661, 2006.
- BRASIL, Lei n. 11097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira e estabeleceu os percentuais de mistura, o monitoramento e modelo tributário do biodiesel, além do aproveitamento dos

- créditos de carbono. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil/_ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm> Acesso em: 12 novembro 2006.
- BRASIL, Lei n. 11116, de 18 de maio de 2005. Dispõe sobre o registro de produtores e importadores de biodiesel. Disponível em: <<http://www010.dataprev.gov.br/sislex/paginas/42/2005/11116.htm>>. Acesso em: 12 novembro 2006.
- BRASIL, Lei n. 9478, de 06 de agosto de 1997. Define o biodiesel. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/9478-97.htm>>. Acesso em: 12 novembro 2006.
- CALDEIRA – PIRES, A.; NOLETO, M.G.; MENDONÇA, R.M.L. **Fluxos mássicos de produção do complexo sucroalcooleiro brasileiro para exportação**. In: 16º PÓSMEC NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 2006, Uberlândia – MG, 2006.
- CÂMARA DOS DEPUTADOS. **O Biodiesel e a Inclusão Social**. Centro de documentação e informação e Conselho de altos estudos e avaliação, Brasília – DF, 2003.
- CAMPO ABERTO, Marssey Ferguson, ano 20. p.24-31, ed.85, 2006.
- CARDONE, M.; MAZZONCINI, M.; MENINI, S.; ROCCO, V.; SENATORE, A.; SEGGIANI, M.; VITOLO, S. **Brassica carinata as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization**. Biomass and Bioenergy, v.25. p.623 – 636, 2003.
- CARRARETTO, C.; MACOR, A.; MIRANDOLA, A.; STOPPATO, A.; TONON, S.; **Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations**. Energy, v.29. p.2195–2211, 2004.
- CARVALHO, C.L. (departamento de combustíveis renováveis do MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA). **Política Nacional para o Biodiesel**. Salão Nacional dos Territórios Rurais, Brasília-DF, 2006. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br/saf/arquivos/0705912581.pdf>>. Acesso em: 20 janeiro 2007.
- CEIB – COMISSÃO EXECUTIVA INTERMINISTERIAL; PROSSIGA; IBICT.: PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DE BODIESEL. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br>>. Acesso em: 12 novembro 2006.
- CHOI, C.Y. Effect of bio-diesel blended fuels and multiple injections on D.I. diesel engines, SAE 970218, 1997. In: RAMADHAS, A.S.; MURALLEDHARAN, C.; JAYARA, S. **Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil**, Renewable Energy, v.30. p.1789-1800, Ed.: Elsevier, 2005.
- CNPE – CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICAS ENERGÉTICAS (MME). Permite que somente os produtores com o Selo Combustível Social poderão vender para as refinarias e dispõe sobre a adoção do percentual mínimo obrigatório intermediário de dois por cento, em volume, de adição de biodiesel ao óleo diesel de petróleo. Resolução n. 3 de 23 de setembro de 2005. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/ResolucaoCNPE3de28092005.pdf>>. Acesso em: 12 dezembro 2006.
- CORTIJO, P. **Conclusions: Data on Energy Use and Fuel Emissions in Agriculture**, 1998. In: AGRICULTURAL DATA FOR LIFE CYCLE ASSESSMENTS, WEIDEMA, B.P.; MEEUSEN, M.J.G.; LCA net food, 2000.
- DORNELLES, R. (Departamento de Combustíveis Renováveis do MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA). **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em:

- <<http://www.anp.gov.br/doc/biodiesel/GT%20BIODIESEL%20-%201ª%20reunião%2018%20mai%2006%20-%20MME.pdf>>. Acesso em: 04 novembro 2006.
- EMBRAPA; FUNDAÇÃO MERIDIONAL. Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil In: XXVI REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 2004, Ribeirão Preto-SP. **Ata da...** Londrina-PR, Embrapa Soja: Fundação Meridional, 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/download/publicacao/ata2004.pdf>>. Acesso em: 09 junho 2005.
- ENGWHERE ORÇAMENTOS LTDA. **Consumo de combustíveis/equipamentos.** Disponível em: <<http://www.engwhere.com.br/civil/equipamentos.htm>>. Acesso em: 14 fevereiro 2007.
- FERREIRA, C.R.R.P.T.; VEGRO, C.L.R. (IEA – INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA). **Fertilizantes refletem situação desfavorável no mercado de grãos, Análises e Indicadores do Agronegócio.** v.1 n.09, 2006.
- FERREIRA, K.C., CAMPOS, M.L.R., **Panorama estrutural do complexo soja no mercado goiano,** Revista Acadêmica das Faculdades ALFA, v. 1, 2004.
- FERRIS, R., WHEELER, T.R., HADLEY, P., ELLIS, R.H. Recovery of photosynthesis after environmental stress in soybean grown under elevated CO₂. *Crop Sci.* 38, p.948–955. 1998. In: HEINEMANN, A.B.; MAIA, A.H.N.; NETO, D.D.; INGRAM, K.T.; HOOGENBOOM, G. **Soybean (Glycine max(L.)Merr.) growth and development response to CO₂ enrichment under different temperature regimes.** *Europ.J. Agronomy*, 2005.
- FRAGOMENI, J. **Estudo de viabilidade e otimização de parâmetros em motores ciclo diesel operado com biodiesel.** 2004. 76f. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica). – Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.
- GAZETA MERCANTIL, **Promissora aposta no biocombustível,** 2006. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com.br>>. Acesso em: 07 novembro 2006.
- GIORDANO, S.R. **Competitividade regional e globalização.** São Paulo, 1999. 226p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 1999.
- GOODRUM, J.W. **Volatility and boiling points of biodiesel from vegetable oils and tallow,** *Biomass and Bioenergy*, v.22. p.205-211, 2002.
- HALL, D.O.; HOUSE, J.I. **Biomass: a modern and environmentally acceptable fuel.** *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 38. p.521-542, 1995.
- HEINEMANN, A.B.; MAIA, A.H.N.; NETO, D.D.; INGRAM, K.T.; HOOGENBOOM, G. **Soybean (Glycine max(L.)Merr.) growth and development response to CO₂ enrichment under different temperature regimes.** *Europ.J. Agronomy*, ed.: Elsevier, 2005.
- JANULIS, P. **Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle.** *Renewable Energy*, v.29. p.861–871, 2004.
- KADAM, K.L **Environmental benefits on a life cycle basis of using bagasse-derived ethanol as a gasoline oxygenate in India.** *Energy Policy*, v.30. p.371–384, 2002.
- KALTNER, F. **O biodiesel no Brasil.** A expansão da agro-energia e seus impactos sobre os ecossistemas brasileiros, Rio de Janeiro, 25-27 de março de 2007. Disponível em: <http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/16_Biodiesel_Franz_Kaltner.pdf> Acesso em: 06 abril 2007.

- KALTSCHMITT, M.; REINHARDT, G.A.; STELZER, T. **Life cycle analysis of biofuels under different environmental aspects.** Biomass and Bioenergy, v.12. n.2. p.121-134, 1997.
- KATAJAJUURI, J. M.; LOIKKANEN, T. **Enhancing competitiveness through green innovation: finish food industry committed to environmental data production: LCA pilot case for barley.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE GREENING OF INDUSTRY NETWORK – SUSTAINABILITY AT THE MILLENIUM: GLOBALIZATION, COMPETITIVENESS, AND THE PUBLIC TRUST, Bangkok, Thailand, 21-25 January, 2001, 9p.
- KHESHGIN, H.S.; PRINCER, R.C.; MARLAND, G. **The potential of biomass fuels in the context of global climate change: focus on transportation fuels,** Annu. Rev. Energy. Environ., v.25, p.199-244, 2000.
- KIM, S.; DALE, B.E. **Cumulative energy and global warming impact from the production of biomass for biobased products.** Journal of Industrial Ecology. v.07, n.3-4, p.147-162, 2003.
- KUCEK, K.T. **Otimização da transesterificação etílica do óleo de soja em meio alcalino.** 2004. 123f. Dissertação (Mestrado em Química Orgânica) – Curso de Pós graduação em Química, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 21004.
- LUCENA, T.K. **O Biodiesel na matriz energética brasileira.** 2004. 80f. Dissertação (Bacharelado em Economia) - Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- MACEDO, I.C.(NIPE/UNICAMP); LEAL, M.R.L.V.(CTC/COPERSUCAR); SILVA, J.E.A.R. (CTC/COPERSUCAR). – GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil.** 2004. Disponível em: <http://www.unica.com.br/i_pages/files/pdf_ingles.pdf>. Acesso em: 14 novembro 2006.
- MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO; JBIC – BANCO DE COOPERAÇÃO INTERNACIONAL DO JAPÃO; **Estudo Prospectivo para Fomento de Biocombustíveis no Brasil,** 2006. Disponível em: <http://www.cogensp.com.br/cogensp/publica.asp?id_tipo_doc=1>. Acesso em: 22 novembro 2006.
- MATTSSON, B.; CEDERBERG, C.; BLIX, L. **Agricultural land use in life cycle assessment (LCA): case studies of three vegetable oil crops,** Journal of Cleaner Production, Great Britain, v.8. p.283–292, 2000.
- MEIRELLES, F.S. (Presidente da Federação da Agricultura do Estado de São Paulo, Presidente do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural e Vice-Presidente da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil). **Biodiesel.** Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.faespsenar.com.br/faesp/economico/EstArtigos/biodiesel.PDF>>. Acesso em: 20 janeiro 2006.
- MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Biodiesel: o novo combustível do Brasil,** In: PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DO BODIESEL, Brasília, 2004.
- _____. **Estratégia para globalização do álcool brasileiro.** São Paulo, 2007. Disponível em: <[http://www.dinheirovivo.com.br/arquivos/1436,1,Slide 1](http://www.dinheirovivo.com.br/arquivos/1436,1,Slide%201)> Acesso em 09 abril 2007.

- MONYEM, A.; VAN GERPEN, J.H. **The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions.** Biomass and Bioenergy, v.20. p.317–325, 2001.
- NAPPO, M. (Coord. de Economia e Estatística da ABIOVE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ÓLEOS VEGETAIS). **Biodiesel no Brasil: A Visão da Indústria de Óleos Vegetais.** VI Fórum de Debates sobre Qualidade e Uso de Combustíveis, 2006. Disponível em: <http://www.abiove.com.br/palestras_br.html>. Acesso em: 18 outubro 2006.
- NARAYANASWAMY, V.; ALTHAM, J.; BERKEL, R.V.; MCGREGOR, M. **Methodological Framework for Application of Environmental Life Cycle Assessment (LCA) to Australian Grains.** Curtin University of Technology, Perth, Western Austrália, 2003.
- OLIVEIRA, L.B.; COSTA, A.O. Biodiesel – Uma experiência de desenvolvimento sustentável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 2002, Rio de Janeiro. **Anais do IX Congresso Brasileiro de Energia,** COPPE, v.IV. p.1772-1779, 2002.
- PASSOS, M. **Avaliação de sustentabilidade aplicada ao biodiesel.** 2004. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2004.
- PAULA, S.R. (Assistente Técnico); FAVERET FILHO, P. (Gerente Setorial) - Estudos de Agroindústria do BNDES. **Panorama do complexo soja,** 1998. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 25 setembro 2005.
- PERES, J.R.R.; JÚNIOR, E.F.; GAZZONI, D.L. **Biocombustíveis – Uma oportunidade para o agronegócio brasileiro.** Revista de Política Agrícola, ano XIV, n.01, 2005.
- PETERSON, C.L.; HUSTRUUD, T. **Carbon cycle for rapeseed oil biodiesel fuels,** Biomass and Bioenergy, v.14. n.2. p.91-101, 1998.
- PETROBRÁS, 2006. Disponível em: <<http://www2.petrobras.com.br/Petrobras/portugues/noticias/Repar.htm>>. Acesso em: 20 outubro 2006.
- PIRES, M.O. A trajetória do conceito de desenvolvimento sustentável na transição de paradigmas. 1998. In: XAVIER, J.H.V. **Análise de Ciclo de Vida (ACV) da Produção Agrícola Familiar em Unai –MG: Resultados Econômicos e Impactos Ambientais.** 2003. 149f. Dissertação (Pós – Graduação em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- PLUNCKNETT, D.L.; WINKELMANN, D.L. **Technology for Sustainable Agriculture.** Energy and Environment – Scientific American. p.182-186, 1995.
- QUATRO RODAS, disponível em: <<http://www.quatrorodas.abril.com.br/mecanica/novastecnologias/0804biodiesel.shtml>> Acesso em: 16 setembro 2004.
- QUEIROZ, M.S. (Ger. Executivo de Desenvolvimento Energético da Petrobrás). **A Experiência Brasileira em Biocombustíveis.** In: CONFERÊNCIA E EXPOSIÇÃO BIENAL INICIATIVA DO AR LIMPO NAS CIDADES DA AMÉRICA LATINA, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.cleanairnet.org/saopaulo/1759/articles-70466_resource_2.pdf> . Acesso em: 10 dezembro 2006.
- RAMADHAS, A.S.; MURALLEDHARAN, C.; JAYARA, S. **Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil,** Renewable Energy, v.30. p.1789-1800, Ed.: Elsevier, 2005.
- RAMOS, L.P.; KUČEK, K.T.; DOMINGOS, A.K.; WILHEM, M.H. **Biodiesel: Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio – ambiental no Brasil.** Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento, ed. 31, 2003.

- ROCHA, J.D.; CORTEZ, L. (UNICAMP/BIOWARE Tecnologia). Álcool e biodiesel: oportunidades para o Brasil. In: FÓRUM DE DEBATES QUESTÃO TECNOLÓGICA. **Combustíveis alternativos: impactos na indústria química e na sociedade INT**, Rio de Janeiro-RJ, 28 de novembro de 2005. Disponível em: <<http://www.int.gov.br/questao/pdf/Jose%20Dilcio%20Rocha28112005.pdf>>. Acesso em: 12 dezembro 2006.
- RODRIGUES, G.S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P.C. Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: um sistema de avaliação para o contexto institucional de P&D. Cadernos de Ciência e Tecnologia. Brasília-DF; v.19. n.3. p.349-375, 2002. In: XAVIER, J.H.V. **Análise de Ciclo de Vida (ACV) da Produção Agrícola Familiar em Unaí –MG: Resultados Econômicos e Impactos Ambientais**. 2003. 149f. Dissertação (Pós – Graduação em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- ROSENBERGER, A.; KAUL, H.P.; SENN, T.; AUFHAMMER, W. **Improving the energy balance of bioethanol production from winter cereals: the effect of crop production intensity**. Applied Energy, v.68. p.51-67, 2001.
- SHEEHAN, J.; ADEN, A.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; WALSH, M.; NELSON, R. **Energy and Environmental Aspects of Using Corn Stover for Fuel Ethanol**, Journal of Industrial Ecology, v.07. n.3 – 4. p.117-146, 2004.
- SHEEHAN, J.; CAMOBRECO, V.; DUFFIELD, J.; GRABOSKI, M.; SHAPOURI, H. - U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE AND U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles**, 1998. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>>. Acesso em: 15 julho 2004.
- _____. **Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus**. 1998. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>>. Acesso em: 15 julho 2004.
- SOUZA, M.A. (Membro do Grupo Gestor de Biodiesel da Casa Civil da Presidência da República e Superintendência de Qualidade de Produtos da ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS). **Arcabouço regulatório do biodiesel: Especificações**. RECOMTEC, 2005. Disponível em: <<http://www.unifacs.br/acontece/download/recomtec/Recomtec%202005%20-%20Apresentacao%20Dra%20Maria%20Antonieta%20-%20ANP-SQP.pdf>>. Acesso em: 29 agosto 2005.
- _____. **Regulação de Biocombustíveis**. Brasília, 2006. Disponível em: <http://www.iar-pole.com/presentationbrazil/maria_desouza_anp.pdf>. Acesso em: 23 janeiro 2007.
- SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS – SUFRAMA. **Projeto potencialidades regionais: estudo de viabilidade econômica do dendê**, 2003. Disponível em: <http://www.suframa.gov.br/publicacoes/proj_pot_regionais/sumario/dende.pdf>. Acesso em: 23 outubro 2004.
- TAN, R.R.; CULABA, A.B.; PURVIS, M.R.I., **Carbon balance implications of coconut biodiesel utilization in the Philippine automotive transport sector**, Biomass and Bioenergy, v.26. p.579 – 585, 2004.
- TRIGUEIRINHO, F. (Sec. Geral da ABIOVE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ÓLEOS VEGETAIS). **Uma Perspectiva sobre o crescimento do agronegócio soja no Brasil**. In: PRIMEIRA MESA REDONDA SOBRE SOJA

- SUSTENTÁVEL, 2005. Disponível em: <http://www.abiove.com.br/palestras_br.html>. Acesso em: 18 outubro 2006.
- UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Portal UnB de desenvolvimento sustentável. Disponível em: <http://www.unb.br/temas/desenvolvimento_sust/o_que_e.php>. Acesso em: 22 janeiro 2007.
- WEHRMANN, M.E.S.F. **Notas sobre Sojicultura e Sojicultor no Brasil**, 2004.
- WEIDEMA, B.P.; MEEUSEN, M.J.G. (Ed), **Agricultural Data for Life Cycle Assessment**, In: 2ND EUROPEAN INVITATION EXPERT SEMINAR ON LCA OF FOOD PRODUCTS, LEI/DLO, LKANET – Food, The Hague, 1999. Disponível em: <http://www.lcacenter.org/library/pdf/2_00_01_1.pdf> Acesso em: 12 dezembro 2004.
- XAVIER, J.H.V. **Análise de Ciclo de Vida (ACV) da Produção Agrícola Familiar em Unai –MG: Resultados Econômicos e Impactos Ambientais**. 2003. 149f. Dissertação (Pós – Graduação em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

ANEXO I

PROPRIEDADE	BIODIESEL		DIESEL	REFERÊNCIA	
Massa específica	880 kg/m ³		840 kg/m ³	Biodiesel ltda	
Pto fulgor	160°C		55°C	Biodiesel ltda	
Viscosidade a 40°C	3,98 mm ² /s		2,5 – 3,5 mm ² /s	Biodiesel ltda	
Pto de entupimento de filtro a frio	-2°C		3°C	Biodiesel ltda	
---	Metanol ou etanol 0,25% massa e 98,5% éster		Enxofre a 0,0024%	Biodiesel ltda	
----		metílico	etílico	-----	ANP
	Potencia	2,5% menor	4% menor		
	consumo	10% maior	12% maior		
Poder calorífico	9150 kcal/kg		10688 kcal/kg	biodiesel.gov.br	
Peso molecular	291,6		198	A. Monyem, J.H. Van Gerpen (2001)	
% carbono	76,14		86,23	A. Monyem, J.H. Van Gerpen (2001)	
Calor de combustão bruto	39766kj/kg		45504Kj/kg	A. Monyem, J.H. Van Gerpen (2001)	
Calor de combustão liq	37273Kj/kg		42716Kj/kg	A. Monyem, J.H. Van Gerpen (2001)	