



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DOUTORADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**LOGÍSTICA REVERSA PARA GESTÃO DE RESÍDUOS E COPRODUTOS DA  
CADEIA DE BIODIESEL – ESTUDO DE CASO EM USINAS DO NORDESTE  
BRASILEIRO**

Kelma Maria Vitorino Almeida

**Recife (PE)**

**2012**

**KELMA MARIA VITORINO ALMEIDA**

**LOGÍSTICA REVERSA PARA GESTÃO DE RESÍDUOS E COPRODUTOS DA  
CADEIA DE BIODIESEL – ESTUDO DE CASO EM USINAS DO NORDESTE  
BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. José Fernando Thomé  
Jucá

Orientadora externa: Prof. Lúcia Helena  
da Silva Maciel Xavier

Co-Orientadora: Prof. Maria do Carmo  
Martins Sobral

**Recife (PE)**

**2012**

Catálogo na fonte  
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

A4471 Almeida, Kelma Maria Vitorino.  
Logística reversa para gestão de resíduos e coprodutos da cadeia de biodiesel – estudo de caso em usinas do Nordeste brasileiro. / Kelma Maria Vitorino Almeida. – Recife: O Autor, 2012.  
xvi, 196f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientadores: Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá.  
                  Profa. Dra. Lúcia Helena da Silva Maciel Xavier.  
Co-Orientadora: Profa. Dra. Maria do Carmo Martins Sobral.  
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2012.  
Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Civil. 2. Avaliação de Desempenho Ambiental. 3. Biodiesel. 4. Coprodutos. 5. Logística Reversa. 6. Resíduos. I. Jucá, José Fernando Thomé; Xavier, Lúcia Helena da Silva Maciel (Orientadores). II. Sobral, Maria do Carmo Martins (Co-Orientadora). III. Título.

624 CDD (22.ed)           UFPE/BCTG-2013 / 016



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Tese de Doutorado

**LOGÍSTICA REVERSA PARA GESTÃO DE RESÍDUOS E COPRODUTOS DA  
CADEIA DE BIODIESEL – ESTUDO DE CASO EM USINAS DO NORDESTE  
BRASILEIRO**

defendida por

Kelma Maria Vitorino Almeida

Considera a candidata APROVADA

Recife, 20 de dezembro de 2012

Orientadores:

---

José Fernando Thomé Jucá – UFPE  
(orientador interno)

---

Lúcia Helena da Silva Maciel Xavier – FUNDAJ  
(orientador externo)

---

Maria do Carmo Martins Sobral – UFPE  
(co-orientador)

Examinadores:

---

Alberto Wisniewski Junior - UFS  
(examinador externo)

---

José Lamartine Távora Junior – UFPE  
(examinador externo)

---

Maurício Alves da Motta Sobrinho – UFPE  
(examinador interno)

---

Oswaldo Cavalcanti da Costa Lima Neto – UFPE

(examinador interno)

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais que me ensinaram o valor da educação, do conhecimento e da amizade.

A minhas irmãs, companheiras de lutas e conquistas.

A Márcio e Pedro, fundamentais nesta conquista, incentivaram e compreenderam minhas ausências e angústias.

## AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora de Fátima que sempre segura na minha mão em todos os momentos.

À Cinara, Fernando, Arthur e Fernanda por me receberem em Recife.

A minha tia Zuila por sempre incentivar e se orgulhar das conquistas de todos os sobrinhos.

À Janaina, Leda, Zorayde e Magda, amigas especiais nesta caminhada.

À Régia que incentivou e me acompanhou nos momentos iniciais do doutorado.

À Claudia, amiga irmã, uma amizade que iniciou na época em que cursávamos o mestrado e continua se manifestando em momentos marcantes de nossas vidas.

A Gerson, Saul, Ricardo e Jean pelo companheirismo.

À Nilma, companheira de estrada e de momentos alegres e difíceis.

A todos que participaram desta minha nova vida de estudante.

À Andrea, Rose, Claudiana, Brito, Seu Severino, Francisco, Guttemberg e Vânia, equipe de servidores da UFPE, sempre dispostos a ajudar, obrigada por me receberem tão bem nesta instituição.

À Eudes, pelo carinho e cuidados com minha família e minha casa neste período.

Ao Professor Jucá pelo incentivo, convívio, ensinamentos, amizade e os importantes momentos de orientação.

À Professora Lúcia Xavier pelo carinho, amizade, compreensão e valorosa orientação.

À Professora Maria do Carmo pela contribuição e a forma carinhosa com que costuma tratar os alunos.

A James, do CETENE, pela disponibilidade em compartilhar conhecimentos na área de biodiesel e pela amizade.

À Natally, Rafaela e Manuela, do CETENE, pelo entusiasmo com que me contagiaram no contato inicial com o tema biodiesel.

A Carlos Caldas por sua simpatia e importante colaboração para o desenvolvimento do tema da tese.

Aos responsáveis e colaboradores das indústrias estudadas nesta pesquisa por disponibilizarem a infraestrutura e técnicos durante as visitas às unidades de produção.

A Ulisses, um dos meus brilhantes ex-alunos e a Anderson pelas informações relativas ao licenciamento ambiental de usinas de biodiesel.

À Isabel Pereira pela amizade e recomendações da ABNT.

Aos professores da UFPE pelo conhecimento transmitido e especialmente ao prof. Anísio pela preocupação com minhas viagens de carro entre Aracaju e Recife e ao prof. Genevois pela paciência com que esclarecia minhas dúvidas de percolação, um tema que até então não conhecia.

Ao prof. Jaime Cabral sempre disposto a ajudar.

A administração e colegas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS) por entenderem a importância do Doutorado, pelo apoio e o período de afastamento concedido para o cumprimento das atividades acadêmicas.

A CAPES pela bolsa de estudo concedida.

Ao CETENE pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

À UFPE pela oportunidade de desenvolver o doutorado nesta instituição.

A todos os que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta etapa.

## RESUMO

A consciência ambiental sobre fontes alternativas de energia tem atraído o interesse mundial para pesquisas sobre biodiesel. No Brasil, o Programa Nacional para o Uso e Produção de Biodiesel (PNPB) foi criado em 2005. O aumento da produção de biodiesel, por sua vez, resulta numa maior geração de coprodutos e resíduos, como a torta proveniente da etapa de extração de óleo, e a glicerina do processo de produção de biodiesel, não existindo dados consolidados a respeito da gestão dos resíduos e coprodutos gerados. A logística reversa surge como uma alternativa promissora para a mitigação de potenciais impactos a partir da reinserção de resíduos e coprodutos no ciclo produtivo, agregando valor aos mesmos e propiciando benefícios ambientais, sociais e econômicos. A presente pesquisa teve como objetivo propor sistemas de logística reversa para a torta e a glicerina, geradas na cadeia produtiva de biodiesel, com base na análise da gestão destes resíduos, por meio da coleta de dados na literatura e visitas técnicas a usinas situadas no Nordeste brasileiro, entre os anos de 2011 e 2012. No desenvolvimento da pesquisa foram analisados os processos produtivos do biodiesel e as alternativas para a gestão dos resíduos e coprodutos, com foco em aspectos técnicos, ambientais, sociais e econômicos. Ao final, foram propostos modelos de sistemas de logística reversa, em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305 de 2010). Além disso, como procedimento de validação, os sistemas de logística reversa foram analisados pela metodologia de avaliação de desempenho ambiental que demonstrou para as tortas resultantes da extração de óleo, um excelente potencial para a produção de biogás, ainda em fase de pesquisa. Com relação à glicerina destacou-se a sua purificação como a alternativa mais promissora, principalmente em virtude da transformação pela indústria química em produtos de maior valor agregado contribuindo para o fortalecimento da cadeia.

**Palavras-chave:** Avaliação de desempenho ambiental; Biodiesel; Coprodutos; Logística reversa; Resíduos.

## ABSTRACT

Environmental awareness about alternative energy sources has attracted worldwide interest for biodiesel research. In Brazil, the National Program for the Production and Use of Biodiesel was created in 2005. The increased production of biodiesel, in turn, results in an increase of coproducts and waste such as the material derived from the extraction of oil, as well as the glycerin from biodiesel production. It's worth noting that there is no consolidated data about waste management and coproducts generated. Reverse logistics emerged as a promising alternative to mitigate potential impacts due to the rehabilitation of waste and coproducts during the production cycle, thus giving true values and providing environmental, social and economical benefits. This research's main objective was to propose systems of reverse logistics for the extracted oil material and glycerin contents generated by the production chain of biodiesel. Therefore, utilizing waste management analysis by means of data collection in literature and technical visits to the plants located on the northeast region of Brazil, between the years of 2011 and 2012. Throughout the development of the study, the processes of biodiesel production and viable alternatives for waste management and coproducts were analyzed, with emphasis on the technical, environmental, social and economical aspects. In the end, various models of reverse logistic systems were proposed in accordance with the National Policy Solid Waste (Law N<sup>o</sup> 12305 of 2010). To further validate the study, the reverse logistic systems were assessed by their environmental performance evaluation. Although in its research phase, the extracted materials from the oil had an excellent potential for biogas production. Regarding the glycerin, its purification stood out as the most promising alternative, mainly due to the chemical industry's transformation of bigger aggregate-valued products, contributing to the overall chain fortification.

**Keywords:** Biodiesel; Coproducts; Environmental performance evaluation; Reverse logistics; Solid Waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gestão de resíduos e logística reversa.....	4
Figura 2 – Modelo conceitual desenvolvido na pesquisa.....	8
Figura 3 – Cadeia produtiva de biodiesel.....	9
Figura 4 – Potencial técnico de resíduos agrícolas (Milhões de toneladas) .....	12
Figura 5 – Reação de transesterificação para obtenção de glicerina e biodiesel....	22
Figura 6 – Aspectos da glicerina bruta, biodiesel e óleo de mamona.....	23
Figura 7 – Cenário de Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos no Brasil.....	51
Figura 8 – Matriz de análise com base na metodologia PEIR.....	70
Figura 9 – Quadro analítico para a interação economia-ambiente.....	70
Figura 10 – Etapas da metodologia adotada na pesquisa.....	72
Figura 11 – Localização das unidades produtoras de biodiesel no Brasil.....	75
Figura 12 – Empresa OLVEQ – Tanques de armazenamento de óleo de mamona .....	90
Figura 13 – Empresa BIOÓLEO – Galpões de Armazenamento de matérias-primas e de extração de óleo.....	91
Figura 14 – Empresa CETENE – Parque de tancagem e área de produção.....	92
Figura 15 – Empresa Petrobras Biocombustíveis - CE – Área de produção e Pátio de carga e descarga .....	92
Figura 16 – Empresa Petrobras Biocombustíveis - BA – Área de produção.....	93
Figura 17 – Empresa Vanguarda Agro - BA – Área de produção.....	94
Figura 18 – Empregos diretos gerados nas usinas estudadas.....	96
Figura 19 – Empregos indiretos relacionados à cadeia produtiva de biodiesel.....	96
Figura 20 – Mamona com e sem casca.....	98
Figura 21 – Cinzas da caldeira .....	98
Figura 22 – Torta de mamona – Adubo.....	101
Figura 23 – Abrigo de resíduos.....	101
Figura 24 – Borra residual .....	104
Figura 25 – Contêineres com torta de terra diatomácea .....	106
Figura 26 – Área de proteção ambiental da usina.....	106
Figura 27 – Abrigo de resíduos.....	109
Figura 28 – Coletor de pilhas e baterias.....	109
Figura 29 – Bombonas de produtos químicos.....	112

Figura 30 – Tonéis com borra oleosa.....	112
Figura 31 – Distribuição das ações socioambientais nas indústrias estudadas.....	115
Figura 32 – Tripé da sustentabilidade.....	134
Figura 33 – Modelo da tripla hélice para a cadeia produtiva de biodiesel.....	143

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Produção científica relativa ao tema biodiesel até Fevereiro/2012.....	4
Tabela 2 –	Estimativa de consumo de biodiesel por região (MI).....	6
Tabela 3 –	Aspectos legais relativos à produção de biodiesel e gestão de coprodutos e resíduos .....	17
Tabela 4 –	Entidades brasileiras reguladoras.....	17
Tabela 5 –	Quantidade de torta gerada em função do tipo de oleaginosa.....	21
Tabela 6 –	Composição centesimal de sementes oleaginosas: soja, girassol, canola, algodão e amendoim.....	22
Tabela 7 –	Composição centesimal de sementes oleaginosas alternativas.....	22
Tabela 8 –	Dados físico-químicos de análise de efluente da produção de biodiesel e parâmetros do CONAMA.....	40
Tabela 9 –	Processos de tratamento do efluente gerado na produção de biodiesel.....	41
Tabela 10 –	Leis Ambientais Brasileiras considerando logística reversa.....	49
Tabela 11 –	Abordagem dos conceitos de LR e RPC na legislação brasileira de resíduos.....	53
Tabela 12 –	A educação ambiental na legislação brasileira de resíduos sólidos.....	60
Tabela 13 –	Situação das usinas produtoras de biodiesel no Nordeste brasileiro (2011).....	76
Tabela 14 –	Usinas estudadas.....	76
Tabela 15 –	Escala de valores de magnitude e significância para a ADA.....	80
Tabela 16 –	Indicadores – Dimensão ambiental (sintetizada).....	84
Tabela 17 –	Indicadores – Dimensão técnica (sintetizada).....	85
Tabela 18 –	Indicadores – Dimensão social (sintetizada).....	85
Tabela 19 –	Indicadores – Dimensão econômica (sintetizada).....	86
Tabela 20 –	Indicadores – Dimensão institucional (sintetizada).....	86
Tabela 21 –	Indicadores ambientais da produção de biodiesel .....	86
Tabela 22 –	Caracterização das usinas produtoras de biodiesel no Nordeste brasileiro (2011).....	88
Tabela 23 –	Coprodutos e resíduos gerados na usina de extração de óleo OLVEQ - Quixadá – CE (Produção de 2011).....	100
Tabela 24 –	Coprodutos e resíduos gerados na usina de extração de óleo BIOÓLEO – Feira de Santana–BA (Produção de 2011).....	103

Tabela 25 – Coprodutos e resíduos gerados na usina de biodiesel do CETENE – Caetés-PE (Produção de 2011).....	105
Tabela 26 – Coprodutos e resíduos gerados na usina de biodiesel da Petrobras – Quixadá-CE (Produção de 2011).....	108
Tabela 27 – Coprodutos e resíduos gerados na usina de biodiesel da Petrobras – Candeias-BA (Produção de 2011).....	111
Tabela 28 – Coprodutos e resíduos gerados na usina de biodiesel da Vanguarda Agro – Iraquara-BA (Produção de 2011).....	114
Tabela 29 – Dados das usinas de extração de óleo estudadas (2011).....	117
Tabela 30 – Dados das usinas de produção de biodiesel estudadas (2011).....	118
Tabela 31 – Principais coprodutos e resíduos da cadeia produtiva de biodiesel.....	121
Tabela 32 – Avaliação de desempenho ambiental da implantação da LR antes e após a PNRS.....	122
Tabela 33 – Avaliação de desempenho ambiental dos SLR propostos.....	134
Tabela 34 – Avaliação de desempenho ambiental dos SLR propostos para a torta de mamona .....	137
Tabela 35 – Avaliação de desempenho ambiental dos SLR propostos para as tortas de algodão e girassol.....	138
Tabela 36 – Avaliação de desempenho ambiental dos SLR propostos para a glicerina.....	140
Tabela 37 – Avaliação de desempenho ambiental (ADA) dos SLR propostos para a torta e a glicerina.....	142

## LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 –	Processo de produção de biodiesel – Transesterificação.....	14
Fluxograma 2 –	Cadeia produtiva de biodiesel – produtos, resíduos e coprodutos.....	20
Fluxograma 3 –	Usos da glicerina gerada na produção de biodiesel .....	38
Fluxograma 4 –	Produção de biodiesel.....	39
Fluxograma 5 –	Fluxos de logística reversa .....	47
Fluxograma 6 –	Produção de biodiesel pelo processo de transesterificação.....	97
Fluxograma 7 –	Destinação da torta de mamona.....	124
Fluxograma 8 –	Destinação das tortas de girassol e de algodão.....	124
Fluxograma 9 –	Destinação da glicerina nas unidades da Petrobras Biocombustíveis.....	125
Fluxograma 10 –	Destinação da glicerina na indústria Vanguarda Agro – BA.....	125
Fluxograma 11 –	Proposta de SLR para a torta e a glicerina.....	126
Fluxograma 12 –	Proposta de SLR para a glicerina – Produção de biogás.....	127
Fluxograma 13 –	Proposta de SLR para a glicerina – Queima em caldeira.....	129
Fluxograma 14 –	Proposta de SLR para a glicerina – Alimentação animal.....	129
Fluxograma 15 –	Proposta de SLR para a glicerina – Pulverização.....	130
Fluxograma 16 –	Proposta de SLR para a glicerina – Indústria química.....	130
Fluxograma 17 –	Fluxos de produção e de logística reversa da cadeia do biodiesel.....	132
Fluxograma 18 –	Itens da cadeia do biodiesel.....	133

**LISTA DE SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADA	Avaliação de Desempenho Ambiental
AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CLRB	Conselho de Logística Reversa do Brasil
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
DAGRI	Diretoria de Suprimentos Agrícolas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EA	Educação Ambiental
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LR	Logística Reversa
MDA	Ministério do Desenvolvimento Agrário
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
OECD	<i>Organization for Economic Co-operation and Development</i>
OGR	Óleos e Gorduras Residuais
PEIR	Pressão- Estado- Impacto-Resposta
PER	Pressão-Estado-Resposta
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel

PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RLEC	<i>Reverse Logistics Executive Council</i>
RPC	Responsabilidade Pós-Consumo
SLR	Sistema de Logística Reversa
SS	Sólidos em suspensão
USP	<i>United States Pharmacopeia</i>
TOG	Teor de Óleos e Graxas

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE FLUXOGRAMAS .....	xii
LISTA DE SIGLAS .....	xiii
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Justificativa .....	3
1.2 Objetivos .....	7
1.2.1 Objetivo geral .....	7
1.2.2 Objetivos específicos .....	7
1.3 Estrutura da tese .....	7
2 CADEIA PRODUTIVA DO BODIESEL E SEUS IMPACTOS .....	9
2.1 Aspectos legais relativos à produção e gestão de coprodutos e resíduos da cadeia de biodiesel .....	15
2.2 Geração de coprodutos e resíduos da produção de biodiesel .....	19
2.3 Gestão de coprodutos e resíduos da produção de biodiesel.....	24
3 LOGÍSTICA REVERSA .....	42
3.1 Mecanismos regulatórios .....	47
3.2 Aspectos estratégicos .....	54
3.3 Aspectos operacionais .....	57
4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL.....	62
5 METODOLOGIA .....	72
5.1 Identificação e seleção das usinas da cadeia produtiva de biodiesel .....	74
5.2 Coleta e sistematização dos dados .....	77
5.3 Requisitos metodológicos para o estudo da logística reversa.....	80
5.3.1 Sistema de logística reversa para a cadeia do biodiesel .....	80
5.3.2 Avaliação do sistema de logística reversa (SLR) .....	81
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	83
6.1 Aspectos metodológicos desenvolvidos.....	83
6.2 Aspectos gerais das usinas visitadas .....	87

6.3 Aspectos sociais das usinas visitadas .....	94
6.4 Análise comparativa da gestão de resíduos e coprodutos das usinas estudadas .....	96
6.4.1 Gestão de resíduos e coprodutos das usinas estudadas .....	98
6.4.2 Análise comparativa da gestão de resíduos e coprodutos das usinas estudadas .....	115
6.5 Sistemas de logística reversa para a cadeia produtiva do biodiesel .....	122
6.6 Avaliação de desempenho ambiental dos sistemas de logística reversa propostos na pesquisa.....	133
7 CONCLUSÕES, DIFICULDADES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS.....	144
7.1 Conclusões .....	144
7.2 Recomendações e Sugestões para novas pesquisas .....	145
REFERÊNCIAS .....	147
APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA.....	171
APÊNDICE B – TABELA DE INDICADORES.....	176

## 1 INTRODUÇÃO

Políticas públicas e a preocupação da sociedade com questões ambientais têm promovido a adesão das empresas à implantação de sistemas de gestão ambiental com adequação aos mecanismos legais que consideram a necessidade de minimizar os problemas relativos à poluição.

No Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi aprovada em 2010, dispondo sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Um dos aspectos mais importantes da legislação federal é instituir a logística reversa (LR) como um instrumento de desenvolvimento econômico e social, caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010b).

A prática da logística reversa tem sido uma ferramenta de gestão ambiental adotada com sucesso em diferentes áreas de gerenciamento de resíduos em vários países. Surge como uma nova proposta da logística empresarial que atua de forma a gerenciar e operacionalizar o retorno de resíduos e coprodutos ao ciclo produtivo, agregando valor aos mesmos (POKHAREL e MUTHA, 2009; ROGERS e TIBBEN-LEMBKE, 1999).

Outra preocupação mundial refere-se ao progressivo esgotamento dos combustíveis de origem fóssil e o aumento da poluição ambiental nas grandes cidades. Nesse contexto, tem sido reavaliado e intensificado o uso de tecnologias de produção de energia provenientes de fontes renováveis que contribuem para a minimização dos impactos socioambientais negativos associados à poluição local do ar, do solo e dos recursos hídricos. Os biocombustíveis têm sido amplamente estudados nos últimos anos, uma vez que sua utilização contribui para a redução das emissões dos gases do efeito estufa, e também por se originarem de fontes renováveis ou ainda de resíduos ou coprodutos de processos industriais. Entre os biocombustíveis líquidos, destacam-se o etanol e o biodiesel. A opção pela substituição de combustíveis derivados do petróleo, por outros produzidos de matérias-primas alternativas, tem se configurado como uma alternativa viável em termos econômicos e ambientais (ENCARNAÇÃO, 2008; KIELING *et al.*, 2011).

A Agência Internacional de Energia (International Energy Agency-IEA) divulgou no primeiro semestre de 2011 o relatório *Biofuel Roadmap* que, além de identificar algumas rotas tecnológicas, sugere ações-chave necessárias para promover a expansão mundial da

produção e consumo sustentáveis de biocombustíveis. Dentre os aspectos identificados no estudo, prevê-se que, em 2050, os biocombustíveis suprirão 27% da demanda total de combustíveis para o setor de transportes, assumindo um papel de relevância internacional essencial para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e para o aumento da segurança energética. No referido relatório consta, inclusive, a previsão de diversos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, em diferentes rotas tecnológicas, para o aumento de eficiência no uso e nos processos de conversão; redução do custo de produção; aumento e melhoria nos índices de sustentabilidade (BRASIL, 2011).

No Brasil, atendendo a demanda formada por produtores agrícolas, sociedade e indústrias, o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) foi instituído em janeiro de 2005 com a publicação da Lei 11.097, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira (BRASIL, 2005). O PNPB em linhas gerais busca atender a demanda existente a partir de um programa que integre produção, geração de emprego e renda na agricultura familiar e ações de ordem econômica e técnica que reduzam as desigualdades regionais e ainda contribuam para a melhoria das condições ambientais. O governo incluiu o biodiesel na matriz energética brasileira e definiu volume mínimo obrigatório da mistura do biocombustível no diesel fóssil.

O PNPB destaca-se como um programa de incentivo à produção de biodiesel no Brasil de forma sustentável. Entretanto, as usinas de produção de biodiesel, independente de sua dimensão, provocam impactos ambientais principalmente em função da geração de resíduos, tornando necessária a realização de estudos para identificar e quantificar estes problemas, a fim de promover a otimização do seu processo e buscar alternativas viáveis para melhor aproveitamento ou destinação destes materiais.

Em consequência da produção surgem coprodutos e resíduos que necessitam de estudos para aproveitamento e recuperação, ou transformação em outros produtos. Dentre estes, destacam-se as tortas resultantes do beneficiamento dos grãos, que podem ser transformadas em farelos ou adubos após tratamentos específicos e a glicerina, como coproduto do processo químico, entre outros que surgem em proporções menores.

O presente trabalho teve como objetivo, o estudo do potencial de reincorporação de resíduos e coprodutos da cadeia produtiva de biodiesel por meio da logística reversa. Tendo como objetivos específicos, a análise da gestão dos resíduos e coprodutos gerados, para propor sistemas de logística reversa e realizar, como procedimento de validação, a avaliação de desempenho ambiental dos sistemas propostos.

A área de estudo da pesquisa foi o Nordeste brasileiro, onde foram visitadas nos anos de 2011 e 2012, usinas produtoras de biodiesel em operação e usinas de extração de óleo de oleaginosas, responsáveis pelo fornecimento de parte do óleo para as usinas de biodiesel analisadas.

Para a coleta de dados utilizou-se as técnicas de pesquisa documental e entrevistas. Inicialmente foi realizado levantamento bibliográfico com análise das principais referências nacionais e internacionais a respeito da logística reversa, da cadeia produtiva e da prática da gestão de resíduos e coprodutos da produção de biodiesel. Seguindo-se da coleta de dados primários nas usinas selecionadas com aplicação de questionário semiestruturado.

No desenvolvimento da pesquisa foram analisados os seguintes aspectos: processo de produção e alternativas para a gestão dos resíduos e coprodutos, inclusive a possibilidade de reinserção na cadeia produtiva com foco em aspectos técnicos, ambientais, sociais e econômicos.

Como resultados foram obtidos e analisados dados relativos a informações gerenciais e operacionais, referentes à gestão de resíduos e coprodutos da produção de biodiesel e propostos sistemas de logística reversa para a cadeia de biodiesel. Ao final foi realizada a avaliação de desempenho ambiental dos fluxos logísticos sugeridos.

## **1.1 Justificativa**

No Brasil devido à recente aprovação do marco regulatório que instituiu a PNRS, ainda são reduzidas as práticas de logística reversa. Em relação à cadeia de produção de biodiesel, ainda não existem dados consolidados a respeito da gestão de resíduos gerados no processo produtivo. Apesar de haver trabalhos a respeito da implementação da logística reversa em diferentes segmentos produtivos, ainda é incipiente a contribuição para a cadeia do biodiesel, o que endossa a necessidade e importância de estudos nessa área.

Em uma breve análise do número de publicações indexadas realizada no site da Science Direct (2012), que cita os artigos publicados em periódicos internacionais nas principais revistas indexadas na área, a relevância do tema pode ser constatada em virtude do elevado número de publicações referentes aos temas biodiesel e logística reversa, verificando-se ainda um reduzido número de pesquisas referentes à Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) e a logística reversa na produção de biodiesel, justificando a abordagem de uma temática ainda pouco estudada da presente pesquisa, conforme mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1 - Produção científica relativa ao tema biodiesel até Fevereiro/2012**

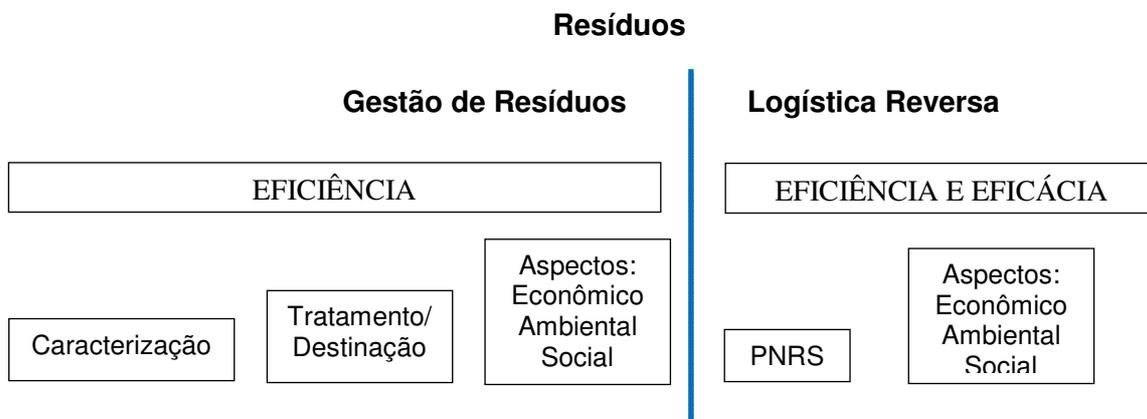
TEMAS	Nº DE ARTIGOS
Biodiesel	10.080
Logística Reversa	23.131
Logística Reversa e Biodiesel	81
Logística Reversa e Biodiesel no Brasil	50
AIA e Biodiesel	2.418
AIA, Biodiesel e Logística Reversa	64

Fonte: Science Direct, 2012.

Gold e Seuring (2011), em pesquisa que apresenta uma revisão da literatura de artigos publicados no período de 2000 a 2009, que abordam a interface de produção de bioenergia e questões de logística e gestão de cadeia de abastecimento, indicam que a interface entre a bioenergia e cadeia de suprimentos / questões de logística têm aumentado em importância nos últimos anos.

A Figura 1 apresenta um modelo conceitual mostrando a influência da LR na gestão de resíduos.

**Figura 1 - Gestão de resíduos e logística reversa**



Neste contexto, é importante diferenciar os conceitos de eficiência e eficácia. Marx (2009) destaca que eficiência significa realizar um trabalho correto, sem muitos erros, por outro lado, eficácia consiste em realizar um trabalho que atinja totalmente o resultado, concluindo o que se propôs a fazer com um bom almejo do resultado. Para o estudioso Drucker (1993), “a eficiência consiste em fazer certas as coisas, e a eficácia em fazer as coisas certas.” Na prática, o profissional precisa ser eficiente para gerar resultado no seu trabalho. Por outro lado, para ser eficiente, o profissional deve estar sempre associado à eficácia de suas ações. Na administração moderna, a eficiência e a eficácia são aliadas nas demandas de uma organização.

Na Figura 1 são destacadas como etapas da gestão de resíduos, a caracterização dos resíduos gerados e as formas de tratamento e destinação considerando os aspectos econômicos, ambientais e sociais, observando a eficiência de todo o processo. A LR tem como diferencial a reinserção dos resíduos e coprodutos em uma cadeia produtiva, considerando a PNRS e os aspectos provenientes dessa nova abordagem, observando além da eficiência, a eficácia do processo.

A reinserção, por meio da logística reversa, dos resíduos e coprodutos gerados na produção do biodiesel, surge como uma ferramenta de gestão ambiental que envolve também aspectos econômicos e sociais.

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) promoveu o aumento da produção de biodiesel que, por sua vez, resultou numa maior geração de coprodutos e resíduos, que necessitam de uma destinação adequada, preservando assim o aspecto ecológico e econômico da produção de biodiesel.

Nesse contexto, realizou-se o estudo da cadeia de produção de biodiesel no Nordeste brasileiro, direcionando para a gestão dos resíduos e coprodutos, enfocando as matérias-primas utilizadas e o processo produtivo. A análise da gestão dos resíduos e coprodutos gerados permitiu identificar, alternativas de reinserção destes na produção de biodiesel e em outros processos, possibilitando a construção de propostas de sistemas logística reversa para as usinas produtoras de biodiesel e estudando a Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA).

Destacam-se como coproduto e resíduos estudados, as tortas resultantes do beneficiamento dos grãos para extração do óleo e a glicerina da produção de biodiesel, devido à elevada quantidade gerada destes materiais, que tem demandado a busca por novas alternativas de reaproveitamento. A reinserção da glicerina e da torta em uma cadeia produtiva pode agregar valor, e constituir em outra fonte de renda importante para os produtores, propiciando também benefícios ambientais e sociais.

No Brasil, a Lei nº 11.097/05 (BRASIL, 2005) estabeleceu que, a partir de janeiro de 2008, ao diesel comercializado no país, deveria ser adicionado o biodiesel. Inicialmente, a mistura conteria obrigatoriamente de biodiesel apenas 2%, alcançando 5% em 2013. A Resolução do Conselho Nacional de Política Energética-CNPE nº 02, de 13/03/2008, aumentou o percentual mínimo obrigatório para 3%, a partir de 1º de julho de 2008 e a Resolução CNPE nº 02, de 27/04/2009, elevou este mesmo percentual para 4%, a partir de 1º de julho de 2009. A Resolução CNPE nº 06, de 16/09/2009 antecipou o percentual de 5% para 1º de janeiro de 2010. Aplicando-se estes percentuais à previsão do consumo regional de óleo diesel, foram obtidas as estimativas apresentadas na Tabela 2 mostrando a necessidade crescente de produção de biodiesel (BRASIL, 2010c).

Tabela 2 – Estimativa de consumo de biodiesel por região (milhões de litros)

<b>Ano</b> <b>Região</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
<b>Norte</b>	261	276	279	296	313	331	351	371	393	410
<b>Nordeste</b>	360	380	403	427	454	481	511	543	576	605
<b>Sudeste</b>	1.113	1.181	1.329	1.329	1.410	1.496	1.587	1.787	1.787	1.877
<b>Sul</b>	491	521	553	586	622	660	700	788	788	828
<b>Centro-Oeste</b>	281	290	316	335	356	377	400	452	452	475
<b>Brasil</b>	<b>2.506</b>	<b>2.656</b>	<b>2.804</b>	<b>2.974</b>	<b>3.155</b>	<b>3.346</b>	<b>3.550</b>	<b>3.767</b>	<b>3.996</b>	<b>4.194</b>

Fonte: BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2010c).

É importante ressaltar que o cultivo de matérias-primas e a produção industrial de biodiesel, ou seja, a cadeia produtiva do biodiesel, tem grande potencial de geração de empregos, promovendo, dessa forma, a inclusão social, especialmente quando se considera o amplo potencial produtivo da agricultura familiar. Para estimular ainda mais esse processo, o Governo Federal lançou no ano de 2005 o Selo Combustível Social, um conjunto de medidas específicas visando incentivar a inclusão social da agricultura, nessa importante cadeia produtiva, estimulando a agricultura familiar. Verifica-se além das vantagens econômicas e ambientais, o aspecto social, de fundamental importância. Para receber o Selo, concedido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), o produtor industrial terá que adquirir matéria-prima de agricultores familiares, além de estabelecer contrato com especificação de renda e prazo, bem como garantir assistência e capacitação técnica (BIODIESEL, 2010).

Com a perspectiva do crescimento do biodiesel na matriz energética mundial, prevê-se a intensificação das pesquisas para encontrar alternativas econômicas e tecnologicamente viáveis, observando-se os aspectos sociais e ambientais para utilização dos coprodutos e resíduos da produção de biodiesel.

A produção de biodiesel, independentemente do tipo de processo adotado, gera impactos ambientais. A Avaliação de impacto ambiental (AIA) permite avaliar o possível impacto (positivo ou negativo) que um projeto proposto pode apresentar sobre o meio ambiente, considerando aspectos naturais, sociais e econômicos (MONDAL; RASHMI; DASGUPTA, 2010).

A inclusão da logística reversa no planejamento estratégico das organizações constitui-se em uma nova e competitiva ferramenta, com possibilidade de apreciáveis retornos financeiros e consolidação de sua imagem corporativa, social e ambientalmente responsável.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Como objetivo geral desta pesquisa propõe-se a análise do potencial de reincorporação de resíduos e coprodutos da cadeia produtiva de biodiesel por meio da logística reversa.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar a situação das usinas de produção de biodiesel no Nordeste brasileiro, analisando o processo produtivo e alternativas adotadas de tratamento, destinação e/ou reinserção dos coprodutos e resíduos em cadeias produtivas;
- Elaborar tabela de indicadores para sintetizar dados referentes às dimensões: ambiental, técnica, social, econômica e institucional da gestão de resíduos e coprodutos da cadeia produtiva de biodiesel;
- Propor sistemas de logística reversa para a torta e a glicerina, resíduos/coprodutos da produção de biodiesel, considerando as dimensões social, ambiental, econômica, institucional e técnica;
- Realizar a avaliação de desempenho ambiental dos sistemas de logística reversa propostos.

## **1.3 Estrutura da tese**

O texto da Tese encontra-se em um volume único, distribuído da seguinte forma.

Capítulo 1: Introdução – apresenta uma visão geral do trabalho com a introdução, justificativa, os objetivos a serem alcançados e a organização do trabalho.

Capítulo 2: Cadeia produtiva do biodiesel e seus impactos – aborda a geração e a gestão de coprodutos e resíduos na produção de biodiesel, enfocando também os aspectos legais relativos à produção e gestão de coprodutos e resíduos da produção de biodiesel.

Capítulo 3: Logística reversa – são apresentados mecanismos regulatórios e aspectos estratégicos e operacionais relacionados à logística reversa e comentadas ferramentas para avaliação de desempenho ambiental.

Capítulo 4: Avaliação de desempenho ambiental – enfoca a metodologia de avaliação de desempenho ambiental e o uso de indicadores de sustentabilidade.

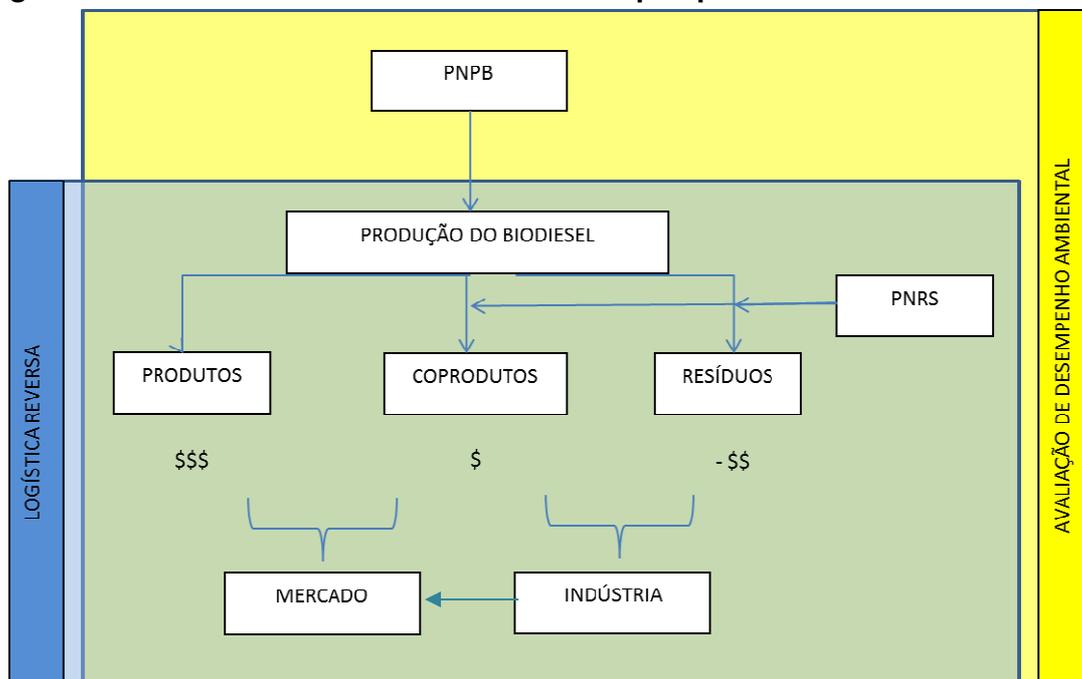
Capítulo 5: Metodologia – é descrita a metodologia adotada para a coleta e interpretação de dados necessários para a elaboração da proposta de sistema de logística reversa para a cadeia produtiva de biodiesel.

Capítulo 6: Resultados e Discussões – são apresentados e analisados os resultados obtidos durante a fase de coleta de dados enfocando a gestão de coprodutos e resíduos da extração de óleo e produção de biodiesel em usinas do Nordeste brasileiro e o sistema de logística reversa proposto para a cadeia produtiva de biodiesel.

Capítulo 7: Conclusões, Dificuldades e Sugestões para novas pesquisas – são apresentadas as conclusões do trabalho e as sugestões para futuras pesquisas sobre o tema estudado.

A Figura 2 mostra de forma esquematizada o desenvolvimento da tese com os principais temas abordados.

**Figura 2 – Modelo conceitual desenvolvido na pesquisa**

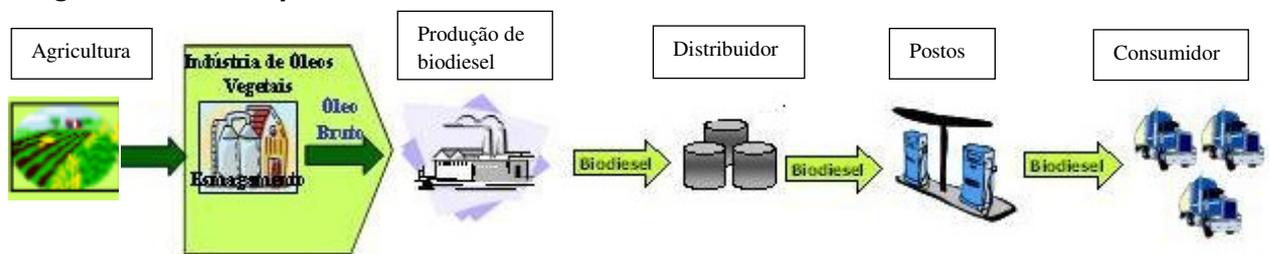


## 2 CADEIA PRODUTIVA DO BODIESEL E SEUS IMPACTOS

A Lei Brasileira de Biodiesel (BRASIL, 2005), define biodiesel como biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil.

A cadeia produtiva de biodiesel mostrada esquematicamente na Figura 3 apresenta como segmentos principais da cadeia, os produtores das oleaginosas, as usinas de extração do óleo, as indústrias produtoras de biodiesel, as distribuidoras, os postos de combustíveis e os consumidores.

**Figura 3 – Cadeia produtiva de biodiesel**



Fonte: Adaptado de Neutzling, 2009.

Devido às limitações das reservas de petróleo, apesar das novas descobertas, e às consequências ambientais dos gases de escape de combustíveis derivados do petróleo, tais como gasolina e diesel, o biodiesel tem atraído a atenção durante a última década como um combustível renovável e ambientalmente menos impactante, que está sendo usado cada vez mais no transporte público na Europa, Japão, América do Norte e do Sul (YANG; TSUKAHARA; SAWAYAMA, 2008; DEMIRBAS, 2008). Estudos indicam que o biodiesel pode ser utilizado diretamente ou misturado ao diesel derivado do petróleo em motores ciclo diesel (BRASIL, 2005; GALBIERI; SIMÕES, 2011).

Em dezembro de 2011, dados preliminares com base nas entregas dos leilões promovidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (ANP), mostraram que a produção de biodiesel estimada para o mês de dezembro foi de 232 mil m<sup>3</sup>. No acumulado do ano, acrescido da estimativa para dezembro, a produção atingiu 2.661 mil m<sup>3</sup>, um aumento médio de 12% em relação ao mesmo período de 2010 (2.386 mil m<sup>3</sup>). A capacidade instalada nacional totalizou 390 mil m<sup>3</sup>/mês (4,6 bilhões de litros anuais). A capacidade instalada, em dezembro de 2011, ficou em 6.019 mil m<sup>3</sup>/ano (524 mil m<sup>3</sup>/mês). Dessa capacidade, 78% são referentes às empresas detentoras do Selo Combustível Social (BRASIL, 2012).

A utilização do biodiesel conduz a ganhos sociais, econômicos e ambientais, ao privilegiar a participação da agricultura familiar, gerando emprego e renda no campo, permitindo a redução das importações de diesel e melhorando a qualidade do ar nos grandes centros urbanos (BORSOI *et al.*, 2010).

O mercado de biodiesel tende a aumentar a demanda por oleaginosas e criar condições para o fortalecimento da agricultura familiar. A existência de um amplo mercado consumidor interno pode transformar a cultura das oleaginosas aptas ao plantio no semiárido em uma oportunidade para o crescimento da produção agrícola familiar. Em virtude de ser o biodiesel um combustível renovável obtido a partir de produtos agrícolas, verifica-se a construção de oportunidades reais de emprego e renda no âmbito rural (BARTSCH, 2008; BIODIESEL, 2011).

O biodiesel responde pela contratação da produção de cerca de 60 mil famílias que desenvolvem a agricultura familiar, sendo que mais da metade dessas famílias se encontram no Nordeste (KALTNER, 2007 *apud* MONTEIRO, 2007). A princípio, a baixa produtividade verificada nos últimos anos a partir da agricultura familiar parece estar sendo revertida, verificando-se um quadro promissor em relação à adesão de agricultores familiares ao PNPB (BAHIA, 2010).

A utilização do biodiesel apresenta importantes vantagens. A primeira delas engloba a questão ecológica, pois os motores que operam com biodiesel reduzem as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e conseqüente contribuição para a redução do efeito estufa. A utilização do biodiesel estabelece um ciclo fechado de carbono – desde a cultura da matéria-prima até a produção do combustível. Nesse processo fechado, o CO<sub>2</sub> é absorvido durante o crescimento da planta e é liberado quando o biodiesel é queimado na combustão do motor (BIODIESELBR, 2007 *apud* BARTSCH, 2008; GOES; ARAÚJO; MARRA, 2010).

Uma análise valorativa dos biocombustíveis que leva em consideração apenas um aspecto da ação antropogênica sobre o ambiente, representado pela emissão de poluentes, não corresponde, a uma análise abrangente sobre a cadeia de relações entre os sistemas econômicos e os sistemas ambientais. Essa interação dos sistemas econômicos e ambientais envolve a exploração/produção de matérias-primas, beneficiamento, transporte, consumo de produtos e, por fim, emissões e resíduos. Cabe, portanto, uma análise abrangente de como os recursos naturais são processados e utilizados pelos sistemas econômicos em uma abordagem que perpassa todas as fases de produção e consumo. Neste processo, os recursos naturais saem dos sistemas ambientais como matérias-primas para serem processados e utilizados pelos sistemas econômicos, garantindo a

sustentabilidade das atividades humanas em termos de energia e bens de consumo. O que retorna para os sistemas ambientais são rejeitos, produtos descartados dos sistemas econômicos sob a forma de emissões e resíduos (gases, efluentes, resíduos sólidos). Nestas condições, os sistemas ambientais assumem uma dupla condição: ao mesmo tempo, provedores de matéria e energia e repositório de emissões e resíduos (CHRISTOFOLETTI, 1999 *apud* TURDERA; PEREIRA, 2010).

Seja qual for a realidade, muitos países enfrentam uma situação particularmente delicada referente à sua matriz energética, em geral caracterizada por uma elevada dependência de combustíveis fósseis e por reduzida exploração de alternativas. No caso da Argentina, Palma *et al.* (2009), ressaltam a necessidade de reconhecer que o horizonte de reservas diminui paulatinamente conforme a atividade industrial se incrementa. Como em muitos países do mundo, a Argentina tem priorizado a necessidade de tornar melhor esta situação desfavorável, mediante a mescla de uma porcentagem de cerca de 80% de combustível fóssil com combustíveis obtidos a partir de cultivos ou por via microbiológica a partir de microalgas.

O biodiesel é produzido a partir de gorduras animais e/ou graxa e principalmente oleaginosas (vegetais ricos em óleos), como dendê (palma), babaçu, soja, girassol, mamona, pinhão-mansão, amendoim, girassol, dentre outras (PARENTE, 2003; BRASIL, 2010c). Melo *et al.* (2007) ressaltam que a diversidade de matérias-primas, de processos e de usos é uma grande vantagem. Contudo devem ser analisados adequadamente os parâmetros que podem variar significativamente, dependendo da escolha feita, tais como: os custos totais envolvidos em sua produção; as emissões no ciclo de vida; as possibilidades de geração de emprego; as disponibilidades de área e mão-de-obra adequada. A necessidade de grande quantidade de matéria-prima para atender às metas de adição ao diesel levará ao uso de diversos tipos de óleos. As condições de clima, tipo de solo e variedade da planta oleaginosa influenciam diretamente na qualidade e características dos óleos obtidos e isso pode influenciar significativamente no rendimento e otimização do processo de produção.

Nos últimos anos, tem crescido o interesse nas modificações de óleos e gorduras para a obtenção de biodiesel. Essa tendência pode ser atribuída ao fato destas matérias-primas serem substâncias provenientes de fontes renováveis. Segundo Parente (2003), constituem exemplos de gorduras de animais, possíveis de serem transformados em biodiesel, o sebo bovino, os óleos de peixes, o óleo de mocotó, a banha de porco, entre outras matérias graxas de origem animal. Além dos óleos e gorduras virgens, constituem também matéria-prima para a produção de biodiesel, os óleos e gorduras residuais,

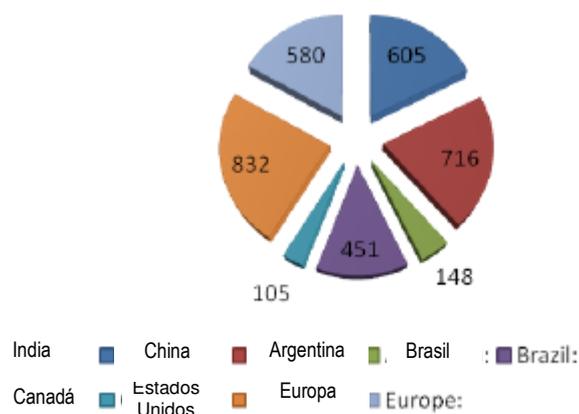
resultantes de processamentos domésticos, comerciais e industriais. As possíveis fontes dos óleos e gorduras residuais são:

- As lanchonetes e cozinhas industriais, comerciais e domésticas, onde são praticadas as frituras de alimentos;
- As indústrias nas quais são processadas frituras de produtos alimentícios, como amêndoas, tubérculos, salgadinhos, e várias outras modalidades de petiscos;
- Os esgotos municipais onde a nata sobrenadante é rica em matéria graxa, possível de extrair óleos e gorduras;
- Águas residuais de processos de certas indústrias alimentícias, como as indústrias de pescados e de couro.

Toda cadeia agroindustrial é grande produtora de diversificados resíduos, tais como resíduos vegetais de colheita, e resíduos do beneficiamento, cascas, palhas, caroços e tortas que podem ser aproveitadas energeticamente. Porém, o Brasil utiliza menos da metade dos seus resíduos, especificamente, não são aproveitados mais de 200 milhões de toneladas de resíduos agroindustriais (CORTEZ, 2008).

Num contexto, de aumento da produção de muitas culturas agrícolas, e conseqüentemente dos seus resíduos, estima-se que o Brasil pode produzir cerca de 451 milhões de toneladas de resíduos agroindustriais (BENSTSEN; FEBLY, 2010) como mostrado na Figura 4. Avalia-se que a contribuição da biomassa residual de grãos seja da ordem de 195,2 milhões de GJ/ano, valor que poderia ser somado ao uso já estabelecido do bagaço de cana para fins energéticos (GREENPECE, 2004 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2012).

**Figura 4 - Potencial técnico de resíduos agrícolas (Milhões de toneladas)**



Fonte: Benstsen e Febly, 2010.

Muitos países em desenvolvimento têm uma grande variedade de resíduos agrícolas. Elevadas quantidades de resíduos vegetais agrícolas são produzidas anualmente em todo o mundo e são amplamente subutilizados (DEMIRBAS; OZTURK; DEMIRBAS, 2006).

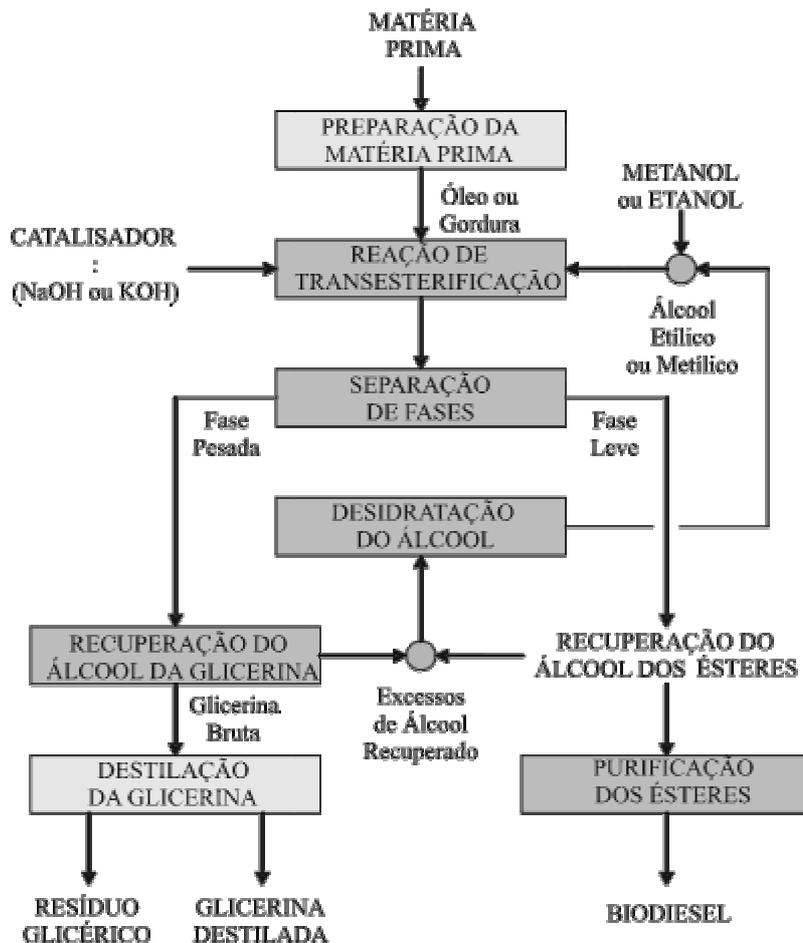
O Brasil é um grande produtor agrícola de cana-de-açúcar, arroz, mandioca e soja e deste modo, produz imensa quantidade de biomassa residual, proveniente das cascas, folhas e do bagaço. Estimular o desenvolvimento e a implantação de tecnologias modernas que permitam integrar, por exemplo, os resíduos agrícolas e suas respectivas cadeias produtivas para geração de energia, constituem, para esta década, alternativas que podem combater as restrições de ordem econômica, técnicas e ambientais que progressivamente vêm limitando a expansão de fontes de energias convencionais. Existe um grande número de tecnologias de conversão energética da biomassa, adequadas para aplicações em pequenas e grandes escalas, mas, todas as tecnologias de biomassa atualmente usadas no mundo possuem dois problemas cruciais: o custo da biomassa e a eficiência energética de sua cadeia produtiva (CORTEZ, 2008; VIEIRA. *et al.*, 2011).

Quando se busca determinada disponibilidade de biomassa energética, é importante considerar as restrições de ordem ecológica, econômica (incluindo a social e a política) e tecnológica. As restrições ecológicas estão associadas à preservação do meio ambiente e à qualidade de vida. As limitações econômicas são analisadas em dois níveis, sendo que, em primeiro lugar, é necessário saber se a biomassa a ser explorada energeticamente não tem outros usos mais econômicos, como industrial ou alimentício e em segundo lugar, se todos os custos da biomassa explorada são compatíveis com os benefícios energéticos e comparáveis com os demais combustíveis. Finalmente, as restrições tecnológicas se devem à existência ou não de processos confiáveis e operações para conversão da biomassa em combustíveis de uso mais geral (FERNANDES *et al.*, 2011).

Na cadeia do biodiesel na primeira etapa, na colheita, restam folhas e caules na lavoura. Na etapa seguinte na extração do óleo, resíduos como torta e farelo são considerados subprodutos ou coprodutos, dependendo do valor de venda destes materiais e em geral são utilizados como ração animal ou em adubação do solo. Entretanto, estudos que ampliam a utilização dos resíduos desta cadeia produtiva em outros produtos como a produção de compósitos para redução sonora, vem sendo foco de várias pesquisas (SCHNEIDER *et al.*, 2012). Outra alternativa possível é aproveitar o significativo percentual amiláceo e/ou lignocelulósico existente nessa biomassa residual para a produção de bioetanol através de processos hidrolíticos e fermentativo (SANTOS *et al.*, 2012a).

Com relação ao processo de produção, o biodiesel é predominantemente produzido por uma reação denominada transesterificação, que consiste em uma reação de triglicerídeos (óleos vegetais ou gorduras animais) com um intermediário ativo, formado pela reação de um álcool de cadeia curta (metanol ou etanol) e um catalisador, produzindo uma mistura de ésteres (o biodiesel) e o glicerol, como um coproduto (PARENTE, 2003). As etapas do processo de transesterificação são mostradas no Fluxograma 1.

**Fluxograma 1 – Processo de produção de biodiesel – Transesterificação**



Fonte: Parente, 2003.

O processo mais comum de produção de biodiesel é a transesterificação utilizando catalisadores básicos homogêneos. Mais recentemente vem sendo estudado também o processo de hidroesterificação, o qual permite a utilização de qualquer matéria-prima, óleos vegetais, gorduras vegetais e óleos e graxas residuais (ENCARNAÇÃO, 2008). O processo de hidroesterificação (hidrólise seguida de esterificação) se insere neste contexto, como uma alternativa ao processo convencional de produção de biodiesel, pois favorece a utilização de matérias-primas (óleos de plantas oleaginosas, resíduos gordurosos

industriais, de frituras e até borras oleosas) de qualquer teor de ácidos graxos e umidade (LIMA, 2007).

A cadeia produtiva do biodiesel vista no modo integrado contempla: matérias-primas e insumos; transformação (reação); processo de produção e purificação; controle de qualidade; transporte, armazenamento e estocagem; geração e aproveitamento de coprodutos (efluentes e subprodutos); e uso e emissões. As preocupações ambientais na área de produção e transformação de óleos e gorduras não são recentes. Quanto ao processamento, as etapas vêm sendo tratadas buscando sustentabilidade (CGEE, 2010).

A produção de biodiesel, mesmo em escala piloto, sem o controle adequado, gera impactos ambientais, uma vez que o processo gera resíduos e envolve substâncias potencialmente tóxicas (hidróxido de sódio e/ou de potássio) e substâncias alcoólicas e inflamáveis (metanol e/ou etanol). Como as reações acontecem a altas temperaturas e sobre pressão, proporcionam perigos (intoxicação, contaminação, explosão) ao ambiente (físico, biótico e antrópico) caso ocorram eventos indesejados (SOUZA *et al.*, 2010). Como resíduo, a glicerina gerada no processo de produção de biodiesel necessita de cuidado especial com relação a sua destinação, devido à alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (ROBRA *et al.*, 2006).

Embora a substituição dos derivados de petróleo por biocombustíveis contribua, em princípio, para a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), é necessário atentar às condições de sua produção. Essas podem ter impactos tão negativos sobre o meio ambiente que o saldo da operação seja negativo não compensando a substituição em foco (GALBIERI; SIMÕES, 2011). O impacto ambiental da produção de biocombustíveis vai depender dos cultivos escolhidos, de como são cultivados e processados (SACHS, 2007). O levantamento e posterior correção destes impactos são imprescindíveis para assegurar a sustentabilidade dos biocombustíveis.

## **2.1 Aspectos legais relativos à produção e gestão de coprodutos e resíduos da cadeia de biodiesel**

Diante da necessidade de compatibilizar a autonomia econômica e energética com a sustentabilidade ambiental, muitos países tem se mobilizado no sentido da elaboração e implementação de diretrizes e políticas para a efetivação de planos de adaptação de suas matrizes energéticas, visando à substituição dos combustíveis fósseis por fontes energéticas

alternativas e com alto potencial inovador como, por exemplo, biocombustíveis, energia eólica e energia solar (XAVIER *et al.*, 2010).

Em diversos Países existem Leis e políticas públicas para incentivar a produção e estabelecer percentuais de adição de biodiesel a combustíveis fósseis, caso da União Europeia, Argentina, Colômbia, Paraguai e Peru (UNIÓN EUROPEA, 2009; ARGENTINA, 2006; COLOMBIA, 2001; PARAGUAY, 2005; PERU, 2003). As leis declaram de interesse nacional a produção de combustíveis alternativos, renováveis e substitutos dos derivados de petróleo, elaborados com matéria nacional de origem animal ou vegetal. Há inclusive leis específicas sobre agrocombustíveis referentes a álcool e biodiesel.

No Brasil, o Governo Federal lançou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel – PNPB, com o objetivo de implementar de forma técnica e economicamente viável, a produção e o uso do biodiesel no Brasil, tendo como pilares a inclusão social e o desenvolvimento regional, através da geração de renda e emprego para os agricultores familiares (BRASIL, 2005). Segundo análise de Monteiro (2007), o PNPB além de buscar integrar os agricultores familiares na cadeia produtiva de biodiesel, apresenta também potenciais benefícios na adaptação e mitigação das mudanças climáticas.

No Brasil a permissão legal de adicionar 5% de biodiesel no diesel de petróleo (B5)<sup>1</sup> entrou em vigor em primeiro de janeiro de 2010, antecipada, portanto em 3 anos, uma vez que de conformidade com o disposto na Lei 11.097 de janeiro de 2005 (BRASIL, 2005), que regulamentou o Programa Nacional do Biodiesel – PNPB, esse percentual entraria em vigor somente em 2013. É interessante ressaltar que o relator da matéria que consubstanciou esta lei, teve dificuldades para conseguir a aprovação dos percentuais por ele sugeridos numa escala sucessiva de 2005 até 2013: 2% (B2) em 2005, 3% (B3) em 2008 e 5% (B5) em 2013 foram considerados ambiciosos na época. O B3 foi antecipado, o B4 também e agora o B5 já entrou em cena e o Governo brasileiro prepara proposta para aumentar a mistura para B10 até 2020 (GOES; ARAÚJO; MARRA, 2010). A superação das metas confirma as expectativas esperadas, com a inclusão do biodiesel na matriz energética brasileira.

A Tabela 3 apresenta leis e resoluções relativas a questões ambientais e produção de biodiesel.

---

<sup>1</sup> BX: Adição de X% de biodiesel no diesel, B5: Adição de 5% de biodiesel no diesel (BRASIL, 2005).

**Tabela 3 - Aspectos legais relativos à produção de biodiesel e gestão de coprodutos e resíduos**

Lei	Tema
Lei 6.938/1981- Política Nacional de Meio Ambiente	Redução das atividades geradoras de poluição, para manter as emissões gasosas, efluentes líquidos e resíduos sólidos dentro das condições e limites estipulados no licenciamento
Resolução CONAMA 01/1986	Define as situações e estabelece os requisitos e condições para desenvolvimento de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA
Lei 7.802 /1989 Lei 9.974 / 2000	Dispõe sobre a pesquisa, produção, embalagem, transporte, armazenamento, comercialização, utilização, destino final dos resíduos e embalagens de agrotóxicos, dentre outras providências
Resolução ANP nº 41/2004	Estabelece a obrigatoriedade de autorização da ANP para a atividade de produção do biodiesel
Lei 11.097/2005	Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira
Lei Nº 11.445 / 2007	Política Federal de Saneamento Básico
Resolução ANP nº 42/2009	Estabelece as especificações técnicas para a produção e comercialização do biodiesel
Lei 12.305/2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos

O arcabouço regulatório relacionado à produção e comercialização de biodiesel no Brasil, encontra-se em amadurecimento e há vários órgãos governamentais envolvidos com o setor, sobretudo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), através da regulação da produção, distribuição, comercialização, qualidade e fiscalização da cadeia (RODRIGUES; SANTANGELO, 2012). As entidades reguladoras responsáveis pela produção e uso do biodiesel no Brasil estão relacionadas na Tabela 4.

**Tabela 4 – Entidades brasileiras reguladoras**

Entidade Reguladora	Atribuição
Ministério de Minas e Energia – MME	Estabelecimento das políticas, diretrizes e regulamentação do setor
Ministério do Desenvolvimento Agrário – MDA	Concessão do Selo Combustível Social a produtores e projetos de produção de biodiesel
Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP	Regulação e autorização de atividades de produção, importação, exportação, armazenagem, distribuição e comercialização de biodiesel
Conselho Nacional de Política Energética – CNPE	A Lei do Biodiesel confere ao CNPE a faculdade de antecipar os prazos de obrigatoriedade do uso do biodiesel no Brasil

A política do governo e a prática administrativa nem sempre consideram o fato de que as decisões e ações devem, necessariamente, ser executadas de acordo com as normas de proteção ambiental, bem como os princípios do desenvolvimento sustentável, prevenção, preservação e recuperação de danos ambientais previstos na legislação ambiental. Verificando-se a omissão das autoridades responsáveis pela fiscalização e controle dos serviços envolvidos (BOSDOGIANNI, 2007).

Os Órgãos Estaduais Ambientais que controlam a forma de descarte dos efluentes industriais em geral, não encontram legislação específica para o descarte da glicerina. Estudos demonstram a preocupação com a crescente quantidade de glicerina gerada e sua destinação como, a queima da glicerina que pode gerar problemas ambientais, liberando na atmosfera a acloreína, substância com característica cancerígena (BATISTA, 2007 *apud* D'AUREA *et al.*, 2009).

Segundo Goes, Araújo e Marra (2010), o PNPB apresenta objetivos de caráter social, econômico e ambiental de fundamental importância. No entanto merece especial cuidado para que possa alcançar a sua sustentabilidade. Sendo necessário que técnicos, pesquisadores, economistas, formuladores de políticas, segmentos ligados ao agronegócio, públicos ou empresariais realizem, periodicamente, análises criteriosas e consistentes sobre a sua viabilidade. Existem vários estudos sobre o Programa, sua importância, resultados, benefícios, condições favoráveis ou barreiras impeditivas. Esses estudos deverão ser intensificados para que os formuladores de políticas, os setores produtivo e industrial disponham de subsídios para fazerem as correções de rumo que por acaso se façam necessárias para garantir a sua sustentabilidade.

Verifica-se nos diversos países a existência de leis que evidenciam a importância do biodiesel na modificação da matriz energética, como fonte de energia limpa e renovável, destacando os benefícios ambientais, sociais e econômicos decorrentes da sua utilização. Entretanto nota-se a ausência de leis que abordem a destinação correta de coprodutos e resíduos gerados na cadeia do biodiesel, como acontecem com alguns segmentos como resíduos eletroeletrônicos e embalagens de agrotóxicos, inclusive na política nacional de resíduos sólidos (BRASIL, 2010a, 2010b) que enfoca a logística reversa. A cadeia do biodiesel engloba elevada quantidade de resíduos gerados no cultivo e colheita das oleaginosas, extração do óleo, produção e distribuição do biodiesel. Muitos destes resíduos podem ser reinseridos em cadeias produtivas por meio da logística reversa.

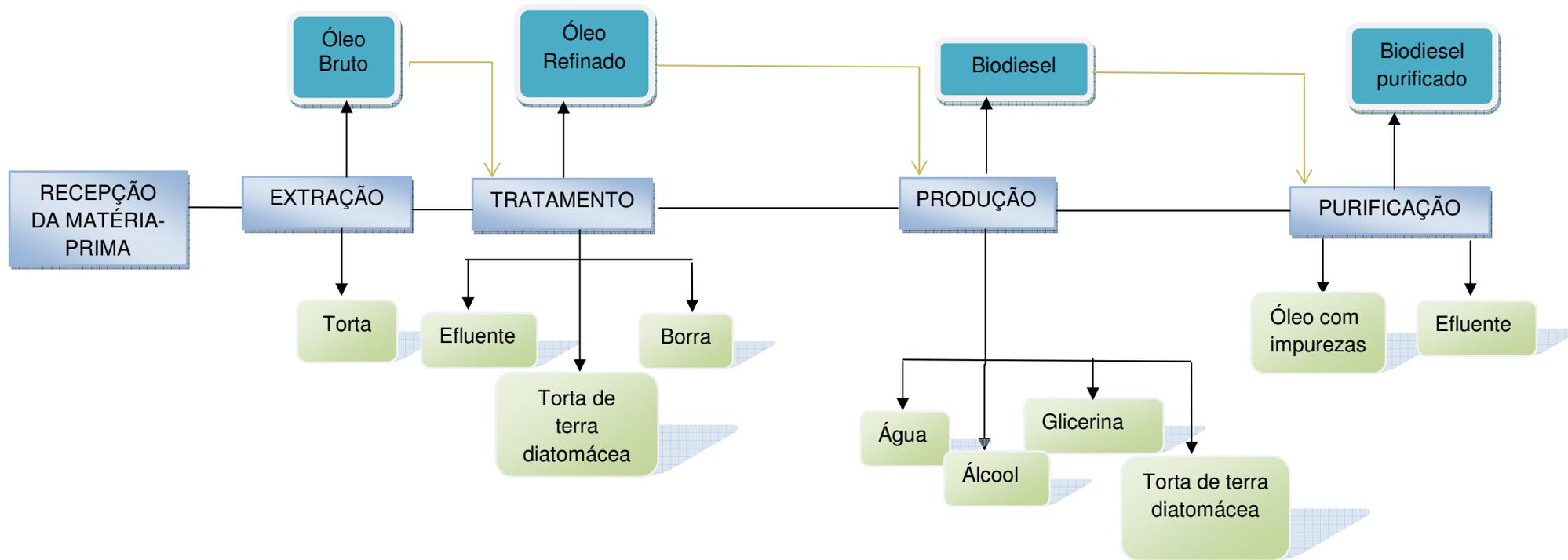
## **2.2 Geração de coprodutos e resíduos da produção de biodiesel**

Há uma crescente pressão da sociedade, mídia e governos sobre o setor industrial, para adotar procedimentos que minimizem a geração de resíduos industriais, seja reutilizando ou reciclando, resultando em benefícios ambientais e energéticos com melhoria da sustentabilidade (SANTOS *et al.*, 2010). O aumento dos resíduos gerados com os consequentes custos e problemas relativos ao tratamento e destino final dos mesmos, com a finalidade de manter um ambiente sustentável no futuro, tem se tornado uma necessidade (FERNÁNDEZ; GIL; TORRE, 2004).

No Brasil, como decorrência do PNPB haverá um incremento na demanda de biodiesel e conseqüentemente um aumento de oferta dos coprodutos e de geração de resíduos do processo de produção do biodiesel, que necessitam de destinos ambientalmente adequados e economicamente viáveis.

A Cadeia de produção de biodiesel com produtos, coprodutos e resíduos gerados é apresentada no Fluxograma 2.

Fluxograma 2 - Cadeia produtiva de biodiesel – produtos, resíduos e coprodutos



Submetido a uma reação com álcool e catalisador, o óleo gera o biodiesel bruto e glicerina. Nesse estágio o biodiesel não pode ser comercializado, pois apresenta em sua composição algumas impurezas. O biodiesel bruto deve ser purificado. DABDOUB *et al.* (2009), citam que um dos principais inconvenientes na produção do biodiesel, pelo processo de catálise alcalina, é a geração de grandes quantidades de efluentes, contendo sabões, álcool e impurezas inorgânicas provenientes da purificação do biodiesel. Alternativamente ao uso da água, a lavagem pode ser feita empregando adsorventes ou resinas de troca iônica. Novas rotas de transesterificação, como por exemplo, o uso de catalisadores enzimáticos empregando lípases extracelulares tem sido usado na tentativa de superar os problemas que são associados à catálise homogênea alcalina, pois o biodiesel obtido enzimaticamente poderia ser usado diretamente sem a necessidade de nenhuma purificação. Entretanto, mesmo com os mais recentes avanços tecnológicos no sentido de se obter biodiesel que não exija purificação através da lavagem com água, estes ainda são economicamente inviáveis.

Segundo Macedo *et al.* (2009), dentre uma série de coprodutos gerados na cadeia produtiva do biodiesel, destaca-se o resíduo sólido oriundo do processamento das oleaginosas. Um grande desafio desse cenário é promover agregação de valor a esse resíduo, tornando a indústria do biodiesel mais competitiva.

A quantidade de torta gerada depende do tipo de semente (Tabela 5). A torta de mamona, resíduo da extração do óleo das sementes da mamoneira (*Ricinus communis*), é produzida na proporção aproximada de 1,2 a 1,3 tonelada para cada tonelada de óleo extraído, o que corresponde a aproximadamente 55% do peso das sementes. Este valor pode variar de acordo com o teor de óleo da semente e do processo industrial de extração do óleo (SILVA JÚNIOR; PEREZ; SILVA, 2009a).

Jordan *et al.* (2011), explicaram que de acordo com dados da Embrapa (2010), no beneficiamento de 1 tonelada de grãos de girassol, obtém-se, em média 400 kg de óleo, 250 kg de casca e 350 kg de torta. Na cultura da soja, cada tonelada de grãos resulta em 180 kg de óleo e 820 kg de torta com 37% de proteína. A produtividade média da soja brasileira é de 2823 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 5 – Quantidade de torta gerada em função do tipo de oleaginosa**

OLEAGINOSA (1t)	TORTA (kg)
Girassol	350 <sup>1</sup>
Algodão	850 <sup>2</sup>
Mamona	500 <sup>3</sup>

Fontes: <sup>1</sup>Embrapa, 2010; <sup>2</sup>Dado da pesquisa da autora, 2011; <sup>3</sup>Drummond *et al.*, 2006.

A composição centesimal de sementes de oleaginosas mostra, com boa aproximação, o que resulta como “resíduo” da extração dos óleos das principais oleaginosas (Tabelas 6 e 7).

**Tabela 6 – Composição centesimal de sementes oleaginosas: soja, girassol, canola, algodão e amendoim**

Componente %	Soja	Girassol	Canola	Algodão	Amendoim
Umidade	8-10	6,9-10,3	6-9	7-11	4-13
Óleo	17-20	23,6-34,2	38-50	17-23	36-54
Proteínas	38-40	9-15	36-44	15-21	21-36
Fibras	6-7	27-30	11-16	-	1,2-4,3
Cinzas	5,5	1,2-3,6	7-8	3-5	1,8-3,1
Carboidratos	26-29	13,2-40,5	-	22-32	6-25

Fonte: CGEE, 2010.

**Tabela 7 – Composição centesimal de sementes oleaginosas alternativas**

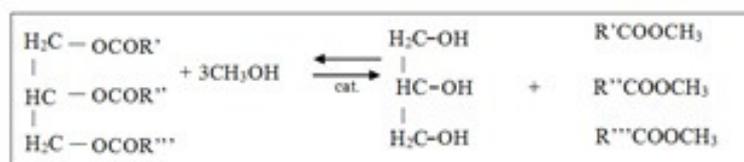
Componente %	Sementes pinhão MS*	Amêndoa Pinhão	Mamona MS*	Macaúba (polpa)**
Umidade	-	5		
Óleo	35,6	55,3-57,7	51,4	60,6
Proteínas	19	31,1-34,5	18,9	-
Fibras	28,2	2,8-3,4	13,2	-
Cinzas	4,6	3,8-5,1	2,6	-
Carboidratos	-	9,0-10,3	13,8	-

Notas: \*MS = matéria seca; \*\*extremamente variáveis os valores encontrados na literatura.

Fonte: CGEE, 2010.

A produção de biodiesel pela reação de transesterificação de triglicerídeos com um álcool na presença de catalisador alcalino onde R' é um hidrocarboneto de cadeia longa gera como resíduo, a glicerina, conforme mostrado na Figura 5 (PARENTE, 2003).

**Figura 5 - Reação de transesterificação para obtenção de glicerina e biodiesel**



Fonte: Adaptada de Parente, 2003.

Glicerol ou 1,2,3-Propanotriol é um composto orgânico, líquido à temperatura ambiente (25 °C), higroscópico, inodoro e viscoso. O termo Glicerina refere-se ao produto na forma comercial. A cada litro de biodiesel são produzidos entre 100 e 200 mL de glicerol que apresenta cerca de 30% de impurezas, implicando na necessidade de purificá-lo. As principais impurezas presentes são catalisador, álcool e ácidos graxos (DAUN; SILVA; RAMOS, 2011; MAGALHÃES *et al.*, 2011). A transesterificação é uma reação reversível, e um excesso de álcool é usado para direcionar a formação de ésteres (biodiesel), por conseguinte, aparecerá um excedente de álcool no final processo na fase glicerínica. Também ocorrerá reação de saponificação, uma vez que, no sistema existe a presença de triglicérido e hidróxido de sódio ou de potássio, formando sabão residual que decantará juntamente com a fase glicerínica (CARMINES; GAWORSKI, 2005; INDIVERI *et al.*, 2011).

A Figura 6 apresenta amostras de glicerina bruta, biodiesel e óleo de mamona.

**Figura 6 - Aspectos da glicerina bruta, biodiesel e óleo de mamona**



Fonte: Laboratório de Energia e Gás – LEN, 2012.

A pureza da glicerina gerada e a necessidade de tratamento para sua purificação dependem do processo de produção adotado. A produção de biodiesel pelo processo de transesterificação gera como resíduo sólido na etapa de purificação da glicerina, a borra de neutralização (*soapstock*) que contém água, metanol e pequenas quantidades de sabões e ésteres. Enquanto, no processo de hidroesterificação a glicerina obtida é de alta qualidade (ENCARNAÇÃO, 2008).

Com o aumento da produção de biodiesel verificado a nível mundial, tem-se constatado alterações no mercado da glicerina, nomeadamente na redução do preço da mesma. Assim surge a necessidade de gerir este resíduo, considerado subproduto, de modo a tornar o processo de produção de biodiesel mais rentável. Atualmente existem aplicações para a glicerina, destacando-se as indústrias farmacêuticas e de cosméticos, que com o aumento da produção, serão incapazes de absorver toda a glicerina existente (CORDOBA, 2011).

Como consequência da produção de biodiesel promovida pelo governo brasileiro através do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), espera-se uma oferta elevada da glicerina residual, correspondente a 10% da massa total do óleo utilizado (ROBRA *et al.*, 2006).

Segundo Villela *et al.* (2012), atualmente no Brasil com a obrigatoriedade do B5 (5% de biodiesel no diesel), estima-se uma produção de 150 mil toneladas ao ano de glicerina bruta. Nota-se que há um excedente, pois o consumo brasileiro hoje é de 30 a 40 mil toneladas ao ano. Considerando esses fatores, para que o programa tenha pleno sucesso é necessário encontrar soluções economicamente viáveis e ambientalmente corretas para a glicerina gerada. Para fechar o ciclo é necessário um aproveitamento máximo de todos os resíduos e coprodutos.

### **2.3 Gestão de coprodutos e resíduos da produção de biodiesel**

A adoção de sistemas de gestão ambiental deve-se em grande parte ao aumento de conscientização do consumidor com relação às questões ambientais e à existência de severas leis e normas ambientais, que estão levando as empresas a adotarem a gestão ambiental e a repensarem sua responsabilidade. O perfil do novo consumidor tem refletido a preocupação com o ambiente, por meio da consciência dos danos decorrentes, tanto do processo produtivo, quanto após o uso dos mesmos. A disposição inadequada de resíduos sólidos e o crescente aumento de emissões de poluentes tem sido foco de discussão em diferentes áreas de interesse.

As usinas de produção de biodiesel, independente de sua dimensão, desenvolvem atividades potencialmente poluidoras, em função dos coprodutos e resíduos gerados no processo. Souza *et al.* (2010), sugerem um estudo de Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) para identificação dos impactos, a fim de promover otimização do seu processo. Melhorias no processo de produção de biodiesel e a projeção de novas rotas de produção têm sido realizadas, considerando aspectos tecnológicos, sustentabilidade e redução de resíduos (SOUZA *et al.*, 2010).

A indústria de biocombustíveis está se desenvolvendo rapidamente e aumentando a sua produção. Fontes de energias renováveis e biocombustíveis, incluindo biodiesel, têm ganhado crescente atenção como um substituto para os combustíveis fósseis. Entretanto, para a implementação no mercado é necessário tornar estes combustíveis economicamente mais competitivos. Uma maneira conveniente para reduzir os custos de biocombustíveis é

utilizar os subprodutos como uma fonte potencial de energia, em vez de tratá-los como resíduos. Diversos produtos secundários (tortas, farelos e glicerina) são originados da cadeia do biodiesel. A destinação correta desses subprodutos, ou a obtenção de bons preços, interferem na viabilidade do biodiesel, pois se tornam uma entrada de capital na cadeia do biocombustível. Por esse motivo é fundamental existir estudos que garantam a viabilidade econômica do processo (BORGES, 2008; KOLESÁROVÁ *et al.*, 2010).

Em estudo sobre a viabilidade econômica da produção de biodiesel pela agricultura familiar, foi concluído que somente a produção de biodiesel isolada não é suficiente para mudar a realidade das pequenas propriedades rurais, mas sua interação com as outras explorações pode viabilizar sua produção. A bovinocultura de leite e a produção de biodiesel representam uma união muito importante, para viabilizar o projeto com a utilização da torta resultante da extração do óleo na alimentação animal (BORSAL *et al.*, 2010).

A humanidade vive um momento em que cada vez mais se tentam viabilizar as cadeias produtivas de produtos renováveis como os biocombustíveis. No Brasil buscam-se aplicações dos coprodutos do biodiesel com valor comercial para viabilizar sua produção, tendo alto valor agregado e baixo custo preparativo (QUINTELLA *et al.*, 2009). A viabilidade técnica, econômica e ambiental de um programa de biocombustíveis está fundamentalmente ligada a tecnologias agrícolas que resultem em alta produtividade, com um aumento pequeno das áreas cultivadas, redução do uso de água e de insumos e aproveitamento dos resíduos gerados para o desenvolvimento de produtos de alto valor agregado (CGEE, 2010).

Goes, Araújo e Marra (2010), destacam a necessidade de melhor estruturação e desenvolvimento do mercado para coprodutos e subprodutos da cadeia de biodiesel, como uma estratégia para redução dos custos de produção. Esta nova abordagem sobre a questão dos resíduos levou a uma mudança de paradigma. O resíduo, que antes era visto apenas como um problema a ser resolvido, passou a ser encarado também como oportunidade de melhoria.

O crescente desenvolvimento da indústria de produção de biodiesel no Brasil vem favorecendo o crescimento das pesquisas para a obtenção de biodiesel de qualidade aceitável pelas legislações nacionais, visando uma maior economia e um menor impacto ambiental (FACCINI, 2009). Nas diversas rotas de produção de biodiesel há produção de resíduos, que muitas vezes, necessitam de tratamentos para serem devolvidos ao meio ambiente, ou mesmo, agregar valor transformando-os em coprodutos. O desenvolvimento de tecnologias de baixo custo que englobe o tratamento de vários resíduos se faz

necessário para uma produção descentralizada de biodiesel com menor impacto ambiental (SOARES *et al.*, 2007).

Os coprodutos e resíduos gerados poderão ser aproveitados na própria cadeia de produção de biodiesel, caso do metanol e etanol, ou aproveitados em outros ciclos produtivos, caso das tortas resultantes da extração do óleo e da glicerina. Sendo possível fechar o ciclo na própria unidade de produção de biodiesel, anexando outras unidades para aproveitamento dos resíduos e coprodutos com geração de novos produtos.

### **a) Torta residual**

O aumento crescente do interesse pelos biocombustíveis, a perspectiva do aumento de óleo vegetal para alimentação e a possibilidade de viabilização comercial de novos produtos, contribuem para a ampliação da demanda por óleos vegetais. Nesta cadeia produtiva, a utilização adequada de coprodutos (torta) é um fator crítico para a competitividade do empreendimento (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2009b). Pesquisas para aproveitamento dos diversos tipos de torta indicam as seguintes aplicações: alimentação animal; adubo orgânico, produção de biogás; compósitos e bioetanol, conforme abordado a seguir.

As tortas que apresentam um teor elevado de óleo têm limitada porcentagem de inclusão nas dietas dos animais. As indústrias processadoras de grãos devem ter uma boa eficiência do processo de extração do óleo para viabilizar seu produto principal e secundariamente utilizar esta torta para nutrição animal (HONORATO *et al.*, 2009). Contudo, de acordo com Borsoi *et al.* (2010), no processo de extração do óleo a frio, sem uso de cozimento e solvente, a torta preserva um maior teor de proteínas e lipídios, que lhe conferem uma qualidade superior ao farelo convencional.

Com relação à questão ambiental, o tratamento de farelos ou tortas por processos tecnológicos adequados é fundamental para evitar a geração de um passivo ambiental (CGEE, 2010).

A torta de girassol, com 48-50% de proteína, pode ser utilizada na avicultura, suinocultura e no confinamento e semiconfinamento de bovinos (JORDAN *et al.*, 2011). O girassol possui como principais produtos o óleo obtido a partir de suas sementes e a ração animal proveniente da sua torta. Na produção de biocombustível o aproveitamento da torta pode reduzir o custo final do biodiesel, chegando este a ser até 20% menor quando comparado ao derivado de petróleo (GONTIJO *et al.*, 2009).

A produção de óleo em pequena escala fica prejudicada porque o farelo para ração requer remoção completa do óleo, o que não ocorre na prensagem, que gera uma torta parcialmente desengordurada. Os grãos de mamona apresentam componentes tóxicos e alergênicos, como a ricina e a ricinina. Portanto, a eliminação total ou inativação dos compostos tóxicos é mandatória para que a torta possa ser considerada para ração, fertilizante, no pré-tratamento de efluentes ou outra aplicação. Mesmo que seu destino final seja a terra, é necessário eliminar a toxicidade do resíduo para prevenir contaminação do solo (CGEE, 2010). Contudo, a torta de mamona tem seu uso predominantemente como adubo orgânico por conter alto teor de nitrogênio (OLIVEIRA, 2008), além disso, na prática não se observa a eliminação da toxicidade para seu uso como adubo.

Silva Júnior *et al.* (2009b), citando outros autores, acrescentam que a torta de mamona, por conter em sua composição valores de 28,7 a 42,5% de proteína bruta, poderia ser utilizada para alimentação animal, aumentando o valor agregado deste coproduto e, conseqüentemente, a competitividade da cadeia produtiva da mamona. A viabilidade econômica é avaliada com base em especificações técnicas do processo de detoxicação, considerando unidades de pequena escala e condições semelhantes à escala industrial. O possível impacto da disponibilização de torta detoxicada de mamona é especialmente positivo em regiões semiáridas, nas quais o déficit alimentar compromete a rentabilidade da produção de carne e leite.

A detoxicação da torta de mamona e de pinhão-manso apresenta como vantagens o uso da torta para alimentação de ruminantes, agregando maior valor e contribuindo com o desenvolvimento da pecuária em regiões onde há crônica carência de fontes de proteína, viabilizando a cadeia produtiva do biodiesel (COLLARES, 2009; SILVA JÚNIOR *et al.*, 2009b). Segundo Luz *et al.* (2013), a eliminação de fatores antinutricionais da torta de pinhão manso é importante para diminuir os danos ambientais e agregar valor econômico a este resíduo da indústria de biodiesel. A torta de pinhão manso pode ser potencialmente utilizada para a produção de cogumelos, com valor nutricional elevado, e ração animal evitando a eliminação inadequada no meio ambiente.

Sousa *et al.* (2009), destacam que com o crescimento da indústria de produção da energia a partir da biomassa, novos resíduos orgânicos estão sendo produzidos e novos processos de tratamento estão sendo investigados. No caso do pinhão-manso, um dos resíduos gerados é a torta, que devido à presença de substâncias tóxicas, não pode ser aproveitada como alimento animal, a não ser se submetida a um tratamento utilizando calor. Sua aplicação como fertilizante nas lavouras é possível, uma vez que apresenta alto teor de minerais (N, P, K), porém, do ponto de vista da eficiência energética do processo integral,

essas práticas não apresentam a eficiência energética exigida, em tempos de recursos energéticos cada vez mais escassos e caros. Uma das alternativas que podem sanar essas deficiências é o uso da biodigestão para a produção do biogás. Experimentos utilizando torta de pinhão-manso (teores de 60, 80 e 90% do substrato), estrume bovino e, ou glicerina bruta oriunda da produção de biodiesel, indicam que a torta de pinhão-manso, pura ou com adição de pequenas quantidades da glicerina bruta, pode se constituir num substrato adequado para a geração do biogás com alto teor de metano, oferecendo uma solução para o tratamento de dois resíduos importantes e de difícil uso alternativo da produção do biodiesel a partir do pinhão- manso, acrescentando assim, valor à produção do biodiesel.

O Brasil é um grande produtor agrícola, e portanto, produz imensa quantidade de biomassa residual, proveniente das cascas, folhas, tortas e do bagaço. A biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos). Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada, cujo potencial energético varia, quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos (ANEEL, 2011).

Segundo Peres *et al.* (2006), a energia proveniente dos coprodutos, casca e torta da mamona, poderá contribuir significativamente para a redução dos custos de produção de biodiesel e possivelmente para a auto-suficiência energética das unidades produtoras de biodiesel.

Devido às suas características físico-químicas e biológicas, a biomassa residual, antes de sua disposição final necessita passar por um processo de tratamento adequado, visando à redução do seu potencial poluidor. Além dos impactos ambientais da biomassa residual nos recursos hídricos, o solo também é considerado outro compartimento ambiental profundamente afetado pela disposição inadequada da biomassa residual. Na maioria das vezes, somado ao fato de haver a contaminação do solo por causa da biomassa, essa acaba sendo transferida para os corpos hídricos devido ao carreamento provocado pelas chuvas. Diversos outros fatores estão relacionados à disposição da biomassa, sendo inclusive muitos associados aos problemas de saúde pública e ambiental (FERNANDES *et al.*, 2011).

A produção de biogás a partir de biomassa agrícola oferece benefícios ambientais e é também uma fonte adicional de renda para os agricultores. A energia renovável é produzida, com redução das emissões de metano durante o armazenamento do estrume e a

qualidade do fertilizante digerido é melhor. Unidades de biogás requerem uma fonte de nutrientes para obter rendimentos ótimos de biogás (AMON *et al.*, 2006; DAUN; SILVA; RAMOS, 2011).

O biofertilizante é rico em amônia ( $\text{NH}_3$ ), decorrente da degradação da parte proteica, fosfato ( $\text{P}_2\text{O}_6$ ) e óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), que são minerais não degradados durante o processo. Este adubo pode ser adicionado ao solo de forma direta, podendo inclusive substituir fertilizantes minerais hidrossolúveis em soluções para cultivo sem solo (VILLELA JUNIOR *et al.*, 2007).

Segundo Tolmasquim (2003), na maioria dos casos, há necessidade de algum processo de tratamento da biomassa para seu aproveitamento energético. Com relação a esses processos, a biomassa pode sofrer três tipos de interferência primária:

- Processos Físico-Químicos: moagem, atomização, secagem, prensagem, extração, dentre outros;
- Processos Microbiológicos: fermentação para obtenção de álcool etílico, digestão anaeróbia, dentre outros;
- Processos Termoquímicos: Podem ser precedidos dos processos anteriores, e incluem combustão direta, gaseificação, pirólise, dentre outros.

Estes processos de alterações das características físico-químicas são necessários, pois, a biomassa em sua forma bruta não apresenta condições favoráveis ao transporte, manipulação ou mesmo, em uma granulometria adequada, para obter uma boa eficiência de reação associada ao processo selecionado como melhor alternativa tecnológica. Dessa forma, uma vez que a biomassa esteja condicionada às características necessárias ao processo termoquímico, este poderá compreender diversas alternativas, como a queima direta ou pirólise, gaseificação e liquefação para, finalmente, ser encaminhado ao processo de combustão final. O referido autor acrescenta que a evolução do mercado das tecnologias de produção de energia a partir da biomassa está majoritariamente associada a aspectos ambientais, priorizando a necessidade de minimização das emissões atmosféricas que causam impactos ambientais.

A biomassa residual pode ser utilizada para gerar energia, entretanto por se tratar de um combustível sólido e em muitos casos polidisperso e de baixa densidade dificulta o seu uso eficiente. O uso energético da biomassa pode ser de forma direta, pela combustão, ou indireta, pelos processos de conversão para a produção de combustíveis energeticamente mais densos (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

A emissão de CO<sub>2</sub> é uma consequência inevitável da queima de combustíveis carbonados, dos quais temos a biomassa (lenha, resíduos), e os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás). Estes, de uma forma mais geral, são os principais responsáveis pelo efeito estufa. No caso da biomassa, o CO<sub>2</sub> emitido é absorvido pelas plantas através de fotossíntese, e por isso é considerada uma fonte renovável de energia (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

Algumas indústrias beneficiam a mamona com casca gerando também este resíduo. Cardoso *et al.* (2009), em estudo fitoquímico comprovaram que as cascas das sementes de mamona apresentam importantes metabólicos como, alcalóides, taninos, derivados de cumarinas e triterpenóides/esteroides.

A utilização da casca de mamona, coproduto gerado também dentro da lavoura, como adubação orgânica do solo contribui para disposição da fertilidade do solo e redução de eventuais custos com adubos. No entanto, a alta relação C/N da casca, afeta a disponibilidade dos nutrientes às plantas, necessitando-se que antes ela seja submetida à decomposição ou misturada a outro material rico em N, com o objetivo de reduzir a relação C/N, o que ficou comprovado em estudos usando a casca de mamona como fertilizante orgânico para a mamoneira. Ao utilizar um subproduto que normalmente seria descartado, o agricultor que cultiva mamona, em especial os que praticam a agricultura familiar no semiárido nordestino, pode incrementar a fertilidade do solo com uso da casca de mamona (MACIEL *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2011).

## **b) Resíduos do pré-tratamento do óleo**

A industrialização das sementes de oleaginosas divide-se em duas partes importantes:

- Produção de óleo bruto, de torta e farelo
- Refino dos óleos brutos

As etapas principais do processo de refino de óleo são: Degomagem (hidratação), Neutralização (desacidificação) e Branqueamento (clarificação).

A degomagem de óleos para produção de biodiesel é um processo que consiste na remoção, eliminação ou inativação dos fosfatídeos através de sua hidratação, insolubilizando-os no óleo e permitindo sua separação por precipitação. Os fosfatídeos são derivados do ácido fosfórico com composição química similar aos lipídios, mas contendo

nitrogênio e fósforo. A técnica de degomagem é largamente aplicada na área industrial para refino de óleo bruto pelo seu baixo custo (VIEIRA *et al.*, 2009). As gomas, resíduos desse processo são fontes de lecitina comercial, produto largamente utilizado como emulsificante em sorvetes, chocolates e margarinas (HARTMAN; ESTEVES, 1989 *apud* FRE, 2009).

Para a obtenção do biodiesel, a preparação da matéria-prima visa obter condições favoráveis para a efetivação da reação de transesterificação, com o objetivo de alcançar a máxima taxa de conversão. A especificidade do tratamento vai depender da natureza e das condições de cada produto. Em princípio, as matérias-primas devem ter o mínimo de acidez e umidade, para evitar a formação de produtos saponificados que diminuem a eficiência de conversão e tornam difíceis as etapas de separação do glicerol e purificação do biodiesel formado, sendo realizado um processo de neutralização, efetuando uma lavagem com solução alcalina de hidróxido de sódio ou potássio seguido do processo de secagem, também denominado de desumidificação (GRANGEIRO, 2009).

Nessa etapa, geram-se resíduos de difícil tratamento, conhecidos como “*soapstocks*” ou borra. Quimicamente são sabões, gerados na reação entre os ácidos graxos livres presentes no óleo com os hidróxidos de metais alcalinos, numa emulsão com um pouco de triglicerídeos (ENCARNAÇÃO, 2008).

A borra é formada durante a etapa de neutralização do refino químico do óleo bruto e pode ser empregada diretamente na fabricação de sabões. Esta borra, devido ao seu alto conteúdo de ácidos graxos saponificados, reduzido valor econômico e grande disponibilidade nas indústrias de óleo e de biodiesel, é uma excelente matéria-prima para a obtenção de um concentrado de ácidos graxos livres. Estes ácidos graxos têm sido comercializados devido às suas propriedades nutricionais como uma fonte alternativa de gordura nas dietas para frangos de corte. Também são matérias-primas para a produção de biodiesel. No caso de óleos com elevada acidez, ao invés da neutralização alcalina, é realizada a desacidificação por destilação dos ácidos graxos livres (FRE, 2009).

O processo de branqueamento destina-se à remoção de corantes. O objetivo principal dessa etapa é obter óleos com coloração mais clara, através da utilização de materiais adsorventes como terras ativadas e carvão ativado. O óleo é aquecido e colocado em contato, em geral com terra diatomácea, em filtros (FRE, 2009).

A terra diatomácea é um sedimento amorfo, de natureza silicosa, que pode ser originado a partir de frústulas ou carapaças de organismos unicelulares vegetais. Dentre estes organismos destacam-se as algas microscópicas aquáticas, marinhas ou lacustres, encontradas nas camadas geológicas da crosta terrestre. Possui como características

elevada área superficial específica e baixa densidade (SOUZA, 2003 *apud* GOURLART *et al.*, 2011).

Segundo Goulart *et al.* (2011), a torta de terra diatomácea, assim como outros resíduos industriais apresenta custos elevados de disposição de resíduos de forma ecologicamente correta, apresenta reatividade e ocupa grande espaço físico. A ABNT, através da norma NBR 10.004, classifica resíduos sólidos quanto aos seus potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde pública, para que estes resíduos possam ter manuseio e destinação adequados. Estudando resíduos de uma indústria de bebidas, Mello e Pawlowsky (2003) incluíram a terra diatomácea na Classe II. Para a NBR 10.004, nesta classe estão os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente.

### **c) Glicerina**

O Brasil sendo um dos maiores produtores e consumidores de biodiesel apresenta atualmente um excesso de oferta de glicerina, pois a produção é maior que a demanda de seus principais consumidores, indústrias de cosméticos, fármacos. A literatura registra algumas aplicações para a glicerina, como: geração de energia a partir da produção de biogás; obtenção de resinas; alimentação animal; obtenção de aditivos antioxidantes para biodiesel; indústria de cosméticos; indústria farmacêutica; produção de sabão; obtenção de insumos químicos; produção de hidrogênio, de 1,3-propanodiol e etanol dentre outros usos (COELHO *et al.*, 2012; ITO *et al.*, 2005; YANG; TSUKAHARA; SAWAYAMA, 2008; SCHIEVANO; D'IMPORZANO; ADANI, 2009; AMON *et al.*, 2006).

A glicerina é um coproduto da produção de biodiesel, que deverá crescer de forma intensa no futuro. Com o aumento na produção de biodiesel, presume-se que haverá um excedente de glicerina no mercado mundial (ADHIKARI; FERNANDO; HARYANTO, 2007; ROSMAN *et al.*, 2009). Devido ao excesso de glicerina produzida, existe dificuldade para absorção pelo mercado, investigam-se soluções economicamente viáveis para a transformação da glicerina em produtos com maior valor agregado (LEITE *et al.*, 2012; MOTA *et al.*, 2012). Além disso, a economia do biodiesel pode também ser influenciada pela forma como a glicerina é aproveitada, constituindo uma oportunidade potencial de geração de recursos (WERPY, 2004).

A glicerina bruta quando descartada de maneira inadequada gera problemas ao meio ambiente (VILLELA *et al.*, 2012). Oliveira *et al.* (2012) destacam os padrões de qualidade mínima para a venda do biodiesel e acrescentam que, a composição da glicerina varia segundo os processos de tratamento da glicerina de cada usina, que dependem especialmente do nível de exigência do mercado comprador, considerando ainda o custo do processo de purificação e o preço de venda.

Vários níveis e designações de glicerina estão disponíveis comercialmente. Eles diferem em seu conteúdo de glicerol e em outras características, tais como odor e impurezas. A glicerina gerada na produção de biodiesel contém além de glicerol, propanotriol e proporções variáveis de impurezas como: glicerina combinada, álcool (metanol ou etanol), sais de sódio ou potássio, provenientes do catalisador utilizado, sabões residuais, hidróxido de sódio ou potássio e água (produto de reação) (CARMINES; GAWORSKI, 2005; KNOTHE *et al.*, 2006).

O termo glicerol aplica-se ao composto puro. Conforme o grau de pureza ou teor de glicerol, a glicerina recebe as seguintes denominações:

- Glicerina bruta
- Glicerina loura, comercial ou semi-refinada
- Glicerina refinada ou purificada

Assim, a glicerina bruta geralmente apresenta entre 40% e 80% de glicerol. A glicerina loura contém entre 80 e 90% de glicerol, e é obtida a partir da glicerina bruta, após a separação do álcool em excesso (metanol ou etanol), utilizado no processo de produção de biodiesel. Quanto à glicerina purificada é classificada em glicerina técnica (99.5% de glicerol) ou glicerina farmacêutica (acima de 99.5% de glicerol). A glicerina pode ser vendida na sua forma bruta (glicerina natural), sem qualquer purificação, ou purificada. São comercializados dois tipos de glicerina natural. O primeiro apresenta 80% de glicerol, enquanto o segundo de 88% a 91% de glicerol (CORDOBA, 2011).

A glicerina pura é utilizada como plataforma para a elaboração de uma vasta gama de produtos químicos: excipientes, bases para xaropes, cosméticos, base de antissépticos, solventes, laxantes, lubrificantes, vernizes, dentre outros materiais (BIODIESEL CRIMEA, 2010). Este tipo de glicerina deve apresentar um alto padrão em níveis de qualidade e pureza, portanto a glicerina bruta, subproduto da elaboração de biodiesel, deve ser purificada implicando altos custos associados (GLACON CHEMIE, 2011 *apud* INDIVERI *et al.*, 2011).

A glicerina bruta é vendável, mas de baixo preço. O mercado é muito mais favorável à glicerina purificada por possuir baixa toxicidade. A glicerina bruta é imprópria para o consumo alimentício ou farmacêutico, sendo desejável que se investiguem novas aplicações para este tipo de matéria-prima de baixa qualidade, que sejam econômica e ecologicamente viáveis ( INDIVERI *et al.*, 2011).

Segundo Souza *et al.* (2011), esta glicerina apresenta impurezas que a tornam inapta para o uso direto nas indústrias alimentícia, farmacêutica e de cosméticos, mas que pode ser purificada atingindo os valores exigidos pela *United States Pharmacopeia* (USP). Do ponto de vista econômico, para as indústrias farmacêuticas e de cosméticos, a utilização da glicerina oriunda do processo de fabricação do biodiesel é muito mais interessante (SILVA *et al.*, 2007). Com o emprego de tratamentos e purificações, essa glicerina pode apresentar valores de pureza que se assemelham a da glicerina P.A., vendida como pura, que apresenta um teor de glicerol de até 99,5%. O processo de purificação da glicerina é complexo e oneroso, tornando-o inviável na maioria das vezes.

A utilização de glicerina tem diversos usos tradicionais, no entanto em geral requer purificação, aumentando consideravelmente o custo preparativo. São assim necessárias novas aplicações para a glicerina bruta. Cordoba (2011) ressalta a possibilidade de utilização da glicerina bruta sem nenhum tratamento, mas considerando o preço reduzido e a elevada produção, esta poderia não ser uma opção economicamente atrativa. O autor destaca a possibilidade de utilização da glicerina bruta como combustível para gerar energia mediante queima direta. Esse processo deve ser controlado para evitar a formação de acroleína, subproduto altamente tóxico. A acroleína é um aldeído insaturado produzido em larga escala no setor químico. Possui grande instabilidade química e características toxicológicas, responsáveis pelo comprometimento pulmonar agudo, irritação ocular, esclerose múltipla e efeitos carcinogênicos comprovados em ratos (FERNANDES e SILVA, 2005).

A glicerina bruta tem surgido como uma fonte alimentar energética alternativa e promissora na produção animal (SANCANARI *et al.*, 2009). Uma das alternativas para o uso deste resíduo é a produção de biogás pelo processo anaeróbico, com vista à produção de energia. Segundo Daun, Silva e Ramos (2011), este biogás pode ser usado *in natura* para queima direta, para aquecimento de ambientes ou usado como combustível em motores de combustão interna e em moto-geradores de eletricidade.

O biogás é um gás inflamável produzido por bactérias que operam em determinadas temperaturas e sua composição é basicamente de 60 a 70% de metano (CH<sub>4</sub>), 30 a 40% de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), além de traços de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), hidrogênio (H<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>),

monóxido de carbono (CO) e outros gases (OSÓRIO e TORRES, 2009). Segundo Lima (2005), o poder calorífico inferior (PCI) do biogás situa-se entre 4.300 e 6.850 kcal m<sup>-3</sup> e o mesmo pode ser usado em residências, indústrias e também em estações de tratamento de esgotos.

Indiveri *et al.* (2011), ressaltam que a glicerina é uma fonte de carbono facilmente digestível de alta disponibilidade, baixo custo e também pode ser armazenada durante um longo período de tempo. Estas vantagens tornam a glicerina um co-substrato ideal para o processo de digestão anaeróbia. Além disso, a produção de biogás a partir deste tipo de matéria-prima pode ter impacto direto se considerar sua possível utilização como combustível para a produção de energia elétrica. O Governo Argentino propõe uma mudança na matriz energética no que se refere à produção de energia elétrica mediante fontes de origem renovável (ARGENTINA, 2011). Estudos com utilização de glicerina para produção de biogás a partir de resíduos orgânicos, como coprodutos de indústrias e agroindústrias e resíduos de origem animal têm comprovado a redução de custo e maior produção de biogás em decorrência da adição de glicerina (AMON *et al.*, 2006; KONRAD *et al.*, 2011; ROBRA *et al.*, 2006; SCHIEVANO; D'IMPORZANO; ADANI, 2009).

O glicerol, possui propriedades favoráveis à digestão anaeróbica em biodigestores quando associado a resíduos orgânicos com alto teor de nitrogênio (DAUN; SILVA; RAMOS, 2011; ROBRA *et al.*, 2010). Nesse sentido, Fountoulakis *et al.*, (2008) ressaltam que a digestão de glicerina sem aditivos não é viável, dado seu conteúdo praticamente nulo de nitrogênio, necessário para a formação da massa bacteriana, assim, a adição de glicerina a substratos com concentrações suficientes de carbono, mas com baixa energia, parece ser um enfoque interessante. Nesse sentido, a produtividade dos digestores anaeróbicos pode ser melhorada, complementando-a com co-substratos facilmente digeríveis.

Segundo Coelho *et al.* (2012), a obtenção de biolubrificantes à base de glicerina e biodiesel tem apresentado bons resultados, pois são biodegradáveis, apresentam ótimas propriedades lubrificantes e diminuem a dependência de petróleo.

Daun, Silva e Ramos (2011), destacam que o uso do glicerol, gerado em mini-planta piloto de produção de biodiesel, aumenta a eficiência da mesma, pois permite a produção com resíduo zero. Tal planta poderia ser utilizada em zonas rurais, contribuindo para a auto-suficiência energética das propriedades, pois além da produção de biodiesel para as máquinas agrícolas, poderia fornecer energia elétrica usando o mesmo como combustível no próprio motor-gerador da planta, como também aproveitando o biogás gerado com glicerol e dejetos.

Pesquisas têm sido desenvolvidas com o uso da glicerina bruta (GB) para a recuperação avançada de petróleo (QUINTELLA *et al.*, 2009). Nele, a GB é injetada como produzida, sendo apenas separado parcialmente o álcool por aquecimento, tendo, portanto, baixo custo preparativo. O valor agregado depende do valor do barril de petróleo, sendo usualmente alto. Estudo citado por Ribeiro *et al.*(2009), mostra cenários com variáveis econômicas como preço do barril de petróleo, fator de recuperação, transporte, disponibilidade de GB e sua distancia aos poços injetores, dentre outros, concluindo que, em todos os cenários, é ainda uma boa oportunidade de negócio.

Sales e Tinos (2010) em pesquisa sobre a utilização de glicerina como adjuvante em pulverização agrícola citam que nas aplicações de agrotóxicos, principalmente por via aérea, é muito comum o uso de adjuvantes, por proporcionarem maior eficiência, pois nas aplicações aéreas o volume de aplicação é reduzido devido à capacidade da aeronave. Os adjuvantes mais utilizados são os espalhantes, cuja função é diminuir a tensão superficial do líquido, permitindo que a gota se espalhe sobre o alvo aumentando assim a área de cobertura. Um produto que tem se mostrado promissor como adjuvante é a glicerina. Atualmente a glicerina é utilizada para diversas finalidades em várias indústrias, embora seu uso como adjuvante ainda não seja muito difundido, existem trabalhos de pesquisa que comprovam seu potencial para esta finalidade. Segundo Maciel *et al.* (2008) *apud* Sales e Tinos (2010), a glicerina é uma alternativa promissora para substituir com sucesso os óleos vegetais atualmente utilizados como adjuvante, principalmente em função do baixo preço e da grande abundância do produto, uma vez que é um subproduto do biodiesel, outra vantagem da característica físico-química da glicerina pura (100%) e a com concentração de 75%, na utilização como adjuvante de calda de pulverização, é o baixo potencial de evaporação, principalmente quando acidificadas com concentrações superiores a 5,0% de ácido bórico.

O confinamento de animais é uma prática utilizada por produtores que permite a regularidade de oferta de carne e retorno mais rápido do capital investido devido à redução da idade de abate dos animais (MEDEIROS, 2009). Segundo Santos *et al.* (2012b), como o custo de produção de animais confinados ainda é elevado, existe o interesse pelo uso de alimentos alternativos que possam substituir parte do concentrado fornecido, para reduzir o custo de produção, sem prejudicar o consumo e o desempenho dos animais. Entre os principais coprodutos agroindustriais com potencial de uso na alimentação de ruminantes, destaca-se a glicerina bruta oriunda da produção de biodiesel, por ser um composto altamente energético e que apresenta perspectiva de redução de preço.

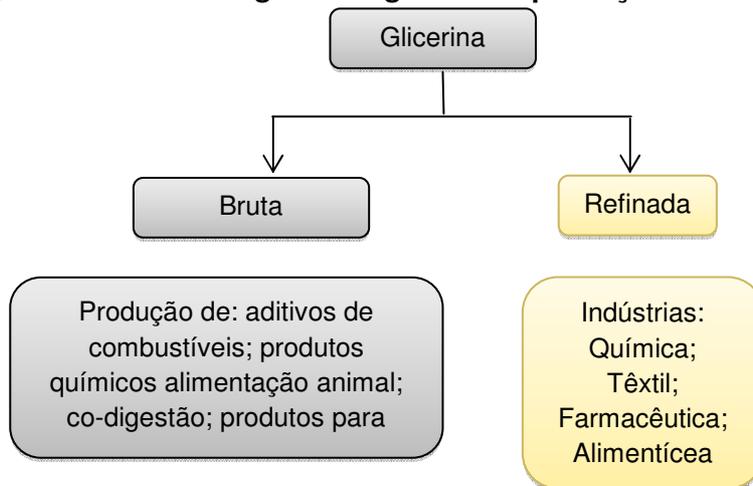
Oliveira *et al.* (2012), citam pesquisas sobre a possibilidade da glicerina substituir parcialmente o milho sem necessidade de ajustes no valor energético das dietas. Os autores acrescentam que em maio de 2010, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), liberou a glicerina para registro como ingrediente, desde que contenha o mínimo de 80% de glicerol, os máximos de 13% de umidade e 150 ppm de metanol. Entretanto, o uso de subprodutos na alimentação animal de ruminantes está proibido no Brasil desde 1996, como medida de prevenção sanitária (MAPA, 1996), a glicerina gerada em indústrias que utilizam como matéria-prima o sebo bovino, é proibida para a alimentação de ruminantes, podendo ser usada para os demais animais.

Pesquisas sugerem que a co-pirólise de glicerina bruta misturada com biomassa, tem sido identificada como uma via possível para a produção de combustíveis limpos, ricos em H<sub>2</sub> ou *syngas*, gás de síntese composto por hidrogênio e monóxido de carbono (H<sub>2</sub> + CO), sendo uma opção viável para a valorização de glicerina estocada em pequenas usinas de biodiesel, reduzindo o custo de produção de biodiesel, além de propiciar benefícios econômicos e ambientais (FERNÁNDEZ *et al.*, 2009; SKOULOU; MANARA; ZABANIOTOU, 2012; VALLIYAPPAN; BAKHSHI; DALA, 2008).

Segundo Lin (2013) a glicerina, como um subproduto derivado da produção de biodiesel, é atualmente um problema, devido ao excesso de oferta mundial. Uma abordagem para atenuar esta crise, consiste em transformar a glicerina em produtos químicos valiosos. Alguns desafios são ainda limitantes para o processo, no entanto, recentes avanços na concepção de catalisador, projeto do reator, e teoria química têm permitido superar limites em escalas macro e microscópicas. Com os esforços de sinergia destas ferramentas, a glicerina pode não ser mais um problema, mas um recurso valioso de hidrogênio e gás de síntese (*syngas*) em um futuro próximo.

O Fluxograma 3 mostra de forma esquematizada as alternativas de uso da glicerina bruta ou purificada.

**Fluxograma 3 – Usos da glicerina gerada na produção de biodiesel**



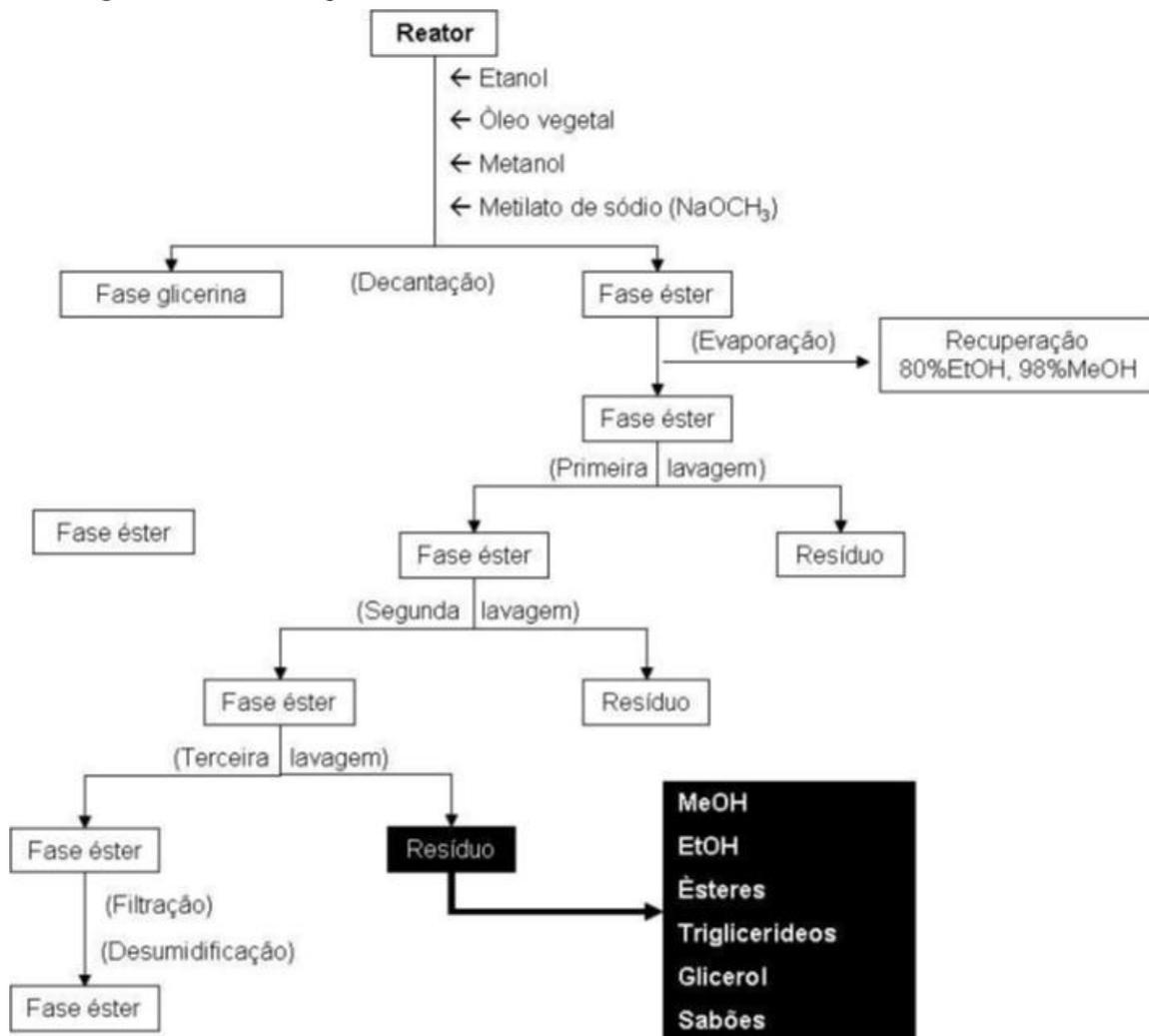
Fonte: Adaptado de Leoneti; Aragão-Leoneti; Oliveira, 2012.

#### **d) Efluente industrial**

O biodiesel após a separação da glicerina via decantação ou centrifugação, segue para lavagem com água e posterior filtração. Nesta etapa de purificação, resíduos indesejáveis de glicerina, sabões, álcool, ácidos graxos e glicerídeos não convertidos são removidos pelo processo de lavagem com água, sendo necessário um grande consumo de água, conseqüentemente gerando uma grande carga de efluente com nível de toxicidade que impossibilita o seu despejo em corpos hídricos sem nenhum tipo de tratamento. O impacto ambiental causado por este tipo de efluente é de difícil avaliação, por causa da variedade de compostos oriundos da matéria-prima, reagentes, produtos e subprodutos do processo (CESAR, 2010; MELO *et al.*, 2007; SOARES; STRAUCH; AJARA, 2007).

O Fluxograma 4 mostra as etapas de lavagem em geral efetuadas no processo.

Fluxograma 4 - Produção de biodiesel



Fonte: Dall'Agnol *et al.*, 2011

As Resoluções 357/2005 e 430/2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2005; 2011) estabelecem que, efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam as condições, padrões e exigências dispostos na resolução e em outras normas aplicáveis. Estabelece ainda que Os efluentes não poderão conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com as metas obrigatórias progressivas, intermediárias e final, do seu enquadramento.

Segundo Bendotti *et al.* (2011), os parâmetros físicos e químicos são de grande importância na caracterização dos efluentes gerados, com o objetivo de desenvolver tratamentos que visem à diminuição da carga de poluentes de modo a possibilitar o seu despejo em corpos hídricos. Na Tabela 8 são apresentados resultados da caracterização de um efluente bruto da produção de biodiesel, sendo possível verificar parâmetros desta

amostra que se encontram muito acima dos limites da Resolução 430/11 (CONAMA, 2011) para descarte sem tratamento.

**Tabela 8 – Dados físico-químicos de análise de efluente da produção de biodiesel e parâmetros do CONAMA**

CARACTERIZAÇÃO	EFLUENTE	CONAMA 357/05	CONAMA 430/11
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	178.000	90	Remoção mínima de 60%
DQO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	303.000	60	-
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	24,8	0,02	-
Óleos e graxas animais/vegetais (mg L <sup>-1</sup> )	65.400	Inferiores a 50	Inferiores a 50
Óleos e graxas minerais (mg L <sup>-1</sup> )	4.400	Inferiores a 20	Inferiores a 20
pH	11,2	Entre 5 e 9	Entre 5 e 9

Fonte: Adaptado de Bendotti *et al.*, 2011.

O processo de pré-tratamento do óleo vegetal gera 0,1 tonelada de efluente, proveniente da lavagem, por tonelada de óleo vegetal processado e deve ser tratado antes de ser destinado. A produção de biodiesel gera 0,004 tonelada de efluente, provenientes do processo de secagem de óleo, para cada tonelada de biodiesel gerado. A retificação de metanol gera 0,016 tonelada/hora de efluente por tonelada de biodiesel produzido, como resultado desta operação, o metanol é recuperado e a água destilada retorna ao processo na própria planta de biodiesel na preparação de soluções e lavagem (ENCARNAÇÃO, 2008). Segundo Bendotti *et al.* (2012), este tipo de efluente é dificilmente remediado por tratamentos convencionais.

Palomino-Romero *et al.* (2012), em estudo de revisão descreveram que existem diversos métodos destinados ao tratamento do efluente de lavagem do biodiesel, alguns deles visam o tratamento, outros a geração de energia ou produtos ou, também, o enriquecimento de um substrato. Estes tipos de tratamento, assim como as eficiências de remoção, os tempos de duração e os produtos gerados em cada processo estão sumarizados na Tabela 9. Os autores na análise dos dados da referida tabela observaram que, embora a remoção de SS e TOG seja bastante satisfatória nos efluentes tratados por eletrocoagulação, a remoção dos compostos orgânicos ainda é baixa. O uso de um processo de codigestão anaeróbia no efluente tratado por eletrocoagulação melhorou a eficiência do processo na remoção da DQO. Os autores destacam também a elevada eficiência na remoção de DBO (90%), DQO e TOG (100%) obtidas por oxidação eletroquímica. Os tratamentos biológicos também mostraram eficiências consideráveis com uma elevada redução da matéria orgânica e do óleo contido nos efluentes. Um tratamento que também se destacou foi o físico-químico, no qual a remoção de cor, turbidez,

hidrocarbonetos e TOG foi total, entretanto os valores da DQO ainda não foram reduzidos totalmente.

**Tabela 9 - Processos de tratamento do efluente gerado na produção de biodiesel**

Tipo de tratamento	% Remoção	Tempo de duração	Produtos gerados
Eletrocoagulação	DQO: 55,7 Glicerina: 3,5 Metanol: 16,9 SS: 100 TOG: 100	25 min	Nenhum
Oxidação eletroquímica	DBO: 90 DQO: 100 TOG: 100	7 h	Nenhum
Biológico ( <i>Rhodotorada mucilaginosa</i> )	Óleo:98	66 h	Nenhum
Biológico (inóculo UASB-Abatedouro de aves)	Mat. orgânica: 85 DQO: 66-93	8 h	Nenhum
Físico-químico – (Al <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	DQO: 69 Cor, Turbidez, Hidrocarbonetos e TOG: 100	N. I.	Nenhum
Eletrocoagulação + Digestão anaeróbia	DQO: 81	18-45 h	Metano
Neutralização com ácidos	N. I.	30 min	Glicerol
Biológico (inóculo <i>Thermotoga neapolitana</i> )	Glicerol: 27,3	50 h	H <sub>2</sub>

N. I. Não informado

Fonte: Adaptado de Palomino-Romero *et al.*, 2012.

Os biocombustíveis surgem com uma proposta de sustentabilidade, assim a preocupação com o desenvolvimento sustentável deve acompanhar todas as etapas do processo, desde a cadeia agrícola, passando pela produção e destinação dos resíduos e coprodutos gerados.

No Brasil, verifica-se na PNRS (BRASIL, 2010) e no PNPB (BRASIL, 2005) a preocupação com aspectos socioambientais que devem ser considerados na cadeia produtiva de biodiesel, que gera coprodutos e resíduos que necessitam de tratamento e de destinação final adequada.

A gestão ambiental preconiza dentre outras práticas, o reaproveitamento destes materiais, o que pode ser conseguido com a reinserção dos resíduos e coprodutos na própria cadeia produtiva de biodiesel ou em outro processo.

### 3 LOGÍSTICA REVERSA

Durante os últimos dez anos o conceito de gestão logística tem evoluído, desde um olhar que enfocava somente os processos internos da empresa (denominada logística interna), passando por uma perspectiva mais ampla (denominada gestão da cadeia de suprimentos ou *supply chain management* - SCM, sigla em inglês), até os dias atuais em que impera um conceito mais holístico que concebe a empresa de manufatura ou de produção de serviços como uma ramificação que opera em uma rede complexa. Esta última tem começado a aparecer na linguagem científica como “gestão da rede de suprimentos” ou *supply network management* (SNM, sua sigla em inglês) (PALMA, 2011).

Segundo Martins (2005), a evolução da logística está relacionada com a crescente preocupação com os impactos causados ao ambiente. A logística reversa (LR) surgiu para equacionar a multiplicidade de aspectos logísticos do retorno ao ciclo produtivo de diferentes tipos de bens e materiais constituintes dos mesmos, bem como dos resíduos industriais, através de reutilização controlada do bem e de seus componentes ou da reciclagem dos materiais constituintes, dando origem a matérias-primas secundárias que serão novamente introduzidas no processo produtivo. Deste modo, o mundo empresarial começou a abordar o tema LR como uma forma de amenizar os impactos causados ao ambiente promovendo o reuso e redução do uso de matérias-primas. A relevância desta ferramenta veio à tona no início da década de 1980, porém apenas na década de 1990 é que sua influência se intensificou. A criação de mecanismos legais que coíbem a disposição de determinados tipos de resíduos em aterros e o surgimento de conceitos como a extensão da responsabilidade do produtor, corroboraram para a difusão e utilização dos conceitos da LR.

A logística inserida no conceito amplo passa a representar uma forma de obtenção de vantagem competitiva não somente para as indústrias, mas também para outras áreas como serviços e gerenciamento de resíduos (ESTIVAL, 2004). A globalização tem acelerado a demanda por serviços de logística reversa. Em 1991, antes da formação da União Europeia, o governo alemão inovou, tornando-se pioneiro na criação de uma legislação para a coleta de recicláveis. O país instituiu uma gerenciadora, regulada pelo governo e o referido órgão tem a missão de coordenar a coleta, triagem e entrega do material reciclável, evitando a obrigação de recebimento dos resíduos das embalagens pelas redes de varejo, que poderiam ficar sobrecarregadas com a implementação do sistema (CHENG; LEE, 2010; CLRB, 2011).

Segundo Fernández, Gil e Torre (2004) a logística trata os problemas de suprimento relativos ao tempo, lugar e forma em que são requeridos os bens e serviços, ressaltando que as empresa não atuam de maneira independente, mas formam parte de uma cadeia de

suprimentos cuja estrutura tem duas dimensões: a horizontal, número de vínculos que a integram, e a vertical, número de membros que constituem cada um dos vínculos. Seu maior ou menor êxito dentro da cadeia dependerá da capacidade para integrar e coordenar sua atividade e as relações com os membros da cadeia. Assim, é importante conhecer quem são os integrantes da cadeia de suprimentos e de que tipo são os fornecedores, os produtores e os consumidores.

Os referidos autores supracitados acrescentam que, a gestão da cadeia logística consiste em organizar adequadamente todo o processo, desde a extração de matérias-primas até a entrega do produto ao cliente no lugar apropriado, no momento oportuno e no modo adequado. Sendo possível associar a cadeia de suprimentos de um produto ao ciclo de vida do mesmo. Nesta cadeia existem algumas entradas (recursos e energia) e algumas saídas: produtos, subprodutos e resíduos. A recuperação por reutilização e reciclagem correspondia basicamente às vantagens econômicas que eram obtidas. Atualmente, outros aspectos como redesenho do projeto e redução de energia e contaminação, também são atividades importantes, ainda que por outras razões. A logística reversa é o processo de mover itens desde seu destino final para recuperar seu valor ou destruí-lo.

A Logística reversa (LR) é definida pelo *Reverse Logistics Executive Council* (RLEC) como um processo de planejamento, implementação e controle, de modo eficiente dos fluxos de materiais, produtos acabados e informações relacionadas, desde o ponto de consumo até a origem com o objetivo de recuperar seu valor e dar destinação adequada (RLEC, 2012).

A logística reversa (LR) é uma nova área da logística empresarial que atua de forma a gerenciar e operacionalizar o retorno de bens e materiais após sua venda e consumo, às suas origens, agregando valor aos mesmos. Dentro do contexto econômico, ambiental e social, essa nova ferramenta vem contribuir de forma significativa para o reaproveitamento de produtos e materiais após seu uso, amenizando os prejuízos causados ao meio ambiente pelo grande volume de bens fabricados pelos complexos produtivos (OLIVIER, 2007). A LR foi concebida para retorno de produtos fora de conformidade e atualmente se aplica fortemente a questões relacionadas à sustentabilidade.

A LR é uma área relativamente nova no cenário mundial, pois os pesquisadores e as empresas passaram a tratar o assunto com mais interesse apenas nas últimas décadas. No Brasil a primeira referência foi o livro intitulado “Logística reversa – Meio ambiente e competitividade (LEITE, 2003), com sua terceira edição em 2009, que apresenta uma visão geral da LR de pós-consumo. Vale destacar também dentre outros autores, Pereira *et al.*

(2011), que abordam a LR, alinhando o seu conteúdo à sustentabilidade e ao controle de resíduos, e Guarnieri (2011), que enfoca o impacto do estabelecimento da LR pela PNRS. No âmbito internacional, as pesquisas encontram-se mais avançadas e mostram que alguns autores já buscam a modelagem da LR com diversos intuitos, que vão desde a localização de estoques utilizados no fluxo reverso até a redução de custo ou aumento dos ganhos. Abordando a logística reversa no Brasil foi publicado nos principais periódicos internacionais indexados, um número ainda limitado, 1.748 artigos e envolvendo logística reversa na produção de biodiesel no Brasil, somente 50 artigos (SCIENCE DIRECT, 2012).

Pokharel e Mutha (2009) investigaram o desenvolvimento da pesquisa e prática em LR, através da análise de conteúdo das literaturas publicadas em diversos mecanismos de busca da internet, com base em livros e anais de conferências. A análise concluiu que a pesquisa e a prática da LR estão focadas em todos os aspectos da LR, da coleta dos produtos utilizados, seu tratamento e, finalmente, as saídas dos processos de transformação, ou seja, materiais reciclados, peças, produtos remanufaturados e resíduos. As referências também têm abordado estudos de caso sobre diversos aspectos da LR.

Segundo Gold e Seuring (2011), no contexto das tecnologias de energias renováveis, bio-energia pode desempenhar um papel decisivo durante as próximas décadas, quando inteligentemente concebida e aplicada em condições favoráveis. A este respeito, a eficiente cadeia de suprimentos e a gestão eficaz da logística representam um parâmetro chave. Dada a grande variedade de projetos de sistemas de bio-energia e a flexibilidade bastante elevada em operá-los, uma avaliação de sustentabilidade, necessariamente, tem de olhar para condições específicas do sistema de bio-energia e também levando todo o sistema em consideração para a compreensão dos componentes, recursos de biomassa, sistemas de abastecimento, tecnologias de conversão e serviços energéticos. Nas avaliações da sustentabilidade deve ser considerado o tripé que compreende e integra os aspectos econômico, ecológico e social/humano da sustentabilidade (ELKINGT, 1997; HALLDÓRSSON; KOTZAB; SKJOTT-LARSEN, 2009).

Nesse sentido Ortega e Martins (2002) *apud* Carvalho (2009) apresentam que há três tipos de sustentabilidade:

- econômica: a gestão adequada dos recursos naturais permite que seja atrativo continuar com o sistema vigente;
- social: os custos e os benefícios são distribuídos de maneira adequada tanto entre o total da população atual como entre a geração presente e as futuras gerações;
- ecológica: o ecossistema mantém suas principais características, que lhes são essenciais para a sua sobrevivência no longo prazo.

O conceito de tripé da sustentabilidade composto por aspectos “econômico, social e ambiental”, foi aceito e formalizado pela Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992, apresentando em seu documento final, Agenda 21 Global, a sustentabilidade idealizada por um tripé em cujos ápices estão as questões ecológicas, econômicas e sociais.

Nesse contexto, Miguez, Mendonça e Valle (2007), afirmam que é possível aplicar a LR no processo produtivo, obtendo benefícios ambientais, sociais e também econômicos para a empresa, que podem ser percebidos pela economia na utilização de recursos minerais; redução de materiais nos aterros sanitários; diminuição de processos químicos que agredem o meio ambiente e; pela opção dada, para outras empresas, em relação ao destino de seus produtos e equipamentos após o uso. Essas práticas também podem ser adotadas na cadeia de produção de biodiesel.

Nesta linha, Leite (2003) destaca duas categorias de ciclos reversos que caracterizam a relação entre os fluxos: os canais com ciclo aberto e os canais com ciclos fechados. No ciclo aberto, os resíduos, ao chegarem ao final da cadeia reversa, não voltam necessariamente ou diretamente para serem convertidos no mesmo produto. São os casos de materiais extraídos de bens pós-consumo, como metais, plásticos, vidros e outros que, após o processo de reciclagem, se transformam em matérias-primas para qualquer outro produto. Por exemplo, as sucatas metálicas sofrem a extração do material ferroso e voltam na forma de chapas, bobinas, barras e vergalhões para construção civil; e nos casos de embalagens plásticas, tambores, brinquedos, computadores, entre outros, que, após a extração do material plástico, transformam-se em sacos de lixo, potes, móveis, peças diversas.

Segundo o referido autor no ciclo fechado, é possível uma maior integração entre o canal direto e o reverso. O material descartado pode retornar na forma de um produto igual ou similar ao original, servindo de insumo direto à cadeia produtiva convencional. Como ocorre nos seguintes casos: o dos óleos lubrificantes, que após tratamento específico podem retornar como um óleo lubrificante novo; das baterias de veículos descartadas, que após a troca do chumbo e plástico podem retornar como baterias novas; e mais notoriamente as latas de alumínio descartadas, das quais, com alta eficiência e eficácia, extrai-se a liga de alumínio que será transformada em latas novas.

A gestão do fluxo reverso de materiais e informação é muito importante para o ambiente por propiciar a redução de resíduos. Nesse contexto, Gutierrez-Martin e Huttenhain (2003), ressaltam a utilização de novas ferramentas (como redução e gestão de ciclo de vida), bem como habilidades, para identificar e avaliar os problemas ambientais, e propor, selecionar e implementar soluções, fornecer métodos para a compreensão de um

problema e para solucioná-lo através da (re)concepção de um produto ou processo, enfatizando abordagens básicas para análise, síntese e integração.

Entretanto, é necessário o conhecimento profundo de toda a cadeia onde se insere a empresa e a participação ativa e consciente de todos os integrantes, pontos críticos para o total desenvolvimento da logística reversa. Estudos de caso mostram o grande campo para a implantação de um sistema de logística reversa (SLR), onde a participação de todos os membros da cadeia é de supra importância para a economia da empresa e sua eficiência (CESAR; SACOMANO NETO, 2007).

Fernández, Gil e Torre (2004), abordam situações nas quais se propõe a recuperação de produtos, componentes e materiais que podem ser classificadas atendendo a distintos critérios, incluindo a motivação para a reutilização, o tipo de material recuperado, a forma de reutilização e os atores envolvidos. Cada um destes aspectos tem implicações importantes no planejamento e na formulação de modelos adequados. No caso da motivação para a reutilização, a redução dos resíduos tem recebido uma crescente atenção principalmente nos países industrializados devido à redução das áreas disponíveis para aterros e a incineração. Vários países têm reforçado a legislação ambiental, responsabilizando os produtores pelo ciclo de vida completo dos produtos. Inclusive se a legislação for menos rigorosa que a expectativa dos consumidores, estes têm imposto forte pressão para as empresas considerarem os aspectos ambientais. A preocupação com o meio ambiente tem se tornado um forte elemento para a imagem das empresas.

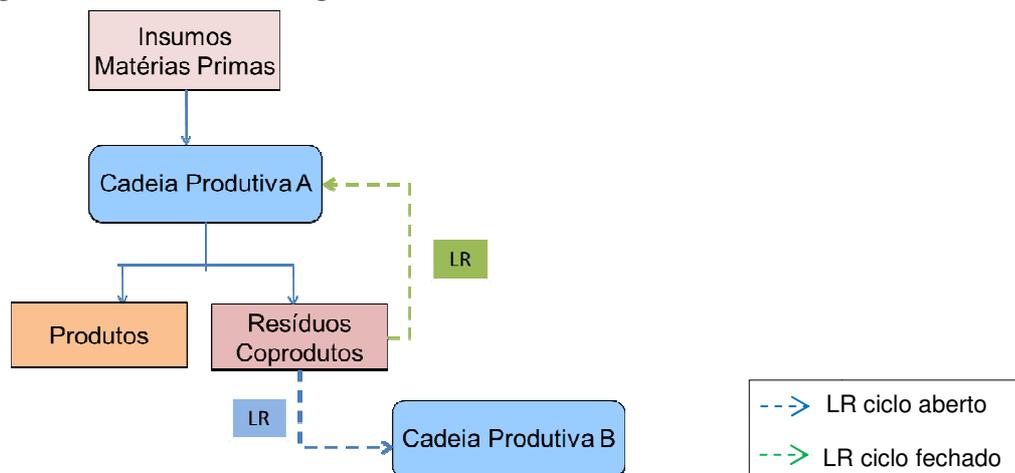
Os referidos autores acrescentam que para reduzir os custos da LR, as empresas necessitam melhorar alguns aspectos dos fluxos inversos, como:

- Melhorar a tecnologia de entrada de materiais no canal inverso;
- Facilitar as decisões de aproveitamento/destinação dos materiais;
- Agilizar o processamento e reduzir os tempos de ciclo dos materiais;
- Melhorar a gestão da informação.

A logística reversa, também conhecida como logística de retorno, inicia no cliente usuário final e termina no fornecedor (origem da matéria-prima), ou seu início pode ocorrer em qualquer instante da cadeia produtiva e terminar em qualquer nível desta mesma cadeia (CESAR; SACOMANO NETO, 2007). Envolvendo em seu fluxo, fornecedores, colaboradores da empresa, distribuidores e consumidores. Reduzir a poluição e o desperdício de materiais, associados aos diferentes processos produtivos, proporcionar maior incentivo à substituição dos insumos por outros que não degradem o meio ambiente e promover a reciclagem são benefícios deste sistema.

O Fluxograma 5 mostra os fluxos de LR envolvendo cadeias produtivas do próprio gerador e de outros setores de produção.

### Fluxograma 5 – Fluxos de logística reversa



Fonte: Dados da pesquisa elaborados pela autora, 2012.

### 3.1 Mecanismos Regulatórios

Os marcos regulatórios sobre resíduos sólidos são necessários para a adoção de medidas de redução, reaproveitamento e reciclagem, o estabelecimento de responsabilidades de consumidores e produtores e o investimento da iniciativa privada no setor. Muitas práticas de gestão ambiental, mundialmente adotadas são consequências diretas de legislações recentes.

Segundo Chappin *et al.* (2009) alguns autores argumentam que a regulação ambiental tem reflexos positivos na economia, uma vez que inovações ambientais podem diminuir os custos variáveis ou fixos através de uma eficiente utilização de recursos e uma reduzida geração de resíduos.

O papel do poder público na gestão dos resíduos sólidos é de extrema importância para a regularização e normalização dos aspectos econômicos, sociais, culturais, ambientais, sanitários, entre outros. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aprovada em 2010, estava sendo discutida no legislativo desde 1991. Este lento processo prejudicou muito a adequada gestão de resíduos no Brasil, devido à ausência de um marco regulatório.

Valente e Cavallazzi (2012) registraram as iniciativas em diversos países de implantação de sistemas de LR, destacando a responsabilidade do fabricante sobre o canal reverso de seus produtos (“*product take back*”). A legislação no Japão, em 1997, impôs a obrigatoriedade para a indústria automobilística de organização de rede reversa de reciclagem. Em 1996, França, Alemanha e Holanda, em acordo entre governos, estabeleceram que a responsabilidade de coleta, reciclagem ou reaproveitamento dos

automóveis descartados pela sociedade fosse para os fabricantes de automóveis. Na Europa as leis tendem a responsabilizar os produtores e demais agentes da cadeia produtiva direta pelos problemas e estruturação dos canais reversos de seus produtos. O ônus da coleta seletiva e da redução de resíduos sólidos recai sobre os produtores. No Japão a logística reversa está em destaque, diversas iniciativas têm garantido a aplicação dos conceitos dentro e fora dos limites das fábricas. Em estudo desenvolvido no Brasil, Estival (2004), ressalta a importância da utilização do conceito de canais reversos para o entendimento dos fluxos de reutilização e reciclagem.

No Brasil, a LR foi instituída na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010. Entretanto as leis estaduais de Minas Gerais e Espírito Santo, ambas de 2009, também estabelecem a LR. Resoluções do CONAMA anteriores a estas leis impõem a obrigatoriedade para importadores, fabricantes e comerciantes de determinados produtos a coletar e dispor de forma ambientalmente adequada os resíduos pós-consumo, no caso, pilhas e baterias (CONAMA, 1999), pneus (CONAMA, 2002; CONAMA, 2009) e embalagens de agrotóxicos (BRASIL, 2000).

Sendo importante registrar a existência de políticas estaduais em parte dos Estados do Brasil, entretanto, em muitos deles, ainda não estão implementadas. Bosdogianni (2007) cita através de observações na literatura técnica que os decretos regulamentares, são necessários para a adoção de medidas para reduzir, reutilizar e reciclar, para o estabelecimento das responsabilidades dos consumidores e produtores e os investimentos da iniciativa privada no setor.

Um dos aspectos mais importantes da legislação federal é instituir a logística reversa como um instrumento de desenvolvimento econômico e social, caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou ainda, outra destinação final ambientalmente adequada.

A PNRS estabelece a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser promovida de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.

A adoção de sistemas de logística reversa poderá proporcionar benefícios como redução de custos (diretos e indiretos) para as empresas; redução da demanda por matérias-primas e energia; redução da geração de resíduos; melhoria da imagem da empresa.

Quanto à disposição indiscriminada de resíduos nos países em desenvolvimento, as ameaças ambientais e de saúde representam os principais objetivos dos esforços de regulação (AYOMOH *et al.*, 2008). No Brasil, os aspectos socioambientais têm sido

priorizados em requisitos legais sobre gestão de resíduos. O termo Responsabilidade pós-consumo (RPC) tem sido substituído por logística reversa (LR) nos últimos anos, apesar desta questão estar presente desde os anos 1980. Neste sentido, alguns exemplos de logística reversa (LR) considerados na regulamentação ambiental brasileira são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 – Leis ambientais brasileiras considerando logística reversa**

Regulamentações	Principais Questões
Conama Resolução N° 257, de 30 de junho de 1999 (CONAMA, 1999) Revogada pela Resolução n° 401/08 (CONAMA, 2008)	Designa os tipos de pilhas e baterias que serão entregues pelos usuários aos estabelecimentos que as comercializam ou aos fabricantes ou importadores, para que estes adotem, diretamente ou por meio de terceiros, os procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequada.
Conama Resolução N° 301 (CONAMA, 2002)	Impõe uma obrigação para os fabricantes e importadores de pneus de coletar e dispor de forma ambientalmente adequada os pneus inservíveis, o que força o segmento a apoiar as políticas de LR.
Lei N° 7.802 (BRASIL, 1989) Lei N° 9.974 (BRASIL, 2000)	Determinam o destino das embalagens vazias de agrotóxicos e as responsabilidades ao longo da cadeia de suprimento em matéria de educação e comunicação, inclusive responsabilizando qualquer comerciante de agrotóxicos de fornecer o local de recebimento das embalagens vazias, devidamente licenciado.
Lei n° 12.305 (BRASIL, 2010b) Decreto N° 7.404 (BRASIL, 2010a)	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e estabelece a obrigatoriedade da LR para determinados materiais. São estabelecidos comitês interministeriais para decidir a respeito da elaboração e implementação de planos de gestão de resíduos, bem como sistemas de logística reversa.

A lei federal e seu decreto de regulamentação que tratam da política de resíduos sólidos (BRASIL, 2010a, 2010b), recentemente aprovados, estabelecem a obrigatoriedade da estruturação e implementação de sistemas de logística reversa para agrotóxicos

(resíduos e embalagens), assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, sejam considerados resíduos perigosos, como pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes (resíduos e embalagens), lâmpadas fluorescentes, além de produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

O Brasil tem 26 estados e 01 Distrito Federal divididos em 05 regiões. Vitorino *et. al.* (2010) em estudo sobre as leis de resíduos sólidos do Brasil, destacam que vários estados manifestaram-se a respeito da necessidade de uma política estadual de resíduos sólidos. Entretanto, apesar de um número significativo dos estados brasileiros ter legislado e implementado suas Políticas de Resíduos Sólidos, o Distrito Federal e a maior parte dos estados das regiões Norte e Nordeste, ainda não possuem lei de resíduos sólidos implementada, diferentemente das demais regiões, conforme apresentado no mapa da Figura 7.

Figura 7 – Cenário de Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos no Brasil



De acordo com as informações apresentadas no mapa, pode-se entender que as práticas de ações ambientais bem como o grau de conscientização da população nas diferentes regiões do país são, ao mesmo tempo, causa e consequência da adoção de

mecanismos legais que contemplem a gestão de resíduos na esfera estadual e também municipal. Apenas cerca de 30% dos estados nas regiões Norte e Nordeste possuem leis que contemplam o gerenciamento de resíduos, o que também pode demonstrar a falta de comprometimento ambiental por parte dos gestores públicos naquelas regiões.

Verifica-se, na Figura 7 que a maioria das leis estaduais sobre resíduos sólidos não citam a logística reversa. Em geral, essas leis, estabelecem a responsabilidade pós-consumo em seus princípios e fazem referência à responsabilidade pós-consumo de fabricantes, importadores e distribuidores pela coleta e destinação adequada de determinados resíduos. Entretanto, a responsabilidade pós-consumo implica no estabelecimento de sistemas de logística reversa.

Segundo Vitorino *et al.* (2010), em algumas legislações verificam-se denominações diferentes para abordar a logística reversa, caso do Decreto de Regulamentação da Política de Resíduos Sólidos do Estado do Ceará, Decreto Nº 26.604/2002 que define no Art. 2º, Inciso XXVI - ciclo processo consumo como o retorno do resíduo ao processo produtivo como fonte de matéria-prima, possibilitando sua recuperação desde a concepção do produto até o seu pós-consumo; podendo também se configurar em alguns casos quando os produtos forem: reutilizados e/ou incinerados (CEARÁ, 2002).

Em alguns estados existem leis específicas para determinados resíduos, como no Ceará para pilhas e baterias e no Rio Grande do Sul, Lei e decreto sobre pilhas, baterias e lâmpadas fluorescentes (CEARÁ, 1999; RIO GRANDE DO SUL, 2008).

A Tabela 11 mostra a análise da abordagem de LR e responsabilidade pós-consumo (RPC) em todas as políticas estaduais vigentes no país. Em uma breve análise desses dados, verifica-se que a logística reversa é abordada somente nas leis mais recentes, estabelecidas exatamente a partir de 2009, sendo as Leis Estaduais de Minas Gerais e Espírito Santo. O termo RPC, por sua vez, aparece a partir de 2001, na Lei do Estado de Pernambuco e, mais recentemente no decreto relativo à gestão de resíduos do Estado de São Paulo em 2009.

**Tabela 11 - Abordagem dos conceitos de LR e RPC na legislação brasileira de resíduos**

	LEI	DECRETO	ANO
Não aborda Logística reversa ou responsabilidade pós-consumo	Lei 9.921 - RS		1993
		Decreto 38.356 - RS	1998
	Lei 12.493 - PR		1999
	Lei 2.080 - MS		2000
	Lei 13.103 - CE		2001
	Lei 1.145 - RO		2002
		Decreto 23.941 - PE	2002
		Decreto 6.674 - PR	2002
	Lei 12.300 - SP		2006
	Lei 14.675 - SC		2009
Responsabilidade pós-consumo	Lei 12.008 - PE		2001
		Decreto 26.604 - CE	2002
	Lei 14.248 - GO		2002
	Lei 7.862 - MT		2002
	Lei 4.191 - RJ		2003
	Lei 416 - RR		2004
	Lei 5.857 - SE		2006
		Decreto 54.645 - SP	2009
Logística Reversa	Lei 9 264 - ES		2009
	Lei 18.031 - MG		2009
		Decreto 45.181 - MG	2009

Apesar das leis ambientais nacionais, as ações a nível local de legalização têm um grande impacto através das regulamentações de acordo com os setores de produção definidos. Neste contexto, Maponga e Ngorima (2003), consideraram a importância de estabelecer normas de gestão ambiental a nível local. A opção por regulamentação específica poderia contribuir largamente para a gestão ambiental e a eficiência da logística reversa nos municípios do Brasil. Na estruturação da LR diferentes setores estão envolvidos na elaboração, regulamentação e implementação de leis e normas, na elaboração e execução do sistema de logística e do programa de educação ambiental e no monitoramento e fiscalização das ações.

Aspectos de âmbito social, econômico e ambiental são identificados nas leis federais e estaduais com destaque para os incentivos às práticas ambientalmente adequadas de reutilização, reciclagem e recuperação. Nesse sentido, verifica-se também o estabelecimento de padrões sustentáveis de produção e consumo que reduzam problemas ambientais e desigualdades sociais.

Não obstante, características econômicas, sociais e aspectos culturais também devem estar relacionados à ausência de políticas públicas de resíduos sólidos em alguns estados. Muitas vezes, os impactos ambientais são facilmente perceptíveis e amplamente discutidos em estados economicamente mais desenvolvidos. No entanto, a PNRS, além de outras regulamentações recentes, representam esforços no sentido de reduzir as diferenças entre os estados e garantir a eficiência na implementação da gestão de resíduos. Na última década, pode-se observar uma especialização da regulamentação ambiental brasileira sobre gestão de resíduos, a fim de qualificar ferramentas disponíveis para a gestão ambiental como a educação ambiental, logística reversa e responsabilidade social pós-consumo (VITORINO *et al.*, 2010).

Como resultado da aplicação da lei, muitas cooperativas de catadores estão sendo criadas na América Latina para promoverem programas formais de gestão de resíduos e, conseqüentemente, contribuir para a geração de emprego em países pobres. A legislação brasileira é um exemplo de boas práticas na gestão de resíduos, mas essa atividade não é ainda adequadamente remunerada.

A logística reversa, contemplada de forma abrangente na recém-aprovada Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010b), surge como uma proposta interessante para a sistematização da destinação e disposição dos resíduos da cadeia produtiva de biodiesel. Nesse tocante, pode-se afirmar que o processo de inserção de combustíveis renováveis na matriz energética brasileira, além de contribuir para a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE), também poderia contribuir por meio do gerenciamento dos resíduos gerados ao longo do processo produtivo (XAVIER *et al.*, 2010).

### **3.2 Aspectos estratégicos**

Para os especialistas do setor, estratégia corresponde a decisões e atuações que terão impacto em longo prazo sobre a empresa em seu conjunto. São decisões que delimitam o âmbito competitivo da empresa e a maneira como esta atua no entorno para desenvolver vantagens sustentáveis no tempo. Uma definição acadêmica do conceito de

estratégia é: “*modelo de decisão que revela as missões e objetivos da empresa, assim como as políticas e planos essenciais para alcançá-los, de tal forma que se defina a posição competitiva como resposta à classe de negócio que a empresa está ou quer estar e a classe de organização que quer ser*” (FERNÁNDEZ; GIL; TORRE, 2004).

Para Hamel e Prahalad (1998), estratégia é revolução, na visão do autor, é preciso quebrar as velhas estruturas empresariais para sobreviver no futuro. Não basta apenas uma pequena alteração no processo tradicional de planejamento, é necessário um novo alicerce filosófico.

Nesse contexto, em uma sociedade baseada no conhecimento, a interação entre universidade, indústria e governo formando uma hélice tripla representa uma inovação estratégica. O conceito de hélice tripla tem sido considerado uma nova maneira de usar o conhecimento na economia, destacando-se a colaboração entre as três maiores esferas institucionais, nas quais, política de inovação é cada vez mais um resultado de interações entre esferas ao invés de uma prescrição do governo ou um desenvolvimento interno na indústria com um papel de maior destaque para a universidade em inovação, no mesmo nível com a indústria e governo (ETZKOWITZ *et al.*, 2007).

Segundo Fernández, Gil e Torre (2004) alguns fatores podem afetar mais significativamente o desenvolvimento da estratégia corporativa e, em particular, a estratégia vinculada diretamente a realização de operações, e portanto, a logística reversa (LR). Uma análise do entorno contemporâneo permite determinar como fatores essenciais de maior impacto na atualidade: a globalização da competência, a rápida evolução tecnológica, a crescente escassez de recursos produtivos, a responsabilidade social da empresa, o marco legislativo ambiental. Destacando algumas motivações ambientais externas que guiam a atitude dos fabricantes:

- O custo de enviar os resíduos para aterros tem encarecido notadamente nos últimos anos e a tendência é aumentar;
- A legislação ambiental tem elevado o número e o tipo de artigos de materiais que não podem ser depositados em aterros, como, tubos de raios catódico dos computadores, peças e componentes de veículos, dentre outros;
- As empresas estão utilizando materiais mais econômicos e ambientalmente sustentáveis;
- A legislação está conduzindo os fabricantes a se responsabilizarem pela recuperação de seus produtos e embalagens considerando sua vida útil.

Efetivamente, o papel protagonista do consumidor, a crescente atividade reguladora em temas ambientais e a reorientação das empresas, entre outros muitos aspectos, têm conduzido a um incremento de atividades que constituem os procedimentos mais habituais

no âmbito da LR tais como a recuperação e a reciclagem de materiais (HOMBURG; WORKMAN; JENSEN, 2000; ROGERS e TIBBEN-LEMBKE, 1999). O crescimento da LR na década de noventa tem sido impressionante, tanto do ponto de vista econômico como do estratégico (MARIEN, 1998 *apud* FERNÁNDEZ; GIL; TORRE, 2004).

A LR pode ser usada estrategicamente para oferecer oportunidades, tais como: cumprimento da legislação ambiental, redução de custos, vantagens competitivas e melhoria da imagem corporativa (CHAVES *et al.*, 2005; DEKKER e BRITO, 2010).

Olivier (2007) acrescenta que o processo de logística reversa deve ser sustentável, pois esse processo trata de questões muito mais amplas que simples devoluções. Os materiais envolvidos que retornam ao fornecedor, geralmente são revendidos, reconicionados, reciclados ou simplesmente são descartados e substituídos. Segundo Barba-Gutiérrez; Adenso-Díaz e Hopp (2008), novas redes de logística devem ser criadas para coletar e processar diferentes tipos de resíduos e que, em determinadas circunstâncias, o impacto ambiental negativo do transporte de resíduos pode ser maior do que se novas redes não forem estabelecidas. Assim, considerando que o transporte de resíduos implica em riscos ambientais e maior custo, o fluxo de retorno dos resíduos para a cadeia produtiva do gerador, ou de outros geradores, deve propiciar eficiência e sustentabilidade para as atividades produtivas. A este respeito, a regulamentação ambiental deve ser cuidadosamente elaborada a fim de evitar esta situação paradoxal, visando facilitar a restituição dos resíduos às cadeias produtivas.

Gold e Seuring (2010), em pesquisa de revisão da literatura apresentaram que quando os locais onde os resíduos são gerados e os locais de plantas de tratamento forem diferentes, os esforços de transporte são necessários, implicando em impactos ambientais e sociais. Do ponto de vista ambiental serão geradas mais emissões e do ponto de vista social dependendo do tipo de transporte utilizado poderão provocar a resistência da comunidade afetada. Para projetar sistemas sustentáveis, os interesses de todas as partes envolvidas (*stakeholders*)<sup>2</sup> devem ser contemplados, assim idealmente desenvolvendo entre todos os grupos de interesse o compromisso com uma visão comum de uma sociedade sustentável sem negligenciar questões, e, se possível, rebatendo preocupações sociais, sanitárias e ambientais.

Na PNRS (BRASIL, 2010b) o capítulo que trata das responsabilidades dos geradores e do poder público enfatiza que o poder público, o setor empresarial e a coletividade são

---

<sup>2</sup> *Stakeholders* ou grupos de interesse são em geral definidos como grupos que mantêm ou possuem seus próprios interesses, direitos ou reclamações sobre a gestão de uma empresa ou sobre esta em seu conjunto (FERNÁNDEZ; GIL; TORRE, 2004).

responsáveis pela efetividade das ações voltadas para assegurar a observância da referida Política e institui a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos como partes envolvidas na gestão dos resíduos sólidos.

### **3.3 Aspectos operacionais**

Existem poucos estudos que contemplam a gestão de resíduos da cadeia agroindustrial do biodiesel. Resíduos como: farelo, tortas e cascas, muitas vezes ainda servem como fonte de óleo residual ou, na maior parte dos casos, os resíduos oriundos da produção do biodiesel ainda podem ser inseridos em outra cadeia produtiva como ocorre com a produção de ração animal, por exemplo. Apesar de haver estudos a respeito da implementação da logística reversa em diferentes segmentos produtivos, ainda é incipiente a contribuição para a cadeia agroindustrial do biodiesel, o que endossa a necessidade de estudos nessa área (XAVIER *et al.*, 2010).

Para a elaboração de um sistema de logística reversa devem ser considerados alguns aspectos intrínsecos a cada indústria, como no caso da impossibilidade ou inviabilidade de aproveitamento de alguns coprodutos ou resíduos em seu próprio ciclo produtivo, deve ser considerada a existência no entorno de outras indústrias que possam reinserir estes materiais. É fundamental conhecer o entorno da usina para identificar dificuldades e oportunidades da região. Como exemplo, Fernández, Gil e Torre (2004), citam um modelo de programação linear desenvolvido por Splenger *et al.* (1997), para a reciclagem de subprodutos industriais para ser aplicado na indústria alemã de aço. As siderúrgicas necessitam decidir dentro das cadeias de produção os processos de reciclagem economicamente favoráveis. O modelo está baseado no problema de localização de armazenamento de múltiplos níveis modificados para a estrutura especial do problema.

Com base nesse entendimento, um estudo preliminar a respeito da localização das usinas produtoras de biodiesel ou ainda da localização das usinas de esmagamento das sementes ou das unidades purificação de glicerina, deve considerar, além de aspectos primordiais como a proximidade de fontes de matérias-primas, rotas de escoamento da produção e utilidades, ainda a presença de indústrias passíveis de absorver as matérias residuais geradas em certa unidade de tempo, conforme sugerido por Xavier *et al.*(2010).

Fernández, Gil e Torre (2004), ressaltam que com a finalidade de estabelecer um canal eficiente de distribuição inversa, entre as decisões que devem ser tomadas devem ser observadas as seguintes questões:

- Quem são os atores no canal de distribuição reversa? Poderiam ser os membros do canal direto (fabricantes tradicionais, comerciantes e fornecedores de serviços logísticos diretos) ou partes especializadas (comerciantes de materiais secundários e instalações de reciclagem ou recuperação de materiais). Esta distinção estabelece restrições importantes na integração potencial da distribuição direta e reversa.
- Qual é a relação entre o canal de distribuição direto e o reverso?  
A análise destes fatores é determinante para o desenvolvimento sustentável da rede. Inclusive os mercados finais dos materiais recuperados poderiam não ser bem conhecidos. Além disso, sem os acordos adequados que garantam o fluxo de retorno, não é economicamente viável a recuperação.

Os referidos autores relatam que as práticas de LR variam segundo a indústria e a posição que ocupam no canal. As indústrias onde os retornos representem uma grande proporção dos custos operacionais tendem a implantar melhores sistemas e processos de LR.

Segundo Kopicki, Berg e Legg (1993) *apud* Fernández, Gil e Torre (2004), para a implantação de um sistema de logística reversa (SLR) as seguintes etapas devem ser observadas:

- Análise das barreiras de entrada – avaliar se deve ser permitida a entrada do produto no SLR, se avalia se a valoração é viável para sua recuperação;
- Classificação – decidir o que deve ser feito com cada material. A definição deve considerar as distintas práticas de LR, como por exemplo, a reutilização;
- Destinação – Enviar os materiais aos destinos selecionados.

Um dos problemas mais sérios enfrentados pelas empresas na execução de uma operação de LR é a escassez de bons sistemas de informação. Os limitados recursos de informática das empresas não permitem que estes estejam disponíveis para as aplicações de LR. A gestão financeira é outro item importante, a preocupação principal é determinar a estrutura financeira de um sistema de logística reversa (SLR) (ROGERS e TIBBEN-LEMBKE, 1999 *apud* FERNÁNDEZ; GIL; TORRE, 2004).

Simões (2005) destaca outro aspecto importante para implantar um programa de LR baseado principalmente nos requisitos da ISO 14000 (ABNT, 2004a), a empresa deve inicialmente avaliar o nível de conscientização ambiental dos empregados e fornecedores, em princípio daqueles fornecedores que trabalham dentro das instalações da empresa e

também estabelecer um programa de EA, que enfoque especialmente a área de atuação da empresa, indicando claramente a cada empregado sua responsabilidade no processo.

Para a eficiência e eficácia da gestão de resíduos a educação ambiental (EA) é uma ferramenta indispensável. A percepção que as pessoas têm do ambiente é um ponto importante para o desenvolvimento da EA. Cada indivíduo percebe, reage e responde diferentemente às ações sobre o ambiente em que vive. As respostas ou manifestações daí decorrentes são resultados das percepções individuais e coletivas, dos processos cognitivos, julgamentos e expectativas de cada pessoa. Segundo Fernandes (2003), uma das dificuldades para a proteção dos ambientes está na existência de diferenças nas percepções dos valores e da importância dos mesmos entre os indivíduos de culturas diferentes ou de grupos socioeconômicos que desempenham funções distintas, no plano social, nesses ambientes. Portanto, na promoção da educação ambiental, é importante compreender como as pessoas pensam, aprendem e agem no meio em que vivem.

O conhecimento profundo de toda a cadeia onde se insere a empresa e a participação ativa e consciente de todos os integrantes, se tornam pontos críticos para o total desenvolvimento da logística reversa. Estudos de caso mostram o grande campo para a implantação de um sistema de logística reversa, onde a participação de todos os membros da cadeia é de supra importância para a economia da empresa e sua eficiência, todos os envolvidos no processo precisam, antes de tudo, considerar as atividades de logística reversa como uma fonte potencial de vantagem competitiva, sendo importante o apoio incondicional de todos, a fim de que se maximizem as chances de sucesso das estratégias desenvolvidas (CESAR; SACOMANO NETO, 2007). Portanto, é essencial para a organização a criação de um programa de comunicação ambiental voltado para seus funcionários e também para a comunidade em geral, a fim de promover um processo de educação ambiental (PERRON; CÔTÉ; DUFFY, 2006).

A legislação ambiental brasileira sobre gestão de resíduos qualifica a educação ambiental como ferramenta disponível para a gestão ambiental. Além das leis ambientais, outras instâncias, tais como a ISO 14000 (ABNT, 2004a) mencionam a necessidade da promoção da EA para implantar programas de LR visando à sensibilização e informação de todos os envolvidos no processo. Neste contexto, vale a pena ressaltar que responsabilidade socioambiental pode ser considerada elemento-chave que pode ser promovida através de um programa de educação ambiental eficiente.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos e as leis estaduais de resíduos sólidos do Brasil destacam ainda, de modo mais específico, a promoção da educação ambiental para a gestão de resíduos, com ações que estimulem o gerador, a eliminar desperdícios e a realizar a triagem de resíduos; o consumidor, a adotar práticas ambientalmente saudáveis

de consumo; o gerador e o consumidor, a aproveitarem o resíduo gerado; e a sociedade, a se responsabilizar pelo consumo de produtos e a disposição adequada de resíduos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) integra a Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA (BRASIL, 1981) e articula-se com a Política Nacional de Educação Ambiental – PNEA (BRASIL, 1999), prevendo a capacitação e o desenvolvimento de programas de EA em instituições educacionais e na comunidade enfocando a problemática e as alternativas de solução para os resíduos sólidos. Do mesmo modo, as leis estaduais em geral, também fazem menção à Política Estadual de Educação Ambiental. É importante registrar que entre os estados que possuem políticas de resíduos sólidos, somente nas leis do Paraná e Mato Grosso do Sul não é focada a EA conforme mostrado na Tabela 12.

**Tabela 12 – A educação ambiental na legislação brasileira de resíduos sólidos**

Abordagem da EA	LEI	DECRETO	ANO
Não Aborda Educação Ambiental	Lei 12.493 - PR		1999
	Lei 2.080 - MS		2000
		Decreto 6.674 - PR	2002
Aborda Educação Ambiental	Lei 9.921 - RS		1993
		Decreto 38.356 - RS	1998
	Lei 12.008 - PE		2001
	Lei 13.103 - CE		2001
		Decreto 26.604 - CE	2002
		Decreto 23.941 - PE	2002
	Lei 1.145 - RO		2002
	Lei 14.248 - GO		2002
	Lei 7.862 - MT		2002
	Lei 4.191 - RJ		2003
	Lei 416 - RR		2004
	Lei 5.857 - SE		2006
	Lei 12.300 - SP		2006
		Decreto 54.645 - SP	2009
	Lei 9 264 - ES		2009
	Lei 18.031 - MG	Decreto 45.181 - MG	2009
Lei 14.675 - SC		2009	

A interface entre gestão de resíduos e educação ambiental nas empresas tem sido considerada em estudos recentes (SALES *et al.*, 2006; DAVIS, 2008; STEPHENS; GRAHAM, 2010; COLERT-HUG; WILLIAM-HUG, 2010; LATEH; MUNIANDY, 2010). No entanto, muitos países têm abordagens diferentes para fornecer soluções para uma gestão eficaz dos resíduos em relação à implementação da educação ambiental.

Ravi e Shankar (2005) propõem uma interessante avaliação de fatores que afetam a implementação de programas de LR. Entre esses fatores estão: falta de informação e sistemas tecnológicos, falta de compromisso da alta gerência e falta de treinamento e educação. Além disso, a pressão da legislação ambiental no processo de recuperação também é discutida na literatura (WEBSTER; MITRA, 2007).

As políticas públicas são fundamentais para compatibilizar interesses conflitantes, envolvendo aspectos econômicos, ambientais, sociais, culturais e políticos. A LR é um tema relevante e deve ganhar ainda mais importância no Brasil com a recente lei que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010).

A LR no planejamento estratégico das organizações pode ser considerada uma visão inovadora de operação empresarial, resultando em maior competitividade, considerável retorno financeiro e consolidação de sua imagem corporativa, do ponto de vista social e ambiental. Assim, a adoção da logística reversa deve ser acompanhada de sua avaliação de desempenho, visando obter resultados positivos para as empresas e a sociedade.

#### 4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL

A avaliação de desempenho tem sido uma preocupação das empresas. Mais recente tem sido destacada a inclusão das questões de sustentabilidade das operações entre esses assuntos e, com isso, a importância de avaliar a sustentabilidade das empresas, seus produtos e processos, levando em consideração aspectos ambientais e também sociais. Em decorrência disto, pode-se observar um crescente número de estudos e experiências de avaliação de desempenho ambiental (ADA) para organizações, seus produtos ou processos.

Segundo Figueiredo *et al.* (2009), poucas são as instituições que utilizam instrumentos de avaliação ambiental de inovações na etapa de seu desenvolvimento, tornando a passagem da teoria para a prática da sustentabilidade ainda mais complexa. Contudo, na última década, intensificou-se o debate sobre a necessidade de se avaliar o impacto de uma inovação ao longo de uma cadeia de produção. Ressalta-se também a importância de se considerar a vulnerabilidade de ambientes frente às pressões exercidas por inovações agroindustriais, uma vez que diferentes ambientes são afetados de forma diferenciada, dependendo do seu estado de conservação e disponibilidade de recursos naturais.

No setor produtivo, vem sendo verificada a profusão de métodos e ferramentas que visam incorporar questões ambientais na tomada de decisão e nas ações do meio empresarial, em particular o industrial, o que reforça a importância de avaliar as alternativas de SLR para resíduos e coprodutos das indústrias (ALMEIDA; GIANNETTI, 2006; XAVIER *et al.*, 2010).

Melo e Pegado (2006) definem desempenho ambiental como a influência que uma operação industrial antrópica causa no ambiente. Segundo Xavier (2005), a avaliação de desempenho ambiental (ADA) é uma ferramenta designada para favorecer o gerenciamento através de dados confiáveis, com vistas a determinar se o desempenho ambiental da organização está de acordo com os critérios estabelecidos pela própria organização. Significativamente, os resultados da ADA permitem a apresentação de dados recentes relacionados ao desempenho, como também possibilita uma análise considerando o fator do tempo.

Vários métodos e ferramentas de gerenciamento ambiental e da sustentabilidade têm sido apresentados na literatura. O uso da série de normas ISO 14000 também, tem sido usada com o mesmo objetivo de gerenciamento de sistemas ambientais. Em particular, dentro da série ISO 14000, cabe à norma ISO 14030 estabelecer critérios para a medição ou avaliação de desempenho ambiental das organizações (SANCHES *et al.*, 2010).

A norma ISO 14031 (ABNT, 2004a) aborda três categorias de indicadores para avaliação de desempenho ambiental: indicadores gerenciais, indicadores operacionais e indicadores de condições ambientais. Essa proposta tem sido amplamente aplicada em diferentes segmentos produtivos e possibilita uma análise ampla da adequação e manutenção de aspectos relacionados à gestão ambiental. A avaliação de desempenho de acordo com a norma ISO 14031 é realizada de acordo com o modelo gerencial PDCA, *plan-do-check-ac*, em inglês, Planejar-Fazer-Checar-Agir, onde:

#### Planejar

- a) planejamento da avaliação de desempenho ambiental;
- b) seleção de indicadores.

#### Fazer

- c) utilização de informações que incluam:
  - dados relevantes para os indicadores selecionados;
  - conversão e análises das informações visando descrever o desempenho ambiental da organização;
  - compilar as informações do desempenho ambiental da empresa, fazendo o comparativo com o critério de desempenho ambiental da organização;
  - comunicar as informações sobre o desempenho ambiental da empresa.

#### Checar e Agir

- d) revisão e melhoria do desempenho ambiental.

Segundo Pereira (2005), a avaliação do desempenho organizacional e a efetividade na implementação de medidas ecoeficientes é revelada a partir do uso de indicadores, que podem ser objeto de comparação. E é a partir da medição desses indicadores que a empresa pode reportar o seu desempenho global, seja sob a forma de balanços sociais de relatórios socioambientais ou ainda de relatórios de sustentabilidade empresarial.

Por definição, um indicador é uma ferramenta que permite a coleta de informações sobre uma dada realidade, tendo como característica principal a de poder sintetizar diversas informações, retendo apenas o significado essencial dos aspectos analisados. Os indicadores são ferramentas utilizadas para monitorar processos, comumente críticos para o

alcance ou não de uma meta ou padrão mínimo de desempenho estabelecido (CAMPOS, MELO e MEURER, 2007).

Segundo Perbiche (2004), grande parte das empresas ainda desconhece os benefícios do uso de indicadores de desempenho ambiental para o planejamento dos processos de gestão. Com isso é possível que estejam deixando de aproveitar oportunidades como: aumento da produtividade, melhoria da competitividade e da qualidade ambiental, além de não atingirem efetivamente a sustentabilidade produtiva e ambiental.

A utilização de indicadores induz a compreensão de uma gama de termos associados, entre os quais estão: dados, indicadores, índices, critérios e informações. Como a compreensão destes termos pode variar em função das metas propostas, do contexto de desenvolvimento e/ou da metodologia adotada, Xavier (2005), propõe a interpretação ao longo dos termos de acordo com as definições a seguir (SEGNESTAM, 2002; ABNT, 2004):

**Dados:** representam a base de toda a pesquisa que pressupõe o uso de indicadores com o propósito de gerar, analisar e avaliar informações. Os dados não permitem a interpretação de alterações no ambiente, na economia ou nos aspectos sociais. Entretanto, são passíveis de classificação.

**Crítérios:** para a obtenção de informações pertinentes e confiáveis alguns quesitos devem ser verificados ao longo do processo de escolha, alocação e utilização dos indicadores. Para tanto, devem ser definidos os critérios através da avaliação dos principais quesitos pretendidos para a informação, bem como, as possibilidades de obtenção dos respectivos valores para cada indicador. Os critérios podem ser definidos individualmente para cada indicador ou para grupos pré-estabelecidos de indicadores. Por exemplo, confiabilidade, relevância, viabilidade, acessibilidade, comparabilidade, entre outros, podem ser definidos como critérios para escolha de indicadores e índices.

**Indicadores:** são derivados dos dados e possibilitam a análise dos mesmos. São passíveis de gerar e/ou agregar informações e, por isso, viabilizam alguns aspectos importantes da tomada de decisão, tais como: geração de uma base consistente para análise fornece subsídios ao processo de elaboração de políticas e, pela capacidade de agregação, torna-se mais simples sua interpretação e, portanto, facilita o fluxo de informação e a comunicação entre diferentes grupos (como, por exemplo, entre especialistas e não-especialistas).

**Informação:** É o objetivo pretendido pelo tomador de decisão com vistas à obtenção de melhor desempenho gerencial e/ou processo operacional.

As questões ambientais fizeram parte da pauta das preocupações da sociedade e dos governos na década de 1970, nos anos 1980 surge como um grande avanço, o conceito de impactos ambientais, que passa a considerar o meio circundante e a compreender a multidisciplinaridade da questão ambiental. No início dos anos 1990 surge um novo paradigma que questiona a própria geração dos poluentes e sinaliza a possibilidade de reduzi-los ou eliminá-los. Neste foco o controle ambiental passa a ser visto como produto de valor econômico, pois considera planejamentos adequados e resultados eficientes dos processos (ALMEIDA; GIANNETTI, 2006).

Segundo Sanches (2008), o impacto ambiental é uma alteração causada por uma ação humana que implique em supressão, inserção e/ou sobrecarga de certos elementos no meio ambiente. Desta forma, considera-se que o impacto ambiental é resultado de uma ação ou atividade humana, que é a sua causa, assim, é necessário ter o cuidado de distinguir a causa da consequência, exemplo: uma rodovia não é um impacto ambiental, mas causa impactos ambientais.

A manifestação dos impactos causados por alterações em padrões socioeconômicos, como mudanças em tecnologias de uso final energético, mudanças em tecnologias de fornecimento de energia, infraestrutura, políticas, normas sociais e governança, podem ser de forma imediata (como a poluição do ar por fumaça preta) ou crônica (como a elevação dos níveis do oceano pelo aumento do efeito estufa). Porém, devem-se levar em consideração que tais impactos possuem várias outras causas como o aumento populacional, indústrias, transportes, agricultura, turismo, padrões de consumo e suas consequências sobre os recursos naturais (GOLDEMBERG e LUCON, 2008).

Sendo os impactos ambientais uma cadeia de efeitos que se produzem no meio natural e social, como consequência de uma determinada ação, as avaliações de impactos não devem ser apenas consideradas como uma técnica, mas sim como uma dimensão política de gerenciamento, educação da sociedade e coordenação de ações impactantes, pois permite a incorporação de opiniões de diversos grupos sociais (MOTA, 2003).

No Brasil, estudos ambientais são exigíveis para obter-se uma autorização governamental para realizar atividades que utilizem recursos ambientais ou tenham o potencial de causar degradação ambiental. Esta autorização é conhecida como licença ambiental (Licença prévia-LP; Licença de instalação-LI; Licença de operação-LO) e se torna um instrumento importante na política ambiental pública, pois possui caráter preventivo em relação às possíveis ocorrências de danos ambientais (VIEIRA *et al.*, 2011). A solicitação

de qualquer uma das licenças deve estar de acordo com a fase em que se encontra a atividade/ empreendimento: concepção, obra ou operação.

Verdum e Sellitto (2009) destacam que na implantação de um sistema de gestão ambiental, é importante a utilização de um método que avalie tanto os aspectos gerenciais quanto operacionais dos impactos ambientais da organização. Ou seja, é necessário o uso de indicadores que avaliem o desempenho ambiental da organização e que apreendam as percepções humanas das atividades envolvidas nos processos que causam impactos no meio ambiente.

Embora seja inegável a importância e contribuição dos sistemas de gestão ambiental (SGA), as organizações atualmente encontram-se inseridas num mercado cada dia mais competitivo e globalizado e, por isso, não devem se limitar apenas à identificação e à minimização dos impactos ambientais que suas atividades causam ao meio ambiente. Para sobreviverem neste novo cenário, tais organizações necessitam investir em desempenho respaldado no princípio da auto sustentabilidade, sob cujas orientações os novos mercados tendem a se encontrar conciliando aspectos socioambientais a estratégias, objetivos e metas organizacionais (CALASANS, 2005).

A Política Nacional de Meio Ambiente - PNMA (BRASIL, 1981) apresenta um rol de ferramentas passíveis de serem aplicadas à gestão ambiental. Dentre as ferramentas, destacam-se os Padrões de Qualidade Ambiental, Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), Estudo e Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) e os Incentivos, como de interesse para a análise proposta nesse trabalho. Em uma breve análise da potencialidade dessas ferramentas, percebe-se que tanto os padrões de qualidade ambiental, quanto os relatórios (EIA/RIMA), limitam-se a apresentar aspectos de condição ambiental de situações específicas e, dessa forma, restringem uma visão mais abrangente da problemática.

Sobre incentivos verifica-se que a convergência da aplicação de instrumentos econômicos e fiscais na gestão ambiental tem ocorrido, principalmente, por meio da definição de impostos e compensações ambientais por parte do poder público. A evolução da compreensão do significado e da importância dos instrumentos econômicos para a gestão ambiental encontra-se refletida nos avanços da própria interpretação do contexto, aplicabilidade e repercussões da gestão e do direito ambiental. Entretanto, na prática observa-se em algumas situações uma ineficácia em relação à aplicabilidade dos instrumentos econômicos para a gestão ambiental (MOTTA e YOUNG, 1997). Braga (2009) ressalta que os instrumentos econômicos de regulação governamental, ou gerados pelo próprio mercado, apresentam grande potencial para ampliar a eficácia no controle ambiental

e na conservação e recuperação dos recursos naturais. Vale ressaltar que, os recursos financeiros e sua adequada aplicação, são fundamentais para a realização destas ações.

No processo de avaliação de impactos ambientais (AIA), são caracterizadas todas as atividades impactantes e os fatores ambientais que podem sofrer impactos dessas atividades, os quais podem ser agrupados nos meios físico, biótico e antrópico, variando com as características e a fase do projeto (SILVA, 1994 *apud* ROCHA; CANTO; PEREIRA, 2005).

A Resolução Nº 01 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA (CONAMA, 1986) define Impacto Ambiental, como sendo qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V - a qualidade dos recursos ambientais.

Neste contexto, os impactos ambientais, segundo a Resolução CONAMA nº 001/1986, art. 6, podem ser classificados em impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médio e longo prazo, temporários e permanentes.

Stamm (2003) ressalta que as técnicas de previsão de impactos devem ser utilizadas proporcionalmente à extensão da AIA, ao tamanho do projeto e à importância dos impactos prevenindo assim despesas desnecessárias. Onde possível, deverão ser previstos impactos quantitativamente. Isto ajuda na comparação entre alternativas. Se a quantificação for difícil, então é importante que sejam usadas técnicas que habilitem os impactos a serem comparados sistematicamente. A mudança causada por um impacto particular pode ser avaliada comparando o estado atual com o estado futuro esperado dos componentes ambientais. Uma das primeiras tarefas envolvidas na análise detalhada de um impacto é a coleta de informação que ajudará a descrever a situação do caso básico no momento da implementação.

A AIA associada às entradas e saídas de materiais ou avaliação comparativa de produtos ou processos permite avaliar os impactos devidos às emissões e resíduos identificados e ao consumo de recursos naturais e interpreta os resultados da avaliação de impacto com a finalidade de implantar melhorias no produto ou no processo (RIBEIRO; GIANNETTI; ALMEIDA, 2010).

Uma alternativa na construção de cenários no caminho da sustentabilidade é a utilização de indicadores de sustentabilidade, considerados como informações essenciais que auxiliam na avaliação do sistema em estudo (SICHE *et al.*, 2007). A *Organization for Economic Co-operation and Development* – OECD considera os indicadores “[...] como um parâmetro, ou valor derivado de parâmetros que apontam e fornecem informações sobre o estado de um fenômeno, com uma extensão significativa” (BELLEN, 2006).

Selitto, Borchardt e Pereira (2010) ressaltam a importância do uso de indicadores na ADA em citações de diversos autores enfocando que avaliação baseada em julgamento pode mudar, conforme o julgador e o momento, o que não ocorre com medições baseadas em indicadores e enfatizam a necessidade de modelos estruturados, para o uso de indicadores em medição de desempenho de programas ou estratégias ambientais.

Os indicadores selecionados devem ser representativos da região de estudo, além de capazes de serem observados historicamente. Para a geração de indicadores, muitos pesquisadores utilizam o suporte Pressão-Estado-Resposta (PER) adotado pela ONU, denominado DSR (Driving force-State-Response), devido à facilidade de uso, simplicidade, possibilidade de aplicação em diferentes níveis, escalas e atividades humanas, sendo aceito em nível mundial (SOARES; STRAUCH; AJARA, 2006; ALMEIDA, 2009; SANTOS, 2011). Esta classificação de indicadores considera a posição na cadeia de causalidade, estabelecendo relações de causa e efeito, enfocando os efeitos das ações humanas, dos processos naturais e sociais e os relacionando a respostas consolidadas em determinada política de gestão (UnB, 2004). A noção de causalidade é muito importante para o entendimento das questões ambientais e tem sido largamente adotada para estabelecer relações de causa e efeito como um eficiente modo de esclarecimento da opinião pública sobre problemas do desenvolvimento sustentável (SANTOS, 2011).

Braga (2004) argumenta que os índices e indicadores adotados são, via de regra, modelos de interação atividade antrópica/meio ambiente que podem ser classificados segundo o suporte Pressão-Estado-Resposta (PER). Para o autor, os indicadores de estado buscam descrever a situação presente, física ou biológica, dos sistemas naturais; os indicadores de pressão tentam medir/avaliar as pressões exercidas pelas atividades

antrópicas sobre os sistemas naturais; e os denominados indicadores de resposta buscam avaliar a qualidade das políticas e acordos formulados para responder aos impactos antrópicos e minimizá-los.

Estudos também indicam que os indicadores de pressão ambiental descrevem pressões exercidas pelas atividades humanas sobre o meio ambiente, incluindo a qualidade e a quantidade de recursos naturais. Os indicadores de estados (condições ambientais) relacionam a qualidade do ambiente e a qualidade e quantidade de recursos naturais e os indicadores de respostas da sociedade, expressam medidas que mostram em que extensão a sociedade está respondendo a mudanças e preocupações ambientais (UnB, 2004).

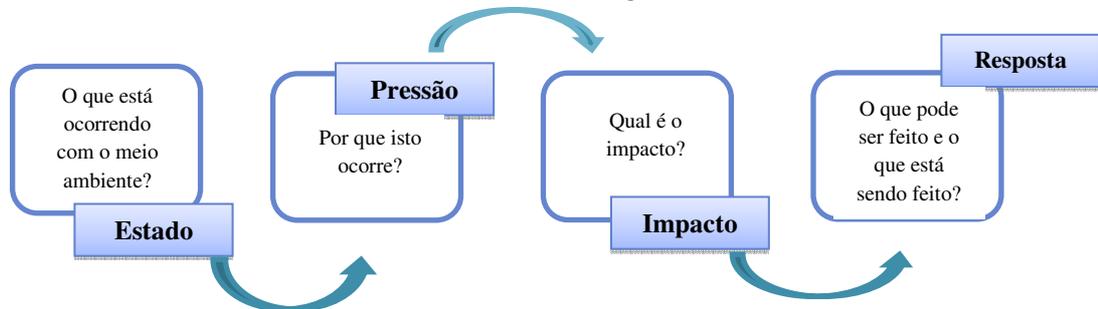
Segundo Tolmasquim (2001) *apud* Santos (2011), a estrutura PER é baseada no conceito de causalidade, dentro do pressuposto de que as atividades humanas exercem pressões sobre o meio ambiente e mudam sua qualidade e quantidade de recursos naturais (estado do meio ambiente). A sociedade responde a estas mudanças através de políticas ambientais, econômicas e setoriais (resposta da sociedade). Esta última fecha assim o ciclo ao exercer pressão sobre as atividades humanas.

O sistema de indicadores PER tem em sua metodologia uma relação de causalidade entre suas variáveis, em que há um encadeamento entre a atividade econômica e o meio ambiente. Os indicadores de pressão, estado e resposta estão interligados em um sistema de relações dependentes, ou seja, a pressão exercida sobre o meio ambiente por ações antrópicas conduzirá a uma mudança de sua qualidade ambiental, em outras palavras, uma mudança de estado. Esta por sua vez, implicará em medidas adotadas pelo Governo e/ou sociedade civil organizada com o objetivo de mitigar os danos causados aos ecossistemas e recursos naturais. Assim, o Sistema Pressão-Estado-Resposta aplicado a pequenas áreas onde ocorrem interferências antrópicas, permite mensurar e/ou analisar sua qualidade ambiental e sensibilizar as autoridades e sociedade para a manutenção ou retomada da sustentabilidade ambiental dos ecossistemas e das ações humanas que interferem no meio (SOARES *et al.*, 2009).

Proposta por Kristensen (2004), a metodologia “Diretrizes-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (DPEIR)” é uma estrutura para organização e apresentação das informações ambientais. Representa as Pressões, Estado, Impacto e Resposta de um determinado tema em análise (OECD, 2001). Seus componentes (PEIR) são usados para avaliar e gerir os problemas ambientais. Esta metodologia considera que atividades humanas exercem pressões sobre o meio ambiente e, por isso, afetam a qualidade e quantidade de recursos naturais, ou o seu estado. Os impactos são os efeitos da degradação ambiental; e as

respostas se referem às reações da sociedade para a situação ambiental. A Figura 8 mostra o processo seguido pela metodologia PEIR.

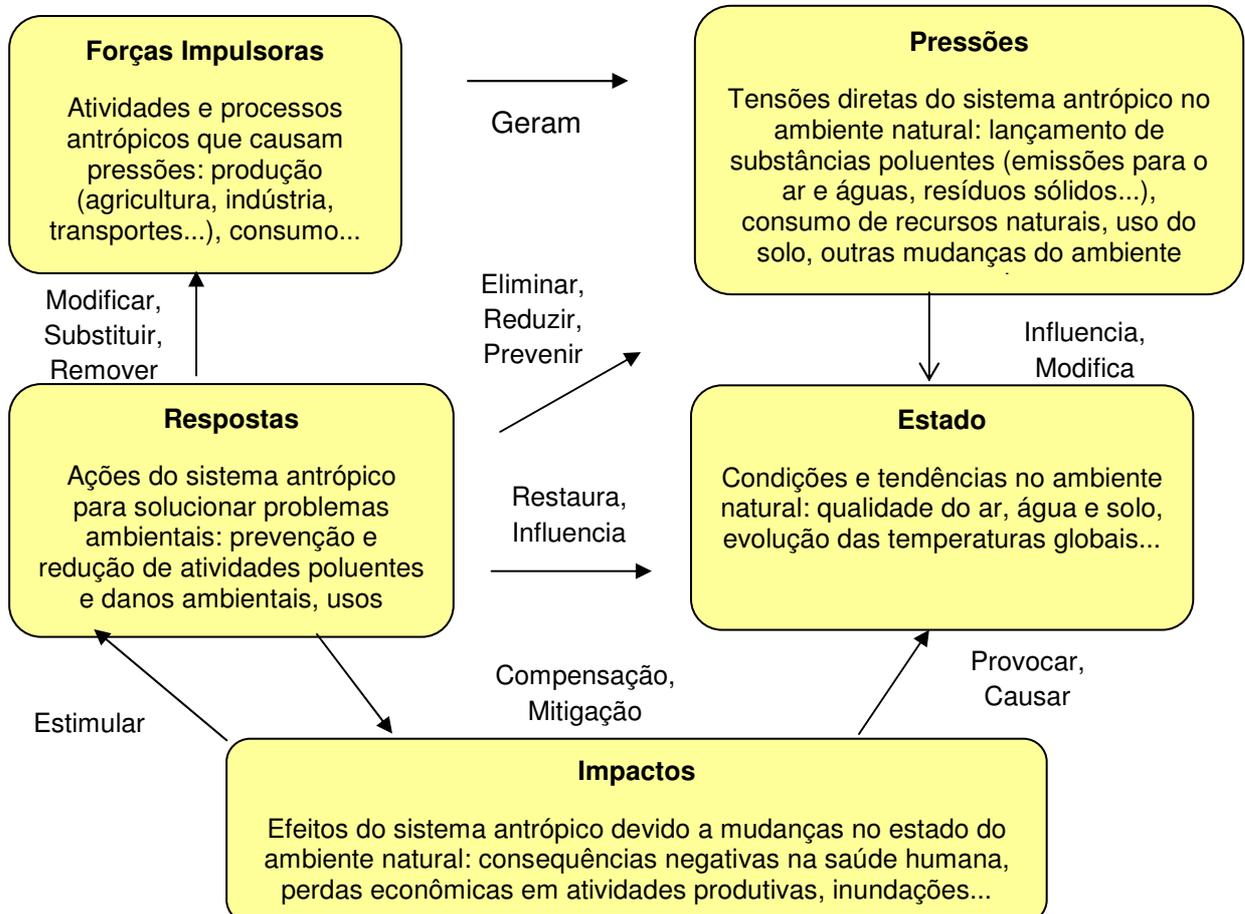
**Figura 8 - Matriz de análise com base na metodologia PEIR**



Fonte: IBAMA, 2012.

Costantino *et al.* (2003), sugerem uma proposta de interação de indicadores apresentada na Figura 9, elaborada com base em modelo da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, em inglês, *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD, 2001), considerando os indicadores de Forças impulsoras, Pressão, Estado, Impacto e Resposta.

**Figura 9 - Quadro analítico para a interação economia-ambiente**



Fonte: Adaptado de Costantino *et al.*, 2003.

O surgimento da conscientização da sociedade e a legislação ambiental fizeram com que as empresas tivessem uma relação mais sustentável com o meio ambiente. A preocupação com a qualidade ambiental têm levado as empresas a encontrarem alternativas tecnológicas que minimizem os impactos ambientais e o uso de recursos naturais. Diante disso, a empresa tem sido compelida a investir em modificações de processo, aperfeiçoamento de mão-de-obra, substituição de insumos, mudanças de culturas, redução de geração de resíduos e racionalização de consumo de recursos naturais (PERBICHE, 2004).

A avaliação de desempenho ambiental se mostrou como uma ferramenta que deve permitir uma melhor compreensão dos aspectos ambientais de uma atividade, podendo ser aplicada na análise dos sistemas de logística reversa propostos na pesquisa.

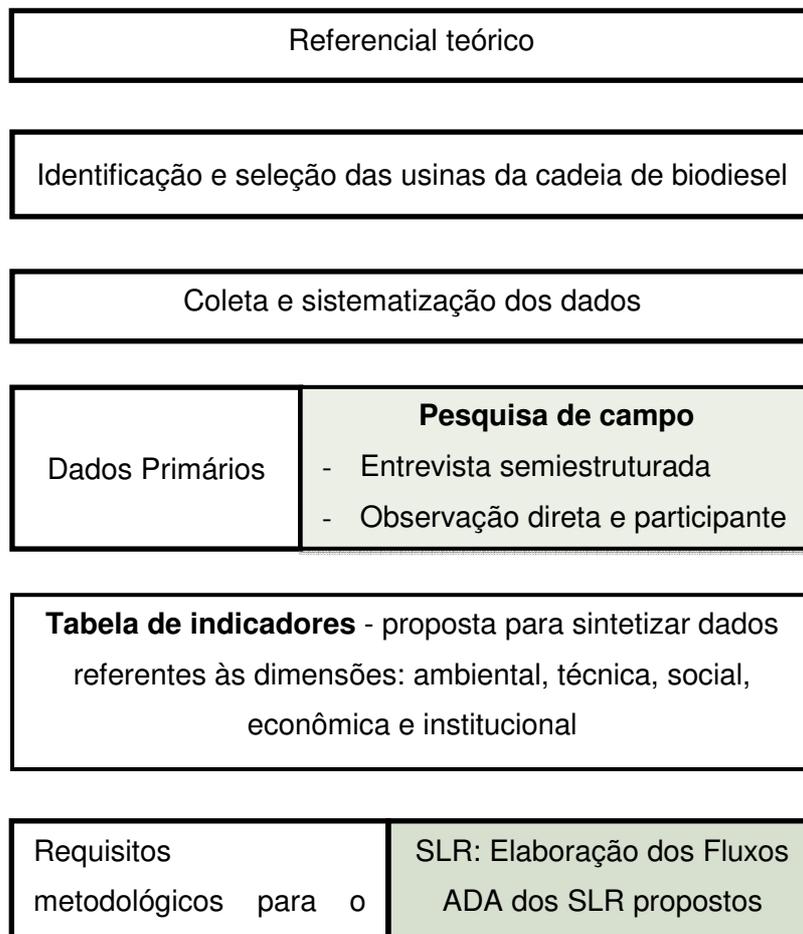
A preocupação com questões ambientais tem sido considerada na avaliação de desempenho ambiental dos processos produtivos de um número crescente de indústrias, inclusive com a adoção de certificações ambientais, como, a série de normas ISO 14000 que apresenta uma norma específica para a avaliação de desempenho ambiental. A importância do uso dos indicadores de sustentabilidade também foi abordada por diversos autores, ressaltando-se o modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR) da *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD).

A avaliação de desempenho ambiental necessita ser realizada por meio da atribuição de valores às escalas de magnitude e de significância, a partir da compilação de informações prestadas pelos participantes da pesquisa, como também a partir das informações presentes nas referências bibliográficas. No entanto, conforme já previsto na metodologia, ainda há um significativo grau de subjetividade na definição e avaliação quantitativa das variáveis analisadas. Porém, a contextualização da pesquisa, o estudo de campo e as fontes secundárias foram utilizadas de forma a minimizar a subjetividade e conferir objetividade aos parâmetros analisados. Estes aspectos estão detalhados na metodologia.

## 5 METODOLOGIA

Tendo em vista os objetivos da tese, na pesquisa foram desenvolvidas as seguintes etapas da metodologia, apresentadas de forma esquematizada na Figura 10. Os passos da metodologia adotada, permitiram coletar e analisar os dados, para ao final, propor e avaliar sistemas de logística reversa para a torta e a glicerina geradas na cadeia produtiva de biodiesel.

**Figura 10 – Etapas da metodologia adotada na pesquisa**



Propõe-se, a partir dos dados secundários obtidos no levantamento bibliográfico, a análise das principais referências nacionais e internacionais que considerem a abordagem tanto de aspectos técnicos, quanto de cunho social, ambiental e econômico a respeito da cadeia produtiva, bem como da prática da gestão de coprodutos e resíduos da produção de biodiesel. Foram analisados com maior profundidade trabalhos relativos ao Brasil e, mais especificamente, ao nordeste brasileiro, no âmbito do Programa Nacional para a Produção e Uso do Biodiesel (PNBP), Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) e Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Como agentes pesquisados, na etapa de pesquisa de campo para a coleta de dados primários, realizada entre os anos de 2011 e 2012, foram estudadas empresas produtoras de biodiesel localizadas no Nordeste brasileiro com o propósito de identificação e análise de aspectos que possibilitassem contribuir para a eficiência da cadeia reversa de biodiesel da região. Foram utilizadas como fontes de dados:

- Documentos administrativos: relatórios e licenças ambientais;
- Registros em arquivo: lista de matérias-primas, insumos, produtos e resíduos e dados oriundos de levantamentos sobre o local;
- Entrevistas semiestruturadas: com respondentes-chave considerando a opinião deles sobre o tema da pesquisa;
- Observação direta: visita de campo.

Ao final da pesquisa foram definidos os requisitos necessários para as propostas e avaliação dos sistemas de logística reversa para a cadeia do biodiesel.

A pesquisa foi realizada de forma indutiva, partindo-se da realidade regional para a formulação de hipóteses explicativas e de planificação de políticas públicas visando a gestão adequada dos coprodutos e resíduos resultantes da produção de biodiesel. Foram consideradas normas e legislações, levantamento de alternativas e estudo de viabilidade com a observação de aspectos sociais, econômicos, políticos e técnicos, além dos ambientais.

O presente estudo caracteriza-se como do tipo exploratório de análise de multicasos com aplicação de entrevista semiestruturada para caracterização da gestão dos coprodutos e resíduos da produção de biodiesel, seguida de análise, propostas e conclusões.

Segundo Yin (2005), os estudos de caso são muito utilizados quando se colocam questões do tipo “como” e “por que”, não exigem controle sobre eventos comportamentais e focaliza acontecimentos contemporâneos. O estudo de caso como estratégia de pesquisa compreende um método que incorpora abordagens específicas à coleta e análise de dados quantitativos e qualitativos. O projeto de pesquisa de um estudo de caso deve considerar as questões a serem estudadas, os dados relevantes a serem obtidos e como serão analisados os dados. As fontes de coleta de dados mais empregadas são documentos; entrevistas; observação direta; observação participante. Formas adotadas na presente pesquisa.

O estudo de caso se justifica na presente pesquisa pela necessidade de avaliar a gestão de resíduos e coprodutos na cadeia de biodiesel, observando como e porque é adotada a forma de gestão destes materiais.

Considerando-se a importância do conhecimento e vivência dos técnicos das indústrias, verificou-se a metodologia de pesquisa-ação, na qual os pesquisadores buscam desempenhar um papel ativo na própria realidade dos fatos observados, atuando na busca por soluções de problemas e no monitoramento de ações empreendidas, em função dos problemas identificados. Assim verifica-se uma forte relação entre o objetivo de contribuir com a busca pelo conhecimento, sob a ótica da vivência do problema (THIOLLENT, 2002 *apud* XAVIER, 2005). Neste estudo foram adotados princípios da pesquisa-ação relativos a análise da situação e busca de soluções para a melhoria da gestão de coprodutos e resíduos, com proposta de sistema de logística reversa.

É importante ressaltar a inconsistência e a dificuldade de obter alguns dados considerados confidenciais pelas empresas, como por exemplo, custos de tratamento e de destinação de resíduos.

Ao final da pesquisa foram propostos sistemas de logística reversa (SLR) para a cadeia do biodiesel e realizada a avaliação de desempenho ambiental dos SLR propostos para as usinas estudadas, como base de comparação.

A seguir são detalhados os procedimentos metodológicos:

- Identificação e seleção das usinas da cadeia produtiva de biodiesel analisadas
- Coleta e sistematização dos dados
- Requisitos metodológicos para o estudo da logística reversa

### **5.1 Identificação e seleção das usinas da cadeia produtiva de biodiesel**

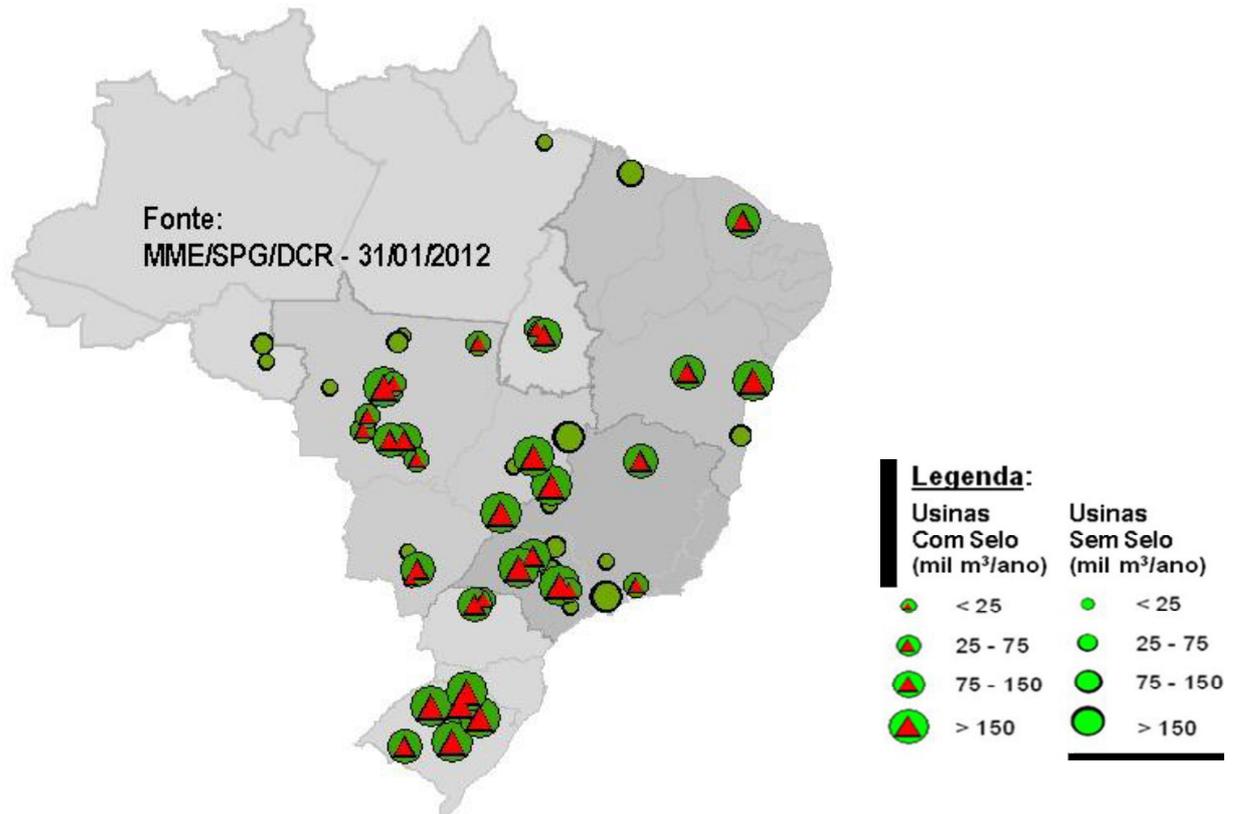
A identificação das usinas de produção de biodiesel localizadas no Nordeste Brasileiro, área de abrangência do trabalho, foi realizada com base em levantamento bibliográfico e pesquisa em sites da iniciativa privada e das seguintes instituições e órgãos públicos que tratam da produção de biodiesel:

- Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) - [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br)
- Ministério de Minas e Energia (MME) - <http://www.mme.gov.br>

- Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) - [www.biodiesel.gov.br](http://www.biodiesel.gov.br)
- PETROBRAS - <http://www.petrobras.com.br>

A Figura 11 mostra a localização das indústrias de biodiesel no Brasil registrando a presença no Nordeste brasileiro nos Estados do Maranhão, Ceará e Bahia.

**Figura 11– Localização das unidades produtoras de biodiesel no Brasil**



Fonte: Brasil, 2012.

O levantamento das usinas situadas no Nordeste brasileiro e a análise dos dados permitiu identificar a atual situação das usinas. Existem unidades de pesquisa e de produção comercial. Algumas usinas encontram-se atualmente em construção ou com atividade suspensa, enquanto outras estão produzindo para a frota da própria empresa ou comercializando, conforme mostrado na Tabela 13.

**Tabela 13 - Situação das usinas produtoras de biodiesel no Nordeste brasileiro (2011)**

ATIVIDADE	PRODUÇÃO	QUANTIDADE	ESTADOS
Produzindo/Operacional	Pesquisa	03	RN, PE; CE
	Comercial	05	BA-03; MA; CE
	Frota cativa	01	PE
Desativada	-	01	PE
Em Planejamento	-	01	PE
Em construção	-	01	PE

Para o desenvolvimento da presente pesquisa foram selecionadas para a coleta de informações “*in loco*”, as usinas em operação de biodiesel e de beneficiamento de oleaginosas ligadas a estas usinas, situadas no Nordeste brasileiro conforme mostrado na Tabela 14. A confirmação das usinas em operação foi realizada após a consulta aos sites das empresas e pedido de informações da produção, por e-mail e telefone. As empresas mostraram interesse e apoiaram a pesquisa disponibilizando sua infraestrutura e técnicos para as visitas técnicas.

Na região Nordeste do Brasil, três (03) indústrias de produção de biodiesel estavam produzindo, do total de cinco (05) indústrias existentes, e somente uma (01) usina piloto, a do Cetene. Foram ainda estudadas duas (02) usinas de extração de óleo, contratadas pela Diretoria de Suprimentos Agrícolas (DAGRI) da Petrobras, conforme indicação desta empresa.

**Tabela 14 – Usinas estudadas**

EMPRESA	ATIVIDADE	LOCALIZAÇÃO
Cetene	Usina Piloto Produção de Biodiesel	Caetés-PE
Petrobras	Produção de Biodiesel	Quixadá-CE
OLVEQ	Extração de Óleo	Quixadá-CE
Petrobras	Produção de Biodiesel	Candeias-BA
BIOÓLEO	Extração de Óleo	Feira de Santana-BA
Vanguarda Agro	Produção de Biodiesel	Iraquara-BA

A antecipação das metas previstas no PNPB, na maioria das regiões brasileiras, tem sido um dos principais fatores motivadores para a readequação do marco regulatório para que as usinas nacionais tenham sua capacidade instalada ocupada (BIODIESEL, 2011). Assim, as usinas com atividade suspensa podem retomar a produção em função da demanda do mercado e melhorias no PBNB.

## 5.2 Coleta e sistematização dos dados

Com base no referencial teórico e na metodologia proposta foi elaborado o questionário semiestruturado para ser aplicado nas entrevistas e a tabela de indicadores apresentados nos Apêndices A e B.

O questionário semiestruturado foi elaborado e utilizado como subsídio para a realização das entrevistas, nos moldes de roteiro. Na estruturação das entrevistas foram observadas as práticas de gestão de resíduos e coprodutos adotadas nas usinas da região Nordeste. O questionário foi dividido em três (03) seções:

- Dados administrativos e da produção;
- Gestão dos coprodutos e resíduos gerados na produção de biodiesel;
- Abordagem socioambiental.

Na seção 1 - Dados administrativos e da produção: as perguntas foram elaboradas com o intuito de obter informações sobre a empresa, como faturamento e número de empregos diretos gerados, e também sobre a produção, relativas às matérias-primas e insumos utilizados e o processo produtivo.

A seção 2 - Gestão dos coprodutos e resíduos gerados na produção de biodiesel: foi elaborada para possibilitar a obtenção de informações relativas aos recursos e infraestrutura disponível para a adequada gestão dos coprodutos e resíduos gerados, enfocando a caracterização destes materiais, tratamento e destinação.

A seção 3 - Abordagem socioambiental: enfoca os aspectos legais estabelecidos pelo Poder público e ações de responsabilidade socioambientais adotadas pelas empresas.

O questionário foi adaptado em função do processo adotado por cada indústria. Inicialmente o questionário foi aplicado na usina piloto de Caetés-PE como um pré-teste, que possibilitou a revisão das perguntas com modificações para melhor atendimento dos objetivos da pesquisa.

Dados relativos ao ano de 2011 foram obtidos utilizando-se de técnica de entrevistas semiestruturadas inicialmente realizadas por e-mail e telefone, e posteriormente presenciais com registros de informações no diário de campo. As entrevistas foram realizadas durante as visitas técnicas às usinas com representantes envolvidos nas diversas etapas de produção e dos setores de meio ambiente e administrativo.

A coleta de dados primários nas entrevistas aplicadas durante visita às indústrias possibilitou conhecer as etapas de produção, identificando os fluxos de geração de resíduos e coprodutos, e discussão com os técnicos sobre as possibilidades de reinserção destes materiais em uma cadeia produtiva. Entretanto foram encontradas algumas dificuldades para coletar informações nas indústrias, devido às atividades dos técnicos, sendo necessário permanecer por mais de um dia nas indústrias, e mesmo assim, algumas informações não disponibilizadas durante a entrevista demoraram a ser enviadas, exigindo diversos contatos por telefone, envio de e-mails e retorno a algumas indústrias. Este problema foi mais significativo em indústrias em operação, considerando também que foi efetuada visita em usina que no momento não estava operando, pois o período de produção nem sempre é contínuo variando de acordo com a venda de biodiesel nos leilões realizados pela ANP.

As entrevistas foram realizadas também nas Diretorias de Suprimento Agrícola da Petrobras Biocombustível (DAGRI), do Ceará e da Bahia, responsáveis pelo incentivo, fornecimento de sementes e apoio técnico à produção familiar de oleaginosas, compradas e enviadas para usinas de beneficiamento das sementes e destinação do óleo para a produção de biodiesel. Estas diretorias apoiam também cooperativas de catadores para coleta e beneficiamento de óleos e gorduras residuais para produção de biodiesel.

O modelo PEIR selecionado para a elaboração da tabela de indicadores, considerou uma proposta de interação de indicadores, sugerida por Costantino *et al.* (2003), elaborada com base em modelo da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, em inglês, *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD, 2001), considerando os indicadores de Forças impulsoras, Pressão, Estado, Impacto e Resposta.

O modelo PEIR é empregado pelo PNUMA, na Avaliação Ambiental Integrada que promove, periodicamente, sob a denominação de *Global Environment Outlook* (GEO), considerando que a interferência antrópica no meio ambiente afeta o estado de seus componentes e gera uma resposta, imediata ou não, na sua qualidade. Como todo sistema complexo, o impacto da alteração de um componente fomenta mudanças, de acordo com a pressão que foi exercida sobre ele (PNUMA, 2002 *apud* OLIVEIRA e FARIA, 2008).

Segundo Carvalho (2009), é preciso compreender que a realidade se encontra nas interações estabelecidas por estas dimensões e pelos indicadores. Assim também se buscou nesta pesquisa compreender a interação nas formas de influência mútua numa perspectiva multidisciplinar (adição), interdisciplinar (interligação) e transdisciplinar (integração) para a configuração das dimensões, considerando conceitos utilizados na literatura (FURTADO, 2009).

Para entendimento e sistematização dos dados, foram utilizados como ferramentas os fluxogramas do processo, tabelas e representação gráfica de passos da cadeia produtiva estudada, e do modo como estão relacionados entre si, mapeando a cadeia produtiva, as entradas (matéria-prima e insumos) e saídas (produtos, coprodutos e poluentes nos diversos meios). As imagens fotográficas foram úteis para uma melhor análise da situação de cada indústria.

Na presente pesquisa foram considerados estudos que utilizaram a avaliação de impacto ambiental (AIA) como metodologia para compreender e avaliar a magnitude e importância dos impactos da cadeia produtiva de biodiesel.

A AIA permite a avaliação do possível impacto (positivo ou negativo) que um projeto proposto pode causar sobre o meio ambiente, considerando os aspectos natural, social e econômico. O propósito da avaliação é assegurar a decisão de considerar os impactos ambientais decorrentes da implantação de um projeto (ONISHI e FUJITA, 2006).

Kaercher (2009) para qualificar os impactos considera as seguintes características de valor:

- impacto positivo: quando uma ação causa melhoria da qualidade de um parâmetro.
- impacto negativo: quando uma ação causa dano à qualidade de um parâmetro.

Leopold (1971) *apud* Richieri (2007) descreve cada intersecção causa-efeito em termos de magnitude e importância. A magnitude é a medida extensiva, grau ou escala de impacto, refere-se à importância da condição para interesses local, regional, nacional e internacional. Significância é o grau de alteração de um determinado fator ambiental em função de uma ação humana (SILVA, 1994 *apud* ROCHA, CANTO e PEREIRA, 2005; MONDAL, RASHMI e DASGUPTA, 2010).

Segundo Beraldo (2007), as categorias de uma variável qualitativa podem ser substituídas por números, se esta variável qualitativa possuir um caráter hierárquico ou ordinal, ou mesmo de graduação em nível ou intensidade. Por exemplo, as respostas: “ótimo”, “bom”, “regular”, “ruim” ou “péssimo” (variáveis qualitativas), devido ao alto grau de subjetividade, podem ser substituídas por uma escala de 0 a 10. Com este procedimento, tenta-se tornar a pesquisa mais objetiva, com a utilização de variáveis quantitativas. O inverso pode também ser utilizado.

Em estudo de impacto ambiental realizado por Mondal, Rashmi e Dasgupta (2010) foi utilizado método baseado na definição padrão de importantes critérios de avaliação, bem como os meios pelos quais valores semiquantitativos para cada um destes critérios podem ser coletados, para fornecer uma pontuação precisa e independente para cada condição. O

valor atribuído a cada um destes grupos de critérios é determinado através da utilização de uma série de fórmulas simples. Estas fórmulas permitem que as pontuações para os componentes individuais sejam determinadas em uma base definida. O sistema de pontuação requer simples multiplicação dos valores dados a cada um dos critérios do grupo:

$$(A_1) \times (A_2) = A_r,$$

Onde:  $A_1$  = Magnitude (M)

$A_2$  = Significância (S)

$A_r$  = Resultado determinado pela multiplicação simples de (M) x (S)

Com base na literatura citada, na presente pesquisa a escala da magnitude (M) e da significância (S) foi expressa de acordo com escala numérica indicada na Tabela 18.

**Tabela 15 – Escala de valores de magnitude e significância para a ADA**

<b>Critério</b>	<b>Escala</b>	<b>Descrição</b>
Magnitude ( $A_1$ )	4	Importante para interesses nacional/internacional
	3	Importante para interesses regional/nacional
	2	Importante para áreas próximas à indústria
	1	Importante apenas para interesses locais
	0	Sem importância
Significância ( $A_2$ )	+3	Maior benefício positivo
	+2	Melhoria significativa
	+1	Melhoria
	0	Sem alteração
	-1	Alteração negativa
	-2	Alteração negativa significativa
	-3	Maior alteração negativa

Fonte: Adaptada de Mondal, Rashmi e Dasgupta, 2010.

### 5.3 Requisitos metodológicos para o estudo da logística reversa

Com o objetivo de propor requisitos metodológicos para propostas e avaliação de sistemas de logística reversa, são apresentadas a seguir metodologias adotadas na presente pesquisa.

#### 5.3.1 Sistema de logística reversa para a cadeia do biodiesel

Na revisão de literatura e na pesquisa de campo foram analisadas as formas de aproveitamento, tratamento e destinação dos resíduos e coprodutos gerados.

Para a elaboração do sistema de logística reversa para a cadeia de biodiesel foram considerados os fluxos de produção e a possibilidade de reinserção dos resíduos e coprodutos na própria cadeia produtiva do biodiesel ou em outra cadeia produtiva.

### **5.3.2 Avaliação do sistema de logística reversa (SLR)**

Inicialmente como método quali-quantitativo a avaliação de impactos ambientais (AIA) foi adotada para analisar a implantação de sistemas de logística reversa tendo como marco referencial de cenários a PNRS.

Quando a avaliação é utilizada para comparar alternativas de minimização e aproveitamento de resíduos, a avaliação de desempenho ambiental (ADA) é importante para recomendar o processo ambientalmente preferível, além de identificar oportunidades de melhoria de desempenho ambiental no ciclo de vida dos mesmos.

O estudo de viabilidade exige muitas informações que ainda não estão consolidadas, por outro lado a avaliação de desempenho fornece subsídios para a construção do estudo de viabilidade, permitindo uma análise mais detalhada.

Muitos setores industriais buscam compreender, melhorar e demonstrar seu desempenho ambiental como busca ou resultado da implementação de um sistema de gestão ambiental (XAVIER, 2005). Neste sentido, a norma ISO 14031, trata da avaliação de desempenho ambiental e estudos de casos e define a ADA:

como um processo interno de gerenciamento que utiliza indicadores como fonte de informações para a comparação do passado e do presente com os critérios de desempenho ambiental. (ABNT, 2004b).

A avaliação de desempenho ambiental permite a análise dos aspectos ambientais de uma empresa ao longo de um determinado período de tempo possibilitando a melhoria do seu desempenho. Este tipo de avaliação remete à necessidade de indicadores. Nesse trabalho foi ampliado o entendimento focado no escopo ambiental para incluir as dimensões técnica, social, econômica e institucional com o objetivo de estudar a viabilidade das possíveis alternativas de logística reversa.

Na presente pesquisa a adoção de indicadores justifica-se por serem ferramentas utilizadas para fornecer informações sobre os aspectos ambientais em organizações de diferentes tipos, tamanhos, localização e complexidade.

Segundo Xavier (2005), a norma ISO 14031 (ABNT, 2004b), aponta duas categorias de indicadores ambientais:

- Indicadores de desempenho ambiental (IDA);
- Indicadores de condições ambientais (ICA).

O primeiro tipo compreende pesquisas de campo, avaliações e revisões. O segundo tipo aproveita estudos já realizados para a comparação com a situação atual, ou seja, considera as tendências dos parâmetros das condições ambientais avaliados em função da variável tempo. Esta última possibilita a composição de cenários com o objetivo de se permitir a análise de tendências futuras.

Os indicadores do tipo IDAs ainda podem ser subdivididos em dois tipos:

Indicadores de desempenho gerencial (IDG), um tipo de IDA que fornece informações sobre esforços gerenciais no sentido da promoção do desempenho ambiental das atividades organizacionais.

Indicadores de desempenho operacional (IDO), outro tipo de IDA que fornece informações relativas ao desempenho ambiental das atividades operacionais relacionadas ao meio ambiente.

Assim, esses indicadores possibilitam também avaliar as dimensões técnicas, institucionais, ambientais, sociais e econômicas. A escolha do tipo de indicador a ser empregado é primordial para o desempenho das etapas pertinentes à avaliação de desempenho ambiental.

Vale ressaltar que a aplicação do questionário nas indústrias produtoras de biodiesel em operação, exigiu a permanência por mais de um dia nas indústrias, devido às atividades dos técnicos, que não podiam dispensar o tempo suficiente para fornecer as informações. Ainda assim, alguns dados não disponibilizados durante a entrevista foram posteriormente enviados por e-mail. A localização das usinas na região Nordeste, consideravelmente distantes umas das outras, foi outro aspecto que demandou recursos e tempo de deslocamento para a realização da pesquisa.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados alcançados. A estruturação desta etapa do trabalho inicia-se com uma abordagem sobre os aspectos metodológicos.

Em seguida é realizada a descrição das usinas estudadas, buscando-se evidenciar as suas características principais como subsídio à análise comparativa da gestão de resíduos e coprodutos das usinas estudadas.

Como parte central do trabalho são avaliadas as considerações a respeito dos sistemas de logística reversa propostos para a cadeia produtiva do biodiesel.

Ao final são apresentados resultados relativos à avaliação de desempenho ambiental dos fluxos de logística reversa como validação da metodologia proposta.

### **6.1 Aspectos metodológicos desenvolvidos**

Como proposta metodológica, o embasamento a partir da AIA (OECD) e da proposta da ADA (ISO 14031) permitiram a elaboração do conjunto de indicadores aptos a analisar o desempenho dos SLR propostos. No entanto, como os indicadores trabalhados a partir das referências metodológicas precisaram ter o escopo ampliado para avaliar o potencial de otimização da cadeia de biodiesel, por meio da logística reversa, houve necessidade de adequação da metodologia de modo a incorporar dimensões para além da questão ambiental e endossando os aspectos da sustentabilidade.

O modelo PEIR adotado possibilitou avaliar as pressões exercidas pela atividade de produção de biodiesel sobre o meio ambiente e as respostas da sociedade a estas mudanças, com a adoção de políticas ambientais e institucionais que atendam aos anseios de uma sociedade cada vez mais consciente, enfocando as dimensões, ambiental, técnica, social, econômica e institucional. Neste estudo, os indicadores ambientais têm a função de avaliar a gestão de coprodutos e resíduos da produção de biodiesel e identificar as alternativas de reinserção destes materiais em um ciclo produtivo.

A tabela de indicadores mostrada no Apêndice B foi proposta como uma ferramenta de análise da gestão de resíduos e coprodutos da produção de biodiesel. A tabela supracitada permite sintetizar dados referentes às dimensões: ambiental, técnica, social, econômica e institucional, e contém indicadores que representam as informações mais significativas, relativas às dimensões propostas. O objetivo é apresentar um resumo e uma

visão geral dos aspectos socioambientais da gestão de resíduos e coprodutos da cadeia de biodiesel. A seguir será comentada a tabela de indicadores considerando as dimensões com seus respectivos critérios e indicadores adotados. Foram selecionados os seguintes tipos de indicadores, segundo o modelo PEIR selecionado:

- Pressão (P)
- Estado (E)
- Impacto (I)
- Resposta (R)

A dimensão ambiental (Tabela 16) refere-se ao uso dos recursos naturais e à degradação ambiental, e está relacionada aos objetivos de preservação e conservação do meio ambiente, considerados fundamentais ao benefício das gerações futuras (IBGE, 2004 *apud* SOARES; STRAUCH e AJARA, 2006). Estas questões aparecem organizadas de acordo com os seguintes critérios: aspectos legais, resíduos e poluição.

**Tabela 16 – Indicadores – Dimensão ambiental (sintetizada)**

CRITÉRIO	INDICADORES	TIPO DE INDICADOR
Aspectos Legais	Mecanismos legais relativos ao PNPB e PNRS	P
Coproductos e Resíduos	Geração de coprodutos e resíduos	P
	Quantidade e % de coprodutos e resíduos aproveitada	R
Poluição	Disposição e Destinação de coprodutos e resíduos	E
	Disposição e Destinação dos coprodutos e resíduos - Potencial de contaminação da saúde humana (Estimativa)	I
	Disposição e Destinação dos coprodutos e resíduos - Potencial de contaminação do solo (Estimativa)	I
	Disposição e Destinação dos coprodutos e resíduos - Potencial de contaminação do solo (Estimativa)	I

A dimensão técnica (Tabela 17) aborda questões relacionadas à produção de biodiesel, geração e tratamento de coprodutos e resíduos considerando os critérios de produção, recursos humanos e infraestrutura.

**Tabela 17 – Indicadores – Dimensão técnica (sintetizada)**

CRITÉRIO	INDICADORES	TIPO DE INDICADOR
Produção	Produção de óleo ou biodiesel	P
	Geração de coprodutos e resíduos	P
	Tratamento de coproduto	R
	Tratamento de resíduos	R
Recursos Humanos	Pessoal qualificado para atuar na gestão de resíduos	R
Infraestrutura	Adequada para a gestão de resíduos	R

A dimensão social (Tabela 18) corresponde especialmente, aos objetivos ligados à satisfação das necessidades humanas, à melhoria da qualidade de vida e à justiça social (IBGE, 2004 *apud* Soares, Strauch e Ajara, 2006), estando de acordo com o PNPB que incentiva a agricultura familiar visando reduzir as desigualdades regionais. Os indicadores incluídos nesta dimensão abrangem os temas relacionados à utilização de matérias-primas produzidas pelas comunidades e à geração de empregos diretos decorrentes do processo de produção de biodiesel e empregos indiretos resultantes da produção de oleaginosas.

**Tabela 18 – Indicadores – Dimensão social (sintetizada)**

CRITÉRIO	INDICADORES	TIPO DE INDICADOR
Matérias-primas	Quantidade de matérias-primas produzidas por Agricultores Familiares	R
Geração de empregos	Geração de empregos diretos	I
	Geração de empregos indiretos	I

A dimensão econômica (Tabela 19) trata dos custos de investimento com a produção e gestão de coprodutos e resíduos. É uma dimensão que se ocupa com a viabilidade dos processos de tratamento e da logística de destinação dos coprodutos e resíduos orientados a uma produção econômica sustentável, buscando a reinserção destes materiais no ciclo de produção do biodiesel ou de outros produtos. A dimensão econômica considera também a minimização e reinserção dos resíduos e coprodutos na cadeia produtiva com a implantação do sistema de LR.

**Tabela 19 – Indicadores – Dimensão econômica (sintetizada)**

CRITÉRIO	INDICADORES	TIPO DE INDICADOR
Investimento	Custo da produção de óleo ou biodiesel	P
	Custos da disposição, tratamento e destinação de coprodutos e resíduos	I
	Investimento em gestão de coprodutos e resíduos	R
Logística reversa	Reinserção de resíduos e coprodutos no ciclo produtivo de biodiesel	R
	Reinserção de coprodutos e resíduos em outro ciclo produtivo	R

Na dimensão institucional (Tabela 20), foram sugeridos indicadores que tratassem dos aspectos legais e de responsabilidade corporativa relativa a ações socioambientais.

**Tabela 20 – Indicadores – Dimensão institucional (sintetizada)**

CRITÉRIO	INDICADORES	TIPO DE INDICADOR
Aspectos Legais	Leis que abordem aspectos sociais e ambientais da produção de biodiesel	R
Responsabilidade Socioambiental	Política ambiental	R
	Certificação ambiental	R
	Ações desenvolvidas – Responsabilidade Social Gestão Ambiental	R

A Tabela 21, mostra de forma relacional exemplos de indicadores ambientais da produção de biodiesel de acordo com a metodologia adotada.

**Tabela 21 - Indicadores ambientais da produção de biodiesel**

Pressão	Estado	INDICADORES	
		Impacto	Resposta
Geração de torta residual	Disposição Destinação	Potencial de contaminação do solo e/ou da água	Tratamento Reinserção em um ciclo produtivo
Geração de glicerina	Disposição Destinação	Potencial de contaminação do solo e/ou da água	Tratamento reinserção em um ciclo produtivo

## **6.2 Aspectos gerais das usinas visitadas**

No Nordeste brasileiro, existem unidades de pesquisa e de produção comercial, algumas usinas encontram-se atualmente em construção ou com atividade suspensa, enquanto outras estão produzindo para a frota da própria empresa ou comercializando, conforme apresentado na Tabela 22, com dados de 2011, correspondente ao período de informação da produção segundo a ANP. Vale ressaltar que durante o período de pesquisa as usinas da Brasil Ecodiesel, foram vendidas para a empresa Vanguarda Agro.

**Tabela 22 - Caracterização das usinas produtoras de biodiesel no Nordeste Brasileiro (2011)<sup>1</sup>**

EMPRESA	LOCALIZAÇÃO	LICENÇA ANP <sup>2</sup>	ATIVIDADE	CAPACIDADE AUTORIZADA <sup>2</sup> m <sup>3</sup> /dia	CAPACIDADE INSTALADA <sup>2</sup> m <sup>3</sup> /dia	MATÉRIA-PRIMA	TIPO DE PROCESSO	ROTA
Brasil Ecodiesel	Iraquara-BA	Comercialização Nº 90, 16.02.2009	Produzindo	360	129	Soja e girassol	Tecbio	Metilica
Brasil Ecodiesel	Itaqui-MA	Comercialização Nº 93, 16.02.2009	Operacional	129	129	Soja e girassol	Tecbio	Metilica
Comanche	Simões Filho-BA	Comercialização Nº 115, 19.02.2009	Operacional	335	120	Soja (99%) e algodão	Tecnologia própria	Metilica
Petrobras	Candeias-BA	Comercialização Nº 653, 28/10/2010 Ampliação - Nº 113, 01/03/2011	Produzindo	603	217	Soja e algodão	Intecnal/Crown	Metilica
Petrobras	Quixadá-CE	Comercialização Nº 568, 11.11.2009 Ampliação Nº 114, 01/03/2011	Produzindo	302	297	Soja, algodão, dendê, Sebo bovino, OGR	Intecnal/Crown	Metilica
Petrobras Cenpes	Guamaré-RN		Usina Piloto Operacional		7	Soja, girassol, mamona, girassol + mamona		

(Continua)

<sup>1</sup>Fonte: Dados da pesquisa e Biodieselbr (2010).

<sup>2</sup> Fonte: ANP (2011))

Tabela 22 - Caracterização das usinas produtoras de biodiesel no Nordeste Brasileiro (2011)<sup>1</sup>

(Continuação)

EMPRESA	LOCALIZAÇÃO	LICENÇA ANP <sup>2</sup>	ATIVIDADE	CAPACIDADE AUTORIZADA <sup>2</sup> m <sup>3</sup> /dia	CAPACIDADE INSTALADA <sup>2</sup> m <sup>3</sup> /dia	MATÉRIA-PRIMA	TIPO DE PROCESSO	ROTA
Petrobras Norte	Indefinida-PE		Em planejamento			-	-	-
Cetene	Caetés-PE	-	Usina Piloto Produzindo	1	2	Algodão	Transesterificação	Etílica e Metílica
Cetene	Serra Talhada-PE		Em construção		10	-	Transesterificação	Etílica e Metílica
Grupo Serrote Redondo	São José do Egito-PE	-	Produzindo - Frota cativa	-	20	Óleos Vegetais e Residual	Transesterificação	Metílica
Prefeitura Municipal	Pesqueira-PE		Desativada		10			Etílica
NUTEC	Fortaleza-CE	Produção Nº 335, 08/09/2005	Usina Piloto Parada		2,4 m <sup>3</sup> /dia			

<sup>1</sup>Fonte: Dados da pesquisa e Biodieselbr (2010).<sup>2</sup>Fonte: ANP (2011))

A seguir são apresentadas e comentadas fotos, tabelas e gráficos, elaborados a partir das visitas realizadas em cada usina, com análise de dados da entrevista semiestruturada aplicada e dos documentos fornecidos pelas empresas.

As usinas de extração de óleo estudadas utilizam como matérias-primas, mamona, algodão e girassol. São usinas contratadas pela Diretoria de suprimentos agrícolas (DAGRI) da Petrobras, para beneficiar grãos adquiridos de agricultores familiares participantes dos programas socioambientais desenvolvidos por esta diretoria, para apoio e incentivo à agricultura familiar e obtenção do selo combustível social do MDA.

#### **a) Usina de extração de óleo – OLVEQ**

A Indústria e Comércio de Óleos Vegetais Ltda. – OLVEQ localizada no sertão central do Ceará iniciou suas atividades em 2003, é uma empresa privada que gera 100 empregos diretos e tem contrato com a Diretoria de suprimentos agrícolas (DAGRI) da Petrobras, para beneficiar grãos de mamona adquiridos de agricultores familiares, do Estado do Ceará, principal fornecedor, e dos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Piauí.

O processo produtivo abrange a extração mecânica e o tratamento do óleo. Conforme o contrato estabelecido, a empresa armazena e beneficia mamona e fornece óleo e torta de mamona para a Petrobras (Figura 12). O óleo de mamona é enviado para a indústria química para produção de lubrificante, que atualmente tem maior valor agregado.

**Figura 12 – Empresa OLVEQ – Tanques de Armazenamento de óleo de mamona**



### **b) Usina de extração de óleo – BIOÓLEO**

A empresa localizada na cidade de Feira de Santana-BA possui 50% de capital público (PETROBRAS) e 50% de capital privado, e gera 150 empregos diretos. Nesta usina, além da extração mecânica de óleo, ocorre a extração química por solvente, aumentando assim a eficácia e eficiência do processo devido à extração de óleo ainda presente após a etapa de extração mecânica.

As matérias-primas utilizadas para extração de óleo, girassol, algodão e mamona são armazenadas em um galpão (Figura 13), antes de serem enviadas para a etapa de beneficiamento.

**Figura 13 – Empresa BIOÓLEO – Galpões de armazenamento de matérias-primas e de extração de óleo**



### **c) Usina piloto de produção de biodiesel – CETENE**

A usina piloto do Centro de Tecnologias e Estratégias do Nordeste (CETENE) é uma unidade de pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), que tem o objetivo de difundir a tecnologia de produção de biodiesel na região nordeste do Brasil.

A usina possui unidades de tratamento do óleo e de produção de biodiesel. Encontra-se em implantação as unidades de extração de óleo com esmagadoras, de tratamento para purificação da glicerina até grau farmacêutico e de conversão catalítica da glicerina em outros compostos.

A usina utiliza como matéria-prima, óleo de semente de algodão, proveniente dos Estados da Bahia e de Pernambuco. A Figura 14 mostra o parque de tancagem de matérias-primas, biodiesel e glicerina, localizado ao lado da unidade de produção.

**Figura 14 – Empresa CETENE – Parque de tancagem e área de produção**



**d) Usina de produção de biodiesel – Petrobras Biocombustíveis - CE**

A indústria (Figura 15), localizada no sertão central do Estado do Ceará, gera 215 empregos diretos e como indiretos, 400 técnicos agrícolas contratados pela DAGRI para assistência técnica aos 32.000 agricultores. Verificando-se assim sua importância para a geração de emprego e renda para a região.

**Figura 15 – Empresa Petrobras Biocombustíveis - CE – Área de produção e Pátio de carga e descarga**



São processados óleos de algodão e de soja, dendê e óleos e gorduras residuais (OGR) provenientes dos Estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Bahia e Goiás.

#### **e) Usina de produção de biodiesel – Petrobras Biocombustíveis - BA**

A usina localizada em Candeias-BA, produz biodiesel a partir de óleos refinados de soja e de algodão dos Estados da Bahia, Piauí e Goiás e gera 58 empregos diretos e como indiretos, 114 empregos na unidade e 300 técnicos agrícolas contratados pela DAGRI para assistência técnica aos 26.000 agricultores familiares responsáveis pelo fornecimento de mamona para manutenção do selo combustível social, criado pelo governo brasileiro para incentivar a compra de oleaginosas cultivadas por agricultores de pequeno porte.

Segundo relatado na entrevista, no momento a unidade de pré-tratamento não estava funcionando, devido ao custo de refino do óleo bruto ser superior à compra do óleo refinado. Se reduzido o custo do refino, a unidade voltará a operar.

Com relação às matérias-primas, vale ressaltar que 50% dos óleos vegetais são provenientes da agricultura familiar e a outra metade do agronegócio. O dendê bruto proveniente da agricultura familiar é enviado à usina de Quixadá com pré-tratamento em operação. A unidade operacional para processar óleos e gorduras residuais (OGR) e sebo, encontra-se com reduzida disponibilidade de oferta devido à demanda destes materiais por outros mercados. OGR são enviados por cooperativa de catadores e gordura animal pelo agronegócio da região.

A Figura 16 mostra a área de produção da unidade industrial que apresenta a mesma infraestrutura da usina de biodiesel da Petrobras localizada em Quixadá-CE.

**Figura 16 – Empresa Petrobras Biocombustíveis - BA – Área de produção**



#### **f) Usina de produção de biodiesel – Vanguarda Agro – BA**

A usina (Figura 17), localizada na chapada Diamantina em Iraquara-BA, pertence a empresa Vanguarda Agro e possui uma unidade de extração de óleo que se encontra desativada com planos de reativação e uma planta de refino de óleo e produção de biodiesel. É uma das poucas indústrias da região e gera 142 empregos diretos e outros indiretos na agricultura e nos setores de serviços e de transportes. Utiliza óleo de soja como matéria-prima, proveniente do próprio Estado da Bahia e do Mato Grosso.

**Figura 17 – Empresa Vanguarda Agro - BA – Área de produção**



### **6.3 Aspectos sociais das usinas visitadas**

A seguir são destacadas ações socioambientais desenvolvidas nas usinas pesquisadas.

As Diretorias de Suprimento Agrícola da Petrobras Biocombustível (DAGRI), do Ceará e da Bahia, são responsáveis pelo incentivo, fornecimento de sementes e apoio técnico à produção familiar de oleaginosas, que são posteriormente, compradas e enviadas para usinas responsáveis pela extração do óleo destinado, para unidades de produção de biodiesel da Petrobras. Estas diretorias apoiam também cooperativas de catadores, para coleta e beneficiamento, de óleos e gorduras residuais para produção de biodiesel e desenvolvem projeto de alfabetização de jovens e adultos.

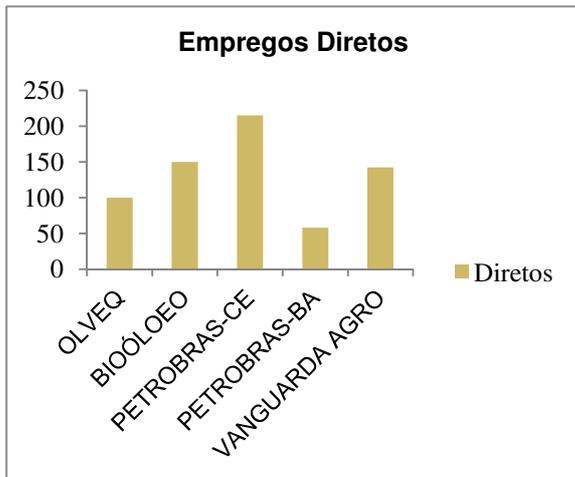
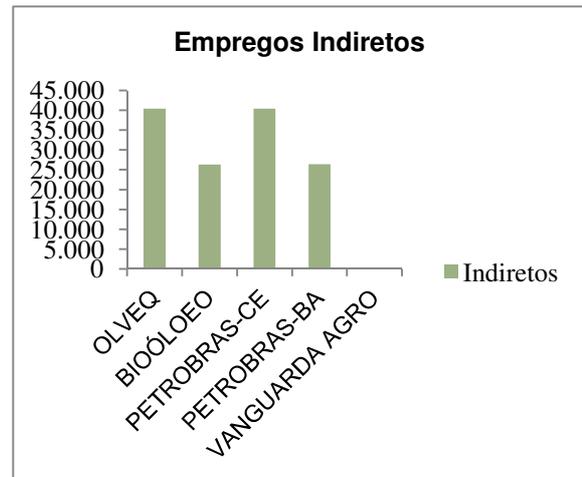
A usina de beneficiamento de oleaginosas, OLVEQ, apoia cooperativas de agricultores, situadas na região em torno da usina, com a doação de casca de mamona,

para projetos de compostagem. A empresa também envia carvão residual para reutilização, por ferreiros, em suas atividades.

A unidade da Petrobras do Ceará promove na reserva ecológica da empresa, oficinas, para agricultores da área em torno da usina, visando fomentar a adoção de tecnologias de caráter socioambiental, conforme apresentado a seguir:

- Sistema de Produção em Mandala – Forma de produção compacta com 09 anéis, cada anel com uma cultura com o objetivo de trabalhar a segurança alimentar. No centro são criados peixes, patos e galinhas e nos demais são plantadas hortaliças e frutíferas, podendo também cultivar plantas medicinais. A variação evita a proliferação de pragas. Devido à utilização de água salobra da região os anéis são impermeabilizados com manta para evitar a solubilização de sais;
- Experimentos com utilização de água salobra da região com plantas halófitas (resistentes a elevadas concentrações de sais);
- Bioconstrução – Cobertura com palha;
- Reuso de água – O efluente sanitário tratado é enviado para reservatórios e utilizado na área de reserva legal nos sistema de irrigação por gotejamento;
- Reflorestamento com espécies nativas: angico, jurema, aroeira, ipê, sabiá, dentre outras;
- Arborização da zona urbana;
- Zona de Preservação da Vida Silvestre – ZPVS.

É importante também destacar no âmbito social a geração de empregos diretos nas usinas estudadas e indiretos relacionados à cadeia produtiva de biodiesel, decorrente principalmente do incentivo à agricultura familiar, conforme apresentado nas Figuras 18 e 19. Durante a entrevista na usina de Iraquara-BA não foi informado o número de empregos indiretos gerados no cultivo de oleaginosas e nos setores de serviços e de transportes.

**Figura 18 – Empregos diretos gerados nas usinas estudadas****Figura 19 – Empregos indiretos relacionados à cadeia produtiva de biodiesel**

As indústrias pesquisadas buscam incorporar às suas atividades princípios da responsabilidade social principalmente por meio do incentivo à agricultura familiar, todas possuem o selo combustível social concedido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA) e também com o incentivo à reutilização de resíduos.

No entanto verifica-se a possibilidade de desenvolvimento e fortalecimento de algumas ações sociais, envolvendo a comunidade interna e externa, como maior incentivo à coleta seletiva de resíduos, propiciando benefícios sociais e ambientais para a comunidade.

#### 6.4 Análise comparativa da gestão de resíduos e coprodutos das usinas estudadas

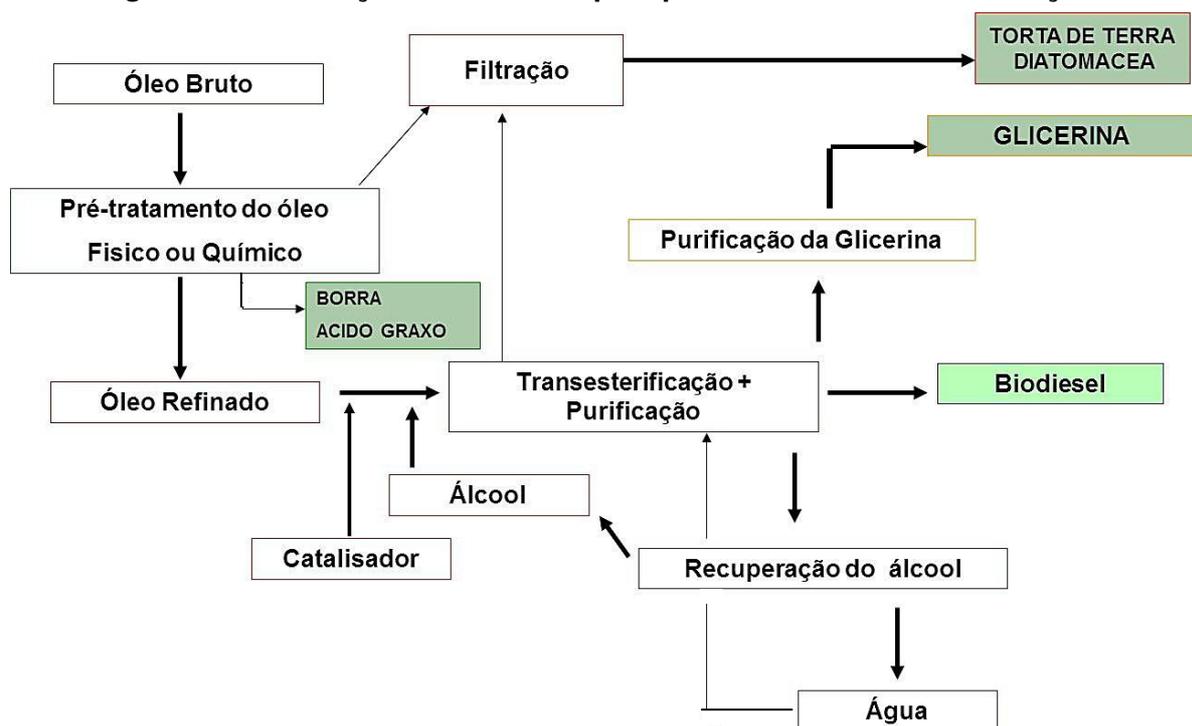
Nas últimas décadas em decorrência de exigências legais e de uma maior conscientização em relação ao meio ambiente, muitas empresas têm assumido o compromisso de praticar uma gestão ética, transparente e responsável. A busca pelo desenvolvimento sustentável, por meio do avanço tecnológico, a valorização do ser humano e o comportamento ético são essenciais para alcançar níveis crescentes de excelência empresarial. Nesse sentido muitas empresas têm adotado práticas como: assegurar cooperação e parceria aos fornecedores, manter um relacionamento construtivo com as comunidades onde atuam e melhorar continuamente os seus processos, produtos e serviços, estimulando a inovação e atendendo padrões legais e voluntários. Essa política deve representar o compromisso de todos os integrantes da companhia e sua prática agrega valor aos negócios. Nas visitas de campo, foram identificadas nas indústrias estudadas, práticas de sustentabilidade.

Em conformidade com as leis e regulamentos federais e estaduais, as empresas devem atender à exigência de obtenção de licenças ambientais, como também, toda a legislação de Saúde, Segurança e Meio Ambiente aplicável aos processos, atividades, produtos e serviços. Durante as entrevistas nas indústrias e contato com os órgãos ambientais dos estados da Bahia e do Ceará, foram apresentadas as licenças ambientais de operação e relatados programas de segurança e meio ambiente desenvolvidos nas usinas.

Consolidar uma estrutura capaz de contribuir para processos produtivos sustentáveis requer, ao lado da redução da geração de resíduos, a adoção de soluções técnicas economicamente viáveis de reaproveitamento e reciclagem de resíduos tornando-os coprodutos que reduzirão os custos de produção.

Os coprodutos e resíduos obtidos na cadeia produtiva do biodiesel são originados nas etapas de pré-tratamento do óleo, reação de transesterificação e purificação do biodiesel, como mostrado no Fluxograma 6.

#### Fluxograma 6 – Produção de biodiesel pelo processo de transesterificação



Fonte: Adaptado Petrobras, 2011.

É fundamental a realização da gestão adequada dos resíduos gerados em qualquer atividade industrial. A seguir são apresentadas e analisadas fotos e tabelas relacionadas à gestão dos coprodutos e resíduos de cada usina estudada.

#### 6.4.1 Gestão de resíduos e coprodutos das usinas estudadas

##### a) Usina de extração de óleo - OLVEQ

Na etapa de beneficiamento da mamona são gerados como resíduos, o pó e a casca de mamona. Para melhorar a eficiência do processo, a mamona com casca, retida na peneira retorna para o descascador. A extração do óleo é realizada por processo físico, prensagem dos grãos, com obtenção de torta e de óleo bruto.

A torta é encaminhada para redução da granulometria por moinho de martelos e ensacamento para uso como adubo. Verifica-se assim que a transformação da torta de mamona em adubo é um processo simplificado e de baixo custo. O óleo bruto segue para refino.

O técnico em química e o gerente operacional, dentre outras atribuições, são responsáveis pela gestão ambiental da empresa.

Segundo relato das entrevistas a mamona é adquirida com casca apenas no Estado do Ceará. Esta decisão foi tomada visando incentivar o cultivo de mamona no estado, eliminando a operação de descascamento dos grãos pelos agricultores. Assim a casca de mamona passou a ser gerada como resíduo no processo de beneficiamento da mamona neste estado. A casca e o pó de mamona são acrescentados à torta. A Figura 20 apresenta os grãos de mamona com casca e após a retirada da casca.

Os resíduos são dispostos a céu aberto, e no caso das cinzas da caldeira (Figura 21), pode ocorrer o transporte destas cinzas pelo vento para a área em torno da usina causando problemas para as pessoas.

**Figura 20 – Mamona com e sem casca**



**Figura 21 – Cinzas da caldeira**



Durante o pré-tratamento do óleo, ocorre o refino do óleo com a realização dos processos de degomagem, neutralização e branqueamento (clarificação). A Degomagem por vapor e água para remoção, eliminação ou inativação dos fosfatídeos gera como resíduo

a goma. Em seguida o óleo degomado é neutralizado, efetuando uma lavagem com solução alcalina de carbonato de sódio, seguido de filtração em filtro prensa de gomas. O processo seguinte de branqueamento destina-se à remoção de corantes. Nesta usina é realizado usando em geral como materiais adsorventes, carvão ativado e argila em filtros. Após a retirada de umidade por aquecimento e sistema de vácuo, segue-se uma nova filtração. Destacam-se como resíduos gerados nesta etapa, as lonas dos filtros prensas, o material utilizado como adsorvente, borra do tratamento de óleo, água de resfriamento e água de desacidificação.

No clarificador há perda de parte do ácido graxo devido à retirada por vapor. A empresa tem como meta a recuperação de ácido graxo para venda para indústria química.

A caldeira à biomassa é utilizada para produzir vapor, resultando como resíduos carvão e cinzas. A cinza é esfriada na caldeira, com a água usada na desacidificação do óleo, e depois disposta em uma área da indústria. A empresa tem como meta a obtenção de uma caldeira mais eficiente para gerar apenas cinza, eliminando a geração de carvão.

A Tabela 23 apresenta informações relativas à geração e gestão dos resíduos do processo. Destaca-se o aproveitamento do pó, da casca e da torta de mamona, como adubo, o reuso do carvão por ferreiros da região, o reuso da água de resfriamento no processo, e da água de desacidificação, para diminuir a temperatura da cinza da caldeira, para o descarte. Verifica-se a necessidade de melhorar o tratamento da água residuária e evitar a destinação no sistema de esgotamento urbano.

Os sacos de plásticos (60 kg) são reutilizados para acondicionamento de resíduos. Os demais recicláveis e sacos rasgados são encaminhados para o aterro controlado, mas deveriam ser enviados para a reciclagem. Vale ressaltar que o aterro controlado não é uma forma adequada de destinação de resíduos, devendo a usina buscar uma alternativa ambientalmente correta para os resíduos.

**Tabela 23 - Coprodutos e resíduos gerados na usina de extração de óleo OLVEQ - Quixadá – CE (Produção de 2011)**

<b>COPRODUTO/ RESÍDUO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>DISPOSIÇÃO</b>	<b>TRATAMENTO</b>	<b>DESTINAÇÃO</b>	<b>DESTINO</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>
Casca de Mamona	3.790 t	Ensacada e armazenada	-	Acrescentada à torta	Própria Usina	-
Torta de Mamona	3.711 t	Processo	Teste-compostagem Físico: Redução de granulometria - moinho de martelos	Venda - Adubo	RN, BA, PE	RN – 540 BA – 1.040 PE – 800
Pó de mamona	202 t	Acrescentado à torta	-	Acrescentado à torta	Própria Usina	-
Carvão	12 t	A céu aberto	-	Reuso - Ferreiros	Quixadá-CE	-
Cinza		A céu aberto	-	Aterro controlado	Quixadá-CE	-
Argila	24 t	A céu aberto	-	Aterro controlado	Quixadá-CE	-
Lonas dos Filtros Prensa	Não mensurada	A céu aberto	-	Lavados e reuso (limpeza) - Aterro controlado	Quixadá-CE	-
Água de resfriamento	Não mensurada	-	-	Reuso no processo	Própria Usina	-
Água de desacidificação	Não mensurada	-	-	Descarte na cinza da caldeira	Própria Usina	-
Água residuária	Não mensurada	Caixa de decantação	ETE - Processo físico: Decantação	Sistema de esgoto urbano	Quixadá-CE	-
Borra de tratamento de óleo	Não mensurada		-			
Recicláveis	Não mensurada	A céu aberto	-	Reuso-Aterro controlado	Quixadá-CE	-

## b) Usina de extração de óleo – BIOÓLEO

Como é prática comum a torta de mamona gerada nesta usina é transformada em farelo e também é destinada para a adubação (Figura 22). Enquanto as tortas de algodão e de girassol são transformadas em ração, como torta ou farelo. As impurezas orgânicas (cascas, folhas) dos grãos processados são aproveitadas, sendo acrescentadas ao farelo. As impurezas minerais (pedras, terra), são enviadas para o aterro sanitário.

As tortas geradas no processo físico (esmagamento dos grãos) para extração do óleo apresentam ainda um teor de óleo que é extraído por solvente. Em seguida a torta é enviada para um moinho para redução da granulometria para venda como adubo ou ração. A extração por solvente é necessária para utilização da torta como ração animal, pois de acordo com a literatura técnica, as tortas que apresentam um teor elevado de óleo têm limitada porcentagem de inclusão nas dietas dos animais (HONORATO *et al.*, 2009).

O óleo bruto é encaminhado para degomagem, neutralização e branqueamento. Neste processo destacam-se como resíduos/coprodutos a borra de neutralização, comercializada para fábricas de sabão, as lonas dos filtros prensa, enviadas para aterro industrial e a torta de terra diatomácea, que segue para extração por solvente.

Para a disposição dos resíduos existe um abrigo com baias para os diversos tipos de materiais recicláveis e perigosos (Figura 23).

**Figura 22 – Torta de mamona  
– Adubo**



**Figura 23 – Abrigo de resíduos**



A Tabela 24 mostra informações relacionadas aos resíduos e coprodutos gerados.

Os resíduos orgânicos provenientes do refeitório, podas e capina são enviados para o aterro sanitário, contudo estes resíduos poderiam ser aproveitados em um processo de compostagem ou no caso do refeitório, para complementação de alimentação animal.

Vale ressaltar a venda de recicláveis para intermediários e diretamente para empresas recicladoras. Quanto aos resíduos industriais contaminados e não recicláveis são destinados a aterro industrial ou incineração.

Verifica-se nesta indústria de extração de óleo uma melhor infraestrutura e pessoal qualificado para a disposição, tratamento e destinação dos resíduos.

**Tabela 24 - Coprodutos e resíduos gerados na usina de extração de óleo BIOÓLEO – Feira de Santana – BA (Produção de 2011)**

<b>COPRODUTO/ RESÍDUO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>DISPOSIÇÃO</b>	<b>TRATAMENTO</b>	<b>DESTINAÇÃO</b>	<b>DESTINO</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>
Torta de Girassol	NI	Processo	Extração por solvente - Redução da granulometria Moinho	Venda - Farelo - Ração animal	NI	
Torta de mamona	NI	Processo	Extração por solvente - Redução da granulometria Moinho	Venda - Farelo - Adubo	NI	
Torta de Algodão	NI	Processo	Extração por solvente	Venda - Torta - Ração	NI	
Torta de Algodão	NI	Processo	Extração por solvente - Redução da granulometria Moinho	Venda - Farelo - Ração	NI	
Impurezas orgânicas nos grãos	NI	Acrescentadas ao farelo	-	Farelo	Própria Usina	-
Impurezas minerais nos grãos	NI	Abrigo de resíduos	-	Aterro sanitário	Feira de Santana-BA	-
Lonas dos Filtros Prensa	NI	Abrigo de resíduos	-	Aterro industrial	Camaçari-BA	90
Borra de neutralização do óleo	NI	Tanques com aquecimento	-	Venda – Fábricas de sabão		
Água de lavagem do óleo	NI	Valas	-	Reuso no processo	Própria Usina	-
Água residuária	NI	Caixas coletoras	ETE–Separação Água e Óleo - Tratamento primário	Reuso – Lançamento em Rio	Feira de Santana-BA	-
Lodo da ETE	NI	-	Leito de secagem			
Resíduos ind. contaminados e não recicláveis	NI	Abrigo de resíduos	-	Aterro industrial Incineração	Camaçari-BA Feira de Santana-BA	90 -
Recicláveis	NI	Abrigo de resíduos	-	Venda - Reciclagem	Feira de Santana-BA	-

NI: Não informado

### c) Usina piloto de produção de biodiesel – CETENE

A borra residual proveniente do refino do óleo é formada pela borra resultante da diminuição da acidez (sabão) e a goma resultante da degomagem. A Figura 24 mostra a forma de acondicionamento da borra, em tambores, armazenada para destinação.

**Figura 24 – Borra residual**



Uma parte da glicerina é doada para uma fábrica de sabão localizada em uma cidade próxima, Garanhuns, outra parte permanece armazenada até a finalização da instalação da planta de tratamento de glicerina.

Na usina existem coletores para a segregação de recicláveis, entretanto, esta operação não é realizada, indicando a necessidade de realização de um trabalho educativo visando à coleta seletiva. Os resíduos recicláveis e não recicláveis são enviados misturados para o aterro sanitário de Garanhuns, cidade distante 20 km da usina e são separados para a reciclagem na central de triagem existente no local.

Como é uma usina piloto com capacidade autorizada de produção de 1 m<sup>3</sup>/dia de biodiesel a geração de resíduos é pequena conforme mostrado na Tabela 25. Sendo uma usina instalada com o objetivo de disseminar tecnologia é fundamental que apresente uma gestão adequada de seus resíduos e coprodutos.

Neste caso é importante destacar a busca por alternativas viáveis para a destinação da glicerina e a pesquisa para reuso da água de lavagem do óleo, após o processo físico de decantação, na fertirrigação de cultivo de oleaginosas.

**Tabela 25 - Coprodutos e resíduos gerados na usina de biodiesel do CETENE – Caetés-PE (Produção de 2011)**

<b>COPRODUTO/ RESÍDUO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>DISPOSIÇÃO</b>	<b>TRATAMENTO</b>	<b>DESTINAÇÃO</b>	<b>DESTINO</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>
Glicerina	30 t	Tanques	-	Doação-Indústrias de sabão Armazenamento	Garanhuns-PE Própria Usina	20
Borra de neutralização do óleo	15 t	Tanques	-	Armazenamento	Própria Usina	-
Água de lavagem do óleo	30 t	Tanques de decantação	Processo Físico Decantação	Fertiirrigação	Própria Usina	-
Recicláveis	NI	Abrigo de resíduos	-	Reciclagem	Garanhuns-PE	20

NI: Não informado

### c) Usina de produção de biodiesel – Petrobras Biocombustíveis - CE

A planta industrial é semelhante à da unidade de Biocombustíveis da Petrobras da cidade de Candeias-BA. Ambas apresentam a mesma infraestrutura para a gestão de resíduos e coprodutos. Entretanto, somente a usina do Ceará tem realizado o pré-tratamento de óleo gerando neste caso, uma elevada quantidade de ácidos graxos, 82.094 m<sup>3</sup> em 2011, vendida para purificação em indústrias localizadas no Estado da Bahia, a cerca de 1.100 km de distância. Observa-se uma elevada distância para transporte deste material, com maior custo, poluição e riscos ambientais.

A Figura 25 mostra a planta de produção com contêineres para acondicionamento da torta de terra diatomácea gerada nos filtros prensa das etapas de pré-tratamento de óleo e purificação de biodiesel. A Figura 26 mostra a placa de identificação da área de proteção ambiental da empresa.

**Figura 25 – Contêineres com torta de terra diatomácea**



**Figura 26 – Área de proteção ambiental da usina**



Para cumprir o monitoramento ambiental exigido pelo órgão ambiental estadual são realizadas análises no laboratório da usina e em laboratório contratado em Fortaleza, distante 190 km da usina.

A Tabela 26 mostra informações relativas à gestão de resíduos e coprodutos da unidade industrial.

No pré-tratamento de óleo as etapas de degomagem e neutralização geram como resíduos/coprodutos, borra e ácidos graxos. A borra é comercializada para indústrias de ácidos graxos ou de sabão. Os ácidos graxos são vendidos para indústrias de ácidos graxos e a torta de terra diatomácea é enviada para aterro industrial, localizado na região metropolitana de Fortaleza-CE, a 90 km de distância

O processo de transesterificação adotado para a produção de biodiesel gera a glicerina bruta que é destilada para a obtenção da glicerina loura, vendida para a China e para o Estado do Pará no Brasil. Alternativa adotada também na unidade de biocombustíveis da Petrobras da Bahia.

O biodiesel segue para purificação que consiste nas seguintes etapas: lavagem, destilação e filtração gerando efluentes e resíduos sólidos.

O setor de Segurança, Meio ambiente e Saúde (SMS), responsável dentre outras atribuições pela gestão dos resíduos gerados é composto por engenheiro de segurança do trabalho (Engenheiro civil) - Gerente setorial de SMS, Técnico em meio ambiente contratado (Tecnólogo em saneamento ambiental) e um Técnico em segurança do trabalho.

Na entrevista foi relatado que uma mudança no sistema de filtragem de óleo e biodiesel propiciou uma redução da quantidade de torta de terra diatomácea.

A Petrobras, nas últimas décadas tem demonstrado preocupação com a questão ambiental, inclusive aderindo às normas da ISO 14000. A unidade de biodiesel de Quixadá-CE adota práticas de reutilização, reciclagem e compostagem de resíduos e como alternativas de tratamento e destinação encaminha os resíduos segundo sua classificação, para aterro sanitário, aterro industrial ou incineração em outros municípios do estado em virtude da ausência destes serviços no próprio município, implicando em custos e riscos decorrentes do transporte dos resíduos.

Dentre as ações socioambientais destacam-se as práticas de educação ambiental com a comunidade interna e do município, plano de combate a derrames e vazamentos, coleta seletiva, captação de água de chuva e controle de emissões atmosféricas.

**Tabela 26 - Coprodutos e resíduos gerados na usina de biodiesel da Petrobras - Quixadá-CE (Produção de 2011)**

<b>COPRODUTO/ RESÍDUO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>DISPOSIÇÃO</b>	<b>TRATAMENTO</b>	<b>DESTINAÇÃO</b>	<b>DESTINO</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>
Ácidos graxos	82.094 m <sup>3</sup>	Tanques de armazenamento	-	Venda para Indústrias de ácidos graxos	BA	1.125
Borra de neutralização do óleo	2.131 m <sup>3</sup>	Tanques (500 m <sup>3</sup> )	-	Venda-Indústrias de sabão ou ácidos graxos	BA	1.125
Glicerina	3.878 m <sup>3</sup>	Tanque de processo	Destilação	Venda – Glicerina loura	PA China	1.500
Torta de terra diatomácea	360 t	Container	-	Aterro industrial	Fortaleza-CE	190
Água de lavagem do óleo	Não mensurada	Bacia de contenção	Água de lavagem saturada –ETE	Reuso no processo	Própria Usina	-
Efluente	Não mensurada	Tanque de Efluente bruto e Bacia de Contenção (180 m <sup>3</sup> )	Tratamento Biológico e Físico-químico DAFA e Reator aeróbio	Irrigação da área de reserva	Própria Usina	-
Lodo da ETE	NI		Leito de secagem	Aterro industrial	Fortaleza-CE	190
Resíduos perigosos	NI	Baias de armazenamento - Abrigo de resíduos	-	Incineração-Cimenteiras Incineração-Central de Trat. de Res. Perigosos	Sobral-CE Fortaleza-CE	300 190
Recicláveis	NI	Baias de armazenamento- Abrigo de resíduos	-	Reciclagem - Cooperativa de catadores	Quixadá-CE	-

NI: Não informado

#### d) Usina de produção de biodiesel – Petrobras Biocombustíveis – BA

A planta industrial é semelhante à da unidade de Biocombustíveis da Petrobras da cidade de Quixadá-CE. Ambas apresentam a mesma infraestrutura para a gestão de resíduos e coprodutos. No entanto, esta unidade está localizada em uma região que oferece melhores condições para a gestão de resíduos e coprodutos com maior oferta e distância menor de aterros industriais e de empresas que realizam tratamento e destinação adequada de efluentes industriais e resíduos perigosos. Além de cooperativas e indústrias de reciclagem. Estas condições propiciam redução de custos e facilitam a gestão dos resíduos e coprodutos.

A Figura 27 mostra a excelente estrutura do abrigo de resíduos e a Figura 28, o coletor de pilhas e baterias, indicando o comprometimento e a preocupação da empresa com a gestão ambiental.

**Figura 27 – Abrigo de resíduos**



**Figura 28 – Coletor de pilhas e baterias**



A Tabela 27 mostra informações relativas à gestão de resíduos e coprodutos da unidade industrial.

Antes de seguir para a planta de produção o óleo é filtrado gerando como resíduos, torta de terra diatomácea e lonas dos filtros. O processo de transesterificação adotado para a produção de biodiesel gera a glicerina bruta que é destilada para a obtenção da glicerina loura, vendida para a China e outros países. Alternativa adotada também na unidade da Petrobras do Ceará.

O biodiesel segue para purificação que consiste nas seguintes etapas: lavagem, destilação e filtração gerando efluentes e resíduos sólidos.

A indústria possui caldeiras a gás e óleo. Entretanto, a caldeira a gás é mais utilizada por ser mais econômica e menos poluente.

A empresa possui pessoal qualificado para atuar na gestão de resíduos. A equipe é composta por gerente setorial de SMS com formação em engenharia química, mestrado em

engenharia ambiental e doutorando em energia e meio ambiente. Também por analista ambiental com formação em engenharia agrônômica, mestrado em engenharia florestal e por técnicos em segurança do trabalho.

São desenvolvidas as seguintes ações no âmbito da responsabilidade socioambiental: coleta seletiva, controle de emissões atmosféricas, monitoramento de águas subterrâneas, gerenciamento de resíduos sólidos e de resíduos de laboratórios. Estão em configuração os programas de educação ambiental e comunicação social.

**Tabela 27 - Coprodutos e resíduos gerados na usina de biodiesel da Petrobras – Candeias-BA (Produção de 2011)**

<b>COPRODUTO/ RESÍDUO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>DISPOSIÇÃO</b>	<b>TRATAMENTO</b>	<b>DESTINAÇÃO</b>	<b>DESTINO</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>
Glicerina	13.055 t	-	Destilação	Venda – Glicerina loura	China Outros Países	
Torta de terra diatomácea	200 t	Container	Incineração			
Água de lavagem do óleo	NI	Bacia de contenção	Água de lavagem saturada –ETE	Reuso no processo	Própria Usina	-
Efluente	NI	Bacia de contenção	Tratamento Físico-químico	ETE ETE-Embasa	Própria usina Camaçari-BA	- 30
Lodo da ETE	NI		Leito de secagem			
Resíduos perigosos	NI	Abrigo de resíduos	-	Aterro industrial	Camaçari-BA	30
Recicláveis – Plásticos e Papéis	NI	Abrigo de resíduos	-	Reciclagem - Cooperativa de catadores	Camaçari-BA	30

NI: Não informado

### e) Usina de produção de biodiesel – Vanguarda Agro – BA

A política ambiental da empresa cita que busca aprimorar seus processos visando à preservação do meio ambiente e a integridade física das pessoas estabelecendo um sistema de produção seguro e sustentável. E durante a visita a esta empresa para o desenvolvimento da pesquisa foi possível observar o comprometimento dos colaboradores e a promoção de ações visando alcançar este objetivo.

Os resíduos e coprodutos estavam dispostos no galpão de matérias-primas e insumos enquanto estava sendo construído um abrigo de resíduos com a infraestrutura necessária. As Figuras 29 e 30 mostram o local com resíduos devidamente acondicionados e identificados.

**Figura 29 – Bombonas de Produtos Químicos**



**Figura 30 – Tonéis com borra oleosa**



A Tabela 28 mostra informações relativas à gestão de resíduos e coprodutos da indústria.

A glicerina é enviada para indústria de co-processamento de óleo de caldeira em Juazeiro-BA, distante 480 km do local, que cobra basicamente o custo de transporte e purifica a glicerina bruta e vende para indústrias de ácido graxo. A queima da glicerina tem sido testada em escala industrial. Segundo relatado na entrevista, o processo de tratamento a ser adotado para a glicerina, resulta na formação de ácidos graxos e glicerina loura, coprodutos, e sais como resíduos. Parte da glicerina bruta deve ser utilizada para queima em caldeira a biomassa, juntamente com um reduzido percentual de madeira. São apresentadas como vantagens, a redução do consumo de combustíveis, lenha e óleo combustível BPF (Baixo Ponto de Fluidez), e a eliminação da despesa com destinação da glicerina, além da renda obtida com a venda dos coprodutos resultantes do processo de tratamento da glicerina bruta. Na empresa a glicerina é considerada um resíduo enquanto aguarda a finalização do estudo de queima, meta da empresa. No momento não tem estrutura para transformação em glicerina loura e a glicerina bruta não tem valor comercial.

A empresa utiliza água de poços com dureza elevada sendo necessário realizar o tratamento da água por abrandamento com resinas de troca iônica (zeólitos), filtração com leito de terra e carvão ativado, e osmose reversa. Posteriormente é realizada a regeneração das membranas e os resíduos de membranas retornam ao fabricante. A água de rejeito (20-25% da água captada) gerada no processo é aproveitada para irrigação. A empresa tem como meta a irrigação de plantio de coco, cultura melhor adaptada à água com maior concentração de sais, aguardando autorização do órgão ambiental da Bahia.

A torta de terra diatomácea é gerada durante a redregomagem do óleo e na etapa de purificação do biodiesel. A água de lavagem é enviada para a ETE e depois de tratada é utilizada na irrigação da área verde da usina. O reuso da água de lavagem no processo, prática comum e mais indicada será posteriormente adotada pela empresa.

É realizado o monitoramento do efluente tratado, do lençol freático e do solo irrigado.

As bombonas plásticas que continham produtos químicos são recolhidas pela empresa fabricante dos produtos, localizada no Estado de São Paulo, caracterizando uma prática de logística reversa. A coleta é realizada no momento da entrega de novas matérias-primas.

Os resíduos orgânicos do refeitório são coletados pela empresa responsável pela refeição e utilizados para complementar a alimentação de suínos.

A infraestrutura para o gerenciamento de resíduos é mostrada a seguir:

- Abrigo de resíduos
- Caixas separadoras de óleo
- ETE
- Leito de secagem com brita
- Laboratório

A gestão ambiental é desenvolvida por uma técnica ambiental com formação em Biologia, com o apoio de membros da matriz da empresa localizada na cidade de São Paulo-SP. Destacam-se como ações empreendidas no âmbito da responsabilidade socioambiental a gestão de resíduos, controle de emissões e programa de educação ambiental. Encontra-se em configuração o plano de gerenciamento de recursos hídricos e em teste a compostagem de alguns resíduos.

**Tabela 28 - Coprodutos e resíduos gerados na usina de biodiesel da Vanguarda Agro – Iraquara-BA (Produção de 2011)**

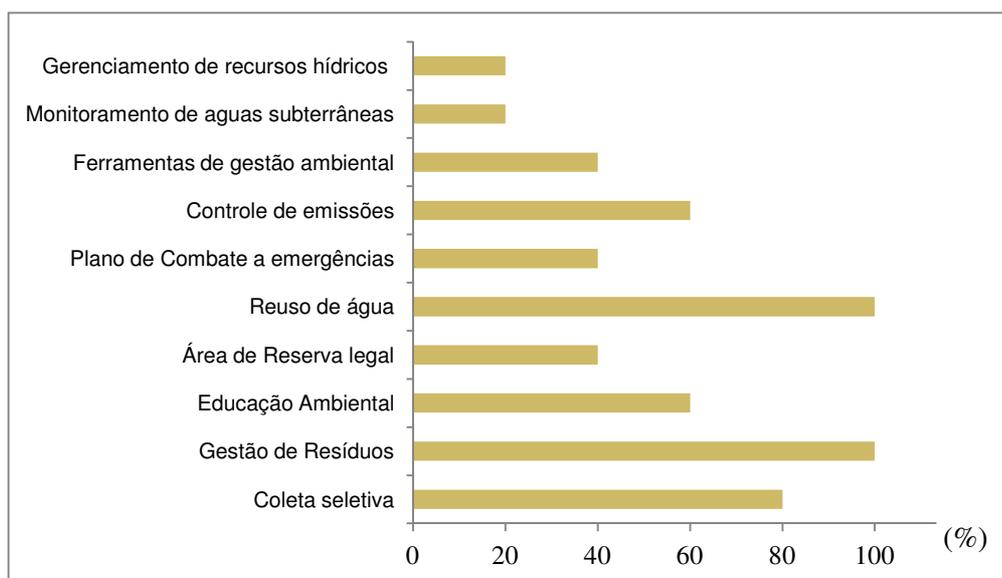
<b>COPRODUTO/ RESÍDUO</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>DISPOSIÇÃO</b>	<b>TRATAMENTO</b>	<b>DESTINAÇÃO</b>	<b>DESTINO</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>
Glicerina	3.755 m <sup>3</sup>	Tanques	-	Ind. de co-processamento de óleo de caldeira	Juazeiro-BA	480
Torta de terra diatomácea	44,8 t	Tambores metálicos Abrigo de resíduos	-	Aterro industrial	Feira de Santana-BA	350
Água de lavagem do óleo	390 m <sup>3</sup>	-	ETE	Fertiirrigação	Própria Usina	-
Efluente	Não mensurada		Tratamento Físico-químico	Fertiirrigação	Própria Usina	-
Lodo da ETE	12,6 t	Tambores Abrigo de resíduos	Leito de secagem	Aterro industrial	Feira de Santana-BA	350
Borra oleosa	27,6 t	Tambores Abrigo de resíduos	-	Ind. de co-processamento de óleo de caldeira	Juazeiro-BA	480
Resíduos perigosos	25,8 t Brita+trapo	tambores ou bombona Abrigo de resíduos	-	Aterro industrial	Feira de Santana	350
Cinzas da caldeira	0,4 t	Tambores Abrigo de resíduos	-	Aterro industrial	Feira de Santana	350
Recicláveis – Metais e Plásticos	1,1 t	A céu aberto	-	Reaproveitamento e Reciclagem-Venda sucateiros	Iraquara-BA	-
Bombonas plásticas – Embalagens de produtos químicos	701 unid.	Abrigo de resíduos	-	Retorno aos fabricantes	Ribeirão Preto-SP	1.550

#### 6.4.2 Análise comparativa da gestão de resíduos e coprodutos das usinas estudadas

A pesquisa propiciou a análise da responsabilidade corporativa com relação à preocupação ambiental das indústrias analisadas.

A Figura 31 apresenta programas e ações relacionadas à gestão ambiental e o percentual de indústrias responsáveis por estas ações, como observação à legislação ambiental, controle da poluição atmosférica, planos de gestão de resíduos, programas de educação ambiental, dentre outros. Com relação à política ambiental, existem somente nas indústrias de biodiesel. Entretanto, nenhuma das unidades possui certificação ambiental. Todas as usinas possuem licenciamento ambiental e apresentam planos de gestão de resíduos conforme exigência do licenciamento. Destaca-se também a preocupação com o reuso de águas, importante prática do ponto de vista ambiental e econômico.

**Figura 31 – Distribuição das ações socioambientais nas indústrias estudadas**



Vale ressaltar algumas ações desenvolvidas nas indústrias, como:

- A unidade da Petrobras Biocombustíveis localizada em Quixadá-CE tem uma área de reserva legal que além da proteção da biodiversidade como Zona de Preservação da Vida Silvestre (ZPVS) e reflorestamento com espécies nativas. É utilizada também para a arborização da zona urbana, promoção da EA e experimentos e desenvolvimento de tecnologias sociais com realização de oficinas para as comunidades interna e externa, de produção em mandala (produção compacta e conjunta, de animais e vegetais), agrofloresta, compostagem, produção de bonsai e bioconstrução (cobertura com palha).

- Unidade da Bahia da empresa Vanguarda devolve bombonas de produtos químicos para a empresa fabricante dos produtos, ou seja, desenvolve logística reversa para este tipo de resíduo.

A coleta de dados em cada indústria permitiu realizar uma análise da gestão de resíduos e coprodutos da cadeia produtiva de biodiesel na região Nordeste do Brasil.

A Tabela 29 mostra as matérias-primas e principais coprodutos e resíduos gerados nas usinas de extração de óleo estudadas.

As indústrias desenvolvem a gestão de resíduos de modo satisfatório, exceto na usina de extração de óleo localizada no Estado do Ceará que encontra dificuldades principalmente porque o município não oferece uma infraestrutura adequada para o tratamento e destinação adequada dos resíduos. Vale ressaltar que é de responsabilidade da empresa destinar de forma adequada seus resíduos. Além disso, algumas melhorias podem e devem ser realizadas na própria usina para a disposição e tratamento dos resíduos. O fato de ser uma usina de menor porte e está localizada em uma região menos desenvolvida que a indústria de extração de óleo localizada no Estado da Bahia certamente implica em maiores dificuldades para o desenvolvimento de uma melhor gestão ambiental.

A torta de mamona gerada, devido à presença de substâncias tóxicas é transformada em adubo. Enquanto as tortas de algodão e girassol são vendidas como ração apresentando assim maior valor agregado. Entretanto estudos em parceria entre universidades e indústrias estão sendo desenvolvidos para viabilizar a detoxicação da torta de mamona.

Tabela 29 – Dados das usinas de extração de óleo estudadas (2011)

EMPRESA LOCALI- ZAÇÃO	MATÉRIA- PRIMA	CAPACI- DADE INSTA- LADA	PRODU- ÇÃO	COPRODUTO / RESÍDUO		
				TIPO	QUANTI- DADE	DESTINAÇÃO
OLVEQ Quixadá- CE	Mamona	Extração: 28 t/dia 10.080 t/ano	10.080 t	Torta de Mamona	3.711 t	Venda-Adubo
				Pó de Mamona	202 t	Acrescentado à torta
				Casca de Mamona	3.790 t	Acrescentado à torta
				Carvão	12 t	Reuso-Ferreiros
				Cinzas	Não	Aterro controlado
				Efluente	mensurada	ETE-Decantação-
				Borra de tratamento de óleo	Não	Sistema de esgoto urbano
				Recicláveis	mensurada	Aterro controlado
	Não	mensurada				
BIOÓLEO Feira de Santana- BA	Mamona Algodão Girassol	Extração: 420 t/dia de Grãos  Refino: 200 t/dia de Óleo refinado	NI	Torta de Mamona	NI	Venda-Farelo- Adubo
				Torta de Algodão	NI	Venda - Torta e Farelo - Ração
				Torta de Girassol	NI	Venda- Farelo- Ração
				Impurezas orgânicas nos grãos	NI	Acrescentadas ao Farelo
				Borra de tratamento do óleo	NI	Venda - Fábricas de sabão
				Resíduos industriais	NI	Aterro industrial
				Recicláveis	NI	Venda - Reciclagem
				Água de lavagem do óleo	NI	Reuso no processo
				Efluente	NI	ETE - Reuso ou Lançamento em rio

NI: Não informado

A Tabela 30 mostra as matérias-primas e principais coprodutos e resíduos gerados nas indústrias de produção de biodiesel estudadas.

As unidades de produção de biodiesel analisadas seguindo a política ambiental das empresas a qual estão vinculadas desenvolvem uma gestão ambiental satisfatória e investem em pesquisas visando a sustentabilidade da cadeia produtiva.

Tabela 30 – Dados das usinas de produção de biodiesel estudadas (2011)

EMPRESA LOCALIZAÇÃO	MATÉRIA- PRIMA	CAPACI- DADE AUTORI- ZADA	PRODU- ÇÃO m <sup>3</sup>	COPRODUTO / RESÍDUO		
				TIPO	QUANTIDADE	DESTINAÇÃO
Vanguarda Agro Iraquara-BA	Óleos degomado e refinado de soja	360 m <sup>3</sup> /dia	19.534	Glicerina bruta	3.755 m <sup>3</sup>	Resíduo - Coleta por Ind. de co- processamento de óleo de caldeira
				Borra oleosa	27,6 t	Ind. de co-processamento de óleo de caldeira
				Torta de Terra diatomácea	44,8 t	Aterro industrial
				Resíduos perigosos	25,8 t	Aterro industrial
				Recicláveis – Plásticos e Papéis	1,1 t	Reaproveitamento e Reciclagem-Venda
				Bombonas plásticas – Embalagens de prod. químicos	5,6 t	Retorno aos fabricantes
					Não mensurada	
					0,4 t	
				Cinzas da caldeira	Não mensurada	Aterro industrial
				Água de lavagem	Não mensurada	Fertiirrigação
					12,6 t	Fertiirrigação
		Aterro industrial				
		Lodo da ETE				
Petrobras Candeias-BA	Óleos refinados de soja e de algodão	603 m <sup>3</sup> /dia	127.282	Glicerina bruta	13.055 t	Venda - Glicerina Loura
				Torta de Terra diatomácea	200 t	Incineração
				Resíduos perigosos	Não mensurada	Aterro industrial
				Recicláveis – Plásticos e Papéis	Não mensurada	Reciclagem – Cooperativa
				Água de lavagem	Não mensurada	Reuso no processo
				Efluente industrial	Não mensurada	Trat. Físico-químico na usina- Envio ETE contratada
				Lodo da ETE	Não mensurada	Aterro industrial

(Continua)

Tabela 30 – Dados das usinas de produção de biodiesel estudadas (2011)

(Continuação)

EMPRESA LOCALIZAÇÃO	MATÉRIA- PRIMA	CAPACI- -DADE AUTORI- -ZADA	PRODU- -ÇÃO m <sup>3</sup>	COPRODUTO / RESÍDUO		
				TIPO	QUANTIDADE	DESTINAÇÃO
Petrobras Quixadá-CE	Óleos degomado e refinado de soja, Refinado de algodão, Dendê, OGR	302 m <sup>3</sup> /dia	44.852	Glicerina bruta	3.878 m <sup>3</sup>	Venda - Glicerina Loura
				Borra de tratamento do óleo	2.131 m <sup>3</sup>	Venda-Indústrias de sabão ou de ácidos graxos
				Ácidos graxos	82.094 m <sup>3</sup>	
				Torta de terra diatomácea	Não mensurada	Venda- Indústrias de ácidos graxos
				Resíduos perigosos	Não mensurada	Aterro industrial
				Recicláveis	Não mensurada	Incineração
				Água de lavagem	Não mensurada	Reciclagem - Cooperativa
				Efluente industrial	Não mensurada	Reuso no processo
				Lodo da ETE	Não mensurada	Irrigação - área de reserva
Cetene Caetés-PE	Óleo de algodão	1 m <sup>3</sup> /dia	300	Glicerina	30 t	Pesquisas e Doação - Fábricas de sabão
				Borra do tratamento do óleo	15 t	Armazenamento
				Água de lavagem	30 t	Separação - água e óleo - Fertirrigação de oleaginosas (Em Teste)

Verifica-se que as formas de tratamento e destinação dos coprodutos/resíduos estão diretamente relacionadas com as alternativas existentes na região em torno das indústrias.

A glicerina bruta gerada nas unidades da Petrobras tem sido transformada em glicerina loura, por destilação, e exportada. A glicerina gerada na indústria localizada na chapada Diamantina, na Bahia, tem sido descartada, coletada por indústria de co-processamento.

A água de lavagem de biodiesel é em geral reutilizada no processo. O efluente é tratado na ETE das próprias indústrias. Entretanto, em algumas o tratamento não é suficiente verificando-se o envio para outras estações de tratamento de efluentes industriais e a realização de pesquisas para melhoria do processo de tratamento e reuso para fertiirrigação. Vale destacar o caso da unidade de Iraquara-BA de aproveitamento por fertiirrigação de área de paisagismo da indústria, autorizada pelo órgão ambiental estadual.

Os ácidos graxos e a borra de refino de óleo são vendidos para outras indústrias para serem aproveitados. Resíduos como plásticos, papéis e metais são enviados para a reciclagem. Enquanto outros resíduos industriais são destinados para incineração ou aterro industrial.

Em uma das indústrias ocorre o retorno das embalagens de produtos químicos para a indústria fabricante destes produtos caracterizando uma prática de logística reversa.

É realizado na Tabela 31 um comparativo entre as formas de destinação das tortas e da glicerina adotadas pelas usinas e as alternativas encontradas na literatura técnica. Entretanto, para uma avaliação criteriosa das melhores formas de destinação é necessário considerar aspectos econômicos, logísticos, ambientais, técnicos e sociais, verificando-se a localização destas usinas e as possibilidades do entorno.

**Tabela 31 – Principais coprodutos e resíduos da cadeia produtiva de biodiesel**

COPRODUTO/ RESÍDUO			
TIPO	QUANTIDADE ANUAL (2011)/EMPRESA	DESTINAÇÃO - USINAS	DESTINAÇÃO - ALTERNATIVAS
Torta de Girassol	NI- BIOÓLEO	Farelo para Ração animal	Ração animal Produção de biogás
Torta de Mamona	1.250t - OLVEQ NI- BIOÓLEO	Venda como adubo – Farelo e Torta	Preparado enzimático para pré- tratamento de efluentes industriais com alto teor de gordura
Torta de Algodão	NI- BIOÓLEO	Farelo e Torta - Ração	Adubo Compósitos
Glicerina	30 t - CETENE-PE	Pesquisas e Doação - Fábricas de sabão	Purificação grau farmacêutico – Indústrias Farmacêuticas e de Cosméticos Lubrificantes; Antioxidantes
	3.878 m <sup>3</sup> - Petrobras-CE 13.055 t - Petrobras–BA	Venda como Glicerina loura após destilação	Resinas; Alimentação animal Produção de sabão; Queima Produção de biogás; Compósitos
	3.755 m <sup>3</sup> - Vanguarda Agro - BA	Resíduo - Envio para Indústria de co- processamento de óleo	Curtumes-amaciamento do couro Formação de compostos dióis Produção de hidrogênio Recuperação de petróleo Adjuvante em pulverização agrícola

NI – Não Informado

No Brasil, o mercado de biodiesel tem impulsionado o mercado de óleos vegetais. No caso das indústrias de beneficiamento de grãos de oleaginosas a torta gerada tem maior aproveitamento como adubo ou ração animal, neste último caso, apresenta maior valor agregado. Estas alternativas atendem aos agropecuaristas locais em geral fornecedores de oleaginosas. As indústrias produtoras de biodiesel visitadas, assim como observado na literatura técnica desenvolvem pesquisas buscando alternativas para aplicação da glicerina, considerando o aumento da produção de glicerina que supera a demanda atual.

Na presente pesquisa dados elaborados com base na análise das declarações coletadas por meio das entrevistas, bem como de documentos fornecidos, perspectivas da legislação e da literatura técnica permitiram a adoção da avaliação de desempenho ambiental (ADA) para analisar os sistemas de logística reversa propostos por meio do estudo da gestão de resíduos e coprodutos das usinas pesquisadas. O método quali-quantitativo teve inicialmente como marco referencial de cenários a implantação da PNRS e os resultados obtidos são demonstrados na Tabela 32.

**Tabela 32 - Avaliação de desempenho ambiental da implantação da LR antes e após a PNRS**

CENÁRIOS INDICADOR	CENÁRIO 1: ANTES DA PNRS			CENÁRIO 2: APÓS A PNRS		
	Magnitude	Significância	(M x S)	Magnitude	Significância	(M x S)
Aproveitamento da glicerina como coproduto	1	2	3	3	3	9
Mecanismos legais	0	0	0	4	2	8
Aproveitamento da torta na indústria de ração animal	2	1	2	3	3	9
Aproveitamento da torta como adubo	2	1	2	3	3	9
Aproveitamento de outros resíduos	1	1	1	3	3	9
Geração de empregos	1	1	1	3	2	6
Pessoal qualificado para atuar na gestão de resíduos	2	1	2	3	3	9
Infraestrutura para a gestão de resíduos	1	1	1	4	3	12
Custo da produção de biodiesel	3	1	3	4	2	8
Geração de resíduos	1	-1	-1	3	1	3
			<b>Total</b>			<b>Total</b>
			<b>13</b>			<b>82</b>

Verifica-se uma melhora significativa da gestão de resíduos no cenário proposto devido à implantação da PNRS contribuindo para maior abrangência e importância de ações relativas à gestão dos resíduos com estímulo para o aproveitamento destes e reflexos na melhoria da infraestrutura e qualificação do pessoal que atua nesta área. O melhor aproveitamento da torta e da glicerina geradas no processo de produção do biodiesel contribuirá para a sustentabilidade da cadeia produtiva do biodiesel.

### 6.5 Sistemas de logística reversa para a cadeia produtiva do biodiesel

Dentre os coprodutos e resíduos gerados na cadeia de produção de biodiesel foram selecionadas as tortas resultantes do beneficiamento de grãos e a glicerina para elaboração das propostas de sistemas de logística reversa, considerando a expressiva quantidade gerada, a busca por novas alternativas para aproveitamento destes materiais e o significativo potencial de reinserção em uma cadeia produtiva.

Conforme verificado no referencial teórico, são desenvolvidos estudos para cada vez mais se viabilizar as cadeias produtivas de produtos renováveis como os biocombustíveis. No caso do biodiesel, buscam-se aplicações dos coprodutos com valor comercial para

viabilizar sua produção, tendo alto valor agregado e baixo custo preparativo. A viabilidade técnica, econômica e ambiental de um programa de biocombustíveis está fundamentalmente ligada ao aproveitamento dos resíduos gerados para o desenvolvimento de produtos de alto valor agregado.

Na elaboração das propostas de LR foi considerado o potencial tecnológico e a viabilidade econômica das alternativas mais recomendadas na literatura técnica, de forma a atender ao mercado existente no entorno das indústrias ou com possibilidade de desenvolvimento favorecendo o estabelecimento de um possível arranjo produtivo local (APL), como por exemplo, a purificação da glicerina para atendimento à demanda de polo industrial farmacêutico localizado próximo à indústria de biodiesel.

Dentro do contexto econômico, ambiental e social, essa nova ferramenta vem contribuir de forma significativa para o reaproveitamento de resíduos, amenizando os prejuízos causados ao meio ambiente por complexos processos produtivos.

A LR deve ser vista como uma oportunidade para construir uma vantagem competitiva para as empresas, considerando a crescente conscientização de consumidores com relação às questões ambientais, além da possibilidade de redução de custos com a minimização de descartes e ganhos com a transformação de coprodutos e resíduos em novos materiais, agregando valor e fechando o ciclo produtivo do biocombustível. Em linhas gerais, o processo tem como objetivo promover ações para a garantia do fluxo de retorno dos resíduos para a própria cadeia produtiva do gerador, ou para cadeias produtivas de outros geradores propiciando que as atividades produtivas alcancem marco de eficiência e sustentabilidade.

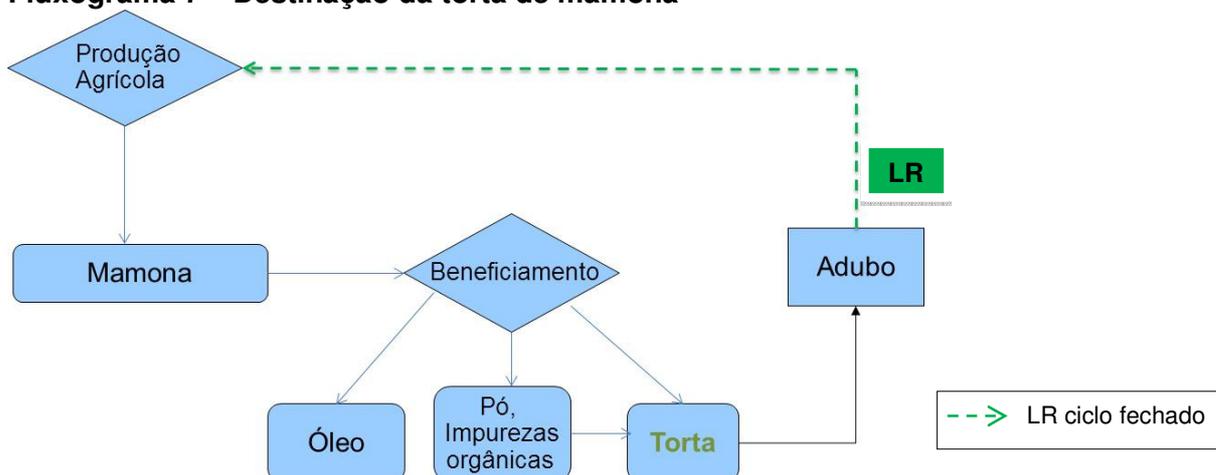
A viabilidade de arranjos produtivos está diretamente relacionada ao desempenho dos diferentes elos da cadeia produtiva, destacando-se: tecnologia, estrutura produtiva, existência de mercado e capacidade de gestão (FALCÃO, 2012). Estes aspectos devem ser considerados na seleção do fluxo logístico a ser adotado.

A seguir são apresentadas e discutidas as destinações da torta e da glicerina nas usinas visitadas e analisadas estas destinações mostrando as possíveis reinserções por meio da LR.

Considerando que as usinas de extração de óleo visitadas têm como matérias-primas algodão, girassol e mamona. A presente pesquisa aborda as tortas resultantes destas oleaginosas. As usinas de extração de óleo destinam a torta de mamona como adubo e as tortas de algodão e girassol como ração animal, aproveitando assim, 100% da quantidade de torta gerada.

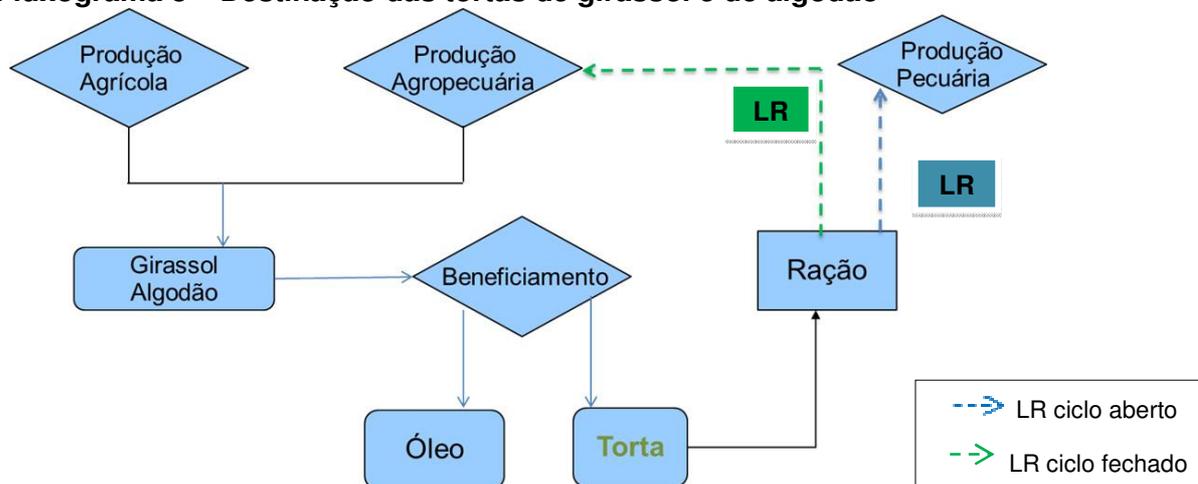
A destinação como adubo apresenta como características o baixo custo, pois exige apenas uma redução de granulometria realizada em moinhos de martelo e ensacamento e a possibilidade de aproveitamento por produtores de oleaginosas instalados nas proximidades da usina propiciando um ciclo fechado de LR, com redução de custos de transporte e conseqüentemente menor impacto ambiental (Fluxograma 7).

### Fluxograma 7 – Destinação da torta de mamona



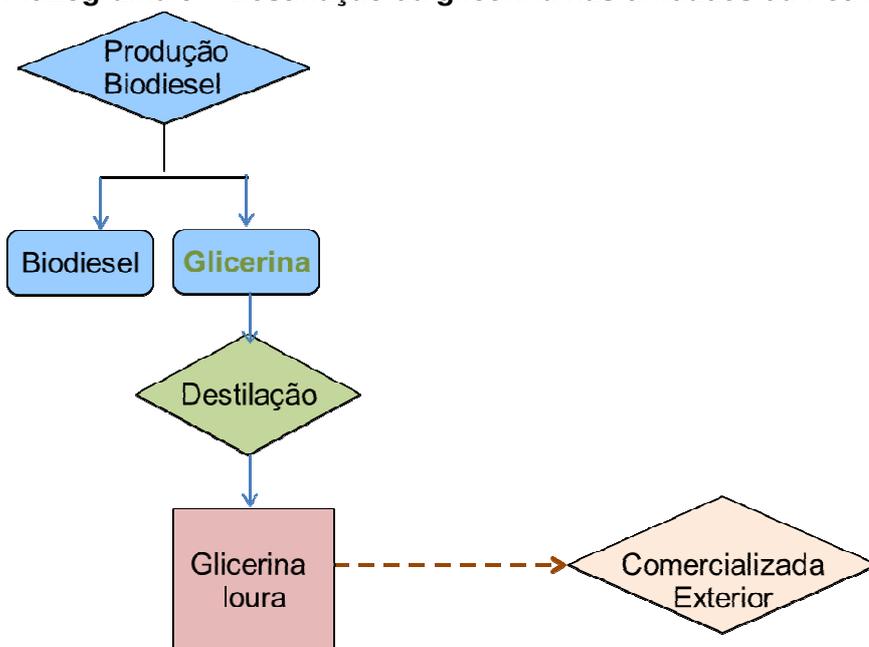
A obtenção de ração a partir das tortas consiste em um processo simplificado sendo necessária além da extração mecânica de óleo, a extração química com o uso de solventes químicos, em geral, o hexano, propiciando um ciclo fechado de SLR com a utilização da ração por agropecuaristas fornecedores de oleaginosas ou um ciclo aberto de SLR com a distribuição de ração para pecuaristas, ambos situados na região no entorno da indústria atendendo as reduções de custo de transporte e impactos ambientais nesta operação (Fluxograma 8).

### Fluxograma 8 – Destinação das tortas de girassol e de algodão



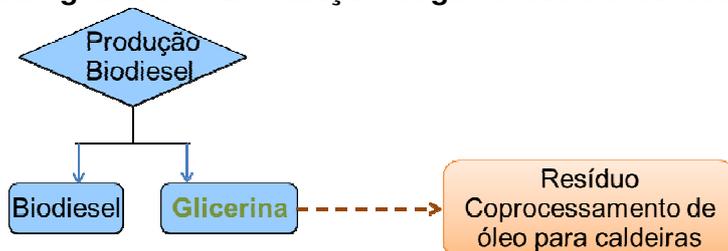
A glicerina, em geral, é um problema para as usinas sendo necessário adotar alternativas viáveis para aproveitamento. O Fluxograma 9 apresenta a destinação da glicerina nas usinas da Petrobras localizadas nas cidades de Quixadá-CE e Candeias-BA. A glicerina bruta é transformada em glicerina loura por destilação que é vendida principalmente para a China.

#### Fluxograma 9 – Destinação da glicerina nas unidades da Petrobras Biocombustíveis



Na usina da Vanguarda Agro situada na Bahia a glicerina é considerada como resíduo sendo coletado por uma empresa que trabalha com resíduos para coprocessamento de óleo para caldeiras, localizada a 480 km, na cidade de Juazeiro, também na Bahia, que cobra basicamente o custo de transporte (Fluxograma 10).

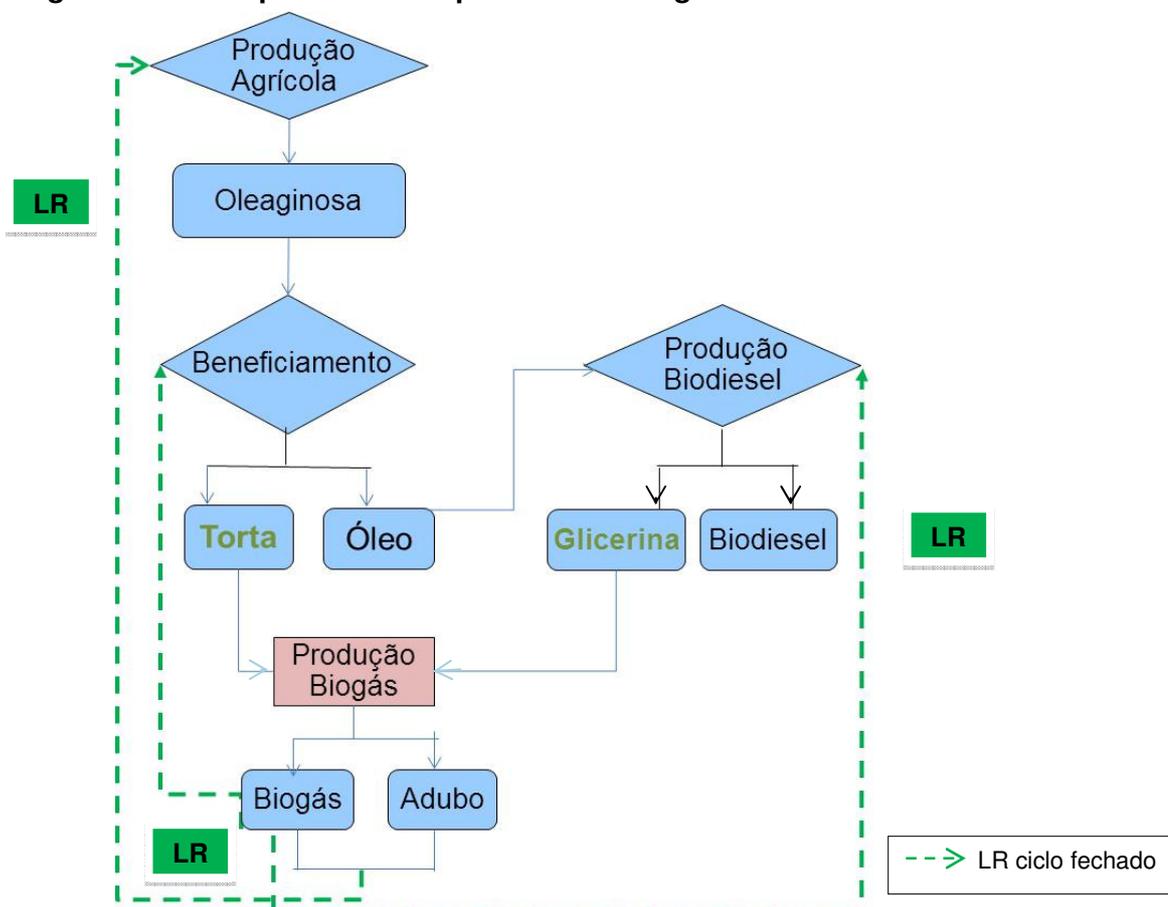
#### Fluxograma 10 – Destinação da glicerina na indústria Vanguarda Agro – BA



A seguir é apresentada e comentada proposta de sistema de logística reversa (SLR) para a cadeia de biodiesel, considerando a reinserção da torta e da glicerina. O Fluxograma 11 mostra esta proposta de SLR com sugestões de aproveitamento do biogás e do adubo gerados no processo. O biogás pode ser utilizado como fonte de energia no início da cadeia,

na produção agrícola, no beneficiamento da oleaginosa ou na própria produção de biodiesel possibilitando a construção de um ciclo de LR fechado. Seguindo este mesmo raciocínio, o adubo também pode ser aproveitado na própria cadeia do biodiesel.

**Fluxograma 11 – Proposta de SLR para a torta e a glicerina**



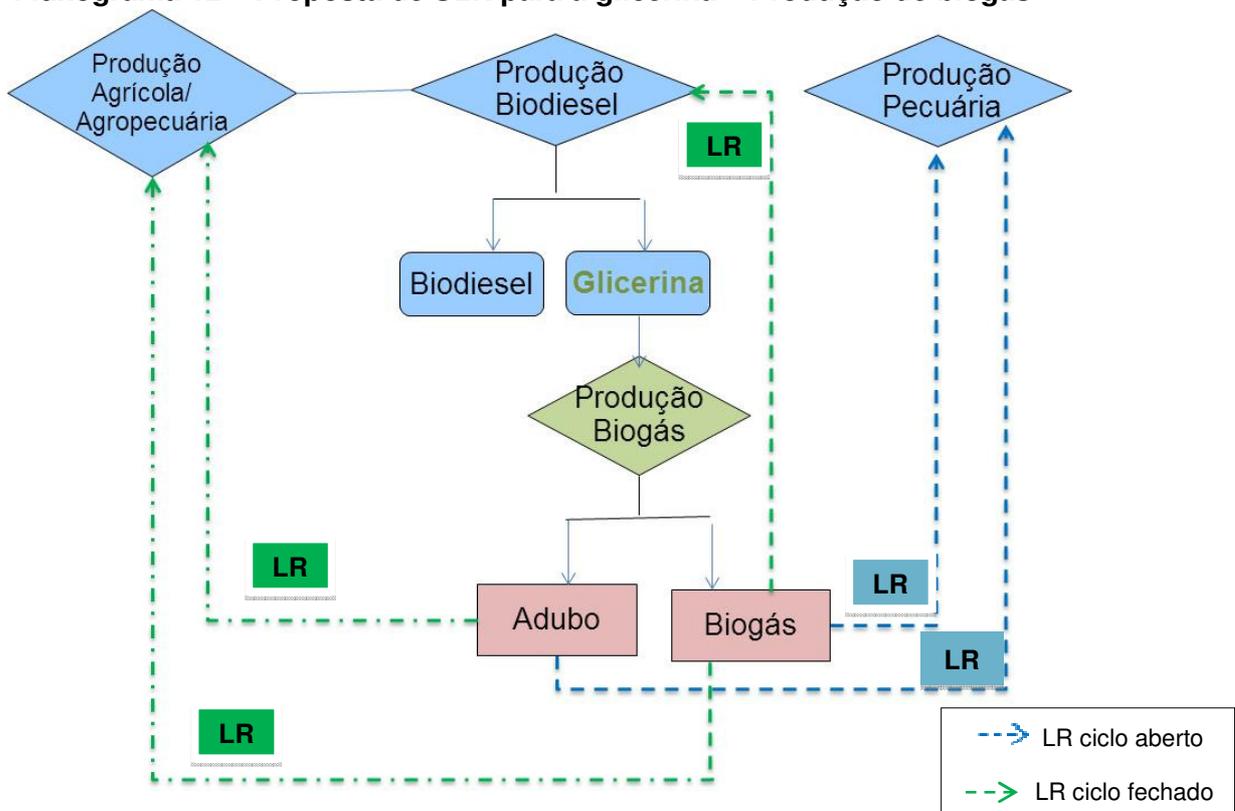
Com o crescente aumento da produção de biodiesel, têm se buscado métodos ecológicos para aproveitar os resíduos deste processo produtivo. A biodigestão, um sistema de baixo custo, se apresenta com bom potencial, propiciando biogás e biofertilizante como produtos. Os resíduos de produção do biodiesel que apresentam potencial para uso neste processo são tortas e farelos de oleaginosas, glicerina e água de lavagem. A inserção de estrume bovino é efetuada para a obtenção de uma mistura ideal, além de favorecer com insumos apropriados. Pode-se, reduzir os custos utilizando o biogás em queimadores ou caldeiras na geração de energia térmica contribuindo para a mitigação do efeito estufa pela substituição de combustíveis fósseis usados na geração de calor e energia elétrica. O biofertilizante pode ser aplicado nas plantações de oleaginosas, enriquecendo o solo e reduzindo despesas com corretivos e nutrientes. Porém, para se obter um processo viável e eficiente, é necessária a correta dosagem destes resíduos além da adição de algum outro elemento para balancear a biodigestão, neste caso, o uso de estrume bovino se faz ideal,

devido a sua grande disponibilidade no meio rural e taxa de nitrogênio elevada, característica bioquímica ideal ao processo (ROBRA *et al.*, 2006; SOARES *et al.*, 2007).

Esta proposta de SLR é interessante porque propicia um ciclo fechado para aproveitamento da torta e da glicerina, especialmente em sistema de produção integrado com plantas de extração de óleo e produção de biodiesel ou no caso destas indústrias quando se encontram localizadas na mesma cidade, como ocorre no Estado do Ceará, agregando valor à cadeia de biodiesel.

No caso somente da glicerina pode-se sugerir diversos SLR de ciclo aberto e fechado. A produção de biogás tem se destacado entre as alternativas pesquisadas para aproveitamento da glicerina. Neste SLR apresentado no Fluxograma 12 se verifica ciclo aberto, com o aproveitamento do biogás na pecuária e duas possibilidades de ciclo fechado, no cultivo agrícola ou agropecuário de produtores de oleaginosas ou na própria produção de biodiesel propiciando o aproveitamento da glicerina em área em torno da usina. O adubo pode ser utilizado no cultivo de pastagens na produção pecuária caracterizando um ciclo aberto de SLR ou um ciclo fechado na produção agrícola ou agropecuária.

**Fluxograma 12 – Proposta de SLR para a glicerina – Produção de biogás**



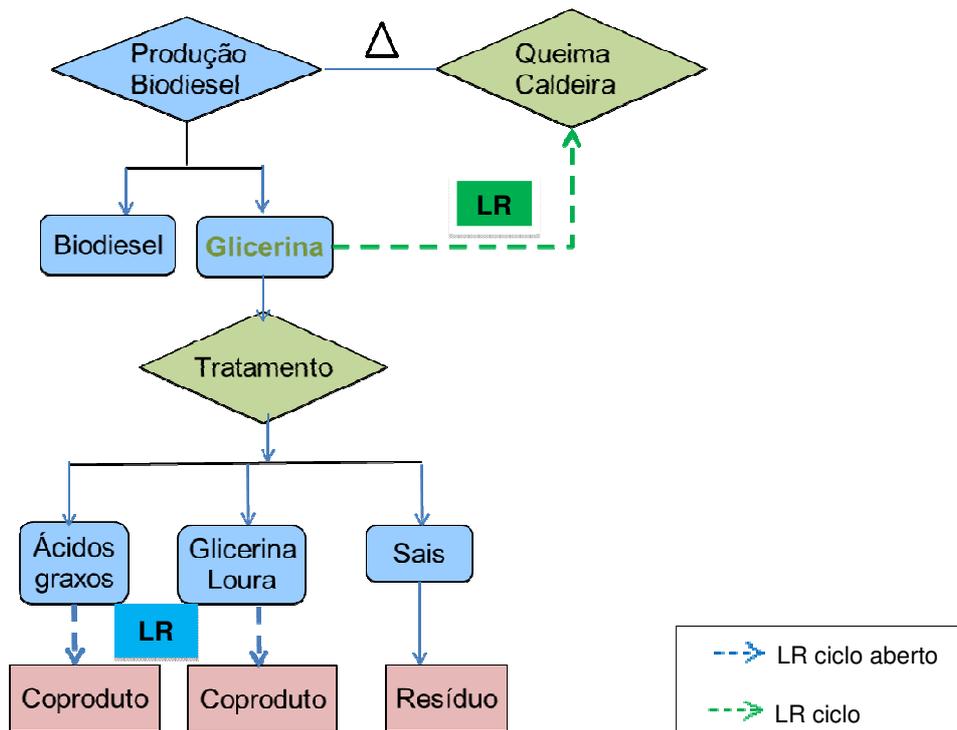
Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas para a obtenção de novos produtos utilizando a glicerina como matéria-prima. Os resultados tendem a agregar maior valor a glicerina e absorção do excedente gerado.

A queima controlada tem evitado a formação de acroleína, definida como uma substância encontrada hoje em dia no meio ambiente principalmente nas cidades e zonas mais industriais, importante poluente irritante para as vias respiratórias e considerada como possivelmente carcinogênica humana (FERNANDES; SILVA, 2005). A queima da glicerina tem sido testada com acompanhamento do órgão ambiental em uma das indústrias pesquisadas tendo apresentado bons resultados, inclusive em escala industrial.

Segundo relatado na entrevista da presente pesquisa, o processo de tratamento da glicerina bruta, resulta na formação de ácidos graxos e glicerina loura, coprodutos, e sais como resíduos. Parte da glicerina bruta é utilizada para queima em caldeira a biomassa, juntamente com um reduzido percentual de madeira. São apresentadas como vantagens da queima da glicerina realizada em conjunto com a lenha na caldeira a biomassa, a redução do consumo de combustíveis, lenha e óleo combustível BPF (Baixo Ponto de Fluidez), e a eliminação da despesa com destinação da glicerina, além da renda obtida com a venda dos coprodutos resultantes do processo de tratamento da glicerina bruta. A queima substitui o combustível com custo em torno de R\$ 700,00/t e evita a venda da glicerina bruta com valor em torno de R\$ 200,00/t, destacando-se que o valor de venda da glicerina bruta é bastante inferior ao valor de compra de combustível.

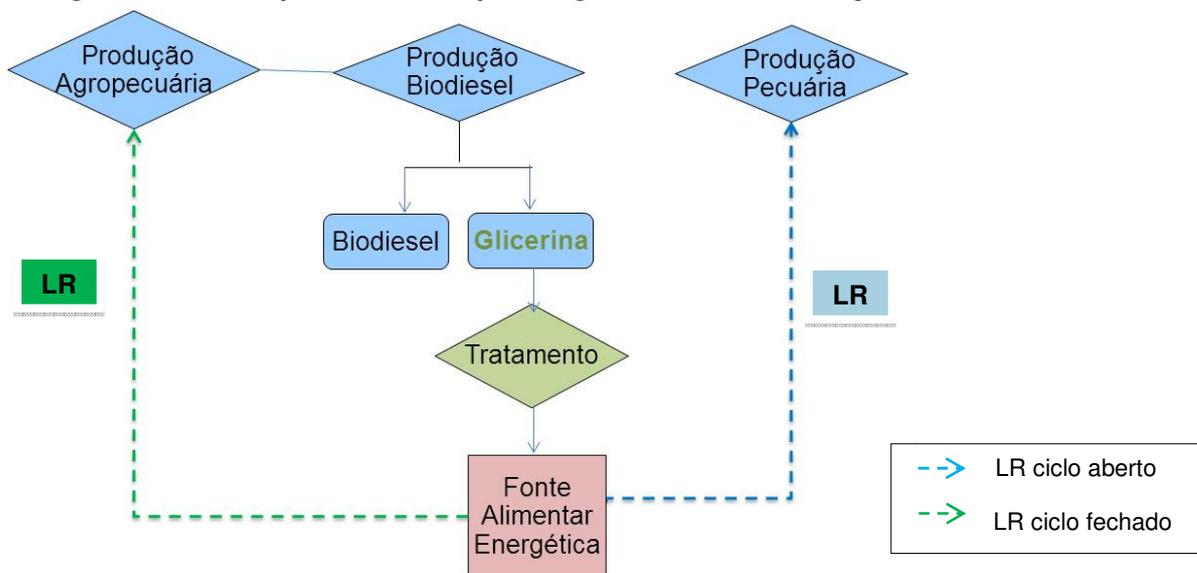
Neste SLR com queima da glicerina bruta verifica-se o aproveitamento de parte da glicerina na própria usina de biodiesel e em outras cadeias produtivas com a venda de ácidos graxos e glicerina loura conforme apresentado no Fluxograma 13.

**Fluxograma 13 – Proposta de SLR para a glicerina – Queima em caldeira**



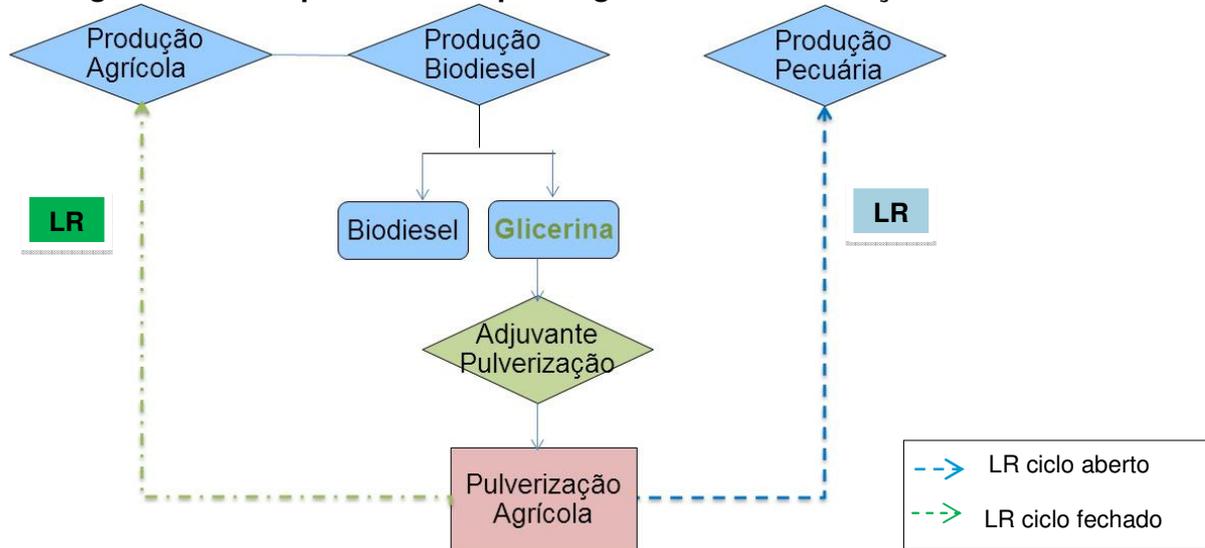
A glicerina bruta oriunda da produção de biodiesel, por ser um composto altamente energético e que apresenta perspectiva de redução de preço devido ao aumento da oferta tem sido considerada em diversas pesquisas como uma fonte energética na alimentação animal propiciando assim um SLR de ciclo aberto no caso da produção pecuária ou fechado em se tratando de fornecedor agropecuarista de oleaginosa conforme mostrado no Fluxograma 14.

**Fluxograma 14 – Proposta de SLR para a glicerina – Alimentação animal**



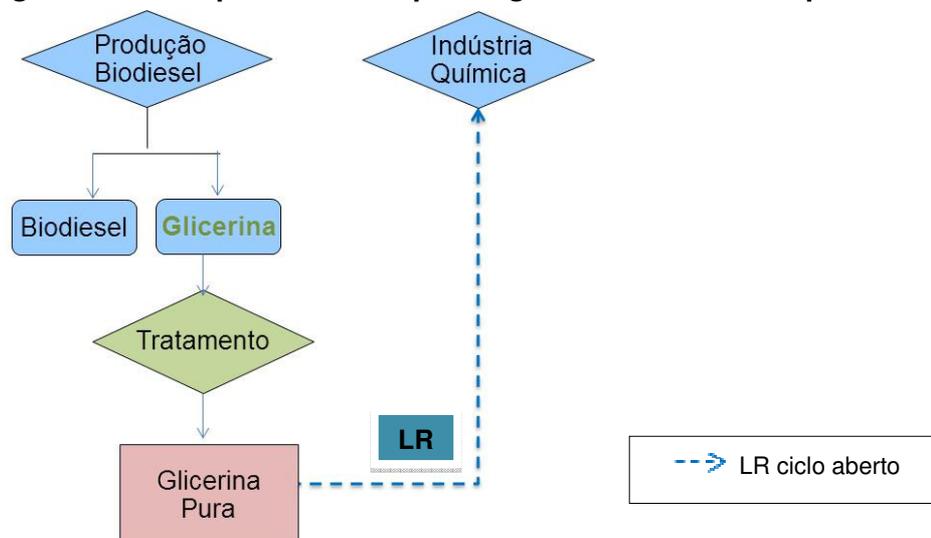
A possibilidade de utilização da glicerina na pulverização agrícola tem despertado o interesse dos produtores de biodiesel como uma alternativa promissora. Permitindo assim um SLR de ciclo aberto para a produção pecuária ou de ciclo fechado no cultivo de oleaginosas como apresentado no Fluxograma 15.

**Fluxograma 15 – Proposta de SLR para a glicerina – Pulverização**



A purificação da glicerina bruta é um processo de alto custo, mas que agrega maior valor à glicerina. Sendo bastante interessante principalmente se existir um polo industrial farmacêutico ou de cosméticos em região próxima à indústria de biodiesel, propiciando o desenvolvimento de um ciclo aberto de LR, economicamente viável como proposto no Fluxograma 16.

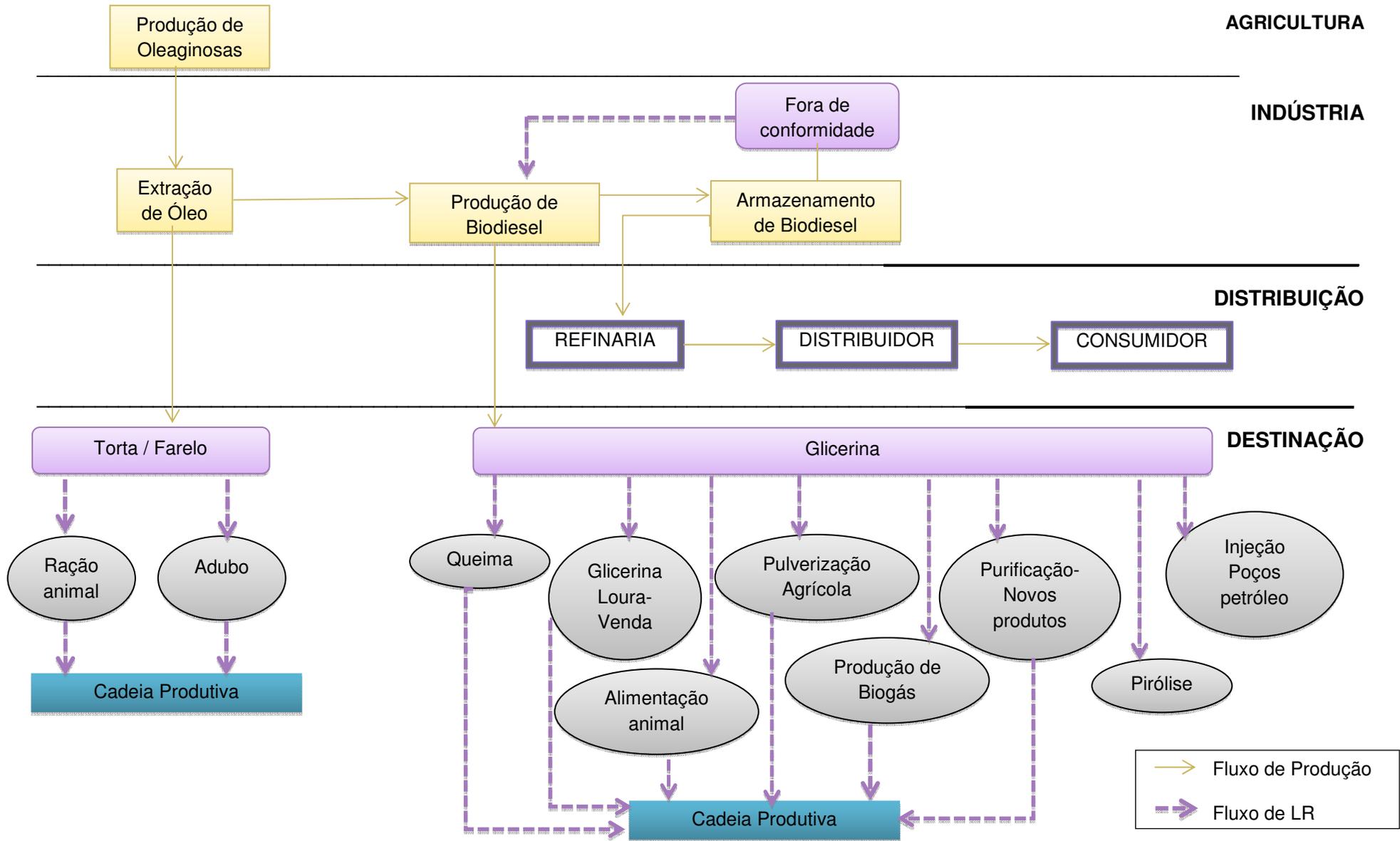
**Fluxograma 16 - Proposta de SLR para a glicerina – Indústria química**



A análise dos fluxos de logística reversa propostos nesta pesquisa indica a possibilidade de aproveitamento das tortas e da glicerina em áreas próximas às usinas, reduzindo os custos e os impactos ambientais decorrentes do transporte destes materiais.

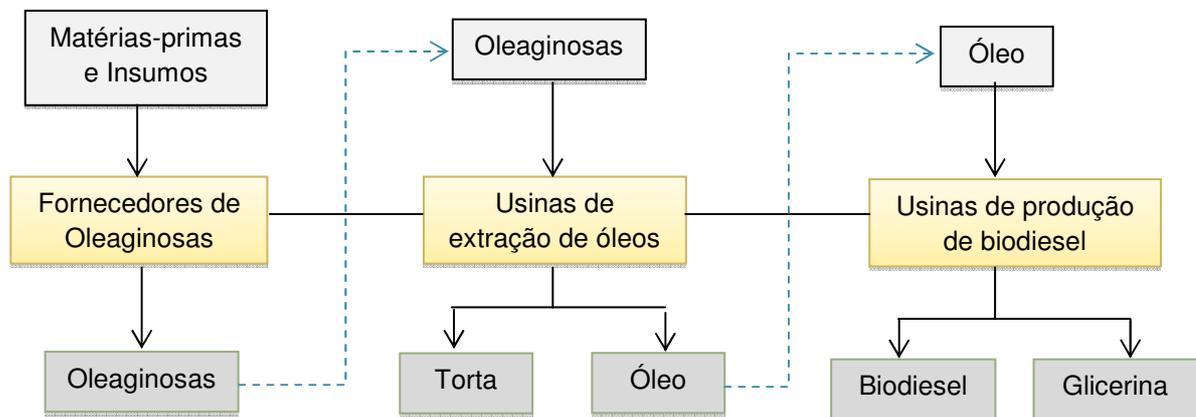
O Fluxograma 17, resultado de análise desta pesquisa, apresenta os fluxos de produção e os fluxos de reinserção de coprodutos e resíduos para cadeia do biodiesel, mais utilizados e estudados.

Fluxograma 17 – Fluxos de produção e de logística reversa da cadeia do biodiesel



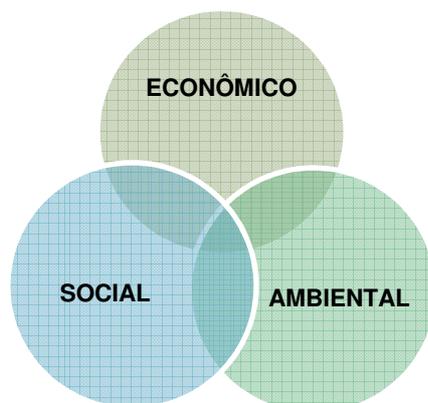
Segundo Fernández, Gil e Torre (2004), as empresas não atuam de maneira independente, mas formam parte de uma cadeia de suprimentos. Seu maior ou menor êxito dentro da cadeia dependerá da capacidade para integrar e coordenar sua atividade e as relações com os membros da cadeia. Assim, é importante conhecer quem são os integrantes da cadeia de suprimentos e de que tipo são os fornecedores, os produtores e os consumidores. A análise do Fluxograma 16 e das propostas de SLR apresentadas nesta pesquisa, mostra a possibilidade de fortalecimento das interações entre os fornecedores de oleaginosas, as usinas de extração de óleos vegetais e os produtores de biodiesel com as alternativas de aproveitamento da torta e da glicerina geradas nos processos de produção. O Fluxograma 18 mostra de forma simplificada a interação entre os membros desta cadeia com as principais entradas e saídas de cada elo da cadeia.

### Fluxograma 18 – Itens da cadeia de biodiesel



## 6.6 Avaliação de desempenho ambiental dos sistemas de logística reversa propostos na pesquisa

O atendimento ao tripé da sustentabilidade (Figura 31) que compreende os aspectos econômico, social e ambiental é de fundamental importância para o fortalecimento das cadeias produtivas.

**Figura 31 - Tripé da sustentabilidade**

Para tanto, foi considerada a importância da sustentabilidade da cadeia produtiva de biodiesel e definidos os critérios de acordo com interpretações da literatura pesquisada, que resultou na tabela adotada para ADA dos SLR propostos, mostrada de forma sintetizada na Tabela 33.

**Tabela 33 - Avaliação de desempenho ambiental dos SLR propostos**

<b>Dimensão</b>	<b>Critério</b>	<b>Indicador</b>
Ambiental	Legal	Atendimento ao PNPB Atendimento à PNRS Impacto da PNRS no PNPB
	Produção	Tratamento Destinação Tecnologia
Técnica	Recursos Humanos	Pessoal qualificado para atuar na gestão de resíduos
Econômica	Investimento	Custo do tratamento Custo da destinação
	Retorno	Valor de mercado resíduo Valor de mercado produto a partir de resíduo
	Logística reversa	Adoção da LR Reinserção no ciclo produtivo de biodiesel Reinserção em outro ciclo produtivo
Institucional	Responsabilidade Socioambiental	Política ambiental Ações desenvolvidas de responsabilidade social Ações desenvolvidas de responsabilidade ambiental Gestão Ambiental

O atendimento ao PNPB é um importante indicador que está relacionado com a sustentabilidade do programa, sendo considerado o valor agregado ao programa com a adoção da LR e o incentivo à agricultura familiar, implicando em valorização da cadeia do biodiesel.

O atendimento à PNRS considera a valoração do resíduo que está diretamente relacionada com a sustentabilidade da cadeia do biodiesel.

O impacto da PNRS no PNPB é proporcional à sustentabilidade econômica da cadeia que se traduzirá em respaldo ao PNPB com a transformação de resíduo em produto.

A complexidade e o custo do tratamento para a empresa, o aproveitamento e o interesse despertado pela forma de destinação, aliado ao custo e lucro da empresa, a complexidade e o custo da tecnologia são pontos analisados para valorar a magnitude e a significância dos indicadores de tratamento, destinação e tecnologia a serem adotadas no SLR.

O pessoal qualificado para atuar na gestão de resíduos/coprodutos dependerá da complexidade do tratamento o que implicará em menor ou maior custo para a empresa. Do mesmo modo, quanto menor o custo de tratamento e destinação de uma alternativa ambientalmente adequada, melhor será a competitividade da empresa.

No cálculo do custo da destinação dos resíduos deverão ser observados fatores como a distância para envio do resíduo. Nesta situação um SLR de ciclo fechado será mais interessante.

A valorização do resíduo ou do produto obtido a partir de um resíduo contribui para a sustentabilidade da cadeia produtiva. Assim como a adoção da logística reversa, que além do aspecto econômico, contribui positivamente do ponto de vista ambiental com reinserção do resíduo/coproduto na cadeia do biodiesel ou em outra cadeia produtiva.

A política ambiental da empresa deve valorizar a adoção de processos e tecnologias que estejam de acordo com a preservação do meio ambiente e a integridade física das pessoas estabelecendo um sistema de produção seguro e sustentável. É fundamental estabelecer o comprometimento dos colaboradores e a promoção de ações visando alcançar estes objetivos.

O SLR deve atender aos preceitos da política ambiental da empresa, assim como a importância socioambiental demonstrando o desenvolvimento da gestão ambiental.

Para definição e análise do desempenho ambiental dos fluxos de logística reversa propostos na presente pesquisa foram consideradas as alternativas mais adotadas pelas usinas e aquelas apontadas por diversas pesquisas e indicadas por diretores e outros colaboradores das usinas estudadas como potenciais para o mercado.

A absorção pelo mercado da torta como ração animal é facilitada pelo alto valor energético associado, e pela demanda existente principalmente em regiões semiáridas ou em períodos de estiagem de chuvas. Sendo esta alternativa mais recomendada. Exceto para a torta de mamona devido à necessidade de detoxicação. Entretanto, pesquisas neste sentido estão sendo desenvolvidas e posteriormente esta alternativa poderá vir a ser uma forma de aproveitamento viável. Quanto à produção de biogás, encontra-se ainda em fase de pesquisa.

As tabelas 34, 35 e 36 apresentam a ADA dos SLR propostos para as tortas de mamona, girassol e algodão e a glicerina utilizando como cenários de avaliação as alternativas de destinação. Os valores de magnitude e significância foram definidos em função dos critérios descritos na Tabela 15.

**Tabela 34 - Avaliação de Desempenho Ambiental dos SLR propostos para a Torta de Mamona**

CENÁRIOS		Indicador	ADUBO		RAÇÃO			BIOGÁS			
Dimensão	Critério		M	S	(M x S)	M	S	(M x S)	M	S	(M x S)
Ambiental	Legal	Atendimento ao PNPB	2	1	2	3	2	6	4	3	12
		Atendimento à PNRS	2	1	2	3	2	6	4	3	12
		Impacto da PNRS no PNPB	3	1	3	3	2	6	3	3	9
	Produção	Tratamento da Torta	1	3	3	3	-2	-6	4	-1	-4
		Destinação da Torta	1	1	1	2	2	4	3	3	9
		Tecnologia	2	1	2	3	2	6	3	3	9
Técnica	Recursos Humanos	Pessoal qualificado para atuar na gestão de resíduos	1	1	1	2	2	4	4	3	12
Econômica	Investimento	Custo do tratamento	1	3	3	3	-1	-3	4	-2	-8
		Custo da destinação	1	0	0	1	0	0	1	-1	-1
	Retorno	Valor de mercado resíduo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Valor de mercado produto a partir de resíduo	2	0	0	3	2	6	4	1	4
	Logística reversa	Adoção da LR	2	3	6	3	3	9	4	3	12
		Reinserção da Torta no ciclo produtivo de biodiesel	0	0	0	0	0	0	4	1	4
		Reinserção da Torta em outro ciclo produtivo	2	1	2	2	2	4	4	2	8
Institucional	Responsabilidade Socioambiental	Política ambiental	2	2	4	2	1	2	4	1	4
		Ações desenvolvidas de responsabilidade social	2	3	6	2	2	4	1	1	1
		Ações desenvolvidas de responsabilidade ambiental	2	2	4	1	1	1	4	2	8
		Gestão Ambiental	2	2	4	2	1	2	4	3	12
			<b>Total</b>		<b>43</b>	<b>Total</b>		<b>51</b>	<b>Total</b>		<b>103</b>

M = Magnitude

S = Significância

**Tabela 35- Avaliação de Desempenho Ambiental dos SLR propostos para as Tortas de Algodão e de girassol**

Dimensão	Critério	Indicador	ADUBO			RAÇÃO			BIOGÁS			
			M	S	(M x S)	M	S	(M x S)	M	S	(M x S)	
Ambiental	Legal	Atendimento ao PNPB	2	1	2	3	2	6	4	3	12	
		Atendimento à PNRS	2	1	2	3	2	6	3	3	9	
		Impacto da PNRS no PNPB	3	1	3	3	2	6	4	3	12	
	Produção	Tratamento da Torta	1	3	3	1	-2	-2	4	-1	-4	
		Destinação da Torta	2	3	6	2	2	4	2	3	6	
		Tecnologia	1	1	1	2	2	4	4	3	12	
Técnica	Recursos Humanos	Pessoal qualificado para atuar na gestão de resíduos	2	1	2	3	2	6	4	3	12	
Econômica	Investimento	Custo do tratamento	1	3	3	1	-1	-1	4	-1	-4	
		Custo da destinação	2	1	2	2	1	2	4	2	8	
	Retorno	Valor de mercado resíduo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Valor de mercado produto a partir de resíduo	2	1	2	2	2	4	4	3	12	
		Logística reversa	Adoção da LR	2	1	2	3	2	6	4	3	12
			Reinserção da Torta no ciclo produtivo de biodiesel	0	0	0	0	0	0	4	1	4
			Reinserção da Torta em outro ciclo produtivo	1	1	1	3	2	6	4	3	12
Institucional	Responsabilidade Socioambiental	Política ambiental	2	2	4	2	1	2	4	3	12	
		Ações desenvolvidas de responsabilidade social	2	3	6	2	2	4	1	1	1	
		Ações desenvolvidas de responsabilidade ambiental	2	2	4	1	1	1	4	2	8	
		Gestão Ambiental	2	2	4	2	1	2	4	3	12	
			<b>Total</b>		<b>47</b>	<b>Total</b>		<b>56</b>	<b>Total</b>		<b>136</b>	

M = Magnitude

S = Significância

A seguir são comentados os indicadores de desempenho que mais se destacaram entre as propostas de sistemas de logística reversa.

A utilização da torta de mamona para a produção de biogás destaca-se pela reinserção da torta no ciclo produtivo do biodiesel com aproveitamento do biogás e exigência de pessoal qualificado para o desenvolvimento da tecnologia.

No caso das tortas de algodão e de girassol o atendimento ao PNPB ocorre de modo mais acentuado na transformação da torta em ração ou biogás, pois são alternativas que agregam maior valor contribuindo mais para a sustentabilidade da cadeia produtiva, fortalecendo assim o programa nacional de uso e produção de biodiesel, principalmente com relação ao valor da ração, pois a tecnologia de produção de biogás ainda está em fase de pesquisa. O processo de tratamento da torta para produção de adubo é bastante simples e de baixo custo, entretanto o valor de mercado do adubo é muito inferior ao valor da ração. Vale ressaltar a maior probabilidade de reinserção de biogás em outros ciclos produtivos.

A transformação da torta em adubo ou biogás atenderá melhor ao compromisso estabelecido na política ambiental das empresas. Assim como a utilização como adubo na agricultura familiar, podendo ser uma referência da responsabilidade social corporativa. A tecnologia para obtenção de biogás a partir da torta de oleaginosas tem sido pesquisada em vários países com obtenção de resultados promissores (AMON *et al.*, 2006; BLASCHEK; EZEJI; SCHEFFRAN, 2010; DAUN; SILVA; RAMOS, 2011; INDIVERI *et al.*, 2011; SOUSA *et al.*, 2009). Este resultado confirma e contribui para o crescente interesse por pesquisas de produção de biogás a partir resíduos agroindustriais, e o domínio dessa tecnologia representará uma melhoria de desempenho da cadeia de biodiesel.

Na presente pesquisa a avaliação de desempenho do processo de transformação da torta em biogás superou a avaliação das alternativas de obtenção de ração ou adubo. Possivelmente, esse resultado tenha ocorrido, principalmente, por se tratar de uma proposta de SLR de ciclo fechado com a reinserção da torta na própria cadeia produtiva de biodiesel com possibilidade de aproveitamento energético do biogás no processo, contribuindo significativamente para a sustentabilidade do PNPB – uma das fragilidades dessa política.

No caso da glicerina destacam-se as seguintes alternativas:

- Descarte como resíduo para aproveitamento por outra indústria
- Transformação em glicerina loura por destilação
- Purificação para indústrias químicas
- Queima em caldeira
- Pulverização agrícola

**Tabela 36 - Avaliação de Desempenho Ambiental dos SLR propostos para a Glicerina**

CENÁRIOS-Destinação da Glicerina			RESÍDUO			DESTILAÇÃO			PURIFICAÇÃO			QUEIMA			PULVERIZAÇÃO		
Dimensão	Critério	indicador	M	S	(M x S)	M	S	(M x S)	M	S	(M x S)	M	S	(M x S)	M	S	(M x S)
Ambiental	Legal	Atendimento ao PNPB	0	-3	0	4	1	4	4	3	12	3	1	3	3	2	6
		Atendimento à PNRS	0	-3	0	4	1	4	4	3	12	3	1	3	3	2	6
	Produção	Impacto da PNRS no PNPB	0	-3	0	3	1	3	3	3	9	3	1	3	3	2	6
		Tratamento	0	-3	0	1	2	2	4	3	12	1	3	3	3	3	9
		Destinação	2	-3	-6	4	1	4	4	3	12	1	2	2	3	2	6
		Tecnologia	2	-1	-2	1	1	1	4	3	12	3	2	6	3	2	6
Técnica	Recursos Humanos	Pessoal qualificado para atuar na gestão de resíduos	2	2	4	2	3	6	4	3	13	3	2	6	3	3	9
Econômica	Investimento	Custo do tratamento	0	-3	0	1	1	1	4	3	12	3	2	6	3	2	6
		Custo da destinação	1	-3	-3	4	3	12	4	3	12	1	1	1	3	3	9
	Retorno	Valor de mercado resíduo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
		Valor de mercado produto a partir de resíduo	0	0	0	4	1	4	4	3	12	1	1	1	3	2	6
	Logística reversa	Adoção da LR	0	0	0	4	2	8	4	3	12	1	1	1	3	2	6
		Reinserção da glicerina no ciclo produtivo de biodiesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	3	2	6
		Reinserção da glicerina em outro ciclo produtivo	0	0	0	4	2	8	4	3	12	1	1	1	3	2	6
Institucional	Responsabilidade Socioambiental	Política ambiental	0	-3	0	1	1	1	4	1	4	3	3	9	3	2	6
		Ações desenvolvidas de responsabilidade social	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Ações desenvolvidas de responsabilidade ambiental	1	-3	-3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2
		Gestão Ambiental	1	-3	-3	1	1	1	4	2	8	2	3	6	3	2	6
			<b>Total</b>		<b>-12</b>	<b>Total</b>		<b>60</b>	<b>Total</b>		<b>154</b>	<b>Total</b>		<b>56</b>	<b>Total</b>		<b>101</b>

M = Magnitude      S = Significância

Na definição da melhor forma de aproveitamento da glicerina deve ser verificada a demanda do mercado comprador, considerando ainda o custo do processo de purificação e preço de venda da glicerina bruta, loura e purificada e as vantagens das alternativas de queima e de uso da glicerina na pulverização agrícola, além de outras alternativas disponíveis.

A glicerina bruta apresenta baixo valor de venda, entretanto pode ser utilizada para queima, produção de biogás, fonte alimentar energética e na pulverização agrícola.

A destinação da glicerina como rejeito implica em impactos ambientais e econômicos negativos, considerando suas características químicas que exigem processos de tratamento e custo de destinação como resíduo. Vale ressaltar ainda que as alternativas na avaliação de desempenho para o aproveitamento da glicerina resultam em impactos positivos na política ambiental da empresa e nos aspectos econômicos com agregação de valor ao coproduto, também contribuindo para a sustentabilidade da produção de biodiesel.

A glicerina loura é em geral adquirida por indústrias que a purificam para venda a outras indústrias químicas.

A purificação da glicerina bruta para utilização por indústrias farmacêuticas e de cosméticos implica em altos custos associados (GLACON CHEMIE, 2011 *apud* INDIVERI *et al.*, 2011). Contudo, pode resultar em maior valor agregado e pesquisas para viabilizar o processo de purificação estão sendo desenvolvidas.

Com relação à utilização da glicerina na pulverização agrícola, segundo Maciel *et al.* (2008), estudos estão sendo conduzidos para avaliar a influencia desse adjuvante, na eficiência biológica dos defensivos no controle de insetos, doenças e plantas daninhas em culturas econômicas. A glicerina tem se apresentado como uma alternativa promissora para substituir com sucesso os óleos vegetais atualmente utilizados como adjuvante, principalmente em função do baixo preço e da abundância do produto, uma vez que é um subproduto do biodiesel.

A purificação da glicerina destaca-se como a alternativa mais promissora em relação a maior parte dos indicadores, principalmente em virtude da reinserção da glicerina em outros ciclos produtivos com maior retorno financeiro, contribuindo para a sustentabilidade da cadeia e fortalecendo o PNPB. A adoção da logística reversa demonstra a importância da PNRS. O desenvolvimento de pesquisas de tecnologias de tratamento, para obtenção de glicerina de maior pureza a partir da glicerina bruta, busca viabilizar o processo, exigindo também profissionais mais qualificados.

Considerando os impactos negativos da glicerina bruta no meio ambiente, o custo de destinação deste resíduo e as alternativas apresentadas para aproveitamento da glicerina

com impactos positivos na política ambiental da empresa e nos aspectos econômicos com agregação de valor à glicerina, verifica-se a viabilidade de aproveitamento da glicerina.

A Tabela 37 mostra os resultados da avaliação de desempenho encontrados para os SLR propostos para a torta e a glicerina.

**Tabela 37 - Avaliação de desempenho ambiental (ADA) dos SLR propostos para a torta e a glicerina**

COPRODUTO/RESÍDUO	DESTINAÇÃO	ADA
Torta de Mamona	Adubação	43
	Ração	51
	Produção de Biogás	103
Torta de Algodão/Girassol	Adubo	47
	Ração	56
	Produção de Biogás	136
Glicerina	Resíduo	-12
	Destilação	60
	Purificação	154
	Queima	56
	Pulverização	101

Analisando os resultados de desempenho encontrados verifica-se para as tortas um excelente potencial para a produção de biogás, ainda em fase de pesquisa. O uso das tortas na adubação e como ração apresentam resultados finais similares, equilibrados devido à diferença mais acentuada no maior valor da torta como ração e de maior importância ambiental para sua utilização como adubo. No caso da torta de mamona ainda estão sendo desenvolvidas pesquisas para viabilizar a detoxicação da torta para utilização como ração que apresenta maior valor agregado.

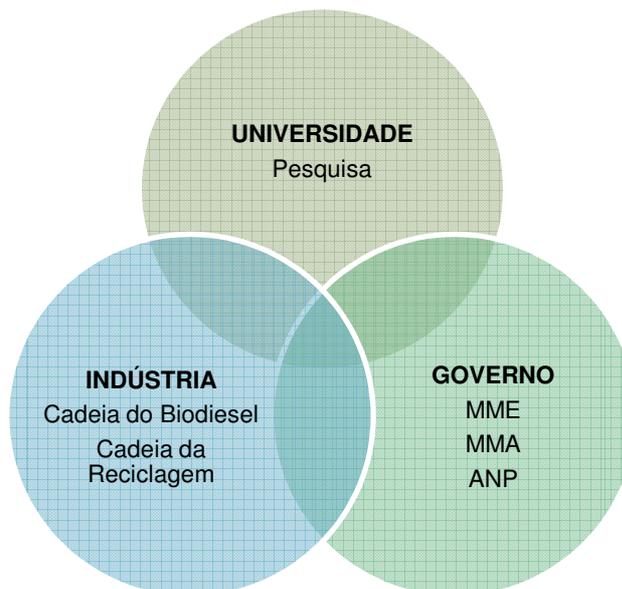
Com relação à glicerina destaca-se a sua purificação como a alternativa mais promissora, principalmente em virtude da transformação pela indústria química em produtos de maior valor agregado contribuindo para o fortalecimento da cadeia. A avaliação de desempenho também demonstra o excelente potencial da glicerina como coproduto da cadeia de biodiesel, devendo ser evitado o seu destino como resíduo do processo.

A avaliação de desempenho ambiental (ADA) permite uma avaliação qualitativa do desempenho de cada um dos cenários identificados, sendo importante a elaboração de estudos mais específicos sobre estes cenários, com a análise mais aprofundada da viabilidade econômica.

Os valores apresentados na Tabela 40 podem ser alterados em função do tipo de interação estabelecida entre esferas institucionais importantes para o desenvolvimento de um país, como universidade, governo e indústria, com base na formação, consolidação e aplicação do conhecimento. A interação entre estas três esferas institucionais representa uma inovação estratégica para alcance de interesses comuns.

Segundo Zhou (2011), uma hélice tripla deve ser construída de forma a alcançar o desenvolvimento sustentável, de modo que o crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental possam ser mutuamente promovidos, não ficando em conflito. A abordagem do crescimento sustentável permite criar um quadro econômico que abre oportunidades para maximizar a eco-eficiência, como transferência de conhecimentos e tecnologias para processos eco-eficientes de produção e a criação de novas oportunidades de emprego. A Figura 33 mostra a aplicação deste conceito na cadeia produtiva de biodiesel.

**Figura 33 – Modelo da tripla hélice para a cadeia produtiva de biodiesel**



O governo brasileiro representado pelo MME, MMA e ANP, regulamenta e fomenta o uso e produção de biodiesel no país, a universidade desenvolve pesquisa visando uma melhor eficiência e eficácia do processo, e as indústrias realizam a produção e desenvolvem práticas de gestão ambiental. Entretanto é possível verificar, a necessidade de maior interação entre estas esferas conforme proposto pelo modelo da tripla hélice. No caso, o Governo poderia atuar com políticas públicas visando à implantação da LR no segmento de biodiesel, incentivando e valorizando a pesquisa desenvolvida pelas universidades em parceria com as indústrias.

## 7 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

### 7.1 Conclusões

A análise da possível configuração da cadeia de produção de biodiesel permitiu elaborar um registro das práticas e operações realizadas nas usinas, o que possibilitou elaborar propostas de sistemas de logística reversa para a cadeia de biodiesel que poderão ser utilizadas como referência para outras cadeias produtivas.

A metodologia adotada de levantamento de alternativas de destinação de coprodutos e resíduos, apresentadas na literatura técnica e verificadas nas indústrias estudadas, aliada às discussões com pesquisadores do tema e técnicos das empresas, com análise de aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais, foi fundamental para propor os sistemas de logística reversa. Esta metodologia mostrou-se adequada para a definição de sistemas de logística reversa para outros segmentos industriais.

É de fundamental importância a análise da gestão de resíduos e coprodutos resultantes de um processo produtivo e a reinserção destes por meio da logística reversa para garantir a sustentabilidade, fator de competitividade mundial. Vale ressaltar no caso da cadeia produtiva de biodiesel o histórico de contribuições do Brasil para a produção deste biocombustível, potencialidade brasileira com grande potencial competitivo.

A LR é um instrumento de desenvolvimento econômico, ambiental e social, que promove ações para a garantia do fluxo de retorno de coprodutos e resíduos gerados para a própria cadeia produtiva do gerador, ou para cadeias produtivas de outros geradores, minimizando a geração de resíduos e propiciando redução de custos (diretos e indiretos) para as empresas, resultando em melhoria da imagem da empresa e possibilitando aumento da capacidade de atingir mercados mais exigentes, além da geração de oportunidades de incremento de renda, de forma organizada e articulada, para grupos sociais específicos. A percepção de benefícios da implementação de sistemas de logística reversa deve ser enfatizada, pois a percepção dos problemas e alternativas de soluções são aspectos que contribuem para a adequada gestão dos resíduos.

A avaliação de desempenho dos SLR propostos demonstrou para as tortas resultantes da extração de óleo, um excelente potencial para a produção de biogás, ainda em fase de pesquisa. O uso das tortas na adubação e como ração apresentam resultados finais similares, equilibrados devido à diferença mais acentuada no maior valor da torta como ração e de maior importância ambiental para sua utilização como adubo.

Com relação à glicerina destaca-se a sua purificação como a alternativa mais promissora, principalmente em virtude da transformação pela indústria química em produtos de maior valor agregado contribuindo para o fortalecimento da cadeia.

Destaca-se como ineditismo deste estudo a elaboração de sistema de logística reversa para a cadeia produtiva de biodiesel e a proposta de modelo de avaliação de desempenho ambiental utilizado para validação destes sistemas.

O aumento da produção mundial de biodiesel tem conduzido à busca de alternativas para aproveitamento da elevada quantidade de resíduos e coprodutos gerada. A adoção da LR na cadeia produtiva do biodiesel pode demonstrar a viabilidade dos SLR para outras cadeias produtivas, além de estar de acordo com os princípios da PNRS e do PNPB.

A cooperação interinstitucional entre as diferentes esferas de governo, indústria e universidade é fundamental para o fortalecimento da cadeia produtiva.

## **7.2 Recomendações e Sugestões para novas pesquisas**

A lei federal de resíduos sólidos instituiu a logística reversa para determinados segmentos, sendo importante que seja ampliado para outros setores, como o da produção de biodiesel, pois promoverá a adoção deste importante instrumento para a gestão dos resíduos e coprodutos da cadeia produtiva de biodiesel, considerando que os marcos regulatórios são essenciais para a viabilização das políticas públicas. Vale ressaltar que as leis que tratam da cadeia de biodiesel não abordam a questão ambiental.

Visando à sustentabilidade da cadeia produtiva de biodiesel verificou-se a necessidade de inclusão na PNPB de capítulo que trate da questão ambiental no que se refere à gestão dos resíduos e coprodutos da produção de biodiesel.

Como estudos futuros, sugere-se a atuação de uma equipe multidisciplinar e alinhada com o conceito de inovação e desenvolvimento sustentável, que propicie realizar a avaliação da viabilidade econômica dos sistemas de logística reversa, propostos na presente pesquisa, visando à sustentabilidade da cadeia produtiva de biodiesel. Nos estudos a serem desenvolvidos é importante expandir a pesquisa para as outras regiões do Brasil, e também abranger o setor agrícola que integra a produção de biodiesel e consiste em importante pilar da economia nacional.

Recomenda-se ampliar o escopo de aplicação da metodologia adotada na presente pesquisa, para a análise da gestão de resíduos e coprodutos e proposta de SLR em outras cadeias produtivas, principalmente aquelas destacadas na PNRS como resíduos especiais.

Considerando que os incentivos fiscais são um dos instrumentos da política nacional de resíduos sólidos, sugere-se a avaliação de medidas de incentivos fiscais, com redução ou isenção de tributação de coprodutos, subprodutos e matéria-prima secundária às indústrias que desenvolvem a logística reversa.

## REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, S., FERNANDO, S., HARYANTO, A. Production of hydrogen by steam reforming of glycerin over alumina-supported metal catalysts. Catalysis Today 129, 355–364. 2007.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Atlas de energia elétrica no Brasil: Biomassa. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/apliccoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/apliccoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2012.
- ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. F. Ecologia industrial: Conceitos, ferramentas e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- ALMEIDA, J. R. de. Gestão Ambiental para o Desenvolvimento Sustentável. Capítulo 4, p. 345-411. 2. ed. Rio de Janeiro: Thex, 2009.
- AMON, Th.; AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; BODIROZA, V.; PÖTSCH, E.; ZOLLITSCH, W. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerine supplementation. International Congress Series 1293. 217– 220. 2006.
- ARGENTINA, Ley de Biocombustibles 26.093. 2006. Disponível em <http://www.argentinarenovables.org/leyes.php>. Acesso em: 14 mar. 2012.
- ARGENTINA. Secretaria de Energia. Matriz energética. Disponível em: <http://energia3.mecon.gov.ar>, Acesso em: 20 out. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA), NBR ISO 14031, ABNT, Rio de Janeiro, 2004a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Sistema de Gestão Ambiental, NBR ISO 14000, ABNT, Rio de Janeiro, 2004b.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS (ANP). Disponível em: [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br). Acesso em 25 jul. 2011.
- D`AUREA, A. P., EZEQUIEL, J. M. B., FAVARO, V. R. B., VAN CLEEF, E. H. C., SANCANARI, J. B. D., HOMEM JUNIOR, A. C., VARGAS, G.; CAVALHEIRO, L. G. Características de carcaça e não componentes de carcaça de novilhas terminadas em confinamento recebendo glicerina bruta na dieta. In: III CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Brasília-DF-Brasil, 2009.

AYOMOH, M. K. O.; OKE, S. A.; ADEDEJI, W. O.; CHARLES-OWABA, O. E. An approach to tackling the environmental and health impacts of municipal solid waste disposal in developing countries. J Environ Manage: 88:108-14. 2008.

BAHIA. Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado da Bahia (SECTI). Rede Baiana de Biocombustíveis. Informativo nº 252 de junho de 2010.

BARBA-GUTIÉRREZ, ADENSO-DÍAZ B, HOPP M. An analysis of some environmental consequences of European electrical and electronic waste regulation. Resour Conserv Recycl; 52(3):481–95. 2008.

BARTSCH, A. S. O mapa estratégico da indústria aplicado ao biodiesel no Brasil. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 294p. 2008.

BATISTA, F. Brasil não tem destino certo para glicerina gerada por biodiesel. Gazeta Mercantil, 2007. Disponível em [www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel](http://www.biodieselbr.com/noticias/biodiesel). Acesso em: 05 jun.2007.

BELLEN, H. M. van. Indicadores de desenvolvimento sustentável. In: \_\_\_\_\_. Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2006.

BENDOTTI, G.; ADÃO, D. C.; FIGEL, I. C.; ZAGONEL, G. F.; SUCHECK, E. M.; VECHIATTO, W. W. D.; COSTA, B. J. Microrremediação do efluente gerado na produção de biodiesel. In: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL. Salvador-BA. 2012.

BENDOTTI, G.; ZAGONEL, G. F.; ADÃO, D. C.; VECHIATTO, W. W. D.; SUCHEK, E. M.; COSTA, B. J. Caracterização físico-química do efluente bruto gerado na produção de biodiesel. In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR, 2011.

BENSTSEN, N. S.; FEBLY, C. Technical potentials of biomass for energy services from current agriculture and forestry in selected Countries in Europe, the Americas and Asia. Forest & Landscape Working Papers. Denmark, Frederiksberg. p. 9. 2010.

BERALDO, A. F. de C. A. Desmitificando a estatística. Bol. Cent. Biol. Juiz de Fora. v. 26. n. 1/2, p. 77-84, jan./dez. 2007

BIODIESEL: Acima de todas as expectativas. Revista Análise. v. 27. pp. 70-72. 2011.

BIODIESEL. Selo combustível social. Disponível em: [www.biodiesel.gov.br/](http://www.biodiesel.gov.br/). Acesso em: 12 set. 2010.

BIODIESELBR. Novos usos para os coprodutos do biodiesel, 2007, Disponível em: <http://www.biodieselbr.com>. Acesso em: 26 fev. 2008.

BIODIESELBR. Usinas de Biodiesel. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com./biodiesel/fabricas/usinas-biodiesel.htm>. Acesso em 23 jul. 2011.

BIODIESEL CRIMEA. Aplicaciones de la glicerina. Disponível em [www.biodiesel-ua.com](http://www.biodiesel-ua.com), Acesso em: 01 out. 2010.

BLASCHEK, H. P.; EZEJI, T. C.; SCHEFFRAN, J. S. Biofuels from agricultural wastes and byproducts. Hardcover: Wiley-Blackwell, 2010.

BORGES, M. C. Protótipo de um sistema integrado de apoio à decisão sobre investimentos industriais e agrícolas na cadeia produtiva do biodiesel. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Viçosa. 2008.

BORSOI, A.; SANTOS, R. F.; ANDRADE, M. A. de; SECCO, D.; SOUZA, S. M. N. de. Análise econômica da produção de biodiesel pela agricultura familiar no Município de Corbélia, Oeste do Paraná. In: 5º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR, 2010.

BOSDOGIANNI, A. Municipal solid waste management in Greece – legislation – implementation problems. In: ELEVENTH INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM. Sardinia. 2007.

BRAGA, R. Instrumentos para a gestão ambiental e de recursos hídricos. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2009.

BRAGA, T. M. Índice de sustentabilidade municipal: o desafio de mensurar. Nova Economia. Belo Horizonte 14(3)-11-33-setembro-dezembro de 2004.

BRASIL, Decreto N° 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010a.

BRASIL. Lei N° 6.938 de 31 de Agosto de 1981. Política Nacional de Meio Ambiente. 1981.

BRASIL. Lei N° 7.802 de 11 de Julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, produção, embalagem, transporte, armazenamento, comercialização, utilização, destino final dos resíduos e embalagens de agrotóxicos, dentre outras providências. 1989.

BRASIL. Lei N° 9.795 de 27 de Abril de 1999. Política Nacional de Educação Ambiental – PNEA. 1999.

BRASIL, Lei Nº 9.974 de 06 de Junho de 2000. Dispõe sobre a pesquisa, produção, embalagem, transporte, armazenamento, comercialização, utilização, destino final dos resíduos e embalagens de agrotóxicos, dentre outras providências. 2000.

BRASIL. Lei Nº 11.097 de 13 de Janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. 2005.

BRASIL. Lei Nº 11.445 de 05 de Janeiro de 2007. Política Federal de Saneamento Básico. 2007.

BRASIL. Lei Nº 12.305 de 02 de Agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Plano Decenal de Expansão de Energia 2019. Brasília: MME/EPE, 2010c.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia (MME). Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. Departamento de Combustíveis Renováveis. Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis. ed. 40, abr. 2011.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia (MME). Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis. Departamento de Combustíveis Renováveis. Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis. ed. 48, jan. 2012.

CALASANS, E. B. Avaliação do desempenho ambiental com aplicação da manutenção autônoma: Estudo de caso sobre ganhos ambientais. Monografia (Especialização). UFBA. Salvador. 2005.

CAMPOS, L. de S.; MELO, D. A. de; MEURER, S. A. A importância dos indicadores de desempenho ambiental nos sistemas de gestão ambiental (SGA). Curitiba, PR, 2007.

CARDOSO, M. G.; FRAGA, A. C.; C. NETO, P.; ANDRADE, M. A.; MALLET, A. C. T.; SILVA, L. F.; ANDRADE, J.; GUIMARÃES, P. L. Perfil fitoquímico do extrato etanólico das cascas dos frutos de mamona (*Ricinus communis* L.). In: III CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Brasília-DF-Brasil, 2009.

CARMINES E. L., GAWORSKI C. L., Toxicological evaluation of glycerin as a cigarette ingredient. Food and Chemical Toxicology, 43(10), 1521 -1539, 2005.

CARVALHO, R. M. C. de O. Avaliação dos perímetros de irrigação na perspectiva da sustentabilidade da agricultura familiar no semiárido Pernambucano. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2009.

CEARÁ. Decreto Nº 26.604, de 16 de Maio de 2002. Regulamentação da Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2002.

CEARÁ. Lei Nº 12.944, de 27 de Setembro de 1999. Dispõe sobre o descarte de pilhas de até 9 (nove) volts, de baterias de telefone celular e de artefatos que contenham metais pesados. 1999.

CEARÁ. Lei Nº 13.103 de 24 de Janeiro de 2001. Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2001.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. (CGEE). Química verde no Brasil: 2010-2030 - Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

CESAR, F., SACOMANO NETO, M. Logística Reversa Integrada. In: XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Foz do Iguaçu-PR. 2007.

CESAR, P. O biodiesel. 2010. Disponível em: <http://www.profpc.com.br/biodiesel.htm>  
Acesso em: 1 mai. 2012.

CHAPPIN, M. M. H.; VERMEULEN, W. J. V.; MEEUS, M. T. H.; HEKKERT, M. P. Enhancing our understanding of the role of environmental policy in environmental innovation: adoption explained by the accumulation of policy instruments and agent-based factors. Environ. Sci. Policy. 12, 934 – 947. 2009.

CHAVES, G. L. D.; MARTINS, R. S.; ROCHA JR., W. F.; URIBE-OPAZO, M. A. Diagnóstico da logística reversa na cadeia de suprimentos de alimentos processados no Oeste Paranaense. In: XLIII CONGRESSO DA SOBER. 2005.

CHENG, Y-H.; LEE, F. Outsourcing reverse logistics of high-tech manufacturing firms by using a systematic decision-making approach: TFT-LCD sector in Taiwan. Industrial Marketing Management. Oct 2010, Volume: 39 Issue: 7. 2010.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

COELHO, L. D. N.; OLIVEIRA, A. de S.; ALVES, A. K. de O.; BARBOSA, R. G. S.; FALLA, M. del P. H. Produção de biolubrificantes. In: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL. Salvador-BA. 2012.

COLERT-HUG, A.; WILLIAM-HUG, J. Challenges and opportunities for evaluating environmental education programs. Evaluation and Program Planning. Volume 33, Issue 2, May 2010, p. 159-164. 2010.

COLLARES, D. G. Torta do pinhão manso detoxificada pode ser opção para ração animal. 2009. Disponível em <http://www.embrapa.gov.br> Acesso em: 01 dez. 2012.

COLOMBIA. Ley 693 de septiembre de 2001 sobre alcoholes carburantes, 2001. Disponível em <http://www.argentinarenovables.org/leyes.php> Acesso em:14 mar. 2012

CONSELHO DE LOGÍSTICA REVERSA DO BRASIL (CLRB), Reciclagem: Modelo da Alemanha se espalha pelo mundo. Publicado em Valor Econômico em 23.02.2011. Disponível em <http://www.clrb.com.br/ns/noticias>. Acesso em: 21 maio 2012.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução Nº 257, de 30 de junho de 1999.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução Nº 301. 2002.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução Nº 357. 2005.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução Nº 401. 2008.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução Nº. 416, 2009.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução Nº. 430, 2011.

CORDOBA, A. Y. M. Estudo da combustão direta da glicerina bruta e loura como alternativa de aproveitamento energético sustentável. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2011.

CORTEZ, L. A. B. Biomassa para energia. Campinas (SP), Brasil: Unicamp. p. 19 e 254. 2008.

COSTANTINO C.; FALCITELLI, F.; FEMIA, A.; TUDINI, A. Integrated environmental and economic accounting in Italy. Workshop Accounting Frameworks to Measure Sustainable Development. Paris, 2003.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L. RAPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. Química Nova, v. 32, n. 3, 776-792, 2009.

DALL'AGNOL, R.; ZAGONEL, G. F.; ADÃO, D. C.; ZAMORA, P. P.; VECHIATTO, W. W. D.; SUCHEK, E. M.; COSTA, B. J. Remediação de efluentes do processo de produção de biodiesel utilizando processos oxidativos avançados. In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR, 2011.

DAUN, L. G.; SILVA, V. O.; RAMOS, R. A. V.; Avaliação do uso do glicerol resultante da produção de biodiesel como co-substrato em biodigestores para a geração de biogás. In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR, 2011.

DAVIS, G. Formulating an effective higher education curriculum for the Australian waste management sector. Waste Management, v. 28, I 10, 2008, p. 1868 - 1875. 2008.

DEKKER, R.; BRITO, M. P. de. A framework for reverse logistics. In: DEKKER, R.; FLEISCHMANN, M.; INDERFURTH, K.; WASSEHNOVE, L. N. Van (Editors). Reverse Logistics – Quantitative models for closed-loop supply chains. Ed. Springer. 2010.

DEMIRBAS, A. Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines. Springer-Verlag London Limited. 2008.

DEMIRBAS, A.; OZTURK, T.; DEMIRBAS, M. F. Recovery of energy and chemicals from carbonaceous materials. Energy Sources Part A 28:1473–82. 2006.

DRUCKER, P. The effective executive. HarperCollins Publishers, 1993.

DRUMMOND, A. R. F.; GAZINEU, M. H. P.; ALMEIDA, L.; MAIOR, A. S. Produção e valor energético da torta de mamona do agreste Pernambucano. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA. Aracaju-SE, 2006.

ELKINGT, J., Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. CapsTe, Oxford. 1997.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Oleaginosas. Disponível em [www.cnpso.embrapa.br](http://www.cnpso.embrapa.br). Acesso em: 6 out. 2010.

ENCARNAÇÃO, A. P. G. Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação - Uma avaliação econômica. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008.

ESPÍRITO SANTO. Lei Nº 9.264, de 15 de Julho de 2009. Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2009.

ESTIVAL, K. G. S. Estudo do Canal Reverso de Pós-Consumo da Embalagem de Vidro em Recife/PE. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Pernambuco. 2004.

FACCINI, C. S. Uso de adsorventes na purificação de biodiesel de óleo de soja. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

FALCÃO, K. F. L. M. Biodiesel e agricultura familiar no Agreste Pernambucano. In: 8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL. Salvador-BA. 2012.

FERNANDES, D. M.; SUZUKI, A. B. P.; VIEIRA, A. C.; ARAÚJO, I. R. C.; COSTANZI, R. N.; FARIA, R. Q. P.; EDWIGES, T. Biomassa residual utilizada como fonte alternativa de energia. In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR, 2011.

FERNANDES, J.; SILVA, S. Acroleína. 2005. Disponível em: <http://www.ff.up.pt/toxicologia/monografias/ano0506/acroleina/index.htm>. Acesso em: 25 maio 2012.

FERNANDES, R. S. Percepção ambiental dos alunos da Faculdade Brasileira – UNIVIX. In 5º SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE. Vitória – ES. 2003.

FERNÁNDEZ, A. D.; GIL, M. J. A.; TORRE, P. G. Logística inversa y medio ambiente – Aspectos estratégicos y operativos. Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España, 2004.

FERNÁNDEZ, Y; ARENILLAS, A.; DÍEZ, M.A.; PIS, J.J.; MENÉNDEZ, J.A. Pyrolysis of glycerol over activated carbons for syngas production. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 84, Issue 2, March 2009, p. 145-150. 2009.

FIGUEIREDO, M. C. B de; ROSA, M. de F.; MATTOS, A. L. A.; MOTA, S.; VIEIRA, V. de P. P. B. Método de Avaliação do Desempenho Ambiental de Inovações Tecnológicas Agroindustriais: Ambitec-Ciclo de Vida. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 64 p. 2009.

FOUNTOULAKIS, M. S.; DRAKOPOULOU, S.; TERZAKIS, S.; GEORGAKI, E.; MANIOS, T. Potential for methane production from typical Mediterranean agro-industrial by-products. Biomass Bioenergy 32, 155–161. 2008.

FURTADO, J. S. Indicadores de sustentabilidade e Governança. Revista Intertox de Toxicologia. Risco Ambiental e Sociedade. v.2, n.1, fev., p.121-188. 2009.

FRÉ, C. N. Obtenção de ácidos graxos a partir da acidulação de borra de neutralização de óleo de soja. Dissertação (Mestrado em engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. 2009.

GALBIERI, R.; SIMÕES, A. F. Situação atual e perspectivas futuras dos biocombustíveis para uso no setor de transportes Brasileiro e mundial. In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR, 2011.

GLACON CHEMIE. Glicerina. Disponível em: [http://www.glaconchemie.de/sub\\_glycerin.htm](http://www.glaconchemie.de/sub_glycerin.htm). Acesso em: 17 maio 2011.

GRANGEIRO, R. V. T. Caracterização da água de lavagem proveniente da purificação do biodiesel. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Paraíba – UFPB. 2009.

GOES, T.; ARAÚJO, M. de; MARRA, R. Biodiesel e sua Sustentabilidade. 2010. Disponível em: [http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2010/Trabalho\\_biodiesel](http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2010/Trabalho_biodiesel). Acesso em: 14 mar. 2012.

GOIÁS. Lei Nº 14.248 de 29 de Julho de 2002. Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2002.

GOLD, S.; SEURING, S. Supply chain and logistics issues of bio-energy production. Journal of Cleaner Production. Vol. 19, Issue 1, Pages 32–42, January 2011.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento. 3. ed. rev. Ampl. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2008.

GONTIJO, T. S.; PEREZ, R.; SARAIVA, M. B.; AZIZ, G. S. J.; FERNANDES A. E. A volatilidade nos preços do girassol (1980:2008). In: III CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Brasília, 2009.

GOULART, M. R.; SILVEIRA, C. B.; CAMPOS, M. L.; ALMEIDA, J. A.; MANFREDI-COIMBRA, S.; OLIVEIRA, A. F. Metodologias para reutilização do resíduo de terra diatomácea, proveniente da filtração e clarificação da cerveja. Quim. Nova, Vol. 34, No. 4, S1, 2011.

GREENPEACE. 2004. Energia positiva para o Brasil: Potencial de geração de energia renovável a partir de subprodutos do agronegócio brasileiro (biomassa). Disponível em: [www.greenpeace.org.br](http://www.greenpeace.org.br). Acesso em: 5 dez de 2010.

GUARNIERI, P. Logística reversa: Em busca do equilíbrio econômico e ambiental. 307p. Recife: Ed. Clube de Autores. 2011

GUTIERREZ-MARTIN, F.; HÜTTENHAIN, S.H. Environmental education: new paradigms and engineering syllabus. Journal of Cleaner Production. 11, 247–25. 2003.

HALLDÓRSSON, Á.; KOTZAB, H.; SKJOTT-LARSEN, T. Supply chain management on the crossroad to sustainability: a blessing or a curse? Logistics Research 1 (2), 83-94. 2009.

HAMEL, G.; PRAHALAD, C. K. Competindo pelo futuro: estratégias inovadoras para obter o controle do seu setor e criar mercados de amanhã. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

HARTMAN, L. ESTEVES, W. Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciências e Tecnologia: São Paulo, 1989.

HOMBURG, C.; WORKMAN, J. P.; JENSEN, O. Fundamental changes in marketing organization: The movement toward a customer-focused organizational structure. Journal of the academy of marketing science. 28, 4, 459-478. 2000.

HONORATO, C. A.; SILVA, C. J.; BOTTEGA, S. P.; PIMENTA, F. B.; PRESTES, S. Caracterização bromatológica da semente e da torta de diferentes espécies oleaginosas. In: III CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Brasília-DF-Brasil, 2009.

IBAMA. Metodologia PEIR. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/rqma/metodologia-pressao-estado-impacto-resposta-peir>. Acesso em 11 set.2012.

IBGE. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável. IBGE. 2004. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) Acesso em: 05 fev. 2005.

INDIVERI, M. E., PÉREZ, P. S., Van STRALEN, N., OLIVA A., NÚÑEZ Mc LEOD, J.; LLAMAS S. Utilización de glicerina residual de producción de biodiesel como cosubstrato para la producción de biogás. CUARTO CONGRESO NACIONAL – TERCER CONGRESO IBEROAMERICANO HIDRÓGENO Y FUENTES SUSTENTABLES DE ENERGÍA – HYFUSEN. 2011.

ITO, T; NAKASHIMADA, Y; SENBA, K; MATSUI T, NISHIO, N. Hydrogen and ethanol production from glycerol-containing wastes discharged after biodiesel manufacturing process. J Biosci Bioeng. 100:260–5. 2005.

JORDAN, R. A.; PEREIRA, G.; BISCARO, G. A. Balanco energético da cadeia de produção de óleo e torta para duas variedades de girassol irrigado. In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba/PR. Anais, 2011.

KAERCHER, J. A. Produção de biodiesel em escala piloto e avaliação dos impactos ambientais. Dissertação (Mestrado em Tecnologia ambiental) –UNISC, 68 p., 2009.

KALTNER, F. O Biodiesel no Brasil. In: WORKSHOP CONVERSATION INTERNATIONAL, BNDES/FBDS Artigos temáticos: A Expansão da Agroenergia e seus Impactos sobre os ecossistemas Brasileiros, Rio de Janeiro 26-27 de março de 2007, p. 140-166. 2007.

KIELING, A. G.; FERNANDES, I. J.; AGOSTI, A.; MORAES, C. A. M.; VACCARO, G. L. R. Mitigação do impacto ambiental da produção de etanol através da utilização dos seus resíduos para produção de alimento animal. In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba/PR. Anais, 2011.

KNOTHE, G.; VAN GERPEN, J.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. Manual de biodiesel, São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

KOLESÁROVÁ, N.; HUTŇAN, M.; ŠPALKOVÁ, V.; LAZOR, M. Biodiesel by-products as potential substrates for biogas production. In: 37th INTERNATIONAL CONFERENCE OF SLOVAK SOCIETY OF CHEMICAL ENGINEERING. Tatranské Matliare, Slovakia. 2010.

KONRAD, O.; CASARIL, C. E.; SECCHI, F. JR.; LUMI, M.; SCHMITZ, M. Digestão anaeróbia de resíduos agroindustriais com suplementação de glicerina residual visando a geração de biogás. In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR, 2011.

KOPICKI, R.; BERG, M. J.; LEGG, R. Reuse and recycling – Reverse logistics opportunities. Council of Logistics Management. Oak Brook. 1993.

KRISTENSEN, P. The DPSIR Framework. In: WORKSHOP ON A COMPREHENSIVE/DETAILED ASSESSMENT OF THE VULNERABILITY OF WATER RESOURCES TO ENVIRONMENTAL CHANGE IN AFRICA USING RIVER BASIN APPROACH, Nairobi, Kenya. Nairobi: UNEP Headquarters, 2004.

LATEH, H.; MUNIANDY, P. Environmental education (EE): current situational and the challenges among trainee teachers at teachers training institute in Malaysia. Procedia - Social and Behavioral Sciences. V. 2, I 2, p. 1896-1900, 2010.

LEITE, P. R. Logística reversa: meio ambiente e competitividade. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.

LEITE, T. C. M.; PINTO, B. P.; MOTA, C. J. de A. Acetilação do cetal da glicerina/acetato (solketal) catalisada por sólidos ácidos. In: 5º CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Salvador-BA. 2012.

LEONETI, A. B.; ARAGÃO-LEONETI, V.; OLIVEIRA, S. V. W. B. de. Glycerol as a by-product of biodiesel production in Brazil: Alternatives for the use of unrefined glycerol. *Renewable Energy*. v. 45, p.138-145. 2012.

LEOPOLD, I. B.; CLARKE, F. E.; HANSHAW, B. B.; BALSLEY, J. R. A procedure for evaluating environmental impact. US Geological Circular 645 – N71 – 36757. Washington: DC, US Dept. of the Interior, 1971.

LIMA, F. P. Energia no tratamento de esgoto: Análise tecnológica e institucional para conservação de energia e uso do biogás, Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, 139 p. 2005.

LIMA, L. L. Produção de biodiesel a partir da hidroesterificação dos óleos de mamona e soja. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola de Química – EQ – 2007.

LIN, YU-CHUAN. Catalytic valorization of glycerol to hydrogen and syngas. *International Journal of Hydrogen Energy*, In Press. Available online 12 January 2013.

LUZ, J. M. R. da; PAES, S. A.; TORRES, D. P.; NUNES, M. D.; SILVA, J. S. da; MANTOVANI, H. C.; KASUYA, M. C. M. Production of edible mushroom and degradation of antinutritional factors in jatropha biodiesel residues. *LWT - Food Science and Technology*. v. 50, Issue 2, p. 575–580. 2013.

MACEDO, A. L.; SANTOS, R. S.; PANTOJA, L.; PINTO, N. A. V.; SANTOS, A. S. Avaliação do aproveitamento do resíduo sólido da extração de óleo de mamona (*Ricinus communis* L.) para produção de bioetanol. *Rev.de Estudos Universitários*, v. 35, p. 75-85. 2009.

MACIEL, C. D. G.; JUSTINIANO, W.; MONTEIRO, M. V. de M.; OLIVEIRA NETO, A. M. de; LIMA, G. R. G.; SOLA JÚNIOR, L. C.; SOUZA, J. I. de; HAMA, J. T. H. Viabilidade da glicerina como adjuvante da calda de pulverização Glyphosate no sistema baixo volume oleoso BVO®. In: 26º CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. Ouro Preto-MG. 2008.

MAGALHÃES, K. F.; OLIVEIRA, S. L. de; CAIRES, A. R. L. Espectroscopia de fluorescência como ferramenta no monitoramento do processo de purificação do glicerol bruto oriundo da produção de biodiesel. In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR, 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. MAPA. Portaria 365 de 03.07.1996. 1996.

MAPONGA O.; NGORIMA C. F. Overcoming environmental problems in the gold panning sector through legislation and education: the Zimbabwean experience. J Clean Prod. 11:147-57. 2003.

MARIEN, E. Reverse logistics as competitive strategy. Supply chain management review, 2, 1, 43, 52. 1998.

MARTINS, V. de M. A. Logística reversa no Brasil: estado da arte. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2005.

MARX, I. Eficiência e Eficácia. 2009. Disponível em <http://www.infoescola.com/administracao>. Acesso em 15 nov 2012.

MATO GROSSO. Lei N° 7.862, de 19 de Dezembro de 2002. Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2002.

MATO GROSSO DO SUL. Lei N.º 2.080, de 13 de Janeiro de 2000. Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2000.

MEDEIROS, G. R. de; Efeitos dos níveis de concentrado sobre as características de carcaça de ovinos Morada Nova em confinamento. Rev. Brasileira de Zootecnia, v. 38, p. 718-727. 2009.

MELO, C. K.; COSTA, A. A.; ALMEIDA, M. A. P.; CARDIAS, H. T. C. Estudo do processo de purificação do biodiesel em colunas de lavagem com recirculação de água. In: 2º CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, Brasília. 2007.

MELO, J.; PEGADO, C. Ecoblock: a method for integrated environmental performance evaluation of companies and products. (Construction case-study). Lisboa, 2006.

MELLO, E. T.; PAWLOWSKY, U.; Minimização de resíduos em indústria de bebidas. Engenharia Sanitária Ambiental, 4, 249. 2003.

MIGUEZ, E, MENDONÇA, F. M.; VALLE, R. A. B. Impactos ambientais, sociais e econômicos de uma política de Logística Reversa adotada por uma fábrica de televisão – um estudo de caso. In: XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Foz do Iguaçu, PR, 2007.

MINAS GERAIS. Decreto nº 45.181, de 25 de setembro de 2009. Regulamentação da Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2009a.

MINAS GERAIS. Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009. Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2009b.

MONDAL, M. K., RASHMI, DASGUPTA, B.V. EIA of municipal solid waste disposal site in Varanasi using RIAM analysis. Resources, Conservation and Recycling 54. 541–546. 2010.

MONTEIRO, J. M. G. Plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semiárido Nordeste para produção de biodiesel como uma estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Universidade Federal de Pernambuco. 302p. 2007.

MOTA, R. M.; ALMEIDA, C. G. R.; AMAZONAS, C. S. de A.; RAMOS, A. L. D. Seleção de adsorvente para a purificação da glicerina oriunda da produção de biodiesel. In: 5º CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Salvador-BA. 2012.

MOTA, S. Introdução à Engenharia Ambiental. Rio de Janeiro: ABES. 3 ed. 416p. 2003.

MOTTA, R. S; YOUNG, C. Instrumentos econômicos para gestão ambiental no Brasil. Rio de Janeiro. Dez, 1997. TNC. The Nature Conservancy, 2010. Disponível em: <http://www.icmsecologico.org.br/>. Acesso em: 25 jul 2010.

NEUTZLING, D. M. Sustentabilidade em uma cadeia de biodiesel no Rio Grande do Sul com foco na agroindústria produtora. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009.

OLIVEIRA, A. S. Coprodutos da extração de óleo de sementes de mamona e de girassol na alimentação de ruminantes. Tese (Doutorado em Zootecnia)–Universidade Federal de Viçosa. 166p. 2008.

OLIVEIRA, G. C.; CALDEIRA-PIRES, A.; LUZ, S. M.; VILELA, F. S. V. Potencial energético da biomassa residual e suas novas tecnologias de torrefação e gaseificação. In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR, 2011.

OLIVEIRA, J. S.; ANTIASSI, R.; FREITAS, S. C. de; MÜLLER, M. D. Glicerina, coproduto do biodiesel: restrições qualitativas para uso na alimentação animal. In: 5º CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Salvador-BA. 2012.

OLIVEIRA, M. L. C.; FARIA, S. C. Indicadores de saúde ambiental na formulação e avaliação de políticas de desenvolvimento sustentável. Revista Brasileira de Ciências Ambientais. N° 11. 2008.

OLIVIER, S. Logística reversa: valoração ecológica e econômica. In: 24º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. ABES, Belo Horizonte-MG. 2007.

ONISHI, S.; FUJITA, T. Evaluation of industrial symbiosis project: case study of the waste, plastic recycling project utilising the steel furnace plant in Kawasaki Eco town. Environmental Systems Research 34: 343–95. 2006.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). OECD Environmental Indicators: Towards Sustainable Development. OECD, Paris, 2001.

ORTEGA, E.; MARTINS, C. Relação entre modo de produção rural e sustentabilidade no Brasil. Campinas: DEA/FEA/Unicamp, 2002.

OSÓRIO, F.; TORRES, J. C.; Biogas purification from anaerobic digestion in a wastewater treatment plant for biofuel production, Renewable Energy – An International Journal, 2009.

PALMA, R. R. Aplicación de técnicas de optimización colaborativa para la gestión de la red de suministros. In: SEXTO ENCUENTRO DE INVESTIGADORES Y DOCENTES DE INGENIERÍA EnIDI 2011, Los Reyunos, San Rafael. Mendoza, Argentina, 2011.

PALMA, R. R.; MARCHETTA M., DISTEFANO M., FORRADELLAS R. Modelo de Trazabilidad y SCM para producción de biocombustibles en zonas áridas. ISSN 1850-2518. In: JAIIO-SADIO JORNADA DE INFORMÁTICA INDUSTRIAL. ANALES de Investigación Operativa de la JAIIO ISSN- 1850-2776. 2009.

PALOMINO-ROMERO, J. A.; LEITE, O. M.; EGUILUZ, K. I. B.; SALAZAR-BANDA, G. R.; SILVA, D. P.; CAVALCANTI. E. B. Tratamentos dos efluentes gerados na produção de biodiesel. Quim. Nova, v. 35, n. 2, 367 - 378, 2012.

PARAGUAY. Ley 2748, "Ley de Fomento de Biocombustibles, fecha 7 octubre 2005. Disponível em: <http://www.argentinarenovables.org/leyes.php>. Acesso em: 14 mar. 2012.

PARANÁ. Decreto Nº 6.674 de 03 de Dezembro de 2002. Regulamentação da Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2002.

PARANÁ. Lei Nº 12.493 de 22 de Janeiro de 1999. Política Estadual de resíduos sólidos. 1999.

PARENTE, E. J. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. UniGráfica. 66p. Fortaleza-CE. 2003.

PERBICHE, J. M. Avaliação de desempenho ambiental do plano de gerenciamento de resíduos sólidos da empresa brasileira de infraestrutura aeroportuária – Aeroporto Internacional Afonso Pena. Monografia. (Graduação). PUC-Paraná. 2004.

PEREIRA, A. L.; BRUZZI BOECHAT, C.; TADEU, H. F. B.; SILVA, J. T. M.; CAMPOS, P. M. S. Logística reversa e sustentabilidade. Ed. Cengage Learning. 2011.

PEREIRA, L. F. R. Aspectos conceituais da ecoeficiência no contexto do desenvolvimento sustentável. Dissertação (Mestrado em Gestão do Meio Ambiente) – Universidade Federal Fluminense. 2005.

PERES, S.; AMORIM, H.; CASTELLETTI, E.; ALMEIDA, C. Caracterização dos coprodutos do processamento do biodiesel de mamona para geração de energia térmica e elétrica. In: I CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2006. Brasília. Anais: Estação Gráfica, 2006. v. II. p. 68-72.

PERNAMBUCO. Decreto Nº 23.941, de 11 de Janeiro de 2002. Regulamentação da Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2002.

PERNAMBUCO. Lei Nº 12.008 de 01 de Junho de 2001. Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2001.

PERRON, G. M.; CÔTÉ, R. P.; DUFFY, J. F. Improving environmental awareness training in business. Journal of Cleaner Production. v. 14, I 6-7, p 551-562. 2006.

PERU. Ley 28054, Ley de promoción al mercado de biocombustibles de 15 julio de 2003. Disponível em: <http://www.argentinarenovables.org/leyes.php>. Acesso em: 14 mar. 2012.

POKHAREL, S; MUTHA, A. Perspectives in reverse logistics: A review. Resources, Conservation and Recycling 53. 175–182. 2009.

PETROBRAS. Processamento Industrial de Biodiesel. Nota técnica. 2011.

QUINTELLA, C. M.; TEIXEIRA, L.S.G.; KORN, M. G. A.; COSTA NETO, P.R.; TORRES, E. A.; CASTRO, M. P.; JESUS, C. A. C. Cadeia do biodiesel da bancada à indústria: uma visão geral com prospecção de tarefas e oportunidades para P&D&I. Química Nova. 32, p.793 - 808. 2009,

RAVI V.; SHANKAR R. Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics. Technol Forecast Soc Change. 72(8):1011-29. 2005.

REVERSE LOGISTICS EXECUTIVE COUNCIL (RLEC) Reverse Logistics. Disponível em: <http://www.rlec.org/glossary.html>. Acesso em: 05 maio 2012.

RIBEIRO, C. M.; GIANNETI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. Avaliação do ciclo de vida (ACV): uma importante ferramenta da ecologia industrial. Disponível em: <http://www.hottopos.com/regeq12/art4.htm>, Acesso em: 3 nov. 2010.

RIBEIRO, V. S.; BAHIA, H. F.; MIYAZAK, S. F.; BORGES, S. M. S.; MARQUES, L. S.; GONÇALVES, O.; JESUS, C. T. C.; QUINTELLA, C. M. Recuperação avançada de petróleo (EOR) por injeção de glicerina bruta (GB) coproduto da transesterificação do biodiesel e de soluções ASP. In: III CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Brasília-DF-Brasil, 2009.

RICHERI, S. M. de M. Avaliação do impacto das mudanças climáticas globais nos mangues tropicais. Rev. Bras. de Ciên. Amb. n. 6, 2007.

RIO DE JANEIRO. Lei Nº 4.191 de 30 de Setembro de 2003. Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2003.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto Nº 38.356 de 01 de Abril de 1998. Regulamentação da Gestão Estadual dos resíduos sólidos. 1998.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto Nº 45.554 de 19 de Março de 2008. Regulamentação do descarte e destinação de pilhas, lâmpadas fluorescentes, baterias de telefone celular e artefatos que contenham metais pesados. 2008.

RIO GRANDE DO SUL. Lei Nº 9.921 de 27 de Julho de 1993. Gestão dos resíduos sólidos. 1993.

ROBRA, S.; SANTOS, J. V. S.; OLIVEIRA, A. M.; CRUZ, R. S. Usos alternativos para a glicerina proveniente da produção de biodiesel: Parte 2 - Geração de Biogás. Anais do I CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, V. II, pp. 58-62, Brasília, 2006.

ROBRA, S.; SERPADA, R. C.; OLIVEIRA A. M.; ALMEIDA NETO, J. A.; SANTOS, J. V. Generation of biogas using crude glycerin from biodiesel production as a supplement to cattle slurry. Biomass and Bioenergy, v. 34, n. 9, p. 1330-1335, set. 2010.

ROCHA, E. C.; CANTO, J. L.; PEREIRA, P. C. Avaliação de impactos ambientais nos Países do Mercosul. Rev. Ambiente & Sociedade – v. VIII, n. 2, jul./dez. 2005.

RODRIGUES, B. R.; SANTANGELO, D. L. O. Análise regulatória do mercado brasileiro de biodiesel. In: 5º CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Salvador-BA. 2012.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. Going backwards: Reverse logistics trends and practices. Reverse Logistics Executive Council, Nevada, USA. 1999.

RONDÔNIA. Lei Nº 1.145, de 12 de Dezembro de 2002. Institui a Política, cria o Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do Estado de Rondônia. 2002.

RORAIMA. Lei nº 416 de 14 de janeiro de 2004. Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2004.

ROSMAN, C. M.; GONÇALVES, V. L. C.; ROSENBACH JR., N.; MOTA, C. J. A. Obtenção de aditivos multifuncionais para biodiesel a partir da glicerina. In: III CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, Brasília-DF-Brasil, 2009.

SACHS, I. A revolução energética do século XXI. Estudos Avançados, São Paulo: Instituto Estudos Avançados, v. 21, n. 59, p. 21-38, jan./abr. 2007.

SALES, J. G. C.; TINOS, A. C. Utilização de glicerina como adjuvante em pulverização agrícola. In: 5º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR, 2010.

SALES, M. G. F.; DELERUE-MATOS, C.; MARTINS, I. B.; SERRA, I.; MORAIS, S. A waste management school approach towards sustainability. Resources, Conservation and Recycling. V. 48, I 2, 15 August 2006, p.197 - 207. 2006.

SANGANARI, J. B. D.; EZEQUIEL, J. M. B.; SANTOS, V. C.; LIMA, L. R.; FÁVARO, V. R.; D'ÁUREA, A. P.; VAN CLEEF, E. H. C. B.; HOMEM Jr., A. C. Solubilidade da matéria seca de dietas contendo concentrações crescentes de glicerina bruta para bovinos de corte. In: III CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Brasília-DF-Brasil, 2009.

SANCHES, L. E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SANCHES, R.; SOUSA, S.; OMETTO, A.; PACCA, S. A utilização da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gestão ambiental: modelos de aplicação. INGEPRO, v.2, n.6, p. 90-98, 2010.

SANTA CATARINA. Lei Nº 14.675 de 13 de Abril de 2009. Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. 2009.

SANTOS, A. L. F.; MARTINS, D. U.; IHA, O. K.; RIBEIRO, R. A. M.; QUIRINO, R. L.; SUAREZ, P. A. Z. Agro-industrial residues as low-price feedstock for diesel-like fuel production by thermal cracking. Bioresource Technology. 101. p. 6157–6162. 2010.

SANTOS, A. S. dos; SANTOS, R. S. dos; SILVA, R. R. G. C.; LANGBEHN, R. K.; SILVA, A. A.; SANTOS, H. T. L. dos; PANTOJA, L. Avaliação do potencial das tortas de algodão, girassol e macaúba para produção de bioetanol. In: 5º CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Salvador-BA. 2012a.

SANTOS, M. C. J. dos. Os impactos socioambientais gerados na ocupação urbana do bairro Jardins - Aracaju-Sergipe. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe. 2011.

SANTOS, V. C.; EZEQUIEL, J. M. B.; OLIVEIRA, E. M. de; ALMEIDA, M. T. C.; HOMEM JÚNIOR, A. C.; FAVARO, V. R.; D'ÁUREA, A. P. Desempenho de cordeiros alimentados com glicerina. In: 5º CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Salvador-BA. 2012b.

SÃO PAULO. Decreto Nº 54.645 de 05 de Agosto de 2009. Regulamentação da Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2009.

SÃO PAULO. Lei Nº 12.300 de 16 de Março de 2006. Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2006.

SCHIEVANO, A.; D'IMPORZANO, G.; ADANI, F. Substituting energy crops with organic wastes and agro-industrial residues for biogas production. Journal of Environmental Management 90 2537–2541. 2009.

SCHINEIDER, R. de C. S.; RODRIGUEZ, A. L.; MÄHLMANN, C. M.; LÜDTKE, J. R.; ERHARDT, C. S. Aplicação de resíduos de origem vegetal provenientes da cadeia produtiva do biodiesel na preparação de placas de compósito para redução sonora. In: 5º Congresso da Rede de Tecnologia de Biodiesel, Salvador-BA. 2012.

SCIENCE DIRECT. Produção científica. Disponível em [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), Acesso em: 29 fev. 2012.

SEGNESTAM, I. Indicators of Environmental and Sustainable Development – Theories and Practical Experience. Paper No 89. Environmental Economics Series. The World Bank Environmental Department. WashingT. USA. P. 3. 2002.

SELITTO, M. A.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G. M. Avaliação de desempenho ambiental nas operações de duas empresas regionais de saneamento urbano. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas – Ano 5, nº 4, p. 153-168. 2010.

SERGIPE. Lei Nº 5.857, de 22 de Março de 2006. Política Estadual de Resíduos Sólidos. 2006.

SICHE, R., AGOSTINHO, F., ORTEGA, E., ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: Precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de Países. Ambiente & Sociedade. Campinas v. X, n. 2. p. 137-148. 2007.

SILVA, C. X. de A.; GONÇALVES, V. L. da C.; MOTA, C. J. de A. Obtenção de aditivos oxigenados para gasolina a partir da glicerina de produção do biodiesel. In: 4º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 2007, Campinas-SP. Artigo. Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, E. Avaliação qualitativa de impactos ambientais do reflorestamento no Brasil. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. 1994.

SILVA, F. E. A.; SILVA, M. A. da; MELO FILHO, J. S.; TORRES, F. E.; COSTA, F. X. Efeito residual da adubação com casca de mamona e fertilizantes químicos no cultivo da mamoneira. In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR-Brasil. 2011.

SILVA, JÚNIOR A. G.; PEREZ, R.; SILVA, H. S. Decisão de investimento em uma unidade de extração de óleo no município de Unaí, Minas Gerais: Uma aplicação do método AHP. In: III CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BODIESEL. Brasília, DF. 2009a.

SILVA, JÚNIOR, A. G.; SILVA, L. C. A; CAMPOS, M. B. N.; PEREZ, R. Avaliação econômica do processo de detoxicação da torta e do farelo de mamona. In: III CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BODIESEL. Brasília, DF. 2009b.

SIMÕES, J. C. P. A logística reversa aplicada à exploração e produção de petróleo. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.

SKOULOU, V. K.; MANARA, P.; ZABANIOTOU, A.A. H<sub>2</sub> enriched fuels from co-pyrolysis of crude glycerol with biomass. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 97, September 2012, p. 198-204. 2012.

SOARES, I. A.; LINS, J. O.; CÂNDIDO, G. A. Diagnóstico ambiental das áreas de preservação permanente localizadas no estuário do rio Ceará Mirim/RN com o uso de um sistema de indicadores ambientais. In: 13º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Viçosa, 2009.

SOARES, J.; MARRA, S. H. do C. M.; BRASIL, A. N.; NUNES, D. L. Construção de biodigestores didáticos e estudo da biodigestão de coprodutos do biodiesel. In: 2º CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Brasília. 2007.

SOARES, S.; STRAUCH, J. C. M.; AJARA, C. Comparação de metodologias utilizadas para análise do desenvolvimento sustentável. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, ABEP, Caxambu - MG - Brasil, 2006.

SOUSA, J. R. S.; ROBRA, S.; LOBO, I. P.; GARCIA, C. M.; CRUZ, R. S.; OLIVEIRA, A. M. Avaliação da torta de pinhão manso para aproveitamento energético via biodigestão anaeróbica. In: III CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, Brasília-DF-Brasil, 2009.

SOUZA, C. D. R.; CHAAR, J. S.; SOUZA, R. C. R.; JEFFREYS, M. J. Estudo energético dos resíduos e da torta da *Jatropha curcas* L. cultivada no Amazonas. In: III CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL. Brasília-DF-Brasil, 2009.

SOUZA, F. J. C. de; VIESSER, R. V.; GUERRERO JR., P. G.; COSTA NETO, P. R. da; OLIVEIRA, P. R. de. Purificação da glicerina obtida como coproduto na produção de biodiesel com óleo de soja refinado. In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR-Brasil. 2011.

SOUZA, G. P.; Filgueira, M.; Rosenthal, R.; Holanda, J. N. F.; Cerâmica, 49, p. 40. 2003.

SOUZA, N. A. F.; BATISTA, R. P.; LINS, M. M.; MELO, J. C. Avaliação preliminar dos impactos ambientais em uma unidade piloto de biodiesel. In: 5º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR-Brasil. 2010.

SPLINGER, T.; PUCHERT, H.; PENKUNH, T.; RENTZ, O. Environmental integrated production and recycling management. European Journal of operational Research, vol. 97, p. 308-326. 1997.

STAMM, H. R. Método para avaliação de impacto ambiental (AIA) em projetos de grande porte: estudo de caso de uma usina termelétrica. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. 2003.

STEPHENS, J. C., GRAHAN, A.C. Toward an empirical research agenda for sustainability in higher education exploring the transition management framework. Journal of Cleaner Production. Volume 18, Issue 7, May 2010, p. 611-618. 2010.

THIOLLENT, M. Metodologia da Pesquisa-ação. 11ª ed. São Paulo: Cortez Autores Associados. 2002.

TOLMASQUIM, M. T. Estrutura conceitual para elaboração de indicadores de sustentabilidade ambiental para o Brasil. In: CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE EM ECOSSISTEMAS TROPICAIS. Petrópolis: Vozes, p. 68-75, 2001.

TOLMASQUIM, M. T. Fontes Renováveis de Energia no Brasil. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

TURDERA, E. M. V; PEREIRA, J. Produção de bioetanol e sustentabilidade no Mato Grosso do Sul. In: 5º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR-Brasil. 2010.

UnB. UNIVERSIDADE DE BRASILIA; PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS; PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (Orgs). Sustentabilidade ambiental: Objetivo 7: Garantir a sustentabilidade. Belo Horizonte: PUC Minas, 2004.

UNIÓN EUROPEA. Directiva del Parlamento Europeo del 23 abril 2009. Relativa al fomento del uso de energías de fuentes renovables. Disponível em: <http://www.argentinarenovables.org/leyes.php>. Acesso em: 14 mar. 2012.

VALENTE, E.; CAVALLAZZI, L. Logística reversa – muito além da reciclagem. Disponível em <http://www.logisticadescomplicada.com/logistica-reversa-muito-alem-da-reciclagem/>. Acesso em 21 fev. 2012.

VALLIYAPPAN, T.; BAKHSHI, N. N.; DALA, A. K. Pyrolysis of glycerol for the production of hydrogen or syn gas. Bioresource Technology, v. 99, Issue 10, July 2008, p. 4476-4483. 2008.

VERDUM, V.; SELBITTO, M. Avaliação de desempenho energético em uma instituição de ensino. Revista Liberato, v.10, p.15-33, 2009.

VIEIRA, A. C.; BARRETO, M. L. G.; VASCONCELOS, V. M.; SILVA, G. F. da. Degomagem de óleo de girassol para produção de biodiesel. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA. Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. 2009.

VIEIRA, M. D.; SECCO, D.; SANTOS, R. F.; WERNER, O, V.; CORRÊIA, A. F.; VELOSO, G. Fontes alternativas de energia e os impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis. In: 6º CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA. Curitiba-PR-Brasil. 2011.

VILLELA JUNIOR, L. V. E.; ARAÚJO, J. A. C. de; BARBOSA, J. C.; PEREZ, L. R. B. Substrato e solução nutritiva desenvolvidos a partir de efluente de biodigestor para cultivo do meloeiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, p. 152-158, 2007.

VILLELA, P. C.; NATIVIDADE, B. M. L.; RODRIGUES, J. P.; MACEDO, J. L. de; COSTA, A. A.; BRAGA, P. R. S.; GHESTI, G. F. Estudo termogravimétrico da glicerina bruta obtida pelas rotas etílicas e metílicas na planta piloto da Faculdade UnB Gama. In: 5º CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BODIESEL. Salvador-BA-Brasil, 2012.

VITORINO, K. M. N.; CORREIA, J. C. D. de A.; FREIRE, N.; XAVIER, L. H. Logística reversa e responsabilidade pós-consumo nas Leis estaduais brasileiras para resíduos sólidos. In: III SIMPOSIO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE RESIDUOS. REDISA, João Pessoa-PB-Brasil. 2010.

WEBSTER S.; MITRA S. Competitive strategy in remanufacturing and the impact of take-back laws. J Oper Manage 2007; 25(6). p. 1123-40. 2007.

WERPY, T. Top value added chemicals from biomass. Report of the United States Department of Energy. v. 1. 2004.

XAVIER, L. H. Sistemas logísticos e a gestão ambiental no gerenciamento do ciclo de vida de embalagens plásticas. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – COPPE-UFRJ, 2005.

XAVIER, L. H.; LINS, C. J. C.; VIEIRA, R. V.; SOBREIRA, A. Avaliação de impacto ambiental (AIA) para análise de desempenho de matérias-primas na produção de biodiesel. In: II SEMINÁRIO BODIESEL FONTE DE ENERGIA DAS OLEAGINOSAS EM PERNAMBUCO. Recife-PE, 2010.

YANG, Y.; TSUKAHARA, K.; SAWAYAMA, S. Biodegradation and methane production from glycerol-containing synthetic wastes with fixed-bed bioreactor under mesophilic and thermophilic anaerobic conditions. Process Biochemistry 43. p. 362–367. 2008.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

## APÊNDICE A - ROTEIRO DE ENTREVISTA

### QUESTIONÁRIO SEMI-ESTRUTURADO

#### Seção I – Dados Administrativos e da Produção

##### 1. Caracterização da Empresa

1.1 Nome da Empresa	
1.2 Categoria (Pública -Fed, Est, Mun ou Privada)	
1.3 Nome e função do Responsável pela entrevista	
1.4 Nome, cargo, função e Formação dos entrevistados	
1.5 Endereço	
1.6 N° de empregos gerados (Diretos e indiretos)	
1.7 Pessoal de apoio / Consultores	

##### 2. Caracterização das Matérias-Primas e Insumos

2.1 Origem e quantidade das matérias-primas (mensal – <i>deve variar de acordo com o período de colheita</i> )	Matéria-Prima	Quantidade (t/mês)	Origem
2.2 Outras informações			
2.3 Origem e quantidade dos insumos (mensal – <i>deve variar de acordo com o período de colheita</i> )	Insumos	Quantidade (t/mês)	Origem

##### 3. Dados da Produção

3.1 Data do início da operação	
3.2 Período de operação	
3.3 N° de paradas programadas, Duração e Período	
3.4 Tipo de Produção	
3.5 Processo(s) utilizado(s)	

3.6 Rota(s)		
3.7 Etapas da Produção e Unidades existentes	<u>Extração de óleo:</u> <u>Tratamento do óleo:</u> <u>Reação de Transesterificação:</u> <u>Separação do álcool da glicerina:</u> <u>Purificação do biodiesel:</u> <u>Entrega do Biodiesel:</u> - <u>Obs:</u>	
3.8 Fluxograma da Produção	Em anexo	
3.9 Capacidade autorizada	m <sup>3</sup> /dia	
3.10 Capacidade instalada	m <sup>3</sup> /dia	
3.11 Quantidade de biodiesel produzido (diária, mensal ou anual)		
3.12 Destinação do biodiesel produzido		
3.13 Custo da Produção	R\$/m <sup>3</sup> de biodiesel	
3.14 Outras informações		

## Seção II – Gestão de Coprodutos e Resíduos

### 4. Recursos e Infraestrutura

4.1 Pessoal qualificado para atuar na gestão de resíduos		
4.2 Coprodutos gerados	Tipo	Quantidade
4.3 Resíduos gerados	Tipo	Quantidade
4.4 Infraestrutura para a gestão de coproduto e resíduos		
4.5 Investimento em gestão de coproduto	Valor	% de faturamento
4.5 Investimento em gestão de resíduos	Valor	% de faturamento
4.6 Outras informações		

### 5. Caracterização da Glicerina

5.1 Grau de Pureza		
5.2 Quantidade gerada (diária, mensal ou anual)		
5.3 Quantidade processada		
5.4 Disposição da glicerina	Local	Custo (R\$)
5.5 Processo de tratamento		Custo (R\$)
5.6 Destinação		Custo (R\$)

5.7 Outras informações	
------------------------	--

### 6. Caracterização da Torta residual

6.1 Tipo de torta (De acordo com o tipo de matéria-prima)		
6.2 Quantidade gerada		
6.3 Quantidade processada		
6.4 Disposição da torta residual	Local	Custo (R\$)
6.5 Processo de tratamento		Custo (R\$)
6.6 Destinação		Custo (R\$)
6.7 Outras informações		

### 7. Caracterização da borra do tratamento de óleo

7.1 Tipo		
7.2 Quantidade gerada (mensal ou anual)		
7.3 Quantidade processada		
7.4 Disposição do resíduo	Local	Custo (R\$)
7.5 Processo de tratamento		Custo (R\$)
7.6 Destinação		Custo (R\$)
7.7 Outras informações		

### 8. Caracterização dos ácidos graxos

8.1 Quantidade gerada		
8.2 Quantidade processada		
8.3 Disposição	Local	Custo (R\$)
8.4 Processo de tratamento		Custo (R\$)
8.5 Destinação		Custo (R\$)
8.6 Outras informações		

### 9. Caracterização da Água de lavagem

9.1 Quantidade gerada		
9.2 Quantidade processada		
9.3 Disposição	Local	Custo (R\$)
9.4 Processo de tratamento		Custo (R\$)
9.5 Destinação		Custo (R\$)
9.6 Outras informações		

### 10. Caracterização do Efluente industrial

10.1 Quantidade gerada		
10.2 Quantidade processada		
10.3 Disposição	Local	Custo (R\$)
10.4 Processo de tratamento		Custo (R\$)
10.5 Destinação		Custo (R\$)
10.6 Outras informações		

### 11. Caracterização da torta de terra diatomácea

11.1 Quantidade gerada (mensal e anual)	t/ano	
11.2 Origem		
11.3 Quantidade processada	-	
11.4 Disposição	Local	Custo (R\$)
11.5 Processo de tratamento		Custo (R\$)
11.6 Destinação		Custo (R\$)
11.7 Destino	Tipo de resíduo	Cidade-Distância (km)
11.8 Outras informações		

**12. Caracterização de outros resíduos**

12.1 Tipo			
12.2 Origem			
12.3 Disposição	Local		Custo (R\$)
12.4 Destinação			Custo (R\$)
12.5 Destino	Tipo de resíduo	Cidade-Distância (km)	Custo (R\$)
12.6 Outras informações			

**Seção III – Abordagem socioambiental****13. Aspectos Legais e Responsabilidade socioambiental**

13.1 Há fiscalização por parte do Poder Público?		
13.2 Periodicidade da fiscalização		
13.3 Política ambiental		
13.4 Certificação ambiental		
13.5 Ações empreendidas no âmbito da responsabilidade socioambiental e população atendida	Ação	Nº de indivíduos atendidos
13.6 Outras informações		

**OBSERVAÇÕES**

## APÊNDICE B - Tabela de Indicadores

### Indicadores propostos para a cadeia de produção de biodiesel

DIMENSÃO	CRITÉRIO	INDICADORES	TIPO DE INDICADOR*	UNIDADE
Ambiental	Aspectos Legais	Mecanismos legais relativos ao PNPB (leis, decretos)	P	Nº de mecanismos
		Mecanismos legais relativos a PNRS (leis, decretos)	P	Nº de mecanismos
	Coproductos e Resíduos	Geração de glicerina	P	t/dia t/m <sup>3</sup> de biodiesel
		Quantidade e % de glicerina aproveitada	R	t/dia %
		Disposição de glicerina	E	Adequa   Inadeq
		Destinação de glicerina	E	Adequa   Inadeq
		Geração de torta residual	P	
		Quantidade e % de torta residual aproveitada	R	
		Disposição de torta residual	E	
		Destinação de torta residual	E	
		Quantidade de ração ou adubo produzida com a torta	R	
		Geração de borra de tratamento de óleo	P	t/dia t/m <sup>3</sup> de biodiesel
		Quantidade e % de borra de tratamento de óleo aproveitada	R	t/dia %
		Disposição de borra de tratamento de óleo	E	Adequ   Inadequ
		Destinação de borra de tratamento de óleo	E	
		Geração de outros resíduos	P	
		Quantidade e % de outros resíduos	R	
		Disposição de outros resíduos	E	
		Destinação de outros resíduos	E	
		Geração de água de lavagem	P	m <sup>3</sup> /dia m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> de biodiesel
		Quantidade e % de água de lavagem aproveitada	R	m <sup>3</sup> /dia %
		Disposição da água de lavagem	E	Adequ   Inadequ
	Destinação de água de lavagem	E	Adequ   Inadequ	

\* Tipo de Indicador: P – Pressão    E – Estado    I – Impacto    R - Resposta

DIMENSÃO	CRITÉRIO	INDICADORES	TIPO DE INDICADOR*	UNIDADE	
Ambiental	Poluição	Disposição dos coprodutos - Potencial de contaminação da saúde humana (Estimativa)	I	Sim	Não
		Disposição dos coprodutos - Potencial de contaminação do solo (Estimativa)	I	Sim	Não
		Disposição dos coprodutos - Potencial de contaminação da água (Estimativa)	I	Sim	Não
		Destinação dos resíduos - Potencial de contaminação da saúde humana (Estimativa)	I	Sim	Não
		Destinação dos resíduos - Potencial de contaminação do solo (Estimativa)	I	Sim	Não
		Destinação dos resíduos - Potencial de contaminação da água (Estimativa)	I	Sim	Não
		Técnica	Produção	Produção de biodiesel	P
Geração de coprodutos	P			t/dia t/m <sup>3</sup> de biodiesel	
Geração de resíduos (total) - Torta residual	P			t/dia t/m <sup>3</sup> de biodiesel	
- Água de lavagem				m <sup>3</sup> /dia m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> de biodiesel	
- Borra da neutralização				t/dia t/m <sup>3</sup> de biodiesel	
- Outros resíduos				t/dia t/m <sup>3</sup> de biodiesel	
Aproveitamento de coproduto	R			%	
Tratamento de resíduos - Torta residual - Água de lavagem - Borra da neutralização - Outros resíduos	R		% % % %		
Recursos Humanos	Pessoal qualificado para atuar na gestão de resíduos	R	Nº de Pessoas e Formação		

\* Tipo de Indicador: P – Pressão E – Estado I – Impacto R – Resposta

DIMENSÃO	CRITÉRIO	INDICADORES	TIPO DE INDICADOR*		UNIDADE	
			R	Sim	Não	Parcial
Técnica	Infraestrutura	Adequada para a gestão de resíduos	R			
Social	Matérias-primas	Quantidade de matérias-primas produzidas por Agricultores Familiares (ou cooperativa)	R		t/ano	
	Geração de empregos	Geração de empregos diretos	I		Empregos	
		Geração de empregos indiretos	I		Empregos	
Econômica	Investimento	Custo da produção de biodiesel	P		R\$/m <sup>3</sup> de biodiesel	
		Custo da disposição da glicerina	I		R\$	
		Custo do tratamento da glicerina	I		R\$	
		Custo da destinação da glicerina	I		R\$	
		Custo da disposição da torta	I		R\$	
		Custo do tratamento da torta	I		R\$	
		Custo da destinação da torta	I		R\$	
		Custo da disposição da borra da neutralização	I		R\$	
		Custo do tratamento da borra da neutralização	I		R\$	
		Custo da destinação da borra da neutralização	I		R\$	
		Custo da disposição de outros resíduos	I		R\$	
		Custo do tratamento de outros resíduos	I		R\$	
		Custo da destinação de outros resíduos	I		R\$	
		Custo da disposição da água de lavagem	I		R\$	
		Custo do tratamento da água de lavagem	I		R\$	
		Custo da destinação da água de lavagem	I		R\$	
		Investimento em gestão de coproduto	R		% do faturamento	
		Investimento em gestão de resíduos	R		% do faturamento	
		Logística reversa	Reinserção da glicerina no ciclo produtivo de biodiesel	R		t/mês R\$/mês
	Reinserção da glicerina em outro ciclo produtivo		R		t/mês R\$/mês	
Reinserção da torta residual no ciclo produtivo do biodiesel	R			t/mês R\$/mês		
Reinserção da torta residual em outro ciclo produtivo	R			t/mês R\$/mês		

\* Tipo de Indicador: P – Pressão E – Estado I – Impacto R - Resposta

DIMENSÃO	CRITÉRIO	INDICADORES	TIPO DE INDICADOR	UNIDADE		
Econômica	Logística reversa	Reinserção da borra da neutralização em outro ciclo produtivo	R	t/mês	R\$/mês	
		Reinserção da borra da neutralização em outro ciclo produtivo	R	t/mês	R\$/mês	
		Reinserção da água de lavagem no ciclo produtivo do biodiesel	R	m <sup>3</sup> /mês	R\$/mês	
Institucional	Aspectos Legais	Leis que abordem aspectos sociais da produção de biodiesel	R	Nº de Leis		
		Leis que abordem aspectos ambientais da produção de biodiesel	R	Nº de Leis		
	Responsabilidade Socioambiental	Política ambiental		R	Sim	Não
		Certificação ambiental		R	Sim	Não
		Ações desenvolvidas – Responsabilidade Social		R	Nº de indivíduos atendidos	
Ações desenvolvidas – Gestão Ambiental		R				

\* Tipo de Indicador: P – Pressão    E – Estado    I – Impacto    R - Resposta