

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA**  
**ENERGIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel  
obtido a partir do óleo de palma para as  
condições do Brasil e da Colômbia**

Autor: **Rosélis Ester da Costa**

Orientador: **Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora**

Co-Orientador: **Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres**

Itajubá, Maio de 2007

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA**  
**ENERGIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel  
obtido a partir do óleo de palma para as  
condições do Brasil e da Colômbia**

Autor: **Rosélis Ester da Costa**

Orientador: **Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora**

Co-Orientador: **Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres**

Curso: **Mestrado em Engenharia da Energia**

Área de Concentração: **Energia, Sociedade e Meio Ambiente**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia da Energia.

Itajubá, Maio de 2007

M.G. – Brasil

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA  
ENERGIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel  
obtido a partir do óleo de palma para as  
condições do Brasil e da Colômbia**

Autor: Rosélis Ester da Costa

Orientador: **Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora**

Co-Orientador: **Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres**

Composição da Banca Examinadora:

**Prof. Dr. Gil Anderi da Silva – USP/SP**

**Prof. Dr. Osvaldo Venturini - IEM/UNIFEI**

**Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora - IEM/UNIFEI**

**Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres – UFBA/BA**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –  
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB\_6/1700

C837i

Costa, Rosélis Ester da

Inventário do ciclo de vida do biodiesel obtido a partir do óleo de palma para as condições do Brasil e da Colômbia / Rosélis Ester da Costa. -- Itajubá (MG) : [s.n.], 2007.

195 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Electo Eduardo da Silva Lora.

Co-orientador: Prof. Dr. Edinaldo Andrade Torres.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. *Elaeis guineensis*. 2. Metil éter de palma. 3. Relação saída-entrada. 4. Biodiesel. I. Lora, Electo Eduardo da Silva, orient. II. Torres, Edinaldo Andrade, co-orient. III. Universidade Federal de Itajubá. IV. Título.

CDU 620.952(043)

## **Dedicatória**

Àquele que é a única razão de nossas existências – DEUS

## Agradecimentos

Ao Orientador, Prof. Dr. Eduardo Silva Lora, pela sugestão deste tema tão importante, e por todas as oportunidades que me concedeu na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres, pela gentileza, consideração e boa vontade, ajudando de todas as formas possíveis.

A Fundação CENIPALMA, pelo grande apoio técnico e financeiro na pesquisa dos dados utilizados no trabalho.

As usinas de extração de óleo vegetal do Sul da Bahia e do Pará, pela valiosa contribuição na coleta dos dados.

Ao Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira pelo grande incentivo e palavras de entusiasmo que nortearam a continuação do meu trabalho.

A todos os professores e todas as pessoas, ainda não citadas, que direta ou indiretamente contribuíram com minhas idéias para elaboração deste trabalho.

À CAPES, através do Programa de bolsas, pelo apoio financeiro.

*"... Faça, erre, tente, falhe, lute.  
Não jogue fora a extraordinária oportunidade de ter vivido.  
Tendo consciência de que, cada homem foi feito para fazer história.  
Que todo homem é um milagre e traz em si uma evolução.  
Que é mais do que sexo ou dinheiro.  
Você foi criado para construir pirâmides e versos,  
para descobrir continentes e mundos.  
E caminhar sempre com um saco de interrogações numa mão e  
uma caixa de possibilidades na outra..."*

*Nizan Guanaes*

## Resumo

**COSTA, R.E. (2007).** Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel obtido a partir do Óleo de palma para as condições do Brasil e da Colômbia. Itajubá, 2007. **173 pgs.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI.

O uso do biodiesel produzido pela transesterificação de óleos vegetais com uso do metanol ou etanol tem sido considerado em vários estudos como alternativa viável do ponto de vista ambiental. As vantagens obtidas pela utilização deste biocombustível estão relacionadas à redução das emissões de dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre.

O objetivo deste trabalho se constitui na elaboração do Inventário para a produção do biodiesel de óleo de palma “dendê” pela via metílica para a Região Sudeste da Bahia, Região Amazônica, no Brasil e da Colômbia, considerando os aspectos energéticos e ambientais de sua utilização como biocombustível. A análise do Inventário foi realizada utilizando-se a relação produção/insumo como critério de avaliação, visando à comparação com outras oleaginosas e a avaliação de medidas de aperfeiçoamento do ciclo de vida estudado. Os dados foram coletados para as etapas de extração dos recursos e transformação dos mesmos, não sendo consideradas as etapas de distribuição, uso e disposição final.

A relação produção/insumo (output/input) de energia encontrada para os estudos de casos encontra-se no intervalo dos valores entre 3.8 a 5.7, com a média dos valores de 4.8.

**Palavras-chave:** *Elaeis guineensis*, Metil Ester de Palma, Relação Saída/Entrada, Transesterificação, Biodiesel

## Abstract

**COSTA, R.E. (2007).** Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel obtido a partir do Óleo de palma para as condições do Brasil e da Colômbia. Itajubá, 2007. **173 pgs.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI.

The use of the biodiesel produced through the transesterification of vegetable oils with methanol and ethanol is seen as a viable alternative in several studies. The advantages of the utilization of this biofuel are relative with the reduction of emission of the carbon monoxide, carbon dioxide, and oxide sulfur.

This work intends to carry out the Life Cycle Analysis Inventory in the production of the Palm Oil-Derived Methyl Ester (PME) for the South region of Bahia and Amazonian Region in Brazil and Colombia, considering the energy and environmental aspects of the utilization of this biofuel. The Life Cycle Inventory was carried through using the output/input relation as the evaluation criteria, aiming at the comparison to other oleaginous and the evaluation of measures of perfecting of the studied life cycle. The data were collected for the stages of source extraction and transformation; distribution, use and final disposition have not been considered.

The output/input energy relation for the evaluated case studies ranged from 3.8 to 5.7, with an average value of 4.8.

**Keywords:** *Elaeis guineensis*, Methyl Ester, Output/Input index, Transesterification, Biodiesel.

## Sumário

|   |      |
|---|------|
| Sumário .....   | i    |
| Lista de Figura .....   | iv   |
| Lista de Tabela .....   | viii |
| Simbologia .....  | x    |
| Letras Latinas .....  | x    |
| Abreviaturas .....  | xi   |
| Siglas .....  | xi   |
| Capítulo 1 .....  | 1    |
| INTRODUÇÃO .....  | 1    |
| 1.1 Objetivos .....   | 4    |
| 1.2 Motivação.....  | 5    |
| 1.3 Justificativas.....   | 6    |
| 1.4 Estrutura da dissertação .....                                      | 7    |
| Capítulo 2.....   | 9    |
| REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....   | 9    |
| 2.1 Análise Energética Atual .....                                      | 9    |
| 2.2 Possibilidade dos Biocombustíveis - contexto Brasil e Colômbia..... | 11   |
| 2.2.1 Potencial dos Óleos Vegetais no Brasil.....                       | 11   |
| 2.2.2. Potencialidade do Dendê no Brasil.....                           | 14   |
| 2.2.3. Panorama do Biodiesel no Brasil .....                            | 18   |
| 2.2.4. Potencial dos Óleos Vegetais na Colômbia.....                    | 27   |
| 2.2.5 Panorama do Biodiesel na Colômbia .....                           | 29   |
| 2.3 O Biodiesel.....  | 33   |

|  |     |
|--|-----|
| 2.3.1 Definição .....  | 33  |
| 2.4 Cadeia de Produção do Biodiesel de óleo de palma (dendê) .....   | 35  |
| 2.4.1 Cultivo da Oleaginosa, Colheita e Coleta de Cachos .....   | 36  |
| 2.4.2 Processo de Extração do óleo vegetal.....  | 43  |
| 2.4.3 Processo de Transesterificação .....   | 54  |
| 2.5 Biodiesel no Mundo .....   | 60  |
| 2.6 Avaliação de Impacto na Produção do Biodiesel – Impactos na Cadeia de<br>Produção de Óleo de Palma .....   | 64  |
| 2.6.1 Avaliação de Impacto na Produção Agrícola .....  | 65  |
| 2.6.2 Avaliação de Impacto na Extração e Processamento do Óleo de Palma.....   | 68  |
| 2.6.3 Minimização dos Impactos Ambientais na Produção do Óleo de Palma .....   | 80  |
| 2.6.4 Impactos Ambientais da Produção do Biodiesel - Processo de<br>Transesterificação .....   | 82  |
| 2.6.5 Impactos Ambientais da Utilização do Biodiesel.....  | 84  |
| 2.7 Análise do Ciclo de Vida (ACV) .....   | 90  |
| 2.7.1 Histórico da ACV .....   | 91  |
| 2.7.2 Filosofia da ACV.....  | 94  |
| 2.7.3 Definição da meta e extensão dos estudos (objetivo e o escopo) segundo a<br>NBR 14041 .....  | 98  |
| 2.7.4 Inventário do Ciclo de Vida (ICV).....   | 100 |
| 2.7.5 Análise do impacto do ciclo de vida (AICV);.....   | 105 |
| 2.7.6: A interpretação do estudo.....  | 108 |
| 2.7.7 Limitações na Elaboração do Estudo de ACV .....  | 112 |
| 2.8 Revisão Bibliográfica de Estudos de ACV já realizados para o Biodiesel.....  | 113 |
| 2.8.1 “Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an<br>Urban Bus” (SHEEHAN, et.al. 1998).....                                    | 114 |
| 2.8.2 “Production and Utilization biofuel’s derived of vegetable oils” (ITC, 2000). ..   | 117 |
| 2.8.3 “Integrated Economic and Environmental Life Cycle Optimization: an<br>Application to Biofuel Production in France” (FREIRE, F. et al. 2002). ..... | 123 |
| 2.9 Adaptações da metodologia ACV aos estudos de caso.....   | 125 |
| Capítulo 3 .....   | 127 |
| 3. METODOLOGIA - INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA DO BIODIESEL<br>DE PALMA (Dendê) .....  | 127 |
| 3.1 Definições do Objetivo e Escopo do Estudo.....   | 127 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.1.1 Objetivo .....   | 127 |
| 3.1.2 Escopo .....   | 128 |
| 3.2 Inventário de ciclo de vida .....  | 133 |
| 3.2.1 Preparação para a coleta de dados .....  | 133 |
| 3.2.2 Coleta de dados.....   | 136 |
| 3.2.3 Apresentação dos dados referentes à produção agrícola, extração do óleo vegetal e produção do biodiesel para o óleo de palma. .... | 137 |
| 3.2.4 Procedimento de Cálculo.....   | 145 |
| 3.2.5 Estimativa dos processos dos ciclos de vida dos insumos .....  | 150 |
| 4. ANÁLISE DE RESULTADOS .....   | 153 |
| 4.1 Consumo energético total na Etapa Agrícola.....  | 153 |
| 4.2 Consumo energético total da Etapa Industrial .....   | 155 |
| 4.3 Consumo energético total do Processo de Transesterificação .....   | 157 |
| 4.4. Emissão de Poluentes no Ciclo de Vida do EMP .....  | 160 |
| 4.5. Resultados para a Relação Output/Input.....   | 165 |
| 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....  | 171 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 174 |

## Lista de Figura

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1: Oferta Interna de Energia. (MME/2006) .....   | 10 |
| Figura 2.2: Distribuição do Mercado de Combustíveis Veiculares (MME, BEN 2005).....   | 10 |
| Figura 2.3: Distribuição da Produção de Oleaginosas no Brasil. (MME, 2005).....   | 13 |
| Figura 2.4: Planta Piloto de Biodiesel – UFBA (TORRES et.al 2006).....  | 20 |
| Figura 2.5: Unidades Produtoras de Biodiesel em junho/2006 (ANP, 2006). .....   | 24 |
| Figura 2.6: Capacidade de produção projetada até 2010.....  | 26 |
| Figura 2.7: Contribuição dos principais azeites e gorduras da Colômbia. (FEDEPALMA, 2005)<br>.....                                  | 27 |
| Figura 2.8: Evolução as áreas de plantação de palmeiras na Colômbia (FEDEPALMA, 2005) 28  |    |
| Figura 2.9: Cultivos de palmeiras nas diferentes regiões da Colômbia (FEDEPALMA, 2005). 28  |    |
| Figura 2.10: Evolução da Produção de óleo de palma e palmiste (FEDEPALMA, 2005). .....  | 29 |
| Figura 2.11: Projeção da mistura de biodiesel segundo a Oferta de Exportação de óleo de palma<br>para 2020. (CORPODIB, 2005). ..... | 31 |
| Figura 2.12: Cadeia de Produção do Biodiesel de Oleaginosas (MME , 2005).....   | 35 |
| Figura 2.13: Cultivo de palmeiras na Região Sudeste da Bahia.....   | 37 |
| Figura 2.14: Plantio de Palmeiras Adultas na Colômbia.....  | 38 |
| Figura 2.15: Atividade de coleta de cacho de fruta fresca com auxílio da faca malasiana .....                                       | 39 |
| Figura 2.16: Atividade de coleta de fruto pela “catadeira” .....  | 40 |
| Figura 2.17: Transporte dos frutos das parcelas na Zona Central na Colômbia, com auxílio de<br>tração animal .....                  | 41 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.18: Coleta de frutos entre as fileiras de plantio em Nazaré, na Bahia .....                                       | 41 |
| Figura 2.19: Disposição dos frutos colhidos nas parcelas em caçambas, para posterior envio a usina de beneficiamento ..... | 42 |
| Figura 2.20: Transporte dos frutos dispostos na parcela a Usina de Beneficiamento .....                                    | 42 |
| Figura 2.21: Rampa de Recebimento em usina de beneficiamento em Nazaré, na Bahia .....                                     | 44 |
| Figura 2.22: Sistema de “trolleys” em usina de beneficiamento, na Zona Central na Colômbia .....                           | 44 |
| Figura 2.23: Envio do caldeirão ao esterilizador, em Nazaré na Bahia .....   | 45 |
| Figura 2.24: Sistema de trolleyrs na Agropalma.....  | 46 |
| Figura 2.25: Debulhador .....  | 47 |
| Figura 2.26: Cachos de frutos vazios na saída do transportador .....   | 47 |
| Figura 2.27: Despejo de efluente de saída do processo de extração de óleo de palma no Sudeste da Bahia.....                | 48 |
| Figura 2.28: Fibras resultantes do processo .....  | 49 |
| Figura 2.29: Esquema do Processo de Produção do Óleo de Palma (VIÉGAS, I.J; MULLER, A, 2000).....                          | 52 |
| Figura 2.30: Tanque de armazenamento de óleo.....  | 53 |
| Figura 2.31: Esquema do processo de Transesterificação (PARENTE, 2003) .....   | 54 |
| Figura 2.32: Usina de produção de biodiesel no Pará .....  | 59 |
| Figura 2.33: Tanques de Armazenamento de combustível .....   | 59 |
| Figura 2.34: Panorama de Produção do Biodiesel a partir das matérias -primas .....   | 61 |
| Figura 2.35: Produção de biodiesel na União Européia, em mil toneladas. (European Biodiesel Board, 2002). .....            | 62 |
| Figura 2.36: Produção Mundial de Biodiesel (FEDEPALMA, 2005) .....   | 62 |
| Figura 2.37: Emissão da “ fumaça branca” no processo industrial .....  | 70 |
| Figura 2.38: Fibras no processo industrial .....   | 71 |
| Figura 2.39: Emissões no processo industrial .....   | 72 |
| Figura 2.40: Escória de caldeira da agroindústria do dendê.....  | 73 |
| Figura 2.41: Decantador de óleo de palma em agroindústria.....   | 76 |
| Figura 2.42: Estrutura de recuperação final de óleo de palma em efluentes.....   | 77 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 2.43: Lagoas de deposição definitiva dos efluentes de agroindústria de palma na região Sudeste da Bahia.....                              | 78  |
| Figura 2.44: Efluente de saída de processo na entrada de lagoas de tratamento de efluentes.....  | 78  |
| Figura 2.45: Lagoa de tratamento de efluentes na Colômbia.....   | 79  |
| Figura 2.46: Lagoa de tratamento de efluentes na Colômbia.....   | 79  |
| Figura 2.47: Comparação de Categorias de Impactos associados à produção do biodiesel e diesel. (NETO, J.A.A. et al, 2005) .....                  | 83  |
| Figura 2.48: Testes de desempenho: máxima potencia x rotação. (TORRES, et. al. 2006).....  | 86  |
| Figura 2.49: Testes de desempenho: consumo específico x potencia. (TORRES, et. al. 2006)..   | 86  |
| Figura 2.50: Testes de emissões: consumo de CO <sub>2</sub> . (TORRES, et. al. 2006). .....  | 87  |
| Figura 2.51: Testes de emissões: Consumo de CO. (TORRES, et. al. 2006).....  | 87  |
| Figura 2.52: Testes de emissões: Consumo de NO <sub>x</sub> . (TORRES, et. al. 2006). .....  | 88  |
| Figura 2.53: Comparação da emissão de Material particulado entre Biodiesel de palma e o diesel. (Convenio Ecopetrol-ICP, CENIPALMA, 2006). ..... | 89  |
| Figura 2.54: Comparação da emissão de NO <sub>x</sub> entre Biodiesel de palma e o diesel (Convenio Ecopetrol-ICP, CENIPALMA, 2006). .....       | 89  |
| Figura 2.55: Comparação da emissão de CO <sub>2</sub> entre Biodiesel de palma e o diesel. (Convenio Ecopetrol-ICP, CENIPALMA, 2006). .....      | 90  |
| Figura 2.56: Estágios do ciclo de vida de um produto ou serviço.....   | 95  |
| Figura 2.57: Fluxograma da ACV.....  | 96  |
| Figura 2.58: Procedimentos simplificados para a Análise do Inventário (ABNT NBR ISO 14041:2004).....   | 101 |
| Figura 2.59: Energia fóssil consumida na produção do Biodiesel de Girassol (Comitê Termotecnico Italiano - Biofit 2000).....                     | 120 |
| Figura 2.60: Energia fóssil consumida na produção do Biodiesel de colza (Comitê Termotecnico Italiano - Biofit 2000).....                        | 121 |
| Figura 2.61: Energia fóssil consumida no cultivo da colza (Comitê Termotecnico Italiano - Biofit 2000) .....                                     | 121 |
| Figura 2.62: Energia fóssil consumida no cultivo do girassol (Comitê Termotecnico Italiano - Biofit 2000) .....                                  | 122 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 2.63: Emissões do ciclo de vida das oleaginosas colza e girassol comparado com a gasolina. (Comitê Termotecnico Italiano - Biofit 2000) .....              | 122 |
| Figura 2.64: Comparação dos consumos de energia fóssil na produção do biodiesel de colza, girassol e gasolina. (Comitê Termotecnico Italiano - Biofit 2000) ..... | 123 |
| Figura 3.1: Diagrama do Inventário do Ciclo de Vida da Produção do Biodiesel de Óleo de Palma .....   | 135 |
| Figura 3.2 : Localização das áreas agrícolas e produção de óleo nas regiões Sul da Bahia e na Região Amazônica.....   | 139 |
| Figura 3.3: localização das áreas agrícolas e produção de óleo nas regiões Norte, Central e Centro-Occidental da Colômbia.....                                    | 140 |
| Figura 4.1: Resultado dos Consumos Energéticos Médios Comparativos na Produção Agrícola para os três casos analisados.....  | 154 |
| Figura 4.2: Resultado dos Consumos Energéticos Médios Comparativos na Etapa de Extração do Óleo Vegetal.....  | 156 |
| Figura 4.3: Resultado dos Consumos Energéticos Médios durante o Processo de Transesterificação.....   | 157 |
| Figura 4.4: Resultado dos Consumos Energéticos Cumulativos para a Produção Agrícola, Extração de Óleo e Processo de Transesterificação. ....                      | 158 |
| Figura 4.5: Porcentagem de Contribuição dos Consumos Energéticos do ciclo de vida do biodiesel de palma. ....   | 159 |
| Figura 4.6: Emissão de Poluentes Atmosféricas na Etapa de Produção Agrícola.....  | 161 |
| Figura 4.7: Emissão de Poluentes Atmosféricos referente ao Transporte de Frutos à Usina de extração de Óleo. ....   | 162 |
| Figura 4.8: Emissão de Poluentes Atmosféricos na Etapa de Processamento do Óleo de Palma .....  | 163 |
| Figura 4.9: Emissão de Poluentes Atmosféricos na Cadeia de Produção do EMP .....  | 164 |
| Figura 4.10: Relação Output/Input para os três estudos de caso.....   | 169 |

## Lista de Tabela

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 2.1: Motivações para a produção de biodiesel e fontes de matéria-prima por região brasileira. Parente (2003).....   | 12  |
| Tabela 2.2: Características de algumas culturas oleaginosas com potencial de uso Energético. (Nogueira, L.A.H.; PIKMAN. (2002). .....  | 14  |
| Tabela 2.3: Capacidade nominal e produção de biodiesel - B100, segundo unidades em 2005. 22  |     |
| Tabela 2.4: Vendas de B2 - mistura óleo diesel/biodiesel puro1, pelas distribuidoras, segundo Grandes Regiões e Unidades da Federação – 2005. (ANP/SAB, conforme a Portaria CNP n.º 221/81). ..... | 25  |
| Tabela 2.5: Evolução temporal do percentual de biodiesel em mistura com o diesel e o número de empregos resultante. (MME, 2005) .....  | 26  |
| Tabela: 2.6: Resumo das Principais Leis sobre Biocombustíveis na Colômbia (UPME, 2006). 31   |     |
| Tabela 2.7: Estudos Prévios de Desenvolvimento de Projetos sobre Biodiesel na Colômbia (UPME, 2006). .....   | 32  |
| Tabela 2.8: Especificação do Biodiesel B100 segundo critérios da ANP. (ANP, 2006) .....  | 58  |
| Tabela 2.9: Composição média de efluentes no processamento de dendê (25.000 ton cff/ano). (BREZING, D.,1986). .....  | 74  |
| Tabela 2.10: Consumo de energia fóssil - Biodiesel de girassol (MJ/kg biodiesel) (Comitê Termotecnico Italiano – Biofit, 2000) .....   | 118 |
| Tabela 2.11: Consumo de energia fóssil - Biodiesel de colza (MJ/kg biodiesel) (Comitê Termotecnico Italiano – Biofit, 2000) .....  | 119 |
| Tabela 3.1: Dados de Produtividade das Regiões Estudadas no Brasil e da Colômbia .....   | 141 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 3.2: Característica Físico-Químicas das Fibras e Cascas .....   | 143 |
| Tabela 3.3: Quantidade de Nutrientes contidos nas Cinzas de Cachos de Fruta Fresca .....                                 | 144 |
| Tabela 3.4: Quantidades de Nutrientes em porcentagem contidos em 1 t de Cachos de Fruta Vazio (CFV) .....                | 144 |
| Tabela 3.5: Coeficientes Energéticos na Etapa de Produção Agrícola .....   | 147 |
| Tabela 3.6: Porcentagem de nutrientes contidos nos cachos vazios. ....   | 147 |
| Tabela 3.7: Coeficientes Energéticos na Etapa Industrial .....   | 148 |
| Tabela 3.8: Coeficientes Energéticos na Produção do Biodiesel .....  | 148 |
| Tabela 3.9: PCI s para Insumos, Combustíveis e Lubrificantes utilizados no estudo.....                                   | 149 |
| Tabela 3.10: Emissão Atmosférica para 1 Kg de fertilizante Nitrogenado .....   | 150 |
| Tabela 3.11: Fatores de Emissão utilizados para o Diesel Combustível .....   | 151 |
| Tabela 3.12: Fatores de Emissão utilizados para a Gasolina Combustível .....   | 152 |
| Tabela 4.5.1: Apresentação da Relação Output/Input na Produção de Biodiesel de Óleo de Palma para o Brasil.....          | 166 |
| Tabela 4.5.2: Apresentação da Relação Output/Input na Produção de Biodiesel de Óleo de Palma para a Colômbia.....        | 167 |
| Tabela 3.2.3: Apresentação da Comparação da Relação Output/Input para o Biodiesel obtido por diferentes oleaginosas..... | 170 |

## Simbologia

### Letras Latinas

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| B100                          | Biodiesel na proporção 100%                           |
| B5                            | Biodiesel na proporção de 5% em mistura com o diesel  |
| B70                           | Biodiesel na proporção de 70% em mistura com o diesel |
| A                             | Área  |
| L                             | Litro   |
| MJ                            | mega joule  |
| N                             | Nitrogênio  |
| CaO                           | óxido de cálcio                                       |
| CH <sub>3</sub> OH            | metanol   |
| CO <sub>2</sub>               | dióxido de carbono                                    |
| K <sub>2</sub> O              | óxido de Potássio                                     |
| h                             | entalpia  |
| CaO                           | óxido de cálcio                                       |
| CH <sub>3</sub> OH            | metanol   |
| CO <sub>2</sub>               | dióxido de carbono                                    |
| K <sub>2</sub> O              | óxido de Potássio                                     |
| MgO                           | óxido de magnésio                                     |
| KOH                           | hidróxido de potássio                                 |
| NO <sub>x</sub>               | óxido de nitrogênio                                   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | pentóxido de fósforo                                  |

## Abreviaturas

|                |                                  |
|----------------|----------------------------------|
| %              | percentagem                      |
| °C             | graus Celsius                    |
| cSt            | centistoke                       |
| ha             | hectare                          |
| ccf            | cachos de fruta fresca           |
| cm             | centímetros                      |
| m <sup>3</sup> | metros cúbicos                   |
| mm             | milímetros                       |
| n°             | numero                           |
| R\$            | reais                            |
| tep            | tonelada equivalente de petróleo |
| pH             | potencial do hidrogênio iônico   |
| kcal           | kilocaloria                      |
| kg             | kilograma                        |
| US\$           | dólar                            |

## Siglas

|      |  |
|------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ACV  | Avaliação do Ciclo de Vida               |
| AICV | Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida    |

|           |   |
|-----------|---|
| ANP       | Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis                 |
| ASTM      | American Society for Testing and Materials                                  |
| BA        | Bahia   |
| BNDES     | Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social                        |
| CE        | Ceará   |
| CEIB      | Comissão Executiva Interministerial   |
| CEN       | Comitê Europeu de Normalização  |
| CENIPALMA | Centro de Pesquisas com Óleo de Palma                                       |
| CEPLAC    | Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira                            |
| CERBIO    | Centro de Referência em Biocombustíveis                                     |
| CFE       | Cacho de Fruta Fresco   |
| CFV       | Cacho de Fruta Vazio  |
| CGEE      | Centro de Gestão de Estudos Estratégicos                                    |
| CNPE      | Conselho Nacional de Política Energética                                    |
| COFINS    | Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social                      |
| COPPE     | Instituto Alberto Luiz de Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia |
| CORPODIB  | Corporação para o Desenvolvimento Industrial da Biotecnologia               |
| COV       | Compostos Orgânicos Voláteis  |
| DBO       | Demanda Bioquímica de Oxigênio  |
| EBDA      | Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrário                                   |
| EMP       | Ester Metílico de Palma   |
| EMPRAPA   | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                                 |
| ESALQ     | Escola Superior de Ensino de Agricultura Luiz de Queiroz                    |
| ETBE      | Ethyl Tertiary Butyl Éter   |
| FEDEPALMA | Federação Nacional de Produtores de Óleo de Palma                           |
| FR        | Fluxo de Referência   |
| GG        | Grupo Gestor  |
| HC        | Hidrocarbonetos   |

|        |  |
|--------|--|
| ICV    | Inventário do Ciclo de Vida  |
| IEA    | International Energy Agency  |
| IPI    | Imposto sobre Produtos Industrializados                                    |
| ISO    | International Organization for Standardization                             |
| LP     | Programação Linear   |
| LPM    | Low Pressure Methanol Process  |
| MDA    | Ministério do Desenvolvimento Agrário                                      |
| MAD-8  | Mistura de Álcool no Diesel  |
| MCT    | Ministério de Ciência e Tecnologia   |
| MDL    | Mecanismo de Desenvolvimento Limpo   |
| MME    | Ministério de Minas e Energia  |
| MILP   | Programa Misto de Integração Linear  |
| MP     | Material Particulado   |
| MRI    | Midwest Research Institute   |
| MT     | Mato Grosso  |
| NBR    | Norma Brasileira   |
| NUTEC  | Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará                          |
| OSCAR  | Optimisation du Surplus économique des Carburants<br>Agricole Renouvelable |
| OTA    | Office of Technology Assessment  |
| OVEG   | Programa de Óleos Vegetais   |
| PA     | Pará   |
| PASEP  | Programa de Formação do Patrimônio do Servidor<br>Público                  |
| PI     | Piauí  |
| PIS    | Programa de Integração Social  |
| PNPB   | Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel                           |
| PR     | Paraná   |
| PRONAF | Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura<br>Familiar             |
| REPA   | Resource on Environmental Profile Analysis                                 |
| RME    | Ester Metílico de Colza  |
| SETAC  | Society of Environmental Toxicology and Chemistry                          |

|        |   |
|--------|---|
| SP     | São Paulo                                     |
| SRF    | Secretaria da Receita Federal                 |
| TECBIO | Tecnologias Bioenergéticas Ltda               |
| TECPAR | Instituto de Tecnologia do Paraná             |
| TJLP   | Taxa de Juros em Longo Prazo                  |
| UF     | Unidade Funcional                             |
| UFBA   | Universidade Federal da Bahia                 |
| UFC    | Universidade Federal do Ceará                 |
| UFRJ   | Universidade Federal do Rio de Janeiro        |
| URBS   | Empresas Associadas à Urbanização de Curitiba |

## Capítulo 1

# INTRODUÇÃO

Com as crescentes preocupações ambientais relacionadas às emissões de poluentes atmosféricos pelo uso de combustíveis fósseis, intensificam-se a atenção dada com respeito às fontes alternativas de produção de energia, principalmente aquelas que contribuam na mitigação dessas emissões.

A utilização de combustíveis de origem fóssil nas grandes cidades e a falta de acesso à eletricidade nas regiões isoladas, origina problemas econômicos e ambientais como o subdesenvolvimento das áreas rurais e a diminuição da qualidade do ar nas grandes cidades, ocasionada pelas emissões de partículas e óxidos de enxofre, produto da utilização do diesel de origem fóssil em motores de combustão interna.

Há uma crescente preocupação mundial e um debate internacional com relação ao efeito estufa ocasionado pelas ações antropogênicas e os perigos relativos a esta questão durante os anos que se seguirão. As formas de reduzir as emissões ocasionadas pela emissão de poluentes são os usos energéticos de biomassa e a utilização de fontes renováveis. O uso energético de biocombustíveis também poderia

contribuir com a redução das emissões ambientais como também ao desenvolvimento rural.

Sendo assim, o uso dos biocombustíveis produzidos pela esterificação ou transesterificação de óleos vegetais com metanol, etanol e um catalisador, são vistos hoje como alternativas interessantes do ponto de vista ambiental. As vantagens pela utilização desses biocombustíveis são relacionadas à redução das emissões de dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre.

Além disso, com as questões de cunho econômico como os contínuos aumentos do preço do petróleo e seus derivados, a possibilidade de captação de recursos internacionais através do mercado de créditos de carbono e MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), questões estratégicas como a geração de empregos e renda nas áreas rurais e auto-suficiência energética vêm reforçar essa necessidade. Os biocombustíveis são apontados como menos poluentes que os de origem fóssil, como o diesel ou gasolina.

A produção de óleos vegetais é um dos mais importantes setores do sistema agrário e alimentício no Brasil, pelo amplo leque de utilização desses produtos como matéria-prima no processamento de alimentos para o consumo humano e animal. Segundo CASTRO (1993) o complexo de oleaginosas interage com um total de 28 diferentes produtos, entre óleos, gorduras e grãos, caracterizando-se pelo entrelaçamento de diferentes cadeias agroindustriais, como a de rações e de carnes. Além disso, os óleos vegetais podem ser transformados em combustível - o biodiesel.

A mamona e a palma foram algumas das culturas escolhidas pelo programa federal de biodiesel, que determinou a adição obrigatória de 2% de biodiesel ao diesel fóssil a partir de 2006, e prevê, a partir de 2010, um incremento de 1% ao ano até atingir 5% em 2013.

A área plantada necessária para atender ao percentual de mistura de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo é estimada em 1,5 milhões de hectares, o que equivale a 1% dos 150 milhões de hectares plantados e disponíveis para agricultura no Brasil. Este número não inclui as regiões ocupadas por pastagens e florestas. As regras permitem a produção a partir de diferentes oleaginosas e rotas tecnológicas, possibilitando a participação do agro-negócio e da agricultura familiar.

O cultivo de oleaginosas 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. No Semi-Árido brasileiro e na região Norte, a inclusão social é ainda mais presente pelas expectativas do programa nacional de biocombustíveis.

Do ponto de vista ecológico, deveria ser uma prioridade o uso do biodiesel e da biomassa para propósitos energéticos, uma vez que as vantagens ecológicas têm que exceder as desvantagens ou impactos negativos no ambiente natural e na vida humana. Considerando-se que os impactos ambientais não só surgem durante a conversão de energia, mas também em todo ciclo de vida da fonte de energia em questão, desde sua origem até o uso final, este tipo de análise deve ser levado em consideração durante o ciclo de vida global, desde a produção das matérias-primas, sua fabricação, transporte, uso e disposição final. Adicionalmente, devem ser considerados possíveis alterações no tipo de cultivo ou outros fatores que possam influenciar nos resultados de forma considerável.

“A discussão da sustentabilidade ecológica na produção e o uso de um biocombustível devem considerar aspectos específicos, destacando-se entre eles: o monitoramento de toda a cadeia de produção do biocombustível (cultivo, processamento, uso/conversão e destinação dos resíduos), limites da capacidade de regeneração dos recursos naturais (solo, água, etc.), de tal modo que a taxa de utilização supere a de renovação e possíveis conflitos e concorrências no uso das

matérias-primas e recursos naturais utilizados na produção dos biocombustível, como por exemplo, o conflito entre produção de alimentos versus produção de energia”. (Neto, J.A.A.et al, 2004).

Sendo assim a análise energética da relação da energia investida na produção do biodiesel pode contribuir como ferramenta para uma posterior formulação de indicadores da viabilidade técnico-econômica e ambiental na comparação entre as diferentes oleaginosas.

## 1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho constitui-se na elaboração do Inventário para a produção do biodiesel de óleo de palma “dendê” pela via metílica para a Região Sul da Bahia, Região Amazônica, no Brasil e da Colômbia, considerando os aspectos energéticos e ambientais de sua utilização como biocombustível. A análise do Inventário foi realizada utilizando-se a relação produção/insumo como critério de avaliação, visando à comparação com outras oleaginosas e a avaliação de medidas de aperfeiçoamento do ciclo de vida estudado.

Os objetivos específicos se constituem da definição e elaboração do Inventário do Ciclo de Vida do biodiesel obtido a partir do óleo de palma, considerando-se como limites do sistema:

- etapas de produção agrícola e seu transporte à usina extratora;
- extração do óleo vegetal;
- transporte do óleo até a usina de produção de biodiesel
- processo de produção de biodiesel (processo de transesterificação), utilizando a ferramenta ACV (Análise do Ciclo de Vida),
- levantamento de informações sobre os consumo e produção de energia, e emissões em todo o ciclo de vida do biodiesel de palma.

## 1.2 Motivação

Esta avaliação do Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel de Óleo de Palma será feita considerando três estudos de caso em questão: um estudo de caso para a Região Sul da Bahia, outro considerando a Região Amazônica no Brasil e o último para a Colômbia. Este estudo se torna relevante, uma vez que a produção e uso de biodiesel têm se tornado um tema de grande importância no cenário político e econômico do país. Assim um estudo sobre a viabilidade econômica e ambiental da produção deste biocombustível se torna importante, tendo em vista as questões estratégicas políticas e econômicas como geração de emprego e economia de recursos, assim como vantagens ambientais, principalmente o estudo de possíveis fontes que sejam menos poluentes. Com esta perspectiva decidiu-se estudar a produção de biodiesel a partir de oleaginosas. O óleo de palma, utilizado neste estudo, está entre as oleaginosas que possui o maior rendimento de extração de óleo por hectare de produção, além da observação de estudos anteriores, que mostram um balanço positivo na produção de óleo a partir desta oleaginosa.

A idéia de se comparar três diferentes cenários partiu da necessidade de mostrar as diferenças regionais tanto no Brasil como na Colômbia, além das diferentes capacidades de produção e potencialidades nestes dois países. No Brasil foram consideradas as duas distintas regiões produtoras de azeite de dendê, com suas peculiaridades e para a Colômbia, este estudo se torna relevante, pelos mesmos motivos apresentados anteriormente e se justificam pelo enorme potencial de produção do biodiesel, por esta oleaginosa nesta região, que se encontra entre os maiores produtores de azeite de dendê do mundo.

A partir do exposto acima, fica levantada a questão, a respeito da real potencialidade de produção do biodiesel de óleo de palma e em qual região esta produção seria mais viável. O que se pode questionar ao longo da dissertação deve ser em que região e em quais condições o azeite de dendê realmente é a melhor opção quando se fala em produção do biodiesel a partir de óleos vegetais.

### **1.3 Justificativas**

A crescente necessidade de se avaliar opções para uso de novos combustíveis que contribuam para uma melhora do meio ambiente, tem tornado necessária a realização de estudos que apontem de forma efetiva uma opção racional e sustentável do ponto de vista ambiental.

Tendo em vista esta necessidade, a Análise do Ciclo de Vida para o Biodiesel de Oleaginosas torna-se um estudo relevante que pode contribuir de forma significativa para se estabelecer opções de combustíveis mais atrativas econômica e ambientalmente.

Este estudo visa realizar o Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel obtido a partir do óleo de Palma e se justifica pelos resultados a serem gerados, os quais se espera permitir seu uso em futuros trabalhos de ACV relacionados a biocombustíveis. Com o intuito de avaliar as diversas etapas do ciclo de vida da produção do Biodiesel de Oleaginosas, especificamente a palma, este estudo pode auxiliar na aquisição de um maior conhecimento a respeito da magnitude dos aspectos ambientais e dos consumos energéticos deste sistema. Os resultados deste trabalho poderão ser utilizados para mostrar quais são as atividades com maior potencial de impacto neste ciclo de vida, do ponto de vista de consumos e emissões de material e energia, e futuramente compará-los com alternativas de biocombustíveis ou combustíveis fósseis ou mesmo buscar sua minimização no contexto de um planejamento energético orientado por fatores ambientais. Além disso este estudo visa contribuir para a adaptação da metodologia para este tipo de sistema, como também para a criação de uma base de dados brasileira para ACV de biocombustíveis, sendo a principal contribuição deste trabalho.

Deste modo, a realização deste estudo de pesquisa se justifica por fornecer dados nacionais para outros estudos de ACV, permitindo sua realização ou melhorando sua

qualidade e confiabilidade. Este estudo também quantifica os aspectos ambientais do ciclo de vida para a produção do biodiesel a partir do óleo de palma, permitindo futuramente realizar a comparação com a produção do biodiesel a partir de outras oleaginosas, assim como a identificação das etapas e processos com maiores impactos ambientais. Estas considerações auxiliam a busca pela melhoria de desempenho ambiental neste ciclo de vida e o planejamento de ações de pesquisa para busca de processos de menor impacto.

## **1.4 Estrutura da dissertação**

A dissertação foi feita de forma a explicar sobre a produção do inventário do ciclo de vida do biodiesel de palma, de forma a alcançar os objetivos propostos pelo mesmo. Assim foram explanados assuntos como o panorama do biodiesel no mundo e no Brasil, além do processo de produção do biodiesel, a ferramenta para produção do inventário do ciclo de vida, até a apresentação dos estudos de caso e dos resultados obtidos nos mesmos. Todos estes assuntos foram divididos em capítulos que serão detalhados a seguir.

A dissertação foi estruturada da seguinte forma:

No capítulo 1 são apresentadas as motivações para este estudo, assim como os objetivos e as justificativas que levaram a sua condução.

No capítulo 2, é feita a revisão bibliográfica do estudo abrangendo o tema desde análise energética atual, com a revisão das potencialidades da oleaginosa palma assim como o panorama do biodiesel no Brasil e na Colômbia, como aspectos relacionados às características do biodiesel, sua composição, seu processo produtivo considerando toda a cadeia de produção a partir do óleo de palma. Outros aspectos abordados foram à produção do biodiesel no mundo, assim como os impactos ambientais relacionados a sua produção e utilização. Neste capítulo também foram abordados os elementos

referentes à ferramenta de gestão utilizada no estudo - a Análise do Ciclo de Vida, com uma revisão de estudos já realizados para o biodiesel.

No capítulo 3, foi descrita a metodologia para a elaboração do inventário do ciclo de vida do biodiesel de palma produzidos para os três estudos de caso considerados.

No capítulo 4, são apresentados os resultados obtidos para os três estudos de caso realizados.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões e as recomendações deste trabalho.

## Capítulo 2

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **2.1 Análise Energética Atual**

No Brasil, com a elevação dos preços do petróleo e o interesse do Governo Federal em reduzir a importação do óleo diesel, o biodiesel passou a ser visto com maior interesse, levando o Ministério da Ciência e Tecnologia a lançar o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel (PROBIODIESEL), em 30 de outubro de 2002, pela Portaria Ministerial 702. Em dezembro de 2003 foi publicado o Decreto do Governo Federal que institui a Comissão Executiva Interministerial (CEIB) e o Grupo Gestor (GG) encarregado da implantação das ações para produção e uso de BIODIESEL e em 06 de dezembro de 2004 ocorreu o lançamento do Programa de Produção e Uso do Biodiesel.

Na matriz energética brasileira, os derivados de petróleo contribuem com uma oferta interna de energia em 38,4%. A introdução do biodiesel reforça a promoção do uso de

fontes renováveis de energia e a diversificação da matriz energética brasileira. O uso do novo combustível permitirá ganhos à economia nacional a partir da redução das importações brasileiras de diesel de petróleo, da preservação do meio ambiente e da geração de emprego e renda no campo e na indústria de bens e serviços.

A matriz energética brasileira apresentada na figura 2.1 se constitui da seguinte forma:

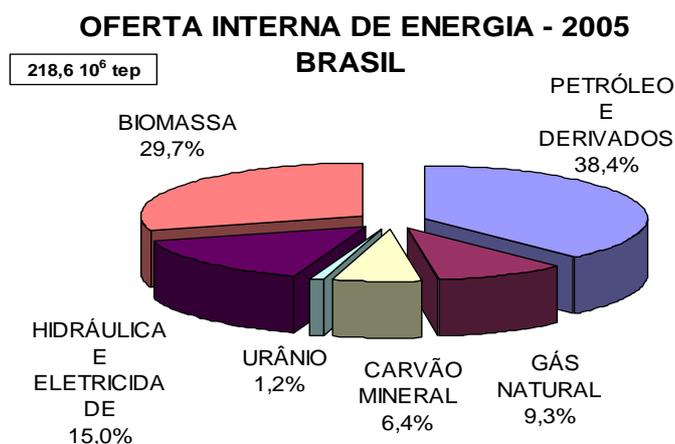


Figura 2.1: Oferta Interna de Energia. (MME/2006)

A matriz de combustíveis veiculares pode ser vista na figura 2.2 a seguir:

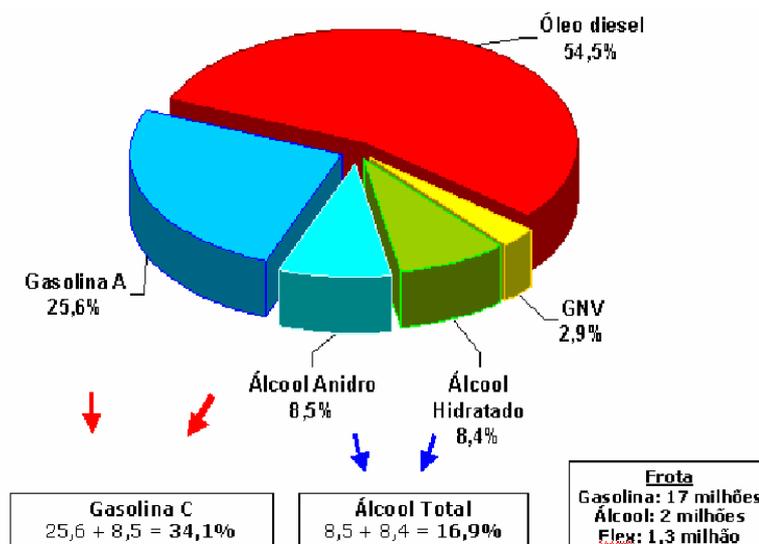


Figura 2.2: Distribuição do Mercado de Combustíveis Veiculares (MME, BEN 2005)

Este percentual de utilização de óleo diesel na matriz de combustíveis veiculares (atualmente o diesel contribui com uma parcela de 54,5%) pode ser diminuído pelo acréscimo de biodiesel, diminuindo a necessidade de importação do diesel e desenvolvendo mecanismos para diminuição da emissão de poluentes pelos combustíveis de origem fóssil.

## **2.2 Possibilidade dos Biocombustíveis - contexto Brasil e Colômbia**

### **2.2.1 Potencial dos Óleos Vegetais no Brasil**

Existem várias opções de matérias-primas para a produção de biodiesel. No Brasil, o óleo de soja já é produzido em uma escala adequada para a produção deste biocombustível, mas atualmente é direcionado para uso alimentício. As outras oleaginosas como o girassol, amendoim, algodão, palma, pinhão manso, babaçu e, principalmente, a mamona, deverão ser utilizadas pelo programa de produção de biodiesel pelo governo, já que a cultura dessas oleaginosas pode alcançar uma escala economicamente viável. Até o presente momento o álcool mais empregado na fabricação de biodiesel é o metanol. No Brasil, o etanol de cana-de-açúcar tem um grande potencial de uso, pois ele alia não toxicidade com disponibilidade e origem renovável, mas existem complicações como a menor reatividade que o metanol na reação de transesterificação.

O Brasil, pelo seu potencial climático pode ser considerado como um dos países mais propícios para a exploração de biomassa para fins alimentícios, químicos e energéticos. Além da extensa área ocupada pelas atividades agropecuárias, o país dispõe, ainda, de cerca de 140 milhões de hectares agricultáveis, o que faz com que

seja praticamente o único país do mundo capaz de expandir sua produção, incluindo a de oleaginosas. No país, são cultivadas diversas espécies oleaginosas que possuem potencial para serem utilizadas como matéria-prima na produção de biodiesel, tais como a soja, a mamona, o girassol e o dendê. A Tabela 2.1 apresenta as motivações para a produção de biodiesel e fontes de matéria-prima por região brasileira. (PARENTE, 2003).

**Tabela 2.1: Motivações para a produção de biodiesel e fontes de matéria-prima por região brasileira. Parente (2003)**

| Regiões                   | Principais Motivações   | Matérias-Primas   |
|---------------------------|---|---|
| Amazônia                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequenas produções localizadas nas chamadas ilhas energéticas.</li> <li>• Grandes produções nos dendezais.</li> </ul>  | Óleos de palmeiras nativas, plantios de dendê em áreas de reflorestamento.  |
| Pré Amazônia              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Exploração de babaçuais, através do aproveitamento integral do coco para fins químicos e energéticos.</li> <li>• Geração de renda através de lavouras associadas aos babaçuais (exemplo: amendoim, girassol).</li> </ul> | Óleos de babaçu, de amendoim e outros, provenientes de culturas associadas.   |
| Semi Árido Nordeste       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geração de ocupação e renda.</li> <li>• Erradicação da miséria.</li> </ul>   | Lavouras familiares de plantas oleaginosas. Ricinicultura (mamona).   |
| Centro Sul e Centro-Oeste | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhoria nas emissões veiculares nos grandes centros urbanos.</li> <li>• Regulação nos preços de óleo de soja.</li> </ul>  | Soja e outras culturas possíveis.   |
| Todas as regiões          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Melhor aproveitamento de materiais.</li> </ul>   | Óleos residuais de frituras e de resíduos industriais, matérias graxas extraídas de esgotos industriais e municipais. |

O programa tem como prioridade o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias adaptadas às diferenças regionais relacionadas a cada tipo de cultura de oleaginosas. Na Figura 2.3 nota-se a distribuição da produção das oleaginosas por região (MME, 2005).

Na região Norte, as culturas com maior potencial para a produção do biodiesel são dendê e soja; na região Nordeste, as principais culturas são mamona, palma, pinhão manso, babaçu, soja e algodão; na região Centro-Oeste e Sudeste, predominam mamona, soja, algodão e girassol; e no Sul, soja, algodão, girassol e colza. A mamona

tem sido uma das principais oleaginosas apoiadas pelo programa do Governo Federal Brasileiro devido à sua adaptação ao semi-árido nordestino, e tem-se tornado uma das matérias-primas fundamentais para diversos estudos na área de biodiesel (HOLANDA, 2004).



**Figura 2.3: Distribuição da Produção de Oleaginosas no Brasil. (MME, 2005)**

Na Tabela 2.2 são apresentadas algumas características de culturas oleaginosas com potencial de uso para fins energéticos (produtividade, ciclo econômico e rendimento de óleo). Verificando-se os dados da tabela pode-se observar que, em termos de rendimento de óleo, merecem destaque o dendê, o coco e o girassol. A mamona apresenta a peculiaridade de ser uma cultura resistente à seca. Entre as culturas de oleaginosas, a cultura do dendê é a que apresenta a maior produtividade, com um rendimento de 4 a 6 toneladas de óleo/há. Além disso, no processamento dos frutos de dendê são produzidos resíduos sólidos que podem gerar energia térmica ou elétrica para a própria unidade industrial, ou para uso nas comunidades rurais.

**Tabela 2.2: Características de algumas culturas oleaginosas com potencial de uso Energético. (Nogueira, L.A.H.; PIKMAN. (2002).**

| <b>Espécie</b> | <b>Origem do Óleo</b> | <b>Conteúdo de Óleo (%)</b> | <b>Ciclo de Máxima Eficiência (anos)</b> | <b>Meses de Colheita</b> | <b>Rendimento (tonelada óleo/ha)</b> |
|----------------|-----------------------|-----------------------------|--|--------------------------|--------------------------------------|
| Dendê (Palma)  | Amêndoa               | 20,0                        | 8  | 12                       | 3,0 – 6,0                            |
| Abacate        | Fruto                 | 7,0 – 35,0                  | 7  | 12                       | 1,3 – 1,5                            |
| Coco           | Fruto                 | 55,0 – 60,0                 | 7  | 12                       | 1,3 – 1,9                            |
| Babaçu         | Amêndoa               | 66,0                        | 7  | 12                       | 0,1 – 0,3                            |
| Girassol       | Grão                  | 38,0 – 48,0                 | Anual                                    | 3                        | 0,5 – 1,9                            |
| Colza/Canola   | Grão                  | 40,0 – 48,0                 | Anual                                    | 3                        | 0,5 – 0,9                            |
| Mamona         | Grão                  | 43,0 – 45,0                 | Anual                                    | 3                        | 0,5 – 0,9                            |
| Amendoim       | Grão                  | 40,0 – 43,0                 | Anual                                    | 3                        | 0,6 – 0,8                            |
| Soja           | Grão                  | 17,0                        | Anual                                    | 3                        | 0,2 – 0,4                            |
| Algodão        | Grão                  | 15,0                        | Anual                                    | 3                        | 0,1 – 0,2                            |

### **2.2.2. Potencialidade do Dendê no Brasil**

O dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma palmeira originária da Costa ocidental da África (Golfo da Guiné), encontrada em povoamentos subespontâneos desde a Senegal até Angola. No século XVII foi trazido para o Brasil pelos escravos e adaptou-se bem ao clima tropical úmido do litoral baiano. As palmeiras originadas das sementes trazidas pelos escravos após frutificarem e serem dispersas (sementes) pelos animais e pelo homem formaram uma larga faixa de plantio dessa oleaginosa na costa brasileira.

O dendezeiro é uma palmeira de cultura permanente e de vida útil na faixa de 20 a 30 anos, sendo que a produção de cachos tem início 3,5 anos após o plantio. Os elementos climáticos que mais favorecem essa cultura são: a temperatura do ar em níveis moderados, a disponibilidade de radiação solar associada a chuvas bem distribuídas, precipitações acima de 2000 mm/ano e é uma cultura de solos profundos, não compactos. (BARCELOS; CHAILLARD et alli 1995).

O principal produto do dendezeiro é o óleo extraído da polpa do fruto - o conhecido azeite de dendê cuja demanda vem crescendo no Brasil. As primeiras unidades industriais foram instaladas na década de 50. O óleo de dendê possui a característica de ser um óleo com grande versatilidade, podendo ter uma gama muito variada de possibilidades da sua utilização por diversos segmentos industriais.

A cultura do dendezeiro é, provavelmente, a de maior potencial de crescimento no mundo dentre as culturas agrícolas de significado econômico. Sua rentabilidade é muito boa, apesar do alto investimento para a implantação, mas o mercado de preços tem se mantido estável, em torno de US\$ 450 por tonelada de óleo de palma, devido ao aumento de produção que tem acompanhado o crescimento do consumo.

O Brasil consome 280 mil toneladas de óleo de dendê e derivados para uso em cosméticos e alimentícios e importa em torno de 180 mil toneladas, mas tem mercado interno potencial de 400 mil toneladas por ano. O Pará possui a maior produção do país. A área total dessa cultura no Brasil é estimada em 59,30 hectares de plantio, com uma produção de 131,98 toneladas de óleo, bem modesta comparada com a Malásia que só entre o ano de 2004 a 2005 obteve uma produção de 34,5 milhões de toneladas (HOLANDA, 2004).

### **Potencialidade do Dendê na Bahia**

Na Bahia, a área apta disponível é de 750 mil hectares de terras situadas em regiões litorâneas que se estendem desde o Recôncavo até os Tabuleiros do Sul da Bahia com

uma grande diversidade de solos e clima para esta cultura. A maior parte da produção de óleo de dendê na Bahia (10 mil toneladas) é proveniente de dendezeiros subspontâneos de baixa produtividade, que se justifica por terem ultrapassado o período econômico de produção (25 anos) e apresentarem um precário estado sanitário e uma escassa manutenção. Esta área soma cerca de 19.650 hectares. A área cultivada de dendezeiros é de 11.500 hectares (somando indústrias de extração e produtores independentes), que correspondem a 1,53% da área total disponível. (FNP, 2006).

Em relação à sua industrialização, atualmente existe uma capacidade ociosa maior que 50%, pois existe falta dos frutos para atender as necessidades da indústria. Os dendezeiros existentes ainda são, em grande parte, de plantas de baixa produtividade e há ainda a preocupação pelo baixo preço do produto. As grandes empresas possuem suas próprias plantações, mas estas não atendem as necessidades para a plena produção industrial e estas adquirem a matéria-prima junto aos pequenos produtores. Atualmente, a Bahia importa o azeite dendê para atender as necessidades de consumo, principalmente pela culinária baiana.

Esta cultura apresenta muitos pontos fortes para a produção de biodiesel no estado da Bahia, pois existe uma tradição estadual na produção de óleo de dendê e a existência de suporte técnico através de instituições de pesquisa que atuam nesta área como a UFBA, EBDA, e o CEPLAC.

Existe uma preocupação ambiental pelo fato de os dendezeiros se localizarem em área de Mata Atlântica. Corre-se o risco, com projetos de expansão da cultura, de eliminar remanescentes da mata ainda existentes, além de competir com outros usos da matéria-prima com fins alimentícios, como margarinas, gorduras, pó para sorvete, manteiga vegetal, óleo de cozinha, azeite de dendê; os usos óleos-químicos e o uso industrial na obtenção da estearina, oleína, glicerina, ácido láurico, ácido oléico, ácidos graxos e ésteres. O Óleo de palmiste extraído do processo também é disputado

por indústrias alimentícias, de sabão e óleo-químico por ser substituto da manteiga do cacau e utilizado na indústria de cosméticos.

### **Potencialidades do Dendê na Região Amazônica**

O primeiro projeto para desenvolvimento da dendeicultura na região Amazônica foi iniciado a partir da década de 1960. A Região Amazônica possui 70 milhões de hectares, e 39 mil são utilizados para o plantio do dendê, sendo 85% localizados no Estado do Pará. O Estado do Amazonas possui um potencial de 71,4% de terras aptas para o cultivo do dendezeiro (FURLAN; GROSSO et alli 2003).

A chuva é o elemento climático que apresenta o maior efeito no crescimento e produção. Na ausência de irrigação, a chuva é o elemento determinante na disponibilidade de água, e essas características evidenciam o favorecimento dessa cultura nesta região.

A área devastada na região Amazônica vem crescendo cada vez mais. A vantagem do cultivo do dendê em tal região é o destaque desta oleaginosa perante outras culturas é que além de não prejudicar a biodiversidade vegetal, seu plantio em áreas degradadas, ajuda a recuperar a vegetação do local desmatado e oferece um local alternativo (ao invés de ser necessário o desmatamento de uma nova área para a fixação desta cultura).

A cultura do dendê é elegível no âmbito do Mecanismo Limpo, previsto no protocolo de Kyoto, para o recebimento de investimentos provenientes dos créditos do carbono. Além destes fatores, o plantio pode ser associado ao cultivo de leguminosas que além de fornecerem uma fonte de nitrogênio ao solo e aumentar a fertilidade da plantação, possibilita uma fonte alimentícia à comunidade que trabalha no cultivo e extração dos frutos da palmeira (MIRANDA, 2005).

### **2.2.3. Panorama do Biodiesel no Brasil**

Foi a partir da invenção do motor diesel, pelo engenheiro Rudolph Christian Carl Diesel (1858-1913) no final do século 19, que se vislumbrou, pela primeira vez, a possibilidade de se usar óleos vegetais como combustível. Foi apenas na primeira década do século passado que o óleo diesel passou a ser produzido a partir do petróleo.

O Biodiesel possui as características de ser renovável e produzir menos poluentes que o diesel do petróleo. Por já existir uma indústria de produção de álcool no país, a adoção do biodiesel à base de etanol facilitaria a incorporação desse tipo de combustível à matriz energética brasileira, mas a tecnologia com a utilização deste álcool ainda não é totalmente dominada, devido a limitações de ordem técnica, como a baixa taxa de conversão da mistura em biodiesel. Comparado ao óleo diesel derivado de petróleo, o biodiesel pode reduzir em 78% as emissões líquidas de gás carbônico, considerando-se a reabsorção pelas plantas, além de reduzir em 90% a emissão de fumaça e praticamente eliminar as emissões de dióxido de enxofre. O uso exclusivo traz inúmeras vantagens, a começar pelo fato de ser um combustível totalmente nacional e 100% renovável. O uso do biodiesel na sua forma pura diminui a emissão de dióxido de carbono em 46% e de material particulado em 68%. Se for usada a mistura B5, a redução de fumaça preta chega a 13%. (NOGUEIRA, et. al, 2002)

Segundo a ANP (2005), a frota nacional consome cerca de 40 bilhões de litros de óleo diesel. A meta do Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel (Probiobiodiesel), do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), e mais recentemente do Grupo de Trabalho Interministerial, coordenado pela Casa Civil da Presidência da República, foi montar um amplo plano de produção desse novo biocombustível, com incentivo ao plantio de espécies oleaginosas. Esse combustível servirá como complemento ao óleo diesel comum e, futuramente, poderá ser usado de forma integral nos motores do ciclo diesel se houver oferta suficiente. Desde 1998,

em Curitiba, vários ônibus de empresas associadas à Urbanização de Curitiba (Urbs) circulam na cidade com uma mistura de óleo diesel (89,4%), etanol (8%) e um aditivo à base de soja (2,6%), batizada de Mistura de Álcool no Diesel (MAD-8). O aditivo utilizado foi fabricado e fornecido pela empresa Ecomat de Mato Grosso.

No Rio de Janeiro, existem experiências realizadas pelo Instituto Alberto Luiz de Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (Coppe), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), em parceria com o governo do estado, testando ônibus movido a biodiesel feito com óleo reciclado doado pelos refeitórios universitários e pela rede de lanchonetes McDonald's. Este estudo faz parte do Projeto Biodiesel Brasil. Entre as iniciativas de empresas, a Petrobras desenvolve seu programa de biodiesel com uma forte preocupação com o social, prevendo a compra do óleo de pequenos produtores que poderão usar a água dos poços perfurados pela Petrobras, onde não foi encontrado petróleo, para irrigar as plantações (HOLANDA, 2004).

No Ceará, o projeto de desenvolvimento de biodiesel é liderado pela empresa Tecnologias Bioenergéticas (Tecbio), incubada no Parque Tecnológico da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial (Nutech). Além disso, a partir de 2004, a frota de ônibus da empresa Guanabara, de Fortaleza, começou a ser abastecida com biodiesel à base de mamona produzido pela Tecbio. A expectativa dos pesquisadores envolvidos no projeto é que seja criado um emprego para cada 2 hectares plantados, gerando um rendimento de R\$ 500,00 por hectare.

A Universidade Federal do Paraná vem desenvolvendo tecnologias para a produção de ésteres de óleo de soja, visando a suas misturas ao diesel, desde 1983. De janeiro a março de 1998, sob a coordenação do Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR), realizou-se em Curitiba uma experiência de campo, com o uso monitorado de biodiesel B20, para uma frota de 20 ônibus urbanos que operaram normalmente com o novo combustível. No Paraná, os testes têm sido realizados com biodiesel obtido a partir de soja e álcool em função da grande disponibilidade destes produtos. O Paraná

conta ainda com o Centro de Referência em Biocombustíveis (CERBIO), criado por meio de um convênio entre a Secretaria de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Estado e o Ministério da Ciência e Tecnologia, sendo responsável pelas pesquisas com biodiesel, tanto como aditivo ao diesel quanto em combinação com o etanol.

Na Bahia, no campus da Universidade Federal, a UFBA, está sendo desenvolvido um grande trabalho, que tem obtido bastante êxito, com a construção de uma planta piloto com a capacidade de 5000000 litros por ano, que se encontra em operação na Escola Politécnica da Universidade. Essa planta foi construída para produção de biodiesel a partir de gorduras residuais (OGR) e/ou óleos vegetais in natura, sendo financiada pela ANEEL, com o apoio da Nordes Generation. Com esta planta piloto a Universidade atende uma gama de atividades como a preparação de biodiesel, testes dos combustíveis e misturas em motores estacionários e veiculares, a avaliação dos desgastes de motores e seus componentes, o estudo de reações fotoquímicas envolvendo gases de emissões veiculares, as análises e especificações de matérias-primas, combustíveis misturas e co-produtos, e novas aplicações para a glicerina.



**Figura 2.4: Planta Piloto de Biodiesel – UFBA (TORRES et.al 2006).**

Além disso, também foi montado um Laboratório de Emissões Veiculares, com o apoio da FINEP/FAPESB, para avaliar o desempenho do biodiesel puro e em misturas de diferentes proporções em motores ciclo diesel e comparar os níveis de emissões atmosféricas para os poluentes regulamentados (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e HC) e

particulados com os do diesel convencional; testes de emissões não regulamentadas (aldeídos, policíclicos aromáticos), combustíveis de referência (diesel) além de realizar efetuar estudo financeiro e econômico da produção de biodiesel e do seu ciclo de vida; estudos sobre biodegradabilidade e biorremediação do biodiesel em ambientes aquáticos e em solo; métodos de purificação do biodiesel em escala piloto, a produção em planta contínua de éteres metílicos e etílicos de ácidos graxos, a glicerina e a torta para geração de energia térmica ou elétrica. (TORRES, et. al. 2006)

No ano de 2002, a Universidade Federal da Bahia/Escola Politécnica e a Universidade Estadual de Santa Cruz iniciaram um projeto e com ele foi criada a Rede de Biodiesel da Bahia e em 2004 foi oficializado o ENAM – Instituto de Energia e Ambiente, composto de uma Rede virtual de entidades e pesquisadores, para integrar e ampliar a capacidade instalada de pesquisa em energia e ambiente no Estado da Bahia. Posteriormente, a SECTI ampliou e lançou a Rede Baiana de Biocombustíveis. Esta rede é formada por diversas instituições que apóiam as ações do Programa de Biodiesel da Bahia – PROBIODIESEL BAHIA.

No campus da Universidade Estadual de Santa Cruz, em Ilhéus (BA), existe uma planta piloto de produção de biodiesel de éster metílico a partir de óleo de dendê e gorduras residuais. A planta tem capacidade de produção de 1400 litros/dia, que pode ser adaptada para a produção de éster etílico. Na região Nordeste do País, nos estados do Rio Grande do Norte, Piauí e Ceará, existem projetos piloto e implantação de unidades processadoras de biodiesel baseadas no óleo de mamona. Recentemente, empresas da iniciativa privada e instituições públicas estabeleceram parcerias para fomentar o cultivo de mamona para a produção de biodiesel no Estado.

O Pará possui um grande potencial, principalmente a partir da utilização do óleo de palma (dendê), do qual o estado é o maior produtor do Brasil. Essa é a proposta do Programa Paraense de Incentivo à Produção de Biodiesel (Parábiodiesel), lançado em Belém. Em 2004, o grupo paraense Agropalma inaugurou na capital do Pará a primeira planta industrial de processamento do combustível de dendê, com uma

estimativa de produção de 8 milhões de litros anuais. Com o biodiesel, o governo espera contribuir também para a oferta de energia elétrica às comunidades isoladas da margem esquerda do rio Amazonas e da ilha de Marajó, com a substituição do diesel de petróleo pelo biodiesel.

Além desses, há uma série de outros projetos em fase de desenvolvimento e testes que utilizam óleos provenientes de amendoim, girassol, algodão, milho, canola, mamona, pequi, macaúba, babaçu, entre outros. Para unificar esforços das pesquisas desenvolvidas no país voltadas à produção de biodiesel, além de centralizar a definição de estratégias no campo da energia baseada em fontes alternativas, existe ainda o Pólo Nacional de Biocombustíveis de Piracicaba, coordenado pela ESALQ (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz), instituição com longa experiência na condução de pesquisas sobre o álcool combustível.

A idéia inicial de acrescentar 5% de biodiesel ao óleo originário do petróleo - fórmula conhecida como B5 - em uma iniciativa similar à que ocorre com a gasolina, que recebe cerca de 25% de etanol, já está em funcionamento. Com essa medida, estima-se que o Brasil reduza em 33%, de um total de 6 bilhões de litros, suas importações de diesel, gerando uma economia anual de US\$ 350 milhões, além da geração de um grande número de empregos diretos e indiretos. (ANP, 2005). A Tabela 2.3 mostra a produção brasileira de biodiesel em 2005 e na Figura 2.5 são mostradas as unidades produtoras de biodiesel em junho de 2006.

**Tabela 2.3: Capacidade nominal e produção de biodiesel - B100, segundo unidades em 2005.**

| Unidade <sup>1</sup> | Município (UF) | Capacidade Nominal <sup>2</sup> | Produção <sup>3</sup> |
|----------------------|----------------|---------------------------------|-----------------------|
|                      |                | m <sup>3</sup> /ano             | m <sup>3</sup>        |
| Total                |                | 85.320                          | 736,2                 |
| Agropalma            | Belém (PA)     | 24.000                          | 510,4                 |
| BioliX               | Rolândia       | 9.000                           | 25,6                  |

|                           |                    |        |       |
|---------------------------|--------------------|--------|-------|
|                           | (PR)               |        |       |
| Brasil Biodiesel          | Florianópolis (PI) | 27.000 | 150,9 |
| Brasil Biodiesel (filial) | Teresina (PI)      | 600    | 5,5   |
| Fertibom                  | Catanduva (SP)     | 6.000  | -     |
| Nutec                     | Fortaleza (CE)     | 720    | -     |
| Renobras                  | Dom Aquino (MT)    | 6.000  | -     |
| Soyminas                  | Cássia (MG)        | 12.000 | 43,8  |

<sup>1</sup>Unidades produtoras autorizadas pela ANP em 2005

<sup>2</sup>Considerou-se 300 dias de operação

<sup>3</sup>Biodiesel puro ou B100, conforme Resolução ANP nº 42/2004.



Figura 2.5: Unidades Produtoras de Biodiesel em junho/2006 (ANP, 2006).

Apesar da eficiência do processo de conversão e do aproveitamento da glicerina, o biodiesel brasileiro ainda é mais caro do que o diesel comum. O percentual depende do preço do óleo empregado na produção. Na Tabela 2.4 são apresentadas às vendas de biodiesel puro e na mistura B2.

**Tabela 2.4: Vendas de B2 - mistura óleo diesel/biodiesel puro<sup>1</sup>, pelas distribuidoras, segundo Grandes Regiões e Unidades da Federação – 2005. (ANP/SAB, conforme a Portaria CNP n.º 221/81).**

| Grandes Regiões e Unidades da Federação | Vendas de B2 pelas distribuidoras (m <sup>3</sup> ) |
|---|---|
|   | 2005  |
| Total                                   | 3.755,3   |
| Região Norte                            | 659,6   |
| Pará                                    | 659,6   |
| Região Sudeste                          | 2.790,0   |
| Minas Gerais                            | 2.120,0   |
| Rio de Janeiro                          | 200,0   |
| São Paulo                               | 470,0   |
| Região Centro-Oeste                     | 305,7   |
| Goiás                                   | 265,7   |
| Distrito Federal                        | 40,0  |

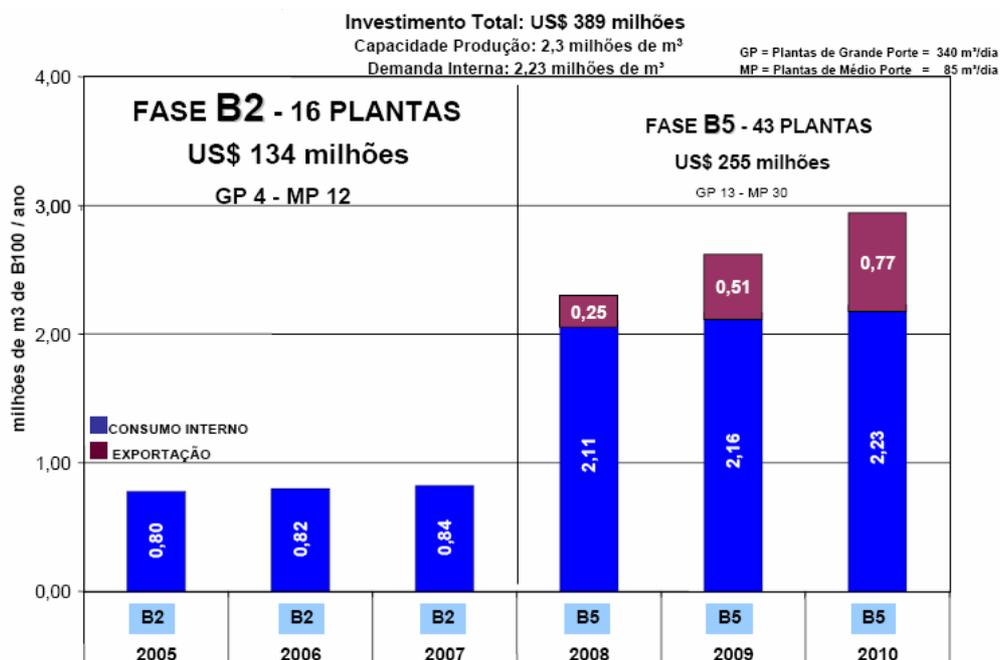
<sup>1</sup>B2, conforme Resolução ANP nº 42/2004

Nota: Inclui o consumo próprio das companhias distribuidoras

Mesmo que o país alcance a auto-suficiência em petróleo nos próximos anos, seria preciso continuar importando diesel. O principal problema do óleo extraído na costa brasileira é a qualidade inadequada para a produção do diesel. Na maior parte das jazidas, principalmente aquelas da Bacia de Campos, o petróleo é do tipo pesado, caracterizado por ainda não ter completado seu ciclo de maturação e por sofrer um processo de biodegradação natural.

Uma adição de 2% de biodiesel ao diesel traz uma economia de cerca de U\$152 milhões. Com a adoção da mistura B5, esta economia pode chegar a U\$ 380 milhões.

(MME, 2006). Através do gráfico da figura 2.6 é possível observar a capacidade de produção.



Fonte: MME, 2006

**Figura 2.6: Capacidade de produção projetada até 2010.**

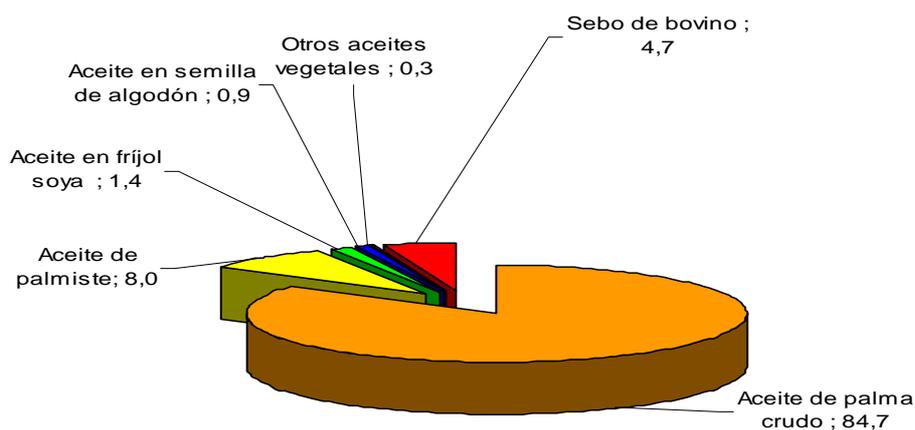
Segundo dados do MME, 2005 a evolução da mistura do biodiesel nas proporções é de 2 até 5%, o que deverá ser alcançado em 2010, poderá gerar 362 mil novos empregos no país. Na Tabela 2.5 é possível ver esta projeção.

**Tabela 2.5: Evolução temporal do percentual de biodiesel em mistura com o diesel e o número de empregos resultante. (MME, 2005)**

|          | 2005    | 2006    | 2007    | 2008    | 2009    | 2010    |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Mistura  | B2      | B2      | B2      | B5      | B5      | B5      |
| Empregos | 153 mil | 153 mil | 153 mil | 382 mil | 382 mil | 382 mil |

## 2.2.4. Potencial dos Óleos Vegetais na Colômbia

Na Colômbia, a maior produção de óleo vegetal provem das palmeiras, que contribuem com uma produção no mercado de 84,7% . Na Figura 2.7, a seguir, é mostrada a contribuição das principais oleaginosas produzidas no país.



**Figura 2.7: Contribuição dos principais azeites e gorduras da Colômbia. (FEDEPALMA, 2005)**

### Potencialidade do Dendê na Colômbia

Na Colômbia, o dendê foi introduzido por Florentino Claes em 1932, sendo plantado com fins ornamentais. Apenas em 1954 começou a ser cultivado em larga escala. A expansão dessa cultura naquele país se configurou de forma relativamente lenta.

Atualmente a Colômbia dispõe de grandes áreas aptas ao cultivo de dendê. Diferentes estudos estimam uma área de cerca de 3,5 milhões de hectares sem restrições ao plantio dessa oleaginosa. Existem plantados cerca de 275 mil hectares de palma (FEDEPALMA, 2005). Nas Figuras 2.8 e 2.9 a seguir são apresentados os números em hectares de plantio e as áreas de cultivo de palmeiras nas diferentes regiões do país.

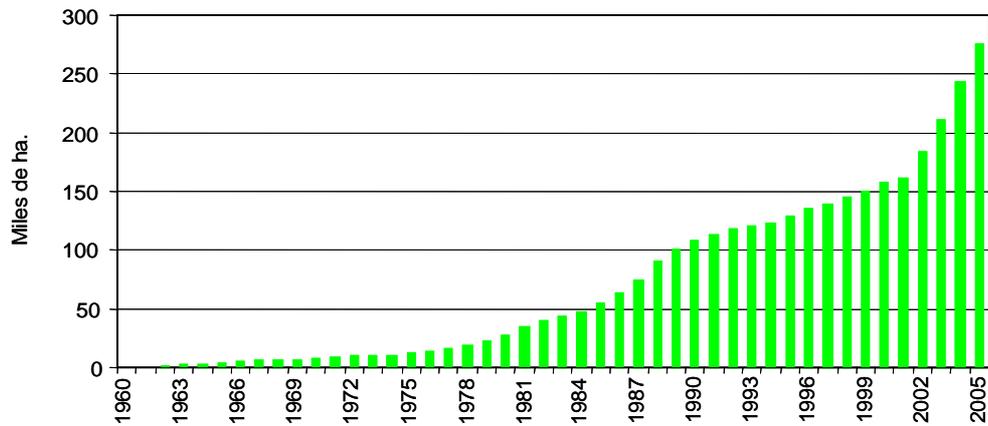


Figura 2.8: Evolução as áreas de plantação de palmeiras na Colômbia (FEDEPALMA, 2005)

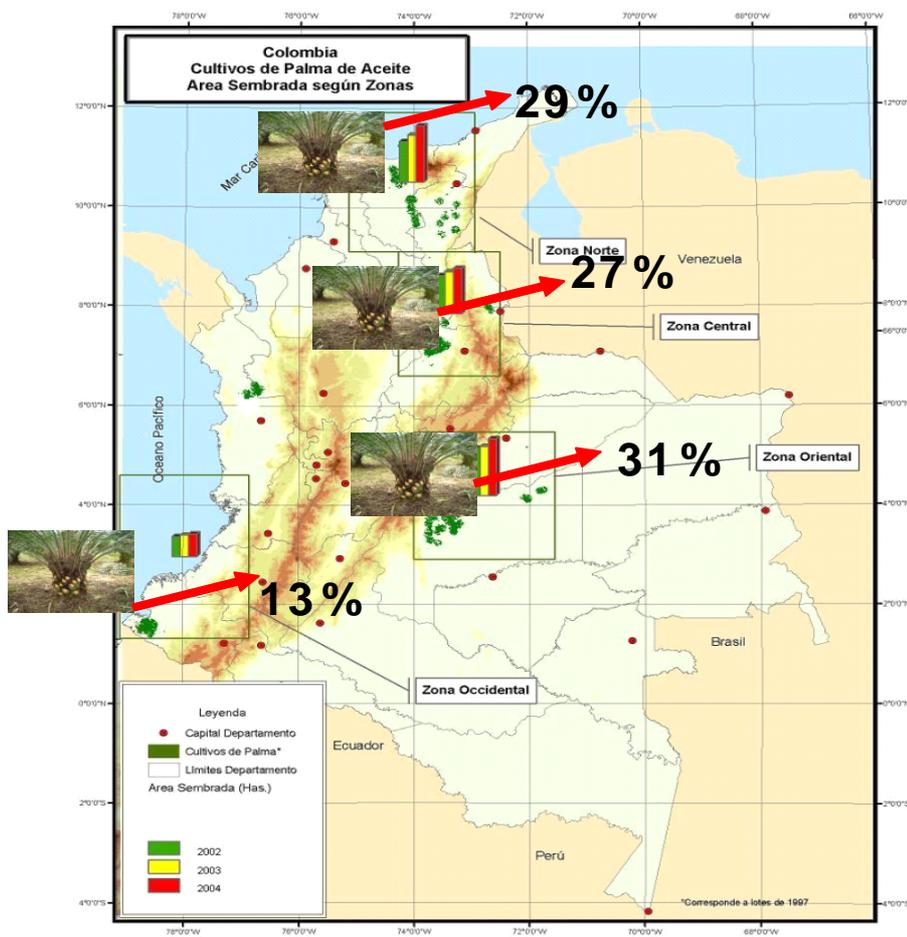


Figura 2.9: Cultivos de palmeiras nas diferentes regiões da Colômbia (FEDEPALMA, 2005)

A Colômbia ocupa uma posição de destaque na produção de óleo de palma, com uma produção de 146 mil toneladas, que constitui uma parcela de 49% na produção de oleaginosas do país. Os outros cultivos com maior expressão são a soja, com 23,8%, e o algodão, com 25,4%. (FEDEPALMA, 2005). Na Figura 2.10 é mostrada a evolução da produção de óleo de palma no período de 1980 a 2005.

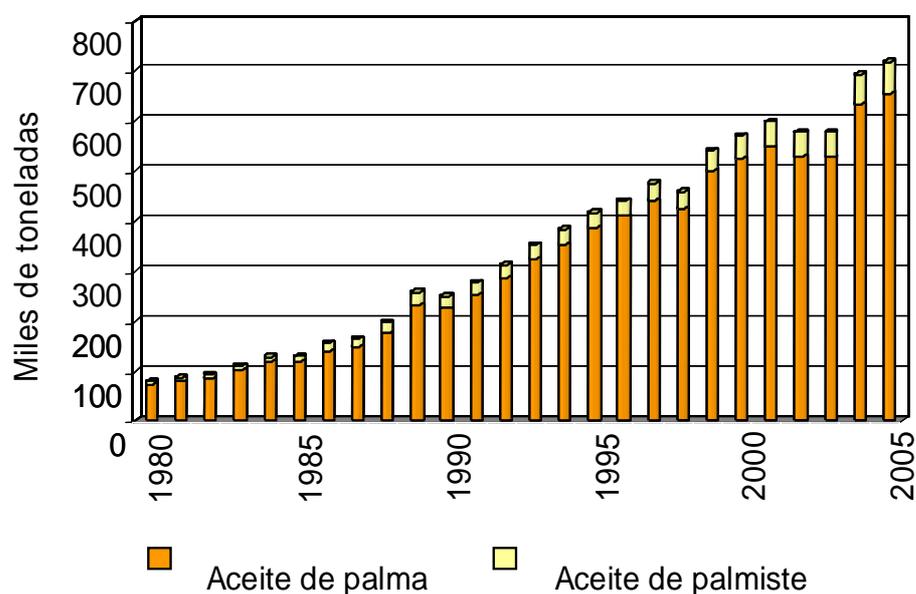


Figura 2.10: Evolução da Produção de óleo de palma e palmiste (FEDEPALMA, 2005).

### 2.2.5 Panorama do Biodiesel na Colômbia

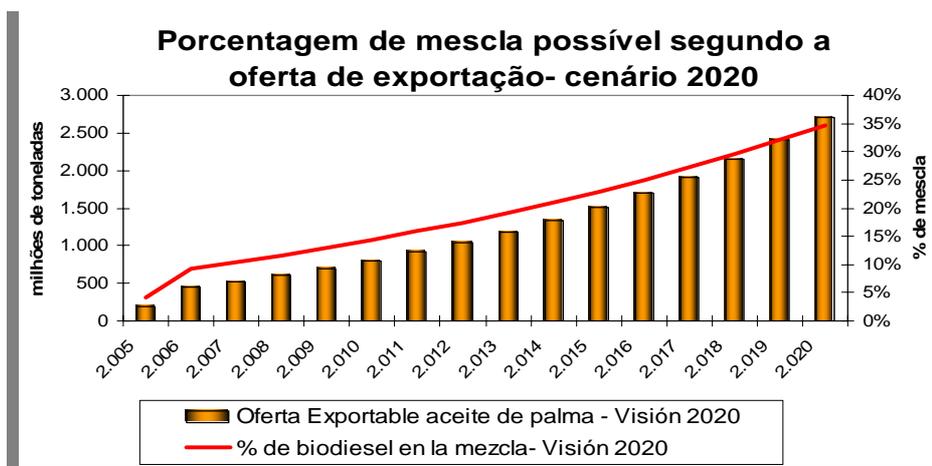
A Colômbia é um dos países da América do Sul que quer seguir a estratégia brasileira na produção de biocombustíveis. A Colômbia e Argentina se destacam por fortalecer legislações para o fomento dos biocombustíveis. Atualmente a Colômbia não possui usinas de biodiesel, mas pretende implantar o programa, principalmente a partir da utilização da palma, pois o país se encontra entre os maiores produtores de azeite de Palma do mundo.

Hoje existem oito projetos de produção de biodiesel de palma em desenvolvimento na Colômbia, com capacidade instalada total de 685.000 ton/ano de biodiesel de palma, sendo a projeção de 250.000 toneladas para a região da Costa Atlântica, 100.000 toneladas para Magdalena Médio, para a Costa Pacífica 100.000 toneladas e os Llanos Orientales 253.000 toneladas.

Uma lei, aprovada em 2001, estipula que a gasolina colombiana deverá conter 10% de etanol em 2009 e, gradualmente, deverá chegar a 25% entre 15 e 20 anos. Uma legislação semelhante foi preparada para o biodiesel, com base na palma africana. Atualmente, na Colômbia são produzidos 600 mil toneladas anuais de óleo comestível. A lei 939 de 30 de dezembro de 2004 estimula a produção e comercialização de biocombustíveis de origem vegetal ou animal para uso em motores de ciclo diesel e dita outras disposições.

Segundo Terramérica David Cala, diretor da Corporação para o Desenvolvimento Industrial da Biotecnologia (CORPODIB), 2006, a Colômbia pode ser o terceiro país na produção de biocombustíveis, superada somente por Estados Unidos e Brasil.

A CORPODIB estimou uma projeção para as exportações em torno de dez milhões de litros de álcool de cana e beterraba e a três milhões de toneladas anuais de biodiesel, entre duas e três vezes o consumo interno, dentro de 10 a 20 anos. Na Figura 2.11 a seguir é mostrada a projeção na produção de biodiesel para 2020.



**Figura 2.11: Projeção da mistura de biodiesel segundo a Oferta de Exportação de óleo de palma para 2020. (CORPODIB, 2005).**

Na tabela 2.6 são apresentadas as principais leis da Colômbia referentes a biocombustíveis.

**Tabela: 2.6: Resumo das Principais Leis sobre Biocombustíveis na Colômbia (UPME, 2006).**

|  |   |
|--|---|
| Lei 939 de 2004                                | <p>Não estabelece obrigatoriedade; isenções para uso de biocombustíveis em motores diesel de produção nacional.</p> <p>Esta lei está em processo de tramitação no projeto de Reforma Tributaria</p> |
| Lei 1083 de 2006                               | <p>Estabelece o biodiesel como um combustível limpo, mas não inclui sua regulamentação.</p>   |
| Resolução de produção, distribuição e mesclas. | <p>Falta desenvolver a regulamentação</p> <p>Tem a importância para regular a distribuição do biodiesel a empresas</p>  |

|   |   |
|---|---|
|   | geradoras de energia nas zonas não interconectadas.   |
| Resolução 1289 de 2005 do Ministério de Minas e Energia e do Ministério de Ambiente e Desenvolvimento territorial | Estabelece os parâmetros de qualidade para os biocombustíveis.<br>Limita o uso de biodiesel de palma.<br>Ponto de fluidez estabelecido 3°C. |
| Normas de qualidade Icontec   | END 41 (B100)<br>Norma preliminar onde se estabelece o parâmetro de qualidade dos biocombustíveis   |

Na Tabela 2.7 é apresentado um resumo dos principais projetos sobre biodiesel desenvolvidos na Colômbia.

**Tabela 2.7: Estudos Prévios de Desenvolvimento de Projetos sobre Biodiesel na Colômbia (UPME, 2006).**

|  |  |
|--|--|
| Estudo de viabilidade FEDEPALMA 2004           | Estudo sobre a viabilidade técnica e econômica da produção dos derivados de óleo de palma na Colômbia como carburantes para motores de ciclo diesel. |
| Estudo preliminar de logística. FEDEPALMA 2005 | Alternativas de localização de plantas produtoras de biodiesel com base em critérios de logística de distribuição do produto.                        |
| Consultoria de MPOB. 2005                      | Análise da experiência de Malásia com biocombustíveis de palma.  |

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Estudo Banca Inversão. 2006 | Informe sobre viabilidade econômica e legal de um projeto associativo de produção de biodiesel de palma |
|-----------------------------|---|

## 2.3 O Biodiesel

### Definição

O biodiesel é um éster produzido na reação de transesterificação de óleos vegetais e/ou gorduras animais em conjunto com um álcool (metanol ou etanol). Na presença de um catalisador, são convertidos em ácidos graxos e, finalmente, a ésteres, com o glicerol (glicerina) como subproduto. Segundo a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, o biodiesel é um “biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustível de origem fóssil”. O Biodiesel é não tóxico, e pode ser obtido não apenas pelo processo de transesterificação, mas por diferentes processos, como o craqueamento térmico e a esterificação. Pode ser produzido a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais. Para cada 1 mil litros de óleo são utilizados cerca de 200 litros de etanol e de 0,8% a 1% de agentes catalisadores. Em seguida, a mistura vai para um decantador onde ocorre a separação do glicerol, substância de alto valor agregado, da qual se pode obter a glicerina usada por indústrias farmacêuticas, de cosméticos e de explosivos. Uma tonelada de glicerina chega a custar US\$ 1,3 mil. Além da glicerina, a cadeia produtiva do biodiesel gera uma série de outros co-

produtos (torta, farelo etc.) que podem agregar valor e se constituir em outras fontes de renda importantes para os produtores.

Os óleos vegetais não devem ser utilizados diretamente como combustível em motores diesel devido à sua alta viscosidade de 30 a 40 cSt a 38°C - a alta viscosidade de óleos vegetais interfere no processo de injeção; ao ponto de chama alto (cerca de 200°C), que favorece a formação de depósitos de carbono; a menor capacidade calorífica (39 a 40 MJ/kg, em relação ao diesel de petróleo 45 MJ/kg), e ao menor número de cetano (32 a 40, enquanto o diesel de petróleo é de 40 a 45). Os usos em longo prazo dos óleos vegetais geram resinas, coque nos injetores e a colagem dos anéis. Os óleos vegetais in natura são incompatíveis para mistura com diesel de petróleo. Por estes fatores, são necessárias alterações químicas ou físicas nos óleos vegetais a fim de amenizar esses problemas. Os principais processos que alteram estas características são a diluição, a pirólise, a microemulsificação, e a transesterificação, que produz o biocombustível.

O biodiesel substitui total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo em motores ciclo diesel automotivo (de caminhões, tratores, camionetas, automóveis, etc) ou estacionários (geradores de eletricidade, calor, etc). Pode ser usado puro ou misturado ao diesel em diversas proporções. A mistura de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo é chamada de B2 e assim sucessivamente até o biodiesel puro, denominado B100. As vantagens do biodiesel misturado ao óleo diesel é que se pode melhorar a lubricidade do diesel, diminuir a emissão de poluentes, não requer mudanças na operação dos motores, possibilidade de captura do dióxido de carbono, pela fotossíntese.

Um esquema da cadeia de produção do biodiesel de oleaginosas é mostrado a seguir:

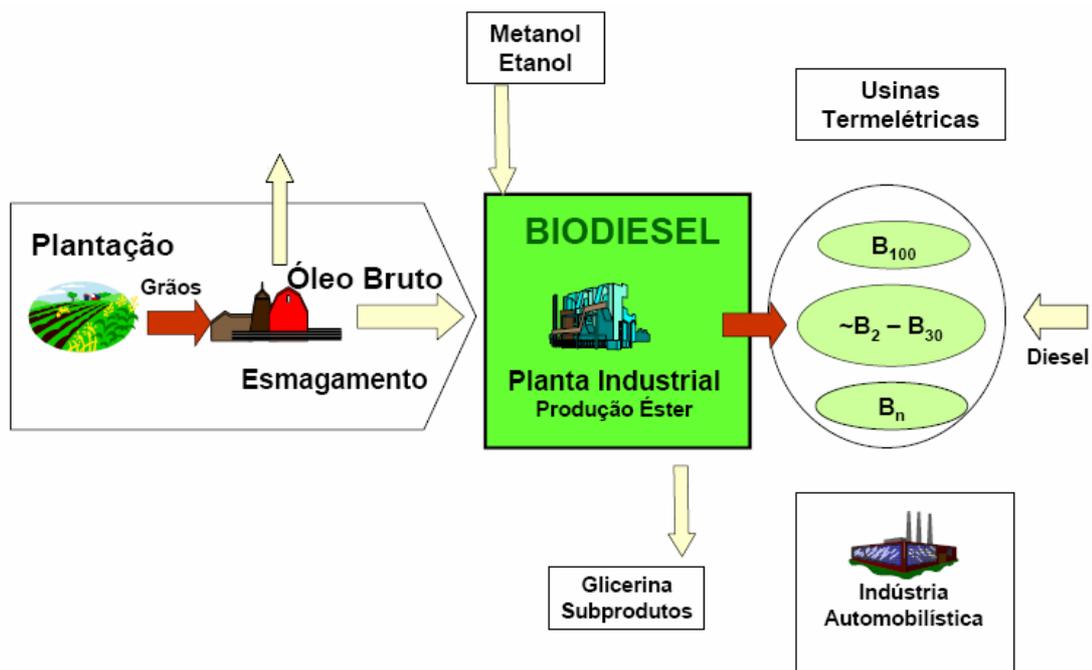


Figura 2.12: Cadeia de Produção do Biodiesel de Oleaginosas (MME , 2005).

## 2.4 Cadeia de Produção do Biodiesel de óleo de palma (dendê)

A viabilidade econômica do plantio e extração do dendzeiro se dá à medida que há alta produtividade, na base de 3500 a 6000 kg/ha (FURLAN; GROSSO et alli 2003) contra 400 a 600 kg/ha do óleo de soja, sendo que aquele requer pequena mecanização e reduzido emprego de defensivos agrícolas.

Os investimentos na ordem de 4 a 7 mil dólares/ha de plantio cobrem desde a aquisição de sementes, e a preparação da área, até a primeira produção comercial do óleo, incluindo a montagem da usina de extração de óleo e toda a infra-estrutura social necessária ao projeto, sendo necessários tecnologia e gerenciamento agrícola (EMBRAPA CPAA, 2005).

As indústrias devem ser instaladas próximas ao local de cultivo, pois o processamento do dendê não deve exceder o prazo de 48 horas. As indústrias de médio e grande porte assumem um potencial voltado ao mercado externo e interno e as de pequeno porte, visam atender a população local.

O aproveitamento dos produtos provenientes da plantação do dendezeiro é praticamente total. De seu fruto são retirados os óleos de palma, da polpa e o de palmiste da amêndoa que são utilizados em produtos alimentícios, cosméticos lubrificantes de máquinas, biocombustíveis, etc. As fibras das folhas e os cachos vazios são utilizados como tampas de lareiras, o tronco da palmeira na confecção de móveis, a torta de palmiste resultante da extração do óleo é aproveitada como adubo orgânico e ração para animais. A fibra seca e a casca do fruto são usadas como combustível na caldeira sendo as cascas aproveitadas também como matéria-prima para carvão ativado.

#### **2.4.1 Cultivo da Oleaginosa, Colheita e Coleta de Cachos**

Anualmente, cada hectare de palma pode render de três a seis toneladas de óleo por hectare por ano (10 a 25 cachos de frutos, cada um pesando entre 20 a 30 kg e cada cacho produzindo cerca de 1000 a 3000 frutos). Os rendimentos do óleo de soja (389 kg/hectare) e do óleo de amendoim (857 kg/hectare) são muito baixos quando comparados ao óleo de palma.

As condições climáticas para o desenvolvimento dessa cultura devem ser de um clima tropical com temperaturas que variam de 24 a 32° C, com dias ensolarados e com regime de chuvas bem distribuídas ao longo do ano, ideais para o cultivo da palma. Nas estufas, as sementes de palma devem ser cuidadosamente selecionadas e germinadas sob condições controladas. O cruzamento entre as espécies Dura e Pisifera, conhecida como Tenera (tipo híbrido intra-específico), é comumente o mais utilizado nas plantações comerciais. As sementes germinadas são transferidas para sacos plásticos e crescem em estufa durante no período de 12 a 15 meses antes de ser

transferida para o plantio no campo. As palmeiras começam a gerar frutos de 30 a 32 meses após o plantio no campo e continuarão sendo economicamente produtivas por mais 20 ou 30 anos. As palmeiras possuem uma densidade de plantação em torno de 136 a 160 palmas por hectare, mas geralmente são plantadas em uma densidade de 143 palmas por hectare. A figura 2.13 a seguir mostra uma área de cultivo da palma no município de Nazaré, no Estado da Bahia e na Figura 2.14 mostra o detalhes de um plantio típico, de palmeiras adultas, na Colômbia.



**Figura 2.13: Cultivo de palmeiras na Região Sudeste da Bahia**



**Figura 2.14: Plantio de Palmeiras Adultas na Colômbia**

A colheita deve ser realizada quando os frutos atingem um ótimo estado de maturação. Os frutos destacados devem ser coletados e transportados à usina de extração de óleo no menor espaço de tempo possível. Costuma-se fazer uma previsão para a colheita com contagens trimestrais do número de cachos produzidos. A formação do óleo na polpa do fruto ocorre no último mês de maturação do fruto (Hartley, 1888; Gerard et al, 1986). Após esse período, inicia-se o processo de degradação e, conseqüentemente, do óleo. Para garantir a qualidade de colheita, é necessário realizar de três a quatro turnos de colheita por mês no período de pico e dois turnos por mês no período da baixa produção.

A colheita é uma atividade exclusivamente manual, com a limpeza dos postos de recepção, corte das folhas que sustentam o cacho maduro, quando necessário, corte do cacho, recorte e colocação das folhas na leira e corte do pedúnculo do cacho. Geralmente, quando a copa ainda está a 1 metro do solo, o corte é realizado com o cinzel, a partir desta altura usa-se o ferro de cova ou a pá de corte. Quando a coroa de cachos não pode ser facilmente alcançada (mais de 2 metros) se utiliza a foice ou faca

malasiana, com cabo de comprimento variável. Na figura 2.15 a seguir é mostrada a atividade de coleta dos frutos.



**Figura 2.15: Atividade de coleta de cacho de fruta fresca com auxílio da faca malasiana**

No Sudeste da Bahia, os frutos que eventualmente caem no chão após a retirada do cacho de fruta fresca, são posteriormente colhidos de forma manual pelas “catadeiras”, que são geralmente mulheres que fazem a coleta do material disposto no solo, colocando os frutos em sacos de forma a aproveitar ao máximo possível à coleta de frutos nas palmeiras. A figura 2.16 a seguir mostra esta atividade.



**Figura 2.16: Atividade de coleta de fruto pela “catadeira”**

Após a colheita, os cachos devem ser enviados a usina de beneficiamento do óleo. A retirada dos cachos até a borda das parcelas é feita manualmente ou com a ajuda de mulas ou búfalos atados a carroças ou pode ser mecanizado com uso de tratores e carretas. Após este processo, os cachos dispostos nas parcelas são transportados à usina de beneficiamento por caminhões, usualmente com caçamba para 20 toneladas, e talvez equipadas com guindastes para facilitar o trabalho. Nas figuras 2.17 e 1.18 são mostrados o transporte de frutos e nas figuras 19 e 20 a disposição nas parcelas para transporte dos frutos.



**Figura 2.17: Transporte dos frutos das parcelas na Zona Central na Colômbia, com auxílio de tração animal**



**Figura 2.18: Coleta de frutos entre as fileiras de plantio em Nazaré, na Bahia**



**Figura 2.19: Disposição dos frutos colhidos nas parcelas em caçambas, para posterior envio a usina de beneficiamento**



**Figura 2.20: Transporte dos frutos dispostos na parcela a Usina de Beneficiamento**

## 2.4.2 Processo de Extração do óleo vegetal

As extratoras de fruto de palma devem ser bem localizadas, estrategicamente próximas às plantações, com o objetivo de facilitar o transporte dos frutos até a indústria de extração. Vários processos operacionais são utilizados para obter o produto acabado. O primeiro passo do processamento produz o óleo bruto, extraído do mesocarpo do fruto e a amêndoa de palmiste.

O óleo bruto de palma, na sua segunda fase, pode ser refinado ou também fracionado usando um processo de cristalização e separação simples onde são obtidas frações sólidas (estearina) e líquidas (oleína).

O balanço de massa da extração do óleo de palma se resume nos seguintes produtos (VIÉGAS, I.J; MULLER, A. A, 2000):

Óleo de palma bruto: 20%

Óleo de palmiste: 1,5%

Torta de palmiste: 3,5%

Cachos vazios: 22%

Fibras: 12%

Cascas: 5%

Efluentes líquidos: 50%.

Os frutos colhidos no campo são transportados em caminhões e pesados na entrada da fábrica. Após esta etapa, são transferidos para a rampa de recebimento onde são geralmente, transferidas para os carros “trolleys” através de uma via de trilhos direta para o esterilizador (Figura 2.21) ou despejados diretamente da rampa a caçamba ou caldeirão do esterilizador, como no processo utilizado em Nazaré, na Bahia. Este esquema é mostrado na figura 2.22 e Figura 2.23.



**Figura 2.21: Rampa de Recebimento em usina de beneficiamento em Nazaré, na Bahia**



**Figura 2.22: Sistema de “trolleys” em usina de beneficiamento, na Zona Central na Colômbia**



**Figura 2.23: Envio do caldeirão ao esterilizador, em Nazaré na Bahia**

A Agropalma atualmente utiliza o sistema em que a própria caçamba de transporte do fruto é servida como trolleyrs. (Figura 2.24)

Os frutos são cozidos a uma temperatura de mais ou menos 135°C sob uma pressão de 2 a 3 kg/cm<sup>2</sup> por aproximadamente uma hora.



**Figura 2.24: Sistema de trolleyrs na Agropalma**

Após serem esterilizados e cozidos, os frutos passam pelo debulhador, onde ocorre a separação dos cachos e frutos. Os frutos são transferidos através do transportados para o digestor. Os cachos vazios são transferidos para a área de estocagem através do transportador. Na figura 2.25 é mostrado uma debulhagem de frutos e na Figura 2.26 a retirada dos cachos de frutos vazios pelo transportador.



**Figura 2.25: Debulhador**



**Figura 2.26: Cachos de frutos vazios na saída do transportador**

Os frutos são macerados no digestor e prensados mecanicamente por uma prensa contínua para a retirada do óleo do mesocarpo carnoso. O óleo cru, obtido na

prensagem, é transferido para o desaerador, onde são retiradas as partículas pesadas e depois clarificado e purificado para a remoção de umidade, sujeira e outras impurezas.

As fibras e impurezas retidas na peneira voltam para a prensagem e o óleo bruto é transferido para o tanque de decantação através de bomba centrífuga. Neste tanque ocorre a separação do óleo e da borra. O óleo é transferido para o tanque de armazenagem. A borra é processada na centrífuga e transferida para o decantador secundário onde, após separação do óleo, é transferida para lagoas. No caso das empresas do Sul da Bahia, este efluente é despejado na rede de esgoto. A figura 2.27 mostra esta prática em uma empresa do Sudeste da Bahia.



**Figura 2.27: Despejo de efluente de saída do processo de extração de óleo de palma no Sudeste da Bahia**

Todo o óleo separado da borra volta para o tanque de decantação e a torta resultante deste primeiro processo de prensagem é processada no transportador, onde ocorre a

secagem da fibra. A fibra seca é utilizada como combustível na caldeira a vapor ou vai para o campo como nutriente. As nozes são polidas para retirada do resíduo das fibras e, a seguir, são transferidas para o moinho quebrador. As amêndoas são separadas das cascas e estas são destinadas para combustível ou matéria prima para carvão ativado. As amêndoas são armazenadas para posterior beneficiamento. A figura 2.28 mostra a fibras seca após o processo de prensagem do óleo e passagem pelo transportador.



**Figura 2.28: Fibras resultantes do processo**

As amêndoas do fruto da palma são quebradas e laminadas por um cilindro laminador. A pasta produzida na laminação é cozida e prensada. O óleo bruto (palmiste) é filtrado no filtro prensa e a seguir transferido para o tanque de armazenagem, extraído mecanicamente ou por solvente. No Brasil todos os processos

de extração são mecânicos. A torta é retirada do filtro prensa e armazenada em sacos que são vendidos como ração animal ou serem usados para práticas agrícolas. Na Colômbia, nas três usinas visitadas, os processos também são apenas mecânicos.

#### Processamento de Refino Físico

##### - Pré-Tratamento ácido

O óleo bruto é bombeado, e passa pelo trocador de calor de placas, onde é aquecido com vapor de baixa pressão. O óleo aquecido recebe ácido fosfórico alimentado através de bomba dosadora, e essa mistura passa por um misturador de disco em um tanque de reação. Após o tempo de contato, a mistura é bombeada para o desaerador, onde o óleo é secado, desaerado e tem a temperatura controlada adequadamente ao processo de branqueamento.

##### - Branqueamento

O vaso branqueador é abastecido através de um extravasor interligado ao desaerador. Um silo de terra de branqueamento, equipado com dosador automático, dosa a terra de branqueamento ao óleo. O vaso branqueador é dimensionado para dar o tempo de residência e a agitação adequados, de modo a promover o contato ideal do óleo com a silo de terra de branqueamento. A mistura é então bombeada para um dos filtros herméticos de folhas filtrantes verticais, onde o silo de terra de branqueamento é removido. Finalmente, o óleo branqueado passa por um dos filtros de polimento e é descarregado em um tanque pulmão.

##### - Destilação

Do tanque pulmão, o óleo a ser destilado é bombeado através de um trocador de calor de placas, onde é aquecido com vapor de baixa pressão. O óleo aquecido é pulverizado em uma câmara de desaeração, sendo, em seguida, bombeado através de um trocador regenerativo de calor, onde troca calor com o óleo que sai. Em outro trocador, é aquecido com fluido térmico ou vapor saturado de alta pressão até a temperatura de destilação/desodorização. Deste destilador/desodorizador, o óleo é

bombeado através do trocador regenerativo, que aquece o óleo a ser destilado e, em seguida, através de outro trocador resfriado com água.

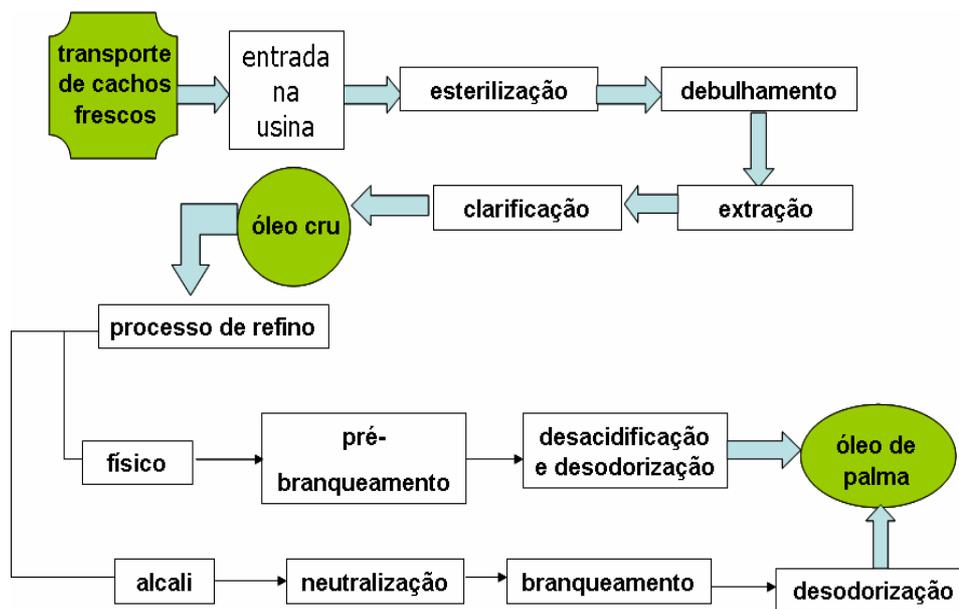
O óleo refinado, já frio, recebe uma dosagem de antioxidante, através de uma bomba dosadora, e é homogeneizado no fluxo de óleo, através de um misturador, passando, em seguida, por um dos filtros de polimento final. Podem ocorrer eventuais respingos de óleo do destilador/desodorizador que são coletados em um tanque para posterior re-processamento. Os ácidos graxos destilados são condensados em um lavador de gases através de um fluxo de óleo ácido que é bombeado em circuito fechado, passando por uma troca de calor.

#### - Fracionamento do Óleo de Palma

O óleo de palma, pela sua versátil composição em ácidos graxos e triglicérides, através de processamento, produz uma grande variedade de produtos. O processo de fracionamento desenvolve-se de modo descontínuo, por bateladas. A quantidade de óleo a ser fracionada é pré-determinada no medidor. O óleo é transferido para tanques para obter melhor rendimento térmico, pois a temperatura é controlada automaticamente. Nos tanques de resfriamento a temperatura é controlada e ajustada de acordo com o resultado do fracionamento que se deseja obter.

Os tanques de resfriamento são equipados com agitador de baixa rotação, cuja função é melhorar a eficiência de troca térmica, não permitindo a precipitação de eventual auxiliar filtrante e proporcionando uma distribuição homogênea dos cristais de estearina no volume total do tanque. Dos tanques de resfriamento, o óleo é transferido através de uma bomba para o filtro, onde os cristais de estearina são retidos, liberando a oleína filtrada. Esta é bombeada para tanques de armazenamento e a estearina é aquecida e também bombeada para outros tanques de armazenamento.

Um esquema do processo de extração do óleo vegetal é apresentado na Figura 2.13 a seguir:



**Figura 2.29: Esquema do Processo de Produção do Óleo de Palma (VIÉGAS, I.J; MULLER,A. A,2000)**

#### - Armazenamento e manuseio do Óleo

O óleo de palma e palmiste devem ter manuseio e armazenagem adequados para que não haja qualquer alteração na qualidade e propriedades do produto na entrega ao consumidor, pois são utilizados principalmente para a indústria de alimentos.

O atual sistema de armazenagem é composto de múltiplos tanques cilíndricos verticais, cujas dimensões são determinadas por critério de projeto e o principal parâmetro é o custo da construção. Recomendam-se vários tanques de capacidade média, ao invés de um único tanque com grande capacidade. Todos os tanques devem ter sistema de aquecimento para facilitar e permitir o manuseio adequado do produto. A capacidade máxima recomendada para armazenagem do óleo bruto, do óleo refinado, e da oléina é de 3.000 toneladas e para a estearina 1.000 toneladas. (VIÉGAS, I.J; MULLER,A. A,2000)

O material usado na construção dos tanques é o aço carbono laminado, para o óleo bruto, e o aço inoxidável, para o óleo refinado e frações. Acessórios de cobre, latão e

bronze não são recomendados para partes em contato com o produto. Usualmente os tanques para estocagem de produto refinado são fabricados em aço carbono, com revestimento interno em Epoxi.

Para manter as características do produto e facilitar o manuseio, as temperaturas mínimas e máximas para enchimento e esvaziamento do tanque devem ser de 50-55°C para o Óleo de palma bruto e refinado, de 55-60° e 65-70°C para a Estearina, de 30-55°C para a Oléina, e de 30-35°C para o Óleo de palmiste. Para o transporte dos óleos as temperaturas devem ser entre 32 a 40° C para o Óleo de palma, de 40 a 45° C para a Estearina, de 25-30°C para a Oléina e de 30-35° C para o Óleo de palmiste. Na figura 2.30 é mostrado tanques de armazenagem de óleo.



**Figura 2.30: Tanque de armazenagem de óleo**

### 2.4.3 Processo de Transesterificação

A transesterificação é o processo mais utilizado atualmente para a produção de biodiesel. Consiste numa reação química dos óleos vegetais ou gorduras animais com o álcool comum (etanol) ou o metanol, estimulada por um catalisador, da qual também se extrai a glicerina, produto com aplicações diversas na indústria química. É um processo largamente empregado para reduzir a viscosidade dos óleos vegetais e pode ser realizado por catálise ácida, básica ou enzimática, homogênea ou heterogênea.

O processo de transesterificação consiste em uma seqüência de três reações reversíveis consecutivas: conversão de triglicerídeos em diglicerídeos, seguida da conversão de diglicerídeos em monoglicerídeos. Finalmente, os glicerídeos são convertidos em glicerina e éster de álcoois de cadeia curta. A Figura 2.31 a seguir mostra o esquema do processo de transesterificação do óleo vegetal.

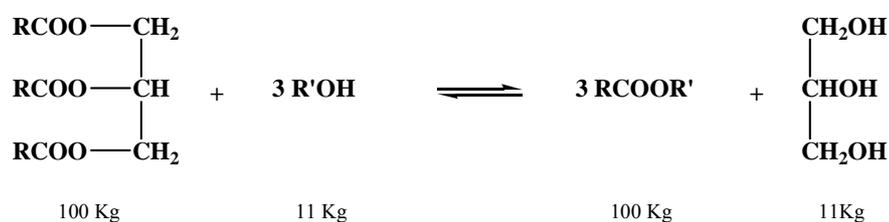


Figura 2.31: Esquema do processo de Transesterificação (PARENTE, 2003)

As principais variáveis de processo na transesterificação são: temperatura de reação, proporção do álcool em função da quantidade de óleo a ser transformada, tipo e concentração do catalisador, eficiência na mistura dos reagentes, e pureza dos reagentes. Na reação de transesterificação são usados álcoois de cadeia curta como o metanol, etanol, propanol e butanol.

O processo mais usado na transformação dos óleos vegetais em biodiesel (FEUGE, GROSE, 1949) é feito pela via metílica com catálise básica alcalina por suas características de custo relativamente baixo dos catalisadores e a eficiência na conversão (alto nível de conversão em pouco tempo). A principal desvantagem desse processo é que o óleo e o álcool devem estar substancialmente anidros, já que a presença de água favorece a reação de saponificação (FORMO, 1954).

A formação de sabão consome o catalisador e reduz a eficiência catalítica e também causa aumento na viscosidade do produto, a formação de géis e a dificuldade para separação e reaproveitamento do glicerol (WRIGHT, SEGUR et al., 1954). É preciso considerar a utilização do glicerol, gerado como sub-produto. O uso economicamente viável do glicerol tem se tornado uma preocupação, pois corresponde a 30% em massa do biodiesel produzido (Fukuda, Kondo, Noda, 2001; Ma, Hanna, 1999).

Uma possível aplicação do glicerol pode ser o preparo de membranas poliméricas à base de poliésteres, obtidos através da reação do glicerol com os ácidos dicarboxílicos, além da produção de álcool alílico.

Nas reações de transesterificação em meio ácido são utilizados principalmente os ácidos sulfúricos, fosfóricos, clorídricos e ácidos sulfônicos (FREEDMAN, BUTTERFIELD, PRYDE, 1986). Entretanto, foi observado que o etanol fornece produtos com menor viscosidade em menor tempo que o metanol, ambos álcoois testados em condições de 100% de excesso. Por outro lado, embora não tivesse incidência nem na conversão final nem na viscosidade do produto, o tempo de reação diminuiu conforme o aumento da temperatura de reação, tornando-se esta uma variável de processo relevante pois, quanto maior for a temperatura, maior será o custo do processo pelo consumo de energia envolvido. Para este processo, a principal desvantagem é que ele ocorre cerca de 4000 vezes mais lentamente em relação à catálise básica com a mesma quantidade de catalisador e necessita de aquecimento, mas em contrapartida ela é mais adequada para glicerídeos com alta quantidade de

ácidos graxos livres e maior quantidade de água, como o óleo de dendê e os óleos residuais (AKSOY, KAHRAMAN, KARAOSMANOGLU, CIVELEKOGLU, 1988).

A qualidade do biodiesel é muito importante para o sucesso da comercialização deste combustível (KNOTHE, 2001). O controle da qualidade do produto deve ser rigoroso em relação à reação completa levando à obtenção do éster mono-alquilado, remoção da glicerina livre, a remoção do catalisador residual e do álcool e a ausência de ácidos graxos livres (DORADO, 2002 e 2004; CETINKAYA, 2004). É preciso, ainda haver um controle rigoroso para evitar a reação de saponificação, pois cada tipo de óleo requer condições de operação específicas para obter um produto de qualidade garantida. A qualidade da matéria-prima usada para a produção do biodiesel também é outro fator relevante que deve ser levado em consideração. Os óleos vegetais geralmente contêm, além dos triglicerídeos, água, fosfolipídeos e outras impurezas. A água presente tem efeitos negativos na transesterificação dos glicerídeos com álcool usando catálise ácida ou básica (DEMIRBAS, 2002).

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biodiesel (ANP), através de Portarias e Resoluções, estabelece as especificações para a comercialização de combustíveis automotivos em todo o território nacional e as obrigações dos agentes econômicos sobre o controle de qualidade do produto.

Para o biodiesel no país, a Resolução ANP Nº 42, de 24.11.2004 (DOU 9.12.2004), considera a Medida Provisória nº 214, de 13 de setembro de 2004, para definir o biodiesel como um combustível para motores a combustão interna com ignição por compressão, renovável e biodegradável, derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais, que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil. Esse mesmo regulamento técnico estabelece a especificação do biodiesel, que poderá ser adicionado ao óleo diesel em proporção de 2% em volume, comercializado pelos diversos agentes econômicos autorizados em todo o território nacional. Desta forma, estabelece-se que a determinação das características do biodiesel pode ser feita mediante o emprego das normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas

(ABNT), das normas internacionais American Society for Testing and Materials (ASTM), da International Organization for Standardization (ISO) e do Comité Européen de Normalisation (CEN).

A especificação do Biodiesel segundo a Resolução ANP nº 42, de 2004, é apresentada na tabela 2.8 a seguir.

**Tabela 2.8: Especificação do Biodiesel B100 segundo critérios da ANP. (ANP, 2006)**

| CARACTERÍSTICA                               | UNIDADE            | LIMITE     | MÉTODO      |                        |                                   |
|--|--------------------|------------|-------------|------------------------|-----------------------------------|
|  |                    |            | ABNT NBR    | ASTM D                 | EN/ISO                            |
| Aspecto                                      | -                  | LII (1)    | -           | -                      | -                                 |
| Massa específica a 20°C                      | kg/m <sup>3</sup>  | Anotar (2) | 7148, 14065 | 1298, 4052             | -                                 |
| Viscosidade Cinemática a 40°C,               | Mm <sup>2</sup> /s | Anotar (3) | 10441       | 445                    | EN ISO 3104                       |
| Água e sedimentos, máx. (4)                  | % volume           | 0,050      | -           | 2709                   | -                                 |
| Contaminação Total (6)                       | mg/kg              | Anotar     | -           | -                      | EN 12662                          |
| Ponto de fulgor, mín.                        | °C                 | 100,0      | 14598<br>-  | 93<br>-                | -<br>EN ISO3679                   |
| Teor de éster (6)                            | % massa            | Anotar     | -           | -                      | EN 14103                          |
| Destilação; 90% vol. recuperados, máx.       | °C                 | 360 (5)    | -           | 1160                   | -                                 |
| Resíduo de carbono dos 100% destilados, máx. | % massa            | 0,10       | -<br>-      | 4530, 189              | EN ISO 10370,<br>-                |
| Cinzas sulfatadas, máx.                      | % massa            | 0,020      | 9842        | 874                    | ISO 3987                          |
| Enxofre total (6)                            | % massa            | Anotar     | -<br>-      | 4294<br>5453<br>-      | -<br>EN ISO 14596                 |
| Sódio + Potássio, máx                        | mg/kg              | 10         | -<br>-      | -<br>-                 | EN 14108<br>EN 14109              |
| Cálcio + Magnésio (6)                        | mg/kg              | Anotar     | -           | -                      | EN 14538                          |
| Fósforo (6)                                  | mg/kg              | Anotar     | -           | 4951                   | EN 14107                          |
| Corrosividade ao cobre, 3h a 50°C, máx.      | -                  | 1          | 14359       | 130                    | EN ISO 2160                       |
| Número de Cetano (6)                         | -                  | Anotar     | -           | 613                    | EN ISO 5165                       |
| Ponto de entupimento de filtro a frio, máx.  | °C                 | (7)        | 14747       | 6371                   | -                                 |
| Índice de acidez, máx.                       | mg KOH/g           | 0,80       | 14448<br>-  | 664<br>-               | -<br>EN 14104 (8)                 |
| Glicerina livre, máx.                        | % massa            | 0,02       | -<br>-<br>- | 6584 (8) (9)<br>-<br>- | -<br>EN 14105 (8) (9)<br>EN 14106 |

Na figura 2.32 a seguir é mostrada uma usina de produção do biodiesel no Pará e na figura 2.33 o sistema de armazenamento de combustível.



**Figura 2.32: Usina de produção de biodiesel no Pará**



**Figura 2.33: Tanques de Armazenamento de combustível**

## 2.5 Biodiesel no Mundo

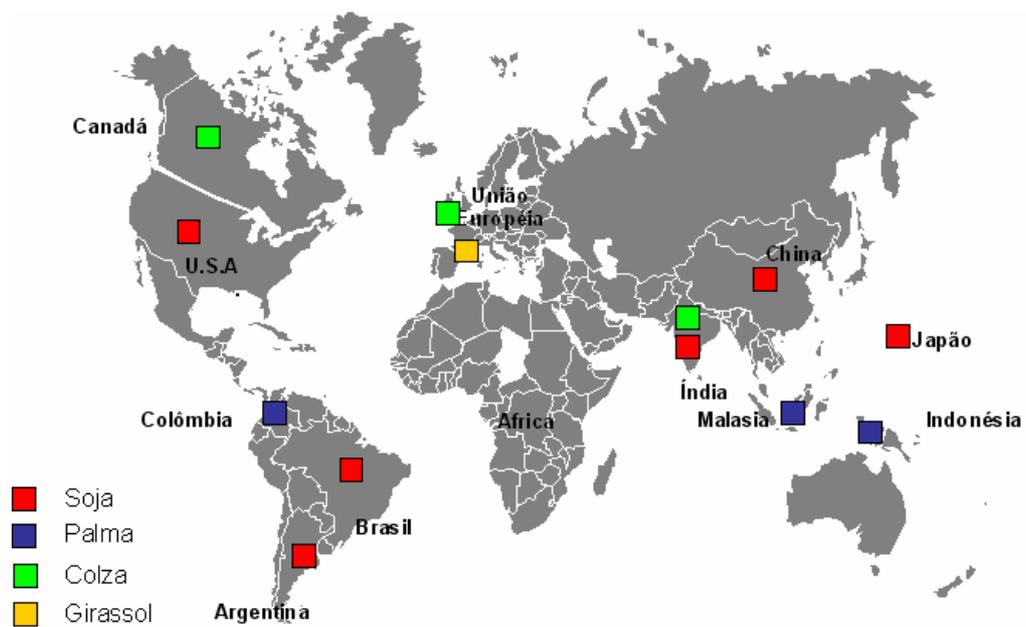
Existem, no mundo, já em operação, várias unidades de produção de biodiesel usando óleo de colza, óleo de soja, óleos de girassol, óleo reciclado, entre outros.

A primeira patente de biodiesel, feita com óleo de amendoim e metanol, foi depositada no Japão No ano de 1940, seguida de outras três patentes norte-americanas no ano de 1950. No Brasil, as pesquisas tiveram início nos anos 80 com a criação do Programa de Óleos Vegetais (Oveg). O pioneirismo coube, entre outros, à Universidade Federal do Ceará (UFC), responsável pela primeira patente brasileira de um processo de biodiesel. Pesquisadores cearenses produziram o combustível com uma mistura de vários óleos vegetais com metanol e etanol.

No ano de 1990, vários países da Europa começaram a implantar programas de uso do biodiesel. Na Alemanha e na Áustria emprega-se o biodiesel puro, enquanto que nos demais países ele é misturado ao diesel na proporção de 5% a 20%.

Segundo comunicação do IEA, fornecida ao relatório do CGEE de julho de 2004, a capacidade instalada na Europa, em 2003, era de 2,5 milhões de toneladas, atingindo 3,3 milhões de toneladas em 2004. Esta motivação visou substituir 2% do diesel em 2005 e, em 2010, 5,75% de todo o combustível consumido na Europa deverá vir de fontes renováveis podendo chegar a 20% em 2020. (IEA, 2004).

A Figura 2.34 a seguir apresenta o panorama de produção de biodiesel no mundo conforme as matérias-primas produzidas de cada país. (FEDEPALMA, 2005).



**Figura 2.34: Panorama de Produção do Biodiesel a partir das matérias -primas**

No gráfico da Figura 2.35 é possível observar a evolução da produção, na União Européia, de biodiesel a partir do ano de 1998 e, na Figura 2.36, a produção mundial de biodiesel até 2005.

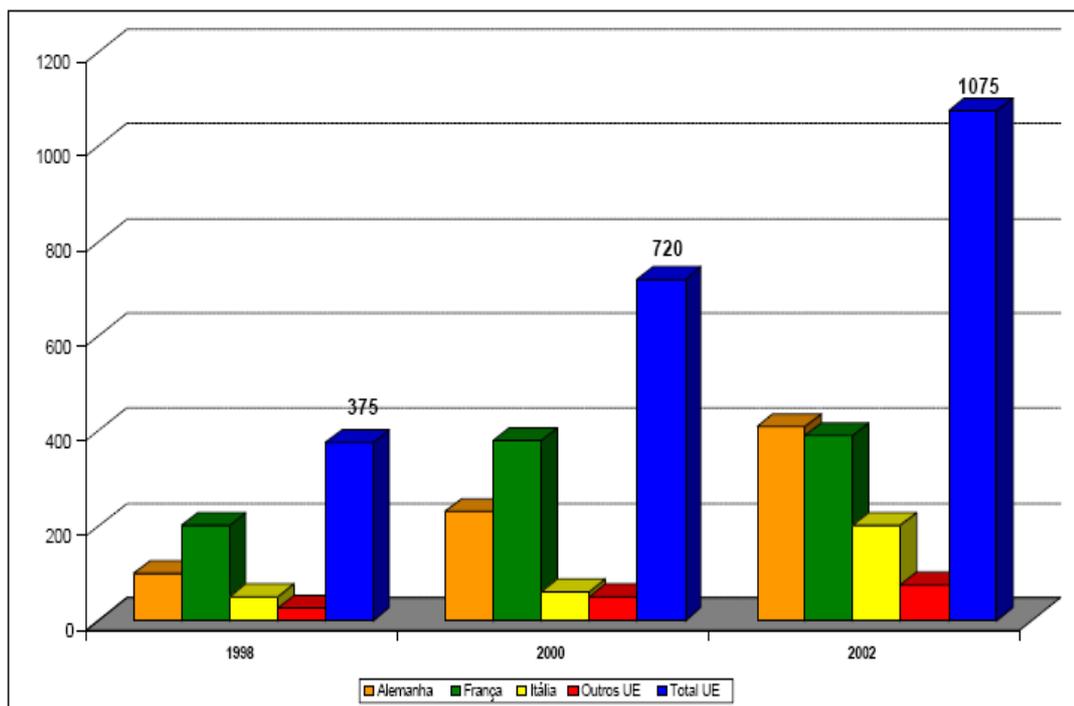


Figura 2.35: Produção de biodiesel na União Européia, em mil toneladas. (European Biodiesel Board, 2002).

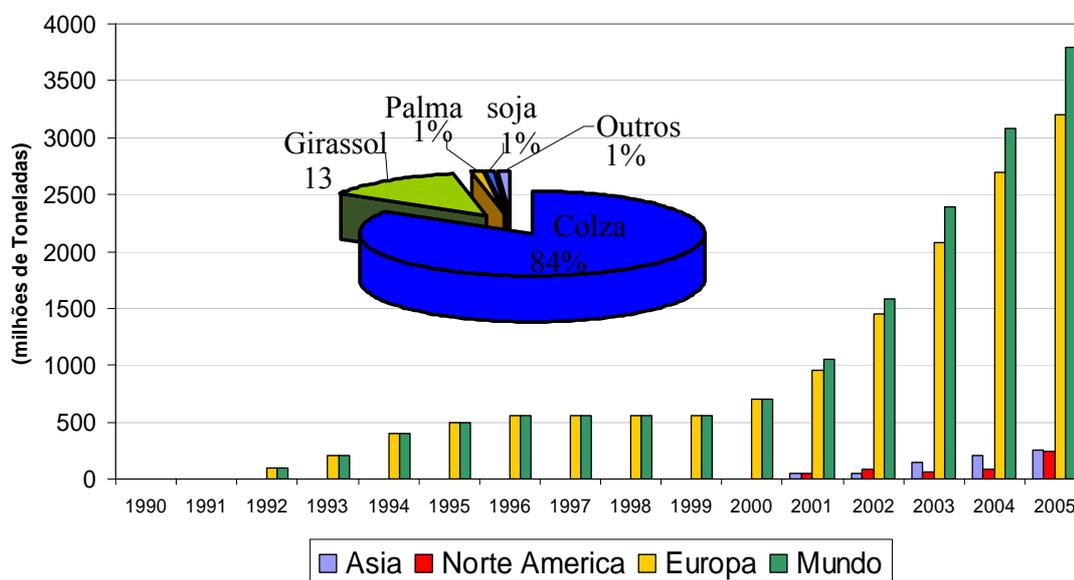


Figura 2.36: Produção Mundial de Biodiesel (FEDEPALMA, 2005)

A Alemanha, a França e a Itália estão produzindo o biodiesel comercialmente, com desenvolvimento em escala industrial e são os maiores produtores da Europa. No mercado internacional, o biodiesel produzido tem sido utilizado em veículos de passeio, frotas de caminhões, transporte público e geração de eletricidade. Os mecanismos utilizados para garantir a competitividade e apoiar a produção no comércio exterior são, basicamente, a tributação específica sobre o diesel de petróleo (Europa), incentivo tributário para a cadeia produtiva e alterações na legislação de meio ambiente (Europa), e subsídios concedidos aos produtores (Estados Unidos).

Na Europa, a Alemanha possui a capacidade de produção de 1,1 milhões de toneladas em 16 usinas de produção de biodiesel, com capacidade instalada de 150 mil a 5 mil t/ano. Com um extenso programa de produção de Biodiesel a partir da canola, é hoje o maior produtor e consumidor desse biocombustível no mundo. (Holanda, 2004)

No modelo de produção alemão, a plantação de colza tem a finalidade de nitrogenar os solos exauridos e extrair o óleo para a produção de biodiesel, sendo que este é distribuído na forma B100. Além disso, o programa conta com a isenção de impostos para toda a cadeia produtiva do biodiesel, diminuindo em cerca de 12% o preço em comparação com o diesel.

Os Biocombustíveis produzidos na França são o Methyl Ester de Colza (RME), para uso em motores a diesel, e o ETBE (Ethyl Tertiary Butyl Eter), extraído do trigo e beterraba para uso em motores a gasolina. O RME é misturado com diesel, em misturas variando de 1% a 5% de RME, e vendido como diesel combustível. Atualmente, essa mistura se encontra na proporção de 5%, o que deve ser aumentado

para 8%, e a frota de ônibus utiliza um percentual de mistura de 30%. (FREIRE, et.al, 2002)

Na Grécia, o girassol é cultivado principalmente na parte do norte do país onde mais de 70% do cultivo dessa área são destinados para a produção de biodiesel. A área cultivada tem se reduzido desde que não se tornou economicamente competitiva comparativamente a outras colheitas tradicionais, como trigo e algodão.

Nos Estados Unidos, o biodiesel é produzido a partir de soja porque existe uma maior produção dessa oleaginosa neste país. Há muitos outros candidatos à produção de biodiesel incluindo a reciclagem de óleo, gorduras animais e outras colheitas de oleaginosas com a utilização da rota metílica, sendo este álcool amplamente usado para produção de biodiesel, de fácil processamento e custo relativamente baixo. A grande motivação deste país para a produção de biodiesel diz respeito à minimização das emissões de poluentes pelas fontes antropogênicas. A capacidade estimada de produção chega à faixa de 210 a 280 milhões de litros por ano. (Holanda, 2004).

Todo o programa norte-americano de biodiesel está baseado em pequenos produtores e consumidores. A política de produção e utilização do combustível é estabelecida pelo National Biodiesel Board.

A Malásia possui a maior produção de óleo de palma (dendê) no mundo, com uma produtividade de 5 toneladas por hectare por ano. A Malásia foi responsável pela produção de 34, 5 milhões de toneladas de óleo de palma no período de 2004 a 2005. (HOLANDA, 2004).

## **2.6 Avaliação de Impacto na Produção do Biodiesel – Impactos na Cadeia de Produção de Óleo de Palma**

A análise dos impactos ambientais ocasionados pela atividade da dendecultura se divide, basicamente, em duas partes distintas: a produção agrícola e o processamento industrial para a extração dos óleos de palma e palmiste. Na etapa agrícola os impactos são identificados desde a produção das mudas no pré-viveiro e no viveiro e preparo da área para o plantio definitivo até os tratamentos culturais de manutenção, colheita e transporte dos cachos para a indústria ou para os sistemas artesanais de produção. Quanto ao processamento para a extração do óleo, é necessário abordar o fluxo da matéria-prima até a obtenção do produto final desejado, principalmente através do sistema industrial, mas também levantando os aspectos do sistema artesanal, que ainda é feito na Bahia. Nessas duas modalidades de extração, o principal impacto a ser analisado é a produção dos efluentes (subprodutos, resíduos sólidos, líquidos e gasosos), o destino dos mesmos, e os problemas ambientais que possam vir a causar.

### **2.6.1 Avaliação de Impacto na Produção Agrícola**

Nesta etapa do ciclo do cultivo do dendê, a produção de resíduos é limitada dentro de uma área específica, favorecendo o controle do impacto ambiental decorrente desta atividade. A formação de uma muda passa por três fases distintas: a germinação de sementes (que leva de 3 a 4 meses, em germinadores isotérmicos), o pré-viveiro (onde as sementes germinadas são colocadas em sacos de polietileno de 15 por 30cm com terriço, ficando neste estágio durante 90 a 120 dias) e, por último, a muda, que completa no viveiro o seu desenvolvimento até estar apta ao plantio definitivo, podendo ocorrer entre 8 e 12 meses. Esta etapa não produz impactos ambientais significativos no processo. (MÜLLER, A, et al 1994).

Para a implantação definitiva da cultura do dendezeiro é necessária a eliminação total de toda a cobertura vegetal da área. Pelas exigências fisiológicas da espécie, não deve haver sombreamento de qualquer natureza (CEDEÑO, L, 1990). Esta fase provoca um imediato impacto com mudanças proporcionais à extensão do desmatamento e a forma utilizada para reduzir o volume de massa vegetal produzido pela retirada da

vegetação. Se for feita a disposição em faixas para posterior decomposição, os danos serão amenizados; porém, se houver a opção da queima de todo o material, haverá emissão de fumaça composta por gases, como também a eliminação parcial da atividade biológica e microbiológica do solo e da micro fauna.

Segundo o código florestal brasileiro, não é permitido qualquer desmatamento, tanto em áreas remanescentes da Mata Atlântica, como Floresta Amazônica, o que dificilmente facilitaria a prática de formação de novos dendezeiros sem um estudo prévio dos impactos ambientais. Deve-se considerar ainda que essa degradação ambiental poderá ser amenizada se as áreas a serem implantados dendezeiros já se encontrarem em processo lento ou acelerado de degradação, pois nessas condições o dendezeiro pode reverter o quadro, restabelecendo o ambiente, pela recomposição da cobertura vegetal, além de promover a restauração do balanço hídrico, a liberação do oxigênio e a fixação do gás carbônico. (MÜLLER, A, et al 1994).

Após as etapas de preparo da área para o plantio, é feita a locação das quadras (que devem ser atendidas por estradas) e o balizamento das plantas em triângulo equilátero com lados de 9,0 m. Em seguida, são abertas as covas e preparadas com adubo orgânico e/ou químico e depois se plantam as mudas trazidas da fase de viveiro. Quanto à produção de resíduos nesta etapa, são pequenas as possibilidades de ocorrência de impactos negativos, pois, ao contrário, o fato de se fertilizar o solo e, em alguns casos corrigir a acidez, provoca uma recuperação progressiva da flora, microflora e micro-fauna da área em questão. A adubação básica com NPK e Mg não causam efeitos residuais, porque as dosagens aplicadas são relativamente pequenas e solubilizadas nas condições naturais do solo, sendo posteriormente aproveitados pelas plantas no seu processo nutricional (CPFS, 1989), não promovendo a contaminação do lençol freático ou cursos d'água.

Durante a fase de desenvolvimento do cultivo, se houver sido feita a sua consorciação com outros plantios, as práticas utilizadas são conservacionistas, exceto quanto a aplicação de agrotóxicos se vier a ser necessário. Estes, no entanto, devem ter seu uso

controlado e aplicado somente quando o equilíbrio biológico estiver sendo alterado. Mesmo assim, devem ser escolhidos aqueles que causem menor agressão, que apresentem menor poder residual e sejam mais degradáveis pela ação do tempo. Caso contrário existe um impacto ambiental decorrente bastante significativo. Na manutenção dos plantios tecnicamente formados, são necessárias roçagens (cortes) da vegetação invasora, que pode ser feita manualmente com ferramentas simples. Nestas práticas de manutenção dos plantios, onde não se faz uso de herbicidas, ocorrem maiores prejuízos ambientais tanto nas áreas consorciadas com cultivos econômicos, quanto naquelas com a leguminosa como "cobertura verde" da área plantada, pois os resíduos resultantes formam uma massa vegetal e forram parcialmente o solo. Isso proporcionará uma proteção contra o impacto da precipitação pluviométrica e, conseqüentemente, contra a erosão, além de, após a sua decomposição, incorporar matéria orgânica e nutriente ao mesmo. (ANZULES, V.1990).

A última prática, a despalma, que é a atividade de manutenção de dendezeiros já em estágio produtivo, elimina as folhas que completaram o ciclo vegetativo e biológico, ou localizam-se logo abaixo dos cachos maduros. Esta prática deve ser realizada na época da entressafra, durante a colheita dos cachos (MORAES, J. G. L, 2000). Uma planta adulta e de boa produtividade, da variedade Tenera, perde, com a despalma entre 12 e 18 folhas ou palmas por ano, o que corresponde a uma variação de 90 a 135 kg em cada planta. Fazendo-se uma projeção desses dados para um hectare, chega-se a 16.087,50 kg retirados por ano de plantio de dendê (MORAES, J. G. L., 2000). Esse material eliminado fica amontoado sobre o solo dentro do dendezeiro, entre as linhas de plantas. Essa forma de descarte não ajuda muito pelo fato do material possuir uma decomposição lenta em condições naturais. Porém, há a possibilidade de acelerar todo o processo se essas palmas forem trituradas logo após o corte e, a seguir, distribuídas nos plantios. Devido à sua característica extrativista, nos dendezeiros subespontâneos, em geral, é feita uma roçagem pelo método manual anualmente, e a despalma ocorre sempre por ocasião da colheita. Nesse tipo de planta o número de folhas retiradas é geralmente de oito a doze por safra devido à sua menor produtividade. O peso médio de cada palma é superior a oito quilogramas.

A colheita dos cachos de frutos é uma das atividades mais importantes e delicadas da exploração do dendê. Nos plantios comerciais, é iniciada a partir do 3º ano após o plantio (sendo incipiente). Porém aumenta o número de cachos colhidos por safra até estabilizar-se no oitavo ano, quando apresenta todo seu potencial de produtividade. Nesta etapa os impactos potenciais devem-se à emissão de poluentes pelo uso de combustíveis fósseis para transporte dos frutos.

### **2.6.2 Avaliação de Impacto na Extração e Processamento do Óleo de Palma**

Na etapa de processamento do óleo vegetal, notam-se maiores impactos negativos ao meio ambiente devido à produção de resíduos (líquidos, sólidos e gasosos) e subprodutos. Considerando a produção de resíduos químicos, o sistema de extração do óleo de palma é essencialmente pouco poluidor, pois somente ocorrem processos físicos (ROCCA, O.,1996) e, em todo o processo, é apenas adicionada água ao processo.

No processo industrial de extração do óleo de dendê, a primeira produção de resíduos ou subprodutos ocorre na recepção dos cachos trazidos do campo. Estes cachos são compostos por restos de fruto, areia, terra, insetos e correspondem a um volume de três a cinco metros cúbicos para cada cem toneladas de cachos de frutos frescos descarregados. Na fase de esterilização, os cachos de frutos perdem até 10% de seu peso na forma de água e azeite e uma parte se perde por evaporação.

Durante o debulhamento, obtêm-se como resíduo sólido as buchas (cachos vazios), que nas variedades Dura e Tenera, correspondem a 20% do peso dos cachos de frutos frescos respectivamente e contêm de 60 a 75% de água. Essas buchas apresentam uma boa composição de nutrientes. As vantagens do uso desse material como adubos naturais são: melhor crescimento vegetativo, maior aproveitamento dos nutrientes

aplicados, menor perda de água do solo, tanto da chuva, quanto da sua umidade natural, menor variação da temperatura no solo e um bom desenvolvimento de atividade biológica. Mas, tradicionalmente esse material é incinerado para reduzir seu volume e servir de fonte de energia para as caldeiras das usinas, pois o poder calórico dessas buchas é significativo: cerca de 3.940 kcal/kg (SOLANO, R. G, 1986).

O emprego da incineração das buchas, como forma de eliminação dos resíduos sólidos, beneficia a agroindústria, tanto quanto no aproveitamento residual da queima (cinzas), quanto na fertilização dos denzeiros. Entretanto, essa prática causa problemas ambientais pela emissão de “fumaça branca”, que é formada por vapor d’água contaminado com alguma quantidade de cinzas flutuantes (NGAN, M. A.,1997). Na figura 2.37 é mostrada a emissão da fumaça branca na saída da chaminé.



**Figura 2.37: Emissão da “fumaça branca” no processo industrial**

Outro resíduo do processo de extração são as fibras do mesocarpo (polpa), que são totalmente aproveitadas como combustível das caldeiras da própria indústria. Essas fibras possuem um PCS a 4.498 kcal/kg. (CEPEL,1999) e apresentam um conteúdo de voláteis em base seca que chega a 80,7%, uma percentagem de cinzas de 4%, umidade que varia de 15 a 30% e retém de 8 a 18% de óleo de polpa. Na etapa de clarificação do óleo de palma, são agregados 3,3% de água sobre o peso de cachos processados que, junto com a água do mesocarpo, formam o efluente desta etapa. (SOLANO, R. G, 1986).



**Figura 2.38: Fibras no processo industrial**

As cascas das nozes da fase industrial, resultantes da quebra e separação das amêndoas para a obtenção do óleo de palmiste, têm um alto PCI de 5.694 kcal / kg (CEPEL, 1999). As cascas são geralmente comercializadas nas indústrias de carvão ativo (variedade Dura) e de cerâmicas. A outra parcela é queimada junto com as fibras, como combustível das caldeiras da própria usina de extração de óleo. O principal impacto gerado por esta atividade é a formação da “fumaça negra” quando a combustão não é completa, o que deixa uma fuligem ao redor das chaminés e, ao ser lançada no ambiente, pode causar problemas respiratórios na população (NGAN, M. A, 1997).



**Figura 2.39: Emissões no processo industrial**

Após todo processo de aproveitamento dos efluentes sólidos como combustível para as caldeiras das agroindústrias do dendê, existe a escória resultante. Esse material pode ser utilizado como fonte de nutrientes nas adubações de plantios e é apropriado para o emprego nos solos ácidos e de preferência argilosos (GOMES, P., 1984). Esse material é recolhido diariamente nas usinas, doado para alguns agricultores, usado pela própria empresa nas áreas agrícolas ou como encascalhamento das estradas dos dendezeiros.

O subproduto da extração do óleo de palmiste – a torta, ou farelo, é direcionado para todas as agroindústrias e para o setor de produção de rações para animais. No estado

da Bahia, a maior demanda desse material é das empresas de rações avícolas, localizadas em Feira de Santana e proximidades.



**Figura 2.40: Escória de caldeira da agroindústria do dendê.**

A atividade de extração do óleo de palma, além dos efluentes sólidos, gera uma grande produção dos efluentes líquidos. Estes efluentes são decorrentes do volume líquido resultante de todo o processo e são eliminados de forma direta ou indireta para o meio ambiente.

A composição volumétrica percentual desses efluentes apresenta 95% de água, de 4 a 4,5% de sólidos orgânicos e de 0,5 a 1% de óleo de dendê. Essa suspensão coloidal é altamente poluidora devido à sua (DBO), que é cerca de cem vezes a do esgoto doméstico (NGAN, M. A. 1997). Uma indústria com capacidade de processar dez toneladas de cachos de frutos frescos por hora requer um tratamento de efluente equivalente a uma cidade de 500.000 habitantes (BREZING, D.1986).

Na tabela 2.9, a seguir, é mostrada a composição média dos efluentes de saída para uma planta industrial considerada capaz de processar 25.000 toneladas de cachos de frutos frescos por ano.

**Tabela 2.9: Composição média de efluentes no processamento de dendê (25.000 ton cff/ano). (BREZING, D.,1986).**

| Especificação                        | Unidade            | Quantidade |       |
|--------------------------------------|--------------------|------------|-------|
|                                      | Ppm/m <sup>3</sup> | kg/dia     | t/ano |
| Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) | 25.000             | 2.000      | 400   |
| Demanda química de oxigênio (DQO)    | 54.000             | 4.300      | 810   |
| Sólidos em suspensão                 | 19.500             | 1.600      | 320   |
| Sólidos dissolvidos                  | 24.500             | 2.000      | 400   |
| Sólidos totais                       | 44.000             | 3.500      | 700   |
| Óleo de palma                        | 8.000              | 650        | 130   |
| Potássio                             | 1.620              | 130        | 26    |
| Nitrogênio                           | 900                | 72         | 14    |
| Magnésio                             | 300                | 24         | 5     |
| Fósforo                              | 120                | 10         | 2     |
| Cálcio                               | 320                | 26         | 5     |
| Ferro                                | 120                | 10         | 2     |

A alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) dos efluentes é o resultado do conteúdo de matéria orgânica biodegradável. O tratamento desta água residual deve ser feito para reduzir a alta DBO, a decomposição dos sólidos existentes e o azeite e, eliminar o nitrogênio.

No Estado da Bahia não é realizado nenhum tipo de monitoramento quanto à produção de resíduos sólidos ou de efluentes do processo, verificando-se que tanto na agroindústria quanto no sistema artesanal, não é realizado um controle do volume de

material produzido e nem são avaliados os impactos ambientais que estes possam ocasionar. Em algumas empresas do Sul da Bahia, após o aproveitamento máximo dos resíduos de óleo de dendê, o líquido resultante é coletado e transportado em veículos com compartimentos apropriados para ser distribuído nas áreas de plantio como fertilizante orgânico. Neste tipo de prática de envio do efluente de saída em forma de uma malha ou rede de distribuição, o conteúdo de efluentes é despejado sem diluição na plantação como adubo. Essa prática tem se mostrado incorreta, pois a não diluição do conteúdo desse efluente pode causar a mortandade do cultivo, por sua altíssima carga de nutrientes e caracterizar um impacto ambiental de grande magnitude. Entretanto, não há um acompanhamento técnico e/ou fiscalização permanente durante a realização dessa prática. Desta forma não é possível comprovar que essa maneira de reaproveitar os efluentes nos dendezais não esteja promovendo agressões ambientais. Na Região Amazônica, este processo é realizado após a passagem do efluente por uma centrífuga e após por uma lagoa de decantação com eficiência de 30%. Através de um sistema interligado por uma malha de redes de tubulação, no qual toda a seqüência de operação ocorre em fluxo fechado, o efluente é capturado e aplicado por 24 horas em parcelas de 35 ha cada, com um ciclo de aplicação de 1 mês para cada parcela e de 8 meses entre as parcelas. (Heisner, C. 2006). Este procedimento também tem se mostrado inadequado, pois foi possível localizar, nesta área de plantio, a mortandade de várias palmeiras.

Em outras fábricas do Sul da Bahia, os efluentes líquidos passam por um processo de recuperação do óleo de palma, o que é feito num tanque fechado. Após a retirada máxima do óleo, esse líquido é conduzido por canaletas para um conjunto de tanques abertos onde, por decantação, reaproveita-se ainda um material oleoso na forma de borra (destinada à produção de sabões) e, por último, o líquido é liberado para os cursos d'água. Esse procedimento não pode ser considerado como "limpo" quanto aos impactos ambientais que podem ser causados, sendo necessários fiscalização e monitoramento desses efluentes. Apenas uma empresa faz uma prévia e precária recuperação dos efluentes. Este processo é realizado com a recuperação do excesso de óleo no decantador vertical e calhas, seguindo por uma tubulação até um decantador

tipo “Door” para recuperação do óleo residual. A seqüência é encerrada com deposição desse material nas pré-lagoas de tratamento, assim chamadas porque não se sabe ao certo a qualidade que este efluente apresenta após a passagem pelas lagoas. Não há informações por parte da direção dessa empresa quanto a características deste efluente de saída, quanto ao destino definitivo do líquido resultante de seus efluentes e se estes estão sendo lançados no solo. Nas figuras 2.41 e 2.42 podem ser observados estes processos.



**Figura 2.41: Decantador de óleo de palma em agroindústria.**



**Figura 2.42: Estrutura de recuperação final de óleo de palma em efluentes**

A figura 2.43, a seguir, apresenta a lagoa em questão de uma das fábricas de extração de óleo do Sul da Bahia.



**Figura 2.43: Lagoas de deposição definitiva dos efluentes de agroindústria de palma na região Sudeste da Bahia**

Um monitoramento correto desses efluentes de saída é o tratamento, seja em uma estação, seja com a utilização de lagoas para a decomposição deste material é o que ocorre na maioria dos casos na Colômbia. A figura 2.44 a seguir mostra o efluente de saída na entrada de lagoa de tratamento na Colômbia. Na seqüência, as figuras 2.45 e 2.46 mostram lagoas de tratamento de efluentes utilizadas neste país.



**Figura 2.44: Efluente de saída de processo na entrada de lagoas de tratamento de efluentes**



**Figura 2.45: Lagoa de tratamento de efluentes na Colômbia**



**Figura 2.46: Lagoa de tratamento de efluentes na Colômbia**

### **2.6.3 Minimização dos Impactos Ambientais na Produção do Óleo de Palma**

Em todos os segmentos, as etapas de processamento geram resíduos que poderão ser utilizados no próprio sistema, realimentando a cadeia produtiva e, dessa forma, promover a minimização desses impactos.

Podem-se reduzir os impactos ambientais na etapa agrícola com o uso de áreas para expansão do cultivo, escolhendo locais que não tenham, no momento, função produtiva e econômica e de onde já se removeu a vegetação primária. Dessa maneira evita-se a eliminação de remanescentes da mata ainda existentes. Deve-se evitar as queimadas fazendo-se a amontoa dos restos vegetais resultantes da limpeza do terreno e utilizar, para a queima na estrutura de processamento do óleo de palma, os resíduos de maior volume. Durante as práticas de colheita e despalma, o material retirado deve ser colocado de volta às áreas de cultivo após sofrer uma trituração. Essa prática, além de amenizar a evapotranspiração, adicionará nutrientes ao solo.

Com relação às práticas artesanais, as medidas minimizadoras devem possuir a execução de um programa de reflorestamento com essências florestais exóticas e de crescimento vegetativo rápido (eucaliptos, pinus, e outras espécies adaptadas às condições regionais), com o intuito de substituir a retirada de madeira dos remanescentes da Mata Atlântica. Essa atividade renovável possibilitará, em médio prazo o consumo de madeira sem prejuízos para o meio ambiente, além de amenizar aqueles que já foram causados anteriormente.

Com relação à produção do óleo de dendê, deve-se modificar o método que faz a separação do óleo, pois esta ainda é feita lavando-se a massa resultante da maceração dos frutos dentro de um tanque com água que, posteriormente, com a adição de óleo e

resíduos de outra natureza, é lançada diretamente no solo ou em cursos d'água. Sugere-se como uma alternativa para amenizar o problema, a criação de um modelo de estrutura simples de forma sifonada, que funcionaria como um decantador dos efluentes. Aumenta-se, assim a eficiência extrativa do processamento e reduz-se o volume de material desperdiçado.

Considerando a geração de eletricidade a partir de motores movidos a óleo diesel, pode-se realocar esses motores/geradores, reinstalando-os em locais afastados do centro residencial e ajustando-os de modo a diminuir o volume de fumaça, a fuligem expelida pelo seu escapamento e o nível de ruído. Há, ainda, a possibilidade de substituição do diesel por óleo de dendê, desde que o equipamento seja convenientemente adaptado. Neste caso, os teores de monóxido de carbono, dióxido de carbono e óxidos nitrogenados expelidos serão menores se comparados com o óleo diesel (CEPEL,1996).

O sistema de extração de óleo de dendê de forma artesanal também necessita passar por um redimensionamento e modernização de seu modelo operacional para aumentar sua eficiência produtiva e econômica. Existe a necessidade de desenvolver programas de melhoria do nível de educação e noções de educação ambiental para os trabalhadores deste sistema, de forma a despertá-los para a necessidade de preservação do seu meio de produção. Espera-se, através desse processo, desenvolver na comunidade o conceito de sustentabilidade.

Considerando o tratamento de efluentes do processo industrial, esses sistemas de tratamento necessitam de manutenção e monitoramento freqüentes. O dimensionamento desses locais de deposição deve seguir a capacidade operacional de cada indústria. Uma planta que processa 125 toneladas de cachos de frutos por dia, precisa de pelo menos uma superfície de exposição equivalente a 30.000 m<sup>2</sup>. (BREZING, D.,1986).

A aplicação destes efluentes diretamente nos plantios das agroindústrias, como alternativa para o aproveitamento dos mesmos deve ser feita de forma segura para o meio ambiente. Deve-se fazer na região Amazônica um melhor monitoramento deste tipo de atividade para evitar o impacto ambiental como acontece atualmente. Quando usado tecnicamente, a aplicação direta no plantio pode aumentar de 10 a 24% a produção de cachos de dendê, pelo acréscimo de nutrientes no solo além do nível de umidade. Isso promove redução nos custos de produção, pela menor necessidade de aplicação de adubos minerais e, conseqüentemente, o aumento da produtividade (NGAN, M. A , 1997). Porém, a forma ideal para se cuidar dos efluentes é a tecnologia de aproveitamento da água resultante de todo o processo. Após a separação da parte sólida, ela alcança até 85% do volume original. Isso pode ser obtido por meio de evaporação e condensação posterior da água e a fração sólida é destinada à formulação de fertilizantes (NGAN, M. A , 1997).

#### **2.6.4 Impactos Ambientais da Produção do Biodiesel - Processo de Transesterificação**

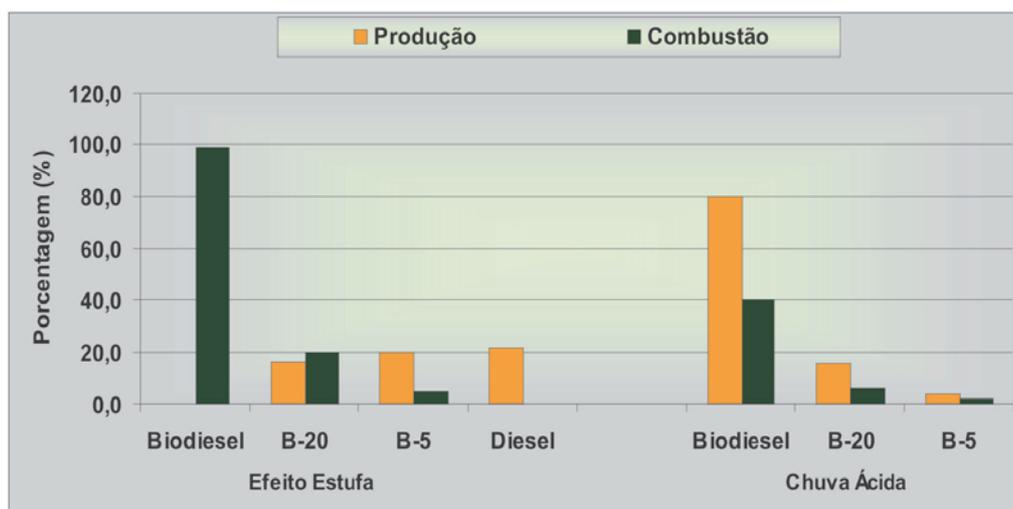
Na etapa de produção do biodiesel devem ser considerados os impactos do uso das matérias primas envolvidas no processo de transesterificação. Assim, para uma maior compreensão deste sistema, se deve fazer o mapeamento dos fluxos de produção e uso dos produtos que compõem este processo.

Para o processo de transesterificação, as energias e materiais auxiliares considerados são o catalisador utilizado que, na maioria dos processos, é o hidróxido de potássio (KOH) e o álcool utilizado no processo, o metanol (CH<sub>3</sub>OH), além do óleo vegetal, sobre o qual já foram apresentados os principais impactos para a sua produção.

Analisando a cadeia de produção da transesterificação, considera-se que os principais impactos a serem associados provêm do metanol, pois o catalisador é utilizado em quantidades muito pequenas, quase insignificantes, no processo como um todo. Já o

metanol deve ser considerado, pois é produzido a partir de gás natural, gás carbônico e vapor d'água. As principais fontes de energia utilizadas na planta de produção de metanol são a elétrica e o vapor (gerado a partir da queima de gás natural). O gás natural é fornecido pela indústria de petróleo e chega à planta de produção de metanol através de um gasoduto. É em seguida comprimido por um compressor alternativo que é acionado por um motor elétrico.

O maior impacto causado pelas emissões na cadeia do biodiesel provém da cadeia de produção do metanol. Na Figura 2.46, a seguir, são apresentadas as comparações entre as emissões ambientais para a produção e a combustão do biodiesel em comparação com o diesel. Nesta figura, são avaliadas em porcentagem as categorias de impactos relacionadas à produção e a combustão do diesel e do biodiesel puro e nas misturas B-5 e B-20. As categorias escolhidas foram o efeito estufa e chuva ácida, nas quais a avaliação para o biodiesel puro e em comparação com o diesel, fica notada na categoria efeito estufa, o maior impacto ambiental é o na etapa de combustão para o biodiesel, quanto que para o diesel, o maior impacto está associado a produção do combustível. Para a categoria de chuva ácida os maiores valores para o biodiesel são encontrados na etapa de produção.



**Figura 2.47: Comparação de Categorias de Impactos associados à produção do biodiesel e diesel.**  
(NETO, J.A.A. et al, 2005)

### **2.6.5 Impactos Ambientais da Utilização do Biodiesel**

O efeito da degradação química de componentes de motores é um problema da utilização de biodiesel. Segundo estudos, testes envolvendo mistura com 70% de biodiesel de soja e 30% de óleo diesel mineral (B70) como combustível de motores diesel de injeção direta, verificaram que a temperatura dos bicos injetores parece ter influência significativa na formação de depósitos e, em conseqüência, na deterioração da pulverização. Não foram observadas formações de depósitos significativas nas canaletas, anéis e cabeça de pistão dos motores. O plano de manutenção dos bicos injetores deveria ser revisto no caso do uso da mistura B70, de modo a determinar a periodicidade de limpeza e manutenção. Os resultados mostraram similaridade dos ésteres com o óleo diesel no que diz respeito à compatibilidade com materiais.

A exaustão de motores de veículos é proveniente da queima de óleo diesel que contem centenas de compostos. Vários desses compostos são comprovadamente, ou suspeitos de serem, carcinogênicos, tais como o formaldeído, a acroleína, os HPAs, os nitro-HPAs, o benzeno, o sulfato, etc.

A crescente preocupação a respeito dos poluentes relacionada à combustão, tais como material particulado (MP), óxidos de enxofre e nitrogênio, CO, metais, carbono orgânico total e compostos orgânicos voláteis (COV), entre outros, está levando diversos governos a estabelecer parâmetros mais restritos para a regulação de combustíveis (HE et al., 2003).

Um estudo feito por TORRES, et al, (2006), testou um motor estacionário do ciclo diesel, utilizando como combustível o diesel fóssil e o biodiesel no laboratório de Energia e Gás da Escola Politécnica da UFBA. Neste estudo foram elaboradas curvas características de potência, torque e emissões versus rotação do motor. O motor operou com óleo diesel e biodiesel de óleos e gorduras residuais (OGR) e nos testes realizados não se observou diferenças significativas quanto a utilização dos combustíveis derivados de petróleo e dos obtidos a partir de OGR, pois na análise dos resultados o desempenho do motor operando com os dois combustíveis são próximos.

Para o biodiesel testado foi observada uma breve desvantagem com relação ao consumo específico diante do diesel, devido ao menor poder calorífico do biodiesel em comparação com o diesel fóssil. Os resultados dos testes de emissões mostraram que a concentração de dióxido de carbono foi aproximadamente a mesma. Para a concentração do monóxido de carbono para potências de até 3 kW, a variação foi semelhante para os dois combustíveis, entretanto, para que para 4kW, o valor da concentração do gás aumentou significativamente.

De acordo com Torres (2006), estes resultados são preliminares e novos testes estão sendo realizados para outras condições operacionais, além de novos estudos e ajustes para melhoria do processo de obtenção do biodiesel na Planta Piloto da UFBA, que tem capacidade de processamento de 5.000.000 litros por ano. Segundo o mesmo autor, estes testes realizados revelaram a viabilidade da operação com um combustível substitutivo, com possibilidade imediata da substituição do óleo diesel pelo biodiesel como combustível nos motores estacionários de baixa potência., entretanto, novos ensaios são necessários para estudar o comportamento deste combustível, assim como também verificar o desgaste dos materiais e dispositivos em longos períodos operacionais. Além desses aspectos é necessário um estudo de viabilidade econômica, especialmente para a mamona como matéria-prima. Nos gráficos das figuras 2.48, 2.49, 2.50, 2.51 e 2.52 são apresentados os resultados dos testes de desempenho e emissões dos resultados apresentados anteriormente.

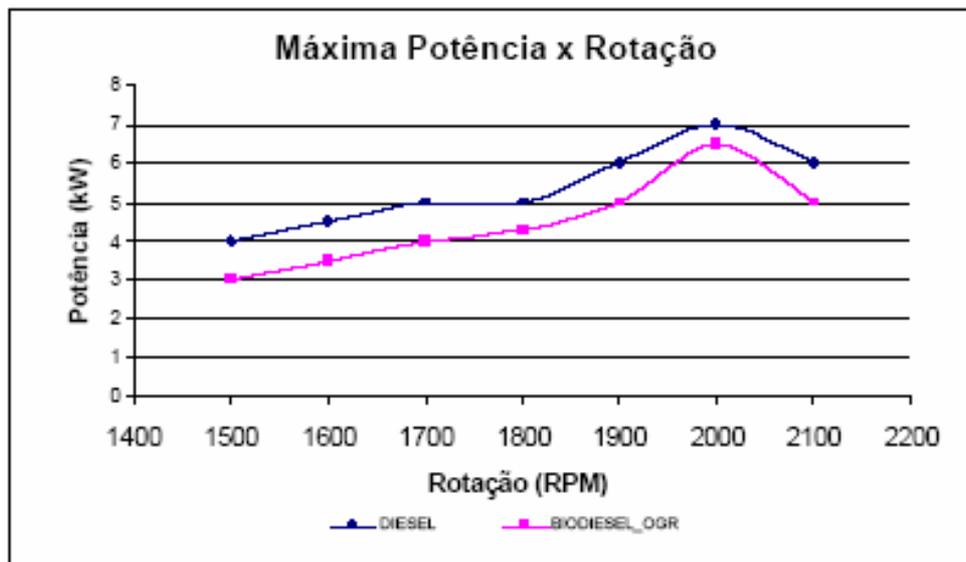


Figura 2.48: Testes de desempenho: máxima potencia x rotação. (TORRES, et. al. 2006).

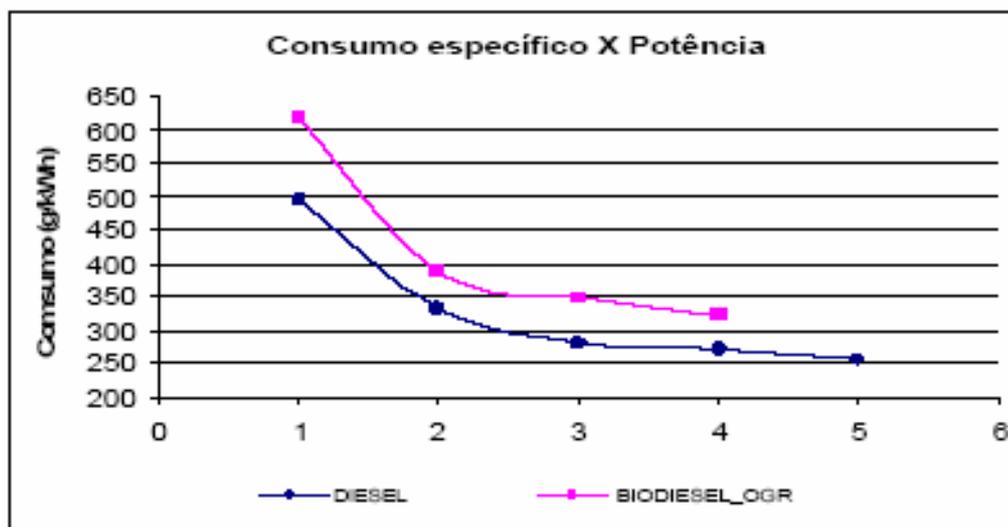


Figura 2.49: Testes de desempenho: consumo específico x potencia. (TORRES, et. al. 2006).

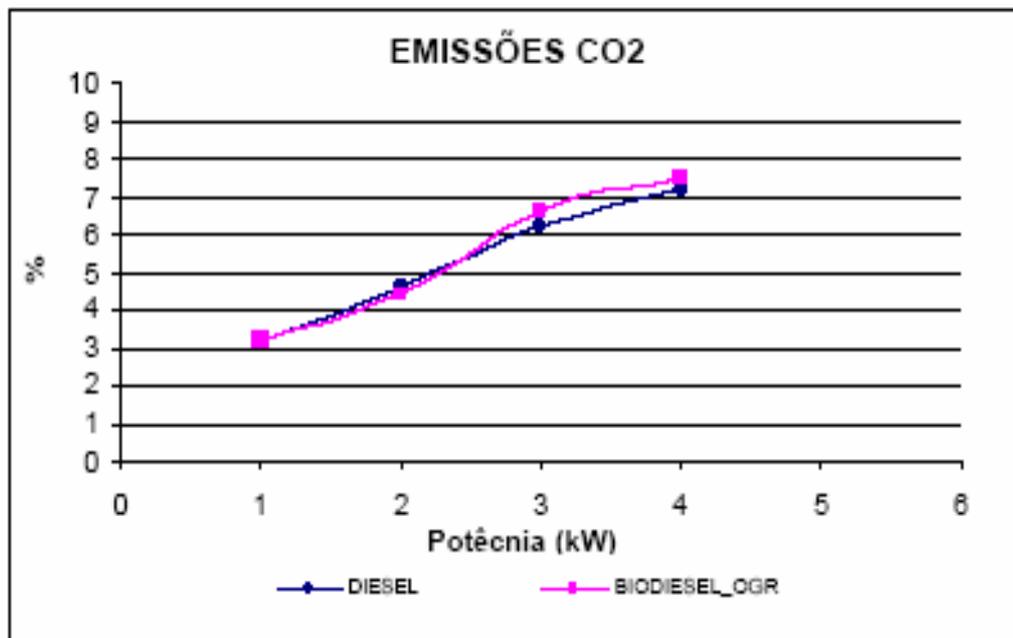


Figura 2.50: Testes de emissões: consumo de CO2. (TORRES, et. al. 2006).

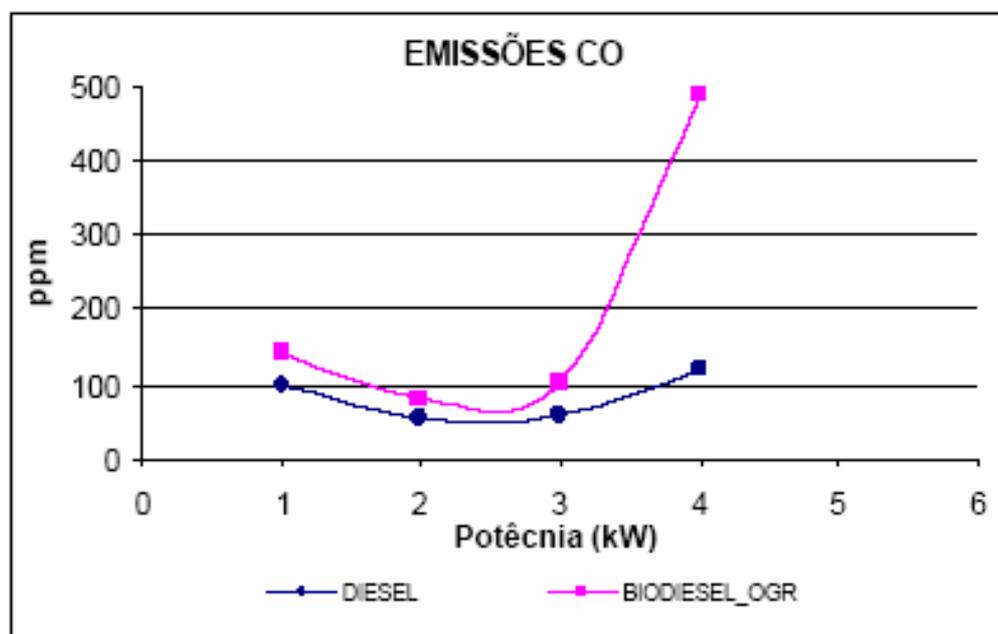


Figura 2.51: Testes de emissões: Consumo de CO. (TORRES, et. al. 2006).

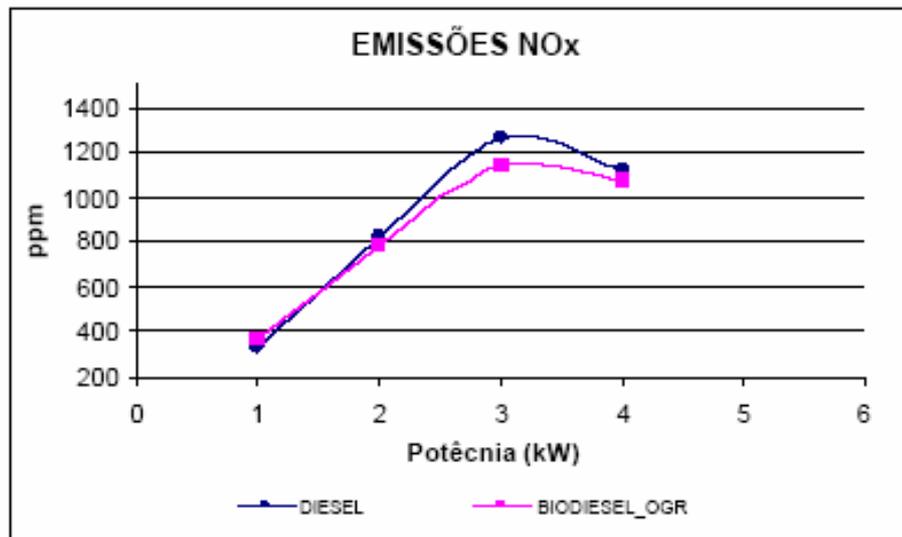
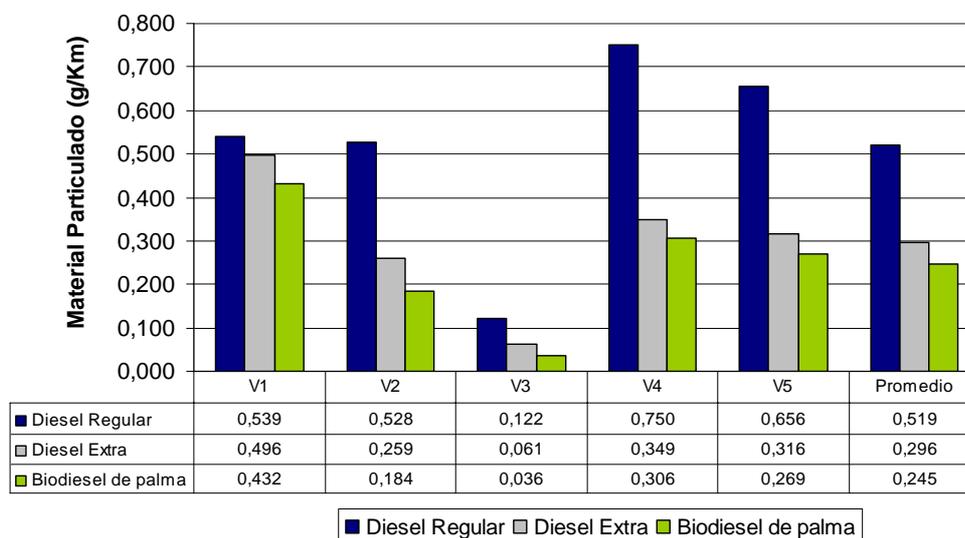


Figura 2.52: Testes de emissões: Consumo de NOx. (TORRES, et. al. 2006).

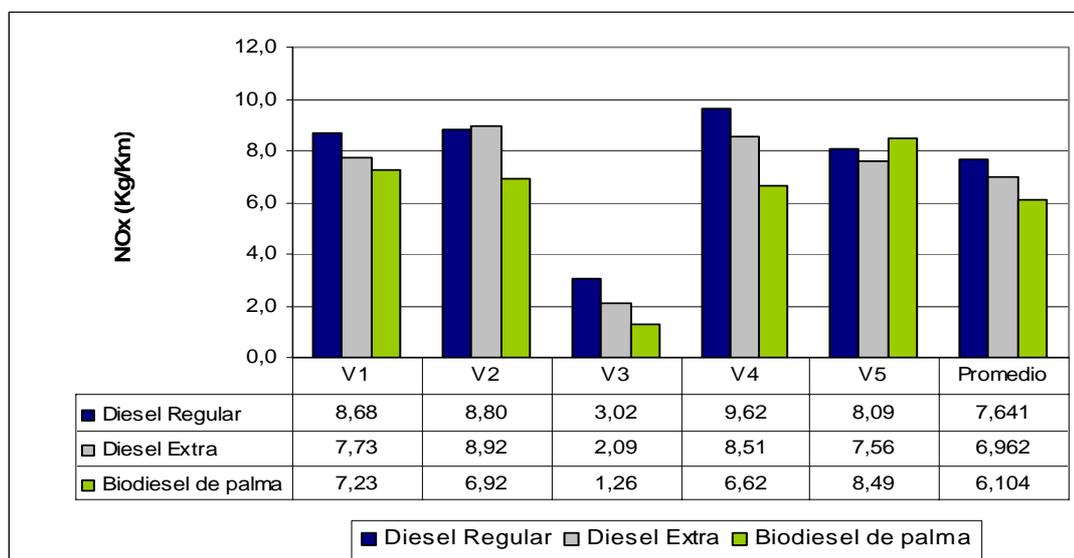
Fazendo uma análise dos resultados de pesquisas relacionada ao estudo comparativo entre as emissões de diesel fóssil puro e em misturas com biodiesel disponíveis até o momento, pode-se notar que estes são conflitantes em diversos aspectos. Enquanto alguns demonstram, para o biodiesel, reduções globais em praticamente todos poluentes, outros apontam para valores comparáveis ou mesmo maiores nas emissões. As diferenças entre as emissões produzidas por queima de combustíveis, podem depender de fatores que não estão relacionados apenas ao tipo de combustível, mas também às características dos motores e às condições de teste. Porém, uma combinação de todas essas variáveis pode conduzir a diferentes conclusões entre os estudos conduzidos até o momento, tornando-se incentivo para novas pesquisas.

Nas figuras 2.53, 2.54 e 2.55 respectivamente, a seguir, são mostradas as comparações entre as emissões de material particulado, CO<sub>2</sub>, e NO<sub>x</sub> para o biodiesel de óleo de palma e o diesel em um estudo realizado por um convênio com o centro de pesquisa CENIPALMA e o Ecopetrol - ICP na Colômbia. Neste estudo foram realizados testes com quatro tipos diferentes de veículos. Os resultados para estes testes mostraram que para a média de valores para os quatro tipos de veículos estudados as emissões pelo biodiesel de palma foram menores que para o diesel de

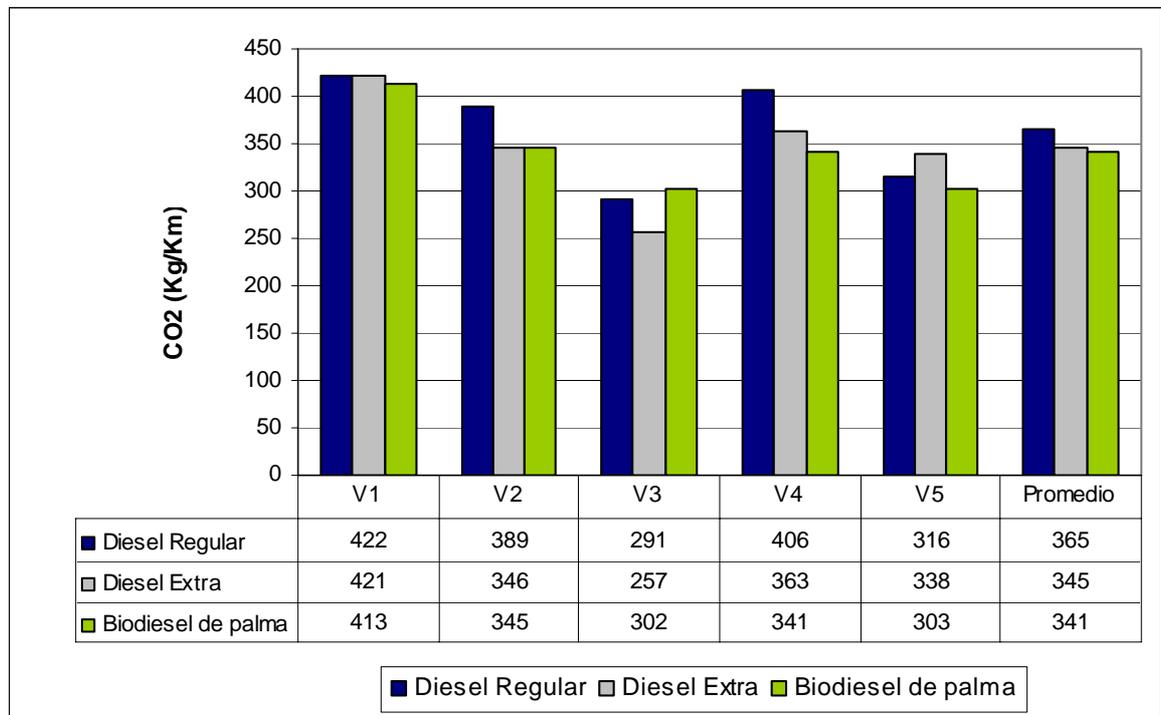
petróleo. Para as emissões de NOx e CO<sub>2</sub> em apenas um tipo de veículo foram encontradas emissões um pouco mais elevadas que para o diesel de petróleo.



**Figura 2.53: Comparação da emissão de Material particulado entre Biodiesel de palma e o diesel. (Convenio Ecopetrol-ICP, CENIPALMA, 2006).**



**Figura 2.54: Comparação da emissão de NOx entre Biodiesel de palma e o diesel (Convenio Ecopetrol-ICP, CENIPALMA, 2006).**



**Figura 2.55: Comparação da emissão de CO<sub>2</sub> entre Biodiesel de palma e o diesel. (Convenio Ecopetrol-ICP, CENIPALMA, 2006).**

## 2.7 Análise do Ciclo de Vida (ACV)

A eficiência de um sistema de gestão deve consistir de uma solução ambientalmente sustentável que minimize os impactos associados a cargas ambientais originadas na aplicação da técnica considerada. Essa minimização deve ser dirigida tanto às emissões na biosfera, quanto à conservação dos recursos energéticos e matérias. Uma das técnicas usadas para quantificar de forma global e objetiva as cargas ambientais de uma atividade é ACV - Análise do Ciclo de Vida.

A Análise do Ciclo de Vida é uma ferramenta para planejamento com ênfase na redução tanto do consumo de recursos naturais quanto na emissão de poluentes, orientando as decisões presentes para que no futuro sejam as mais adequadas do ponto de vista de minimização dos impactos ambientais.

Segundo a ABNT (ABNT NBR ISO 14041:2004), a ACV é definida como: “uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto mediante”:

- a compilação de um inventário de entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto;
- a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a essas entradas e saídas;
- a interpretação dos resultados das fases de análise de inventário e de avaliação de impactos em relação aos objetivos do estudo” e entende-se por “sistema de produto” o conjunto dos processos que realiza a função do produto (ABNT NBR ISO 14041:2004), ou seja, os processos que, segundo o modelo definido para o estudo, compõe o ciclo de vida do produto em questão.”

A Análise do Ciclo de Vida é uma ferramenta de gestão ambiental e de grande valia na análise da eficiência energética da cadeia de suprimentos e uso final de energia do biodiesel.

### **2.7.1 Histórico da ACV**

Com o desenvolvimento tecnológico e a crescente sofisticação nos processos de produção, o mundo intensificou a busca por formas alternativas de energia e a melhoria dos processos para aperfeiçoar a utilização dos recursos naturais. Assim, diversos estudos e iniciativas foram empreendidos. Os primeiros trabalhos que

aplicaram conceitos de ACV datam da década de 70 (processos produtivos e racionalização de fontes de energia não-renováveis).

O primeiro estudo do qual se tem referência foi desenvolvido no início dos anos 70 pela Coca Cola, que contratou o Midwest Research Institute (MRI) para comparar os diferentes tipos de embalagens de refrigerante e selecionar qual deles se apresentava como o mais adequado do ponto de vista ambiental e de melhor desempenho com relação à preservação dos recursos naturais. Este processo de quantificação da utilização dos recursos naturais e de emissões utilizado pela Coca Cola, nesse estudo, passou a ser conhecido como (Resource and Environmental Profile Analysis - REPA).

Através da contribuição da sociedade, que atribuiu cada vez mais importância às questões ambientais, houve a necessidade de desenvolver abordagens e ferramentas de gestão que possibilitassem às empresas (e, de uma maneira mais geral, às diversas partes interessadas da sociedade, como governo, institutos de pesquisas e outros) avaliar as consequências ambientais das decisões que se tomavam em relação aos seus processos ou produtos. Uma das dificuldades neste aspecto é a de comparar produtos ou processos distintos, do ponto de vista das suas consequências ambientais, pois esta tarefa é extremamente complexa em função da necessidade de estabelecer critérios comuns de comparação e da necessidade de uma abordagem completa, que se passou a chamar o ciclo de vida do produto.

Nos anos 80 a ACV ampliou a análise energética para além dos insumos energéticos e incluiu os estágios de uso final e gestão de resíduos na cadeia de processos. O trabalho de Boustead e Handcock (1979) de Análise Energética serviu de base para desenvolvimento da ACV.

O projeto Green Design (Projeto Verde), para aprimoramento da gestão da matéria-prima e prevenção da geração de resíduos de 1992, desenvolvido pelo Office of Technology Assessment (OTA), focou o desenvolvimento de projetos de produtos

que garantissem uma maior competitividade, mas, ao mesmo tempo, minimizassem os impactos ambientais e tivessem a aplicação dos conceitos da ACV como foco desta filosofia.

Passou-se a estudar a metodologia REPA, agregando-se novos critérios que permitiram melhor análise dos impactos ambientais. Através de um estudo solicitado pelo Ministério do Meio Ambiente da Suíça, foi introduzido na metodologia REPA um sistema de ponderação que utilizava padrões de referência para a saúde humana e para agregar dados sobre os impactos ambientais. Em 1991, com base neste modelo foram desenvolvidos os primeiros softwares específicos para os estudos de REPA, os Ökobase I e II. Nos anos posteriores, uma série de estudos de ACV foi realizada sobre os mesmos produtos ou serviços, mas utilizando modelos diferentes, e encontrou-se resultados distintos, o que proporcionou um questionamento acerca da sua interpretação, colocando em questão a sua validade. Contribuíram para esta questão o surgimento e proliferação dos chamados Rótulos Ambientais, que inicialmente eram atribuídos com base em apenas um aspecto ambiental do produto ou serviço, não levando em consideração todas as fases do ciclo de vida do produto. Os resultados controversos dessas iniciativas de rotulagem conduziram à consideração da utilização da Avaliação do Ciclo de Vida como um dos critérios para o desenvolvimento da rotulagem ambiental.

Assim, este novo uso da ACV, que tinha como premissa a comparação entre produtos, se tornava uma saída tecnicamente correta para o impasse dos rótulos ambientais e, ao mesmo tempo, mostrava a necessidade de se padronizar e sistematizar a ACV.

Visando esta necessidade, a Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) iniciou os primeiros trabalhos de sistematização e padronização dos termos e critérios da ACV e, em 1993, a International Organization for Standardization (ISO) criou o Comitê Técnico TC 207 para elaborar normas de sistemas de gestão ambiental e suas ferramentas.

Atualmente, o sistema ISO 14000 de normas internacionais sobre o meio ambiente apresenta um conjunto de normas específicas para padronizar os termos e os critérios para a elaboração e divulgação dos resultados da ACV. Estas normas são as da série ISO 14040 a ISO 14049. No Brasil, a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou até o presente momento a versão da ISO 14.040, com as NBR ISO 14.040- Gestão Ambiental-Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura (ABNT NBR ISO 14040:2004); NBR ISO 14041 - Gestão Ambiental - Definição do Objetivo e Escopo e Análise de Inventário (ABNT NBR ISO 14041:2004); Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Avaliação de Impacto do ciclo de vida (ABNT NBR ISO 14042:2004), e NBR ISO 14041 - Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Interpretação do ciclo de vida.

### **2.7.2 Filosofia da ACV**

Segundo Chehebe (1998), a Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica para a avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema do produto (berço) até a sua disposição final (túmulo).

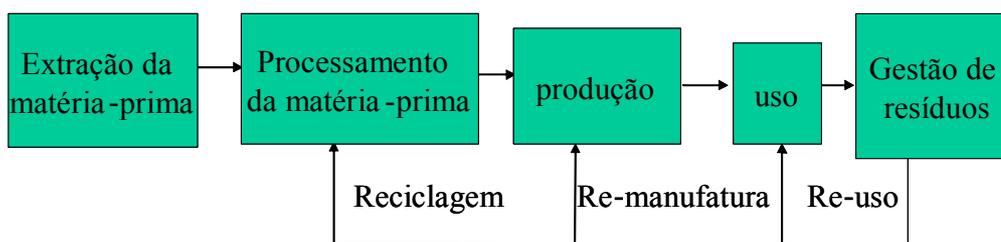
A filosofia desta análise é identificar os impactos ambientais que poderiam ser causados desde a extração da matéria-prima até a disposição final do produto em estudo como forma de aprimorar econômica e ambientalmente o projeto de um produto, ou seja, aumentar sua ecoeficiência (OTA, 1992).

A ACV mostra informações a respeito das interações significativas entre o sistema do produto e o meio ambiente, funcionando como ferramenta de obtenção e compilação de informações. Podem ser aplicada na identificação de oportunidades de melhoria de desempenho, buscando a origem das principais contribuições de um ciclo de vida de produto os impactos ambientais potenciais. Uma vez que se sabe o quanto cada etapa

contribui, pode-se proceder a ações de planejamento direcionadas à minimização dos aspectos. Outra aplicação desta ferramenta seria a comparação ambiental entre produtos de função equivalente. Assim, levantado o aspecto ambiental de um ciclo de vida, pode-se compará-lo a outro, a produtos distintos, de mesma função disponível no mercado, e também a comparação de um produto específico com um padrão determinado para aquele tipo de produto, como feito no caso dos rótulos e declarações ambientais. A idéia, neste caso, é realizar a avaliação de quais são os aspectos ambientais mais significativos, e geralmente quais seus respectivos impactos potenciais.

Os cinco estágios típicos do ciclo de vida de um produto são: extração de matéria-prima, processamento da matéria-prima, produção, uso final e gestão de resíduos.

A figura 2.56, a seguir, mostra os estágios do Ciclo de Vida de um Produto.



**Figura 2.56: Estágios do ciclo de vida de um produto ou serviço.**

Todo produto causa, de alguma forma, um impacto sobre o meio ambiente. Esse impacto pode ocorrer durante a extração das matérias-primas utilizadas no processo de fabricação do produto, no próprio processo produtivo, na sua distribuição, no seu uso ou na sua disposição final.

A ferramenta de avaliação do ciclo de vida de produtos ou serviços estabelece vínculos entre os aspectos e categorias de impactos potenciais ligados ao consumo de recursos naturais, à saúde humana e à ecologia. É uma ferramenta técnica que pode auxiliar o gerenciamento e a tomada de decisão na estratégia ambiental de uma empresa ou instituição. Esta análise considera a produção de energia, os processos

que envolvem a manufatura, as questões relacionadas com as embalagens, o transporte, o consumo de energia não renovável, os impactos relacionados com o uso, ou aproveitamento e o reuso do produto ou mesmo questões relacionadas com o lixo ou recuperação / reciclagem.

O estudo de ACV de um produto ou serviço deve consistir da definição de seu objetivo e escopo, da realização de um inventário que consiste de um levantamento quantificado de dados de todas as entradas (materiais, energia e recursos) e saídas (produtos, subprodutos, emissões, etc.) durante todo o ciclo de vida, da identificação dos impactos ambientais potenciais ao longo do ciclo de vida e da interpretação dos resultados do estudo. A seguir é apresentado o fluxograma da Figura 2.57, referente às etapas da ACV.

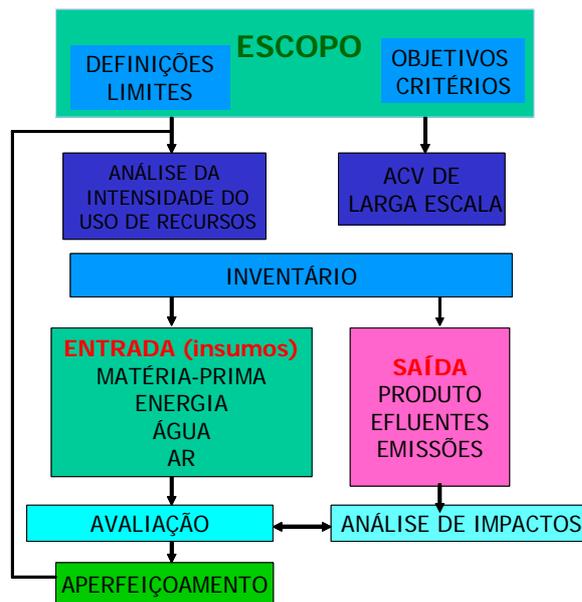


Figura 2.57: Fluxograma da ACV.

A técnica da ACV possui limitações, que devem ser consideradas tanto na elaboração dos estudos, quanto no uso dos seus resultados. Os dados nos modelos de ACV

possuem incertezas, que podem vir pelos dados coletados, pela subjetividade do modelo adotado e pela imprecisão do modelo.

As incertezas quanto à subjetividade do modelo devem-se ao fato de que não há apenas uma maneira de se fazer um modelo da realidade, pois pode-se utilizar a representatividade (dados que vieram de outras fontes), base de alocação e os eventos futuros (muitas ACV's lidam com produtos que tem um tempo de vida longo e não sabe como será o tratamento destes resíduos no futuro).

As incertezas causadas pela imprecisão do modelo são devido às falhas na definição de limites do sistema e planilhas de dados incompletas e com dados insuficientes. Em muitos casos, os dados são obtidos por entrevistas e através de questionários, e freqüentemente estes dados estarão parcialmente disponíveis. Outra questão são as desigualdades entre inventários e avaliação de impactos, em que os dados do inventário coletado não tem um fator de caracterização e, portanto, esta decisão é ignorada no resto da ACV.

Estas incertezas dos dados podem ser tratadas como uma gama de desvios padrões. Assim, os métodos estatísticos como a técnica de Monte Carlo, podem ser usadas para lidar com este tipo de incertezas. Em cada ACV faz-se, pelo menos uma escolha subjetiva para se construir um modelo. Assim, uma análise mais coerente consiste em combinar a análise de Monte Carlo para incerteza dos dados a análise de sensibilidade para o modelo de incertezas. Na análise de sensibilidade se obtém um melhor entendimento da magnitude do efeito das suposições que se fez.

Além da Análise de Sensibilidade, há a Análise de contribuição, que é uma ferramenta importante na compreensão das incertezas dos resultados. Nesta análise, determina-se qual processo tem papel significativo nos resultados. Um estudo de ACV geralmente contempla uma centena de diferentes processos, e de 95% ou mesmo 99% dos resultados é determinado por apenas 10 processos. Assim, partindo deste princípio pode-se focar a atenção nestes processos e analisar se estes processos são

suficientemente representativos, completos e se existem importantes suposições sobre os mesmos. Uma análise de contribuição que mostre quais processos criam uma carga ambiental alta é chamada Análise de gravidade, mas esta análise não releva a causa da carga.

### **2.7.3 Definição da meta e extensão dos estudos (objetivo e o escopo) segundo a NBR 14041**

A definição de objetivo e escopo, segundo a NBR ISO 14041(2004), deve ser determinada na etapa de definições. O objetivo do estudo deve declarar a aplicação pretendida, as razões para sua condução e seu público-alvo.

Nesta etapa a importância da meta e o alcance são o de definir e limitar o modelo do sistema de forma que, mesmo havendo algumas simplificações, os resultados não sejam influenciados quando confrontados com a realidade.

O objetivo deve partir da clara definição do sistema de produto ou serviço. Isto envolve a definição da chamada “unidade funcional”, o que pode não ser trivial, mas que está intimamente ligada ao uso.

O escopo refere-se a três dimensões básicas: a extensão, indicando o início e término do estudo; a largura indicando os níveis de análises a serem incluídos e a profundidade que estabelece qual o nível de detalhamento da análise. As três dimensões devem ser realizadas de forma a atender os objetivos estabelecidos.

Essas definições de meta e extensão são como um guia, mas não se trata de um documento estático. Pode ser adaptado durante o andamento dos estudos, mas de maneira consciente e cuidadosa. Assim para uma reavaliação do escopo e objetivos deve-se considerar nesta fase do estudo:

o sistema a ser estudado;

a definição dos limites do sistema;

a definição das unidades do sistema;  
o estabelecimento da função e da unidade funcional do sistema;  
os procedimentos de alocação;  
os requisitos dos dados;  
as hipóteses de limitações;  
a avaliação de impacto, quando necessária e a metodologia a ser adotada;  
a interpretação dos dados, quando necessária e a metodologia a ser adotada e  
o tipo e o formato do relatório importante para o estudo e a definição dos critérios para a revisão crítica, se necessário.

O escopo do estudo deve identificar e definir o objeto de análise e limitá-lo para incluir o que é significativo (WENZEL et al., 1997). Ao definir o escopo de um estudo de ACV, deve ser feita uma declaração clara sobre a especificação das funções do produto, unidade funcional e fluxo de referência e a definição das fronteiras do sistema. Segundo a Norma NBR ISO 14041, define-se como:

- função do sistema de produto: define a que se presta o sistema que está sendo analisado, qual sua função;

- unidade funcional: é a unidade de medida da função anteriormente estabelecida. Esta define a quantificação das funções do sistema, provendo uma referência para a qual as quantificações das entradas e saídas do sistema (aspectos ambientais) serão normalizadas;

- fluxo de referencia: é o resultado dessa quantificação da unidade funcional, a quantidade de produto necessária para cumprir a função. O fluxo de referencia é utilizado para calcular as entradas e saídas do sistema, as comparações entre sistemas devem ser feitas com base na mesma unidade funcional na forma de seus fluxos de referencia.

- fronteiras do sistema de produto: Define os processos elementares a serem incluídos no sistema a ser modelado, representando a delimitação da sua abrangência, considerando diversas dimensões.

As fronteiras de um sistema segundo RIBEIRO, F. M. (2003) apud TILLMAN, BAUMANN (1995) podem ser:

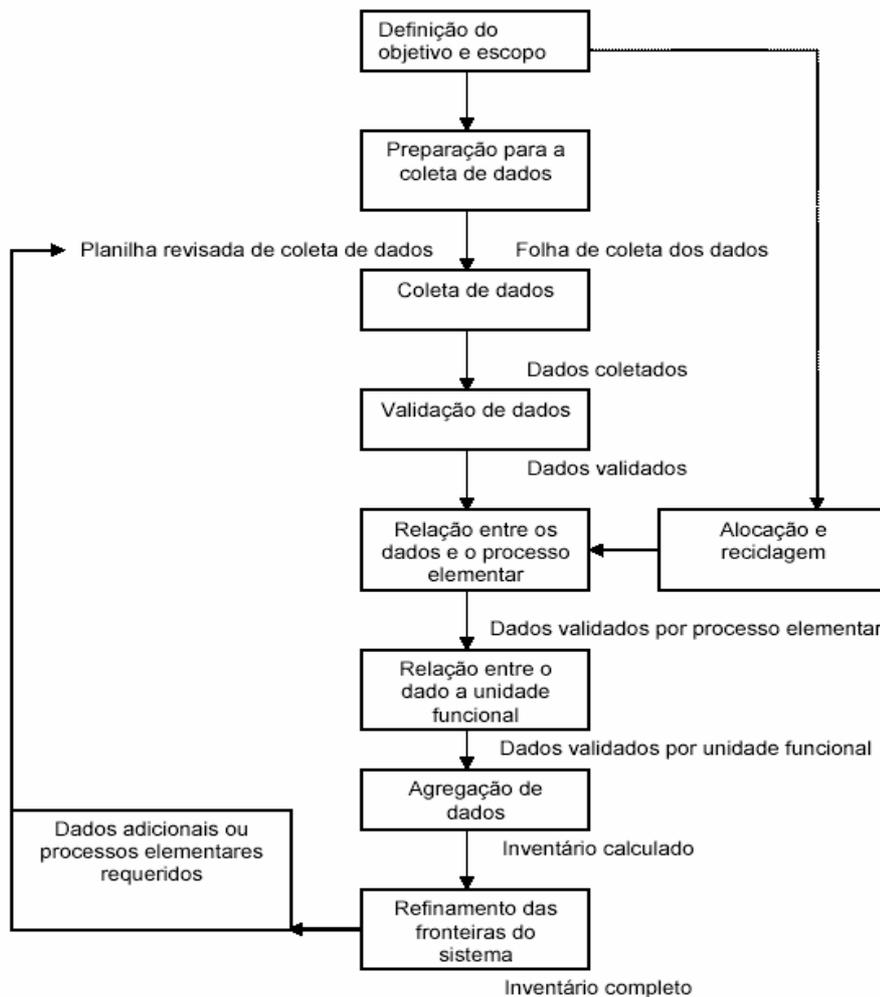
- i. Fronteiras em relação ao sistema natural : limites que indicam onde se inicia e termina o ciclo de vida em relação ao meio natural;
- ii. Fronteiras em relação a outros sistemas: cada sistema de produto tem associado uma rede de outros sistemas (produção de insumos, obtenção de matérias-primas, co-produtos gerados, etc). Dentro desta rede deve-se delimitar quais processos serão ou não estudados;
- iii. Fronteiras geográficas: cada localidade possui características próprias, o que podem fazer o resultado ser inadequado quando adaptados (por exemplo, cada país possui uma matriz energética e o uso de um modelo de geração da Alemanha, por exemplo, é inadequado ao Brasil);
- iv. Fronteira temporal: considera o momento para o qual os dados levantados terão validade, ou seja, se será estudada uma situação atual, passada ou ainda cenários de futuro, e
- v. Fronteiras de bens de capital: determina se serão incluídas ou não no estudo as infra-estruturas necessárias para a realização dos processos (edifícios das fábricas, estradas, etc).

As fronteiras de um sistema podem ser modificadas de acordo com as conclusões do inventário.

#### **2.7.4 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)**

Nesta etapa é elaborado um modelo de ciclo de vida para o produto em questão considerando todos os fluxos ambientais de entrada e saída. A Análise do Inventário (NBR ISO 14041) refere-se à coleta de dados e ao estabelecimento dos procedimentos de cálculo para que se possa facilitar o agrupamento destes dados em

categorias ambientais normalmente utilizáveis e comparáveis, de modo semelhante a um balanço contábil. A figura 2.58, a seguir, apresenta as etapas operacionais a serem realizadas em um Inventário de Ciclo de Vida.



**Figura 2.58: Procedimentos simplificados para a Análise do Inventário (ABNT NBR ISO 14041:2004)**

Em uma Análise de Inventário, o escopo e os objetivos de um estudo fornecerão o plano inicial para a realização do estudo, estabelecendo o conjunto inicial de processos elementares e categorias de dados associados.

Esta fase da Análise do Ciclo de Vida pode tornar-se uma das mais difíceis e trabalhosas em função da não-disponibilidade de dados, da qualidade dos dados disponíveis ou da necessidade de estimá-los.

Portanto, deve-se levar em consideração:

A necessidade de uma estratégia cuidadosa na preparação para a coleta de dados;

A coleta de dados;

O refinamento dos limites do sistema;

A definição dos procedimentos de cálculo e os procedimentos de alocação.

Os componentes-chaves para uma Análise de Inventário do Ciclo de Vida segundo a norma (ABNT NBR ISO 14041:2004) são:

- sistema de produto: conjunto de unidades de processo, conectadas material ou energeticamente, que realiza uma ou mais funções definidas. É, portanto o detalhamento do modelo a ser estudado na ACV. A descrição de sistema de produto inclui os processos elementares, fluxos elementares, fluxos de produto através das fronteiras do sistema e fluxos de produtos intermediários dentro do sistema.

- processo elementar: divisão do sistema de produtos, sendo interligados uns aos outros, mediante fluxos de processos intermediários e/ou resíduos de tratamento, a outros sistemas de produto por fluxos de produto e ao meio ambiente por fluxos elementares.

-categoria de dados: os dados coletados, medidos e estimados são utilizados para quantificar as entradas e saídas de um processo elementar.

A norma (ABNT NBR ISO 14041:2004) recomenda três grandes conjuntos de categorias de dados:

Insumos-energia, matérias-primas, matérias auxiliares e outras entradas físicas;

Produtos

Emissões (ar, água, terra, etc).

Os dados para a coleta podem ser divididos em dois tipos: os dados expeditos e os genéricos. Os dados expeditos são dados específicos relevantes para a modelagem do sistema, que descrevem um sistema especializado de produtos. Os dados genéricos são para materiais, energias, transporte e sistema gerenciamento de perdas. São dados encontrados em bancos de dados e na literatura.

- modelagem de sistemas de produto: descrevem os elementos-chave de sistemas físicos, e estes dependem do objetivo e escopo propostos. Os modelos usados devem ser descritos e identificados.

- requisitos dos dados: especificação da precisão dos dados e descrição dos métodos de obtenção e integração dos dados.

- análise crítica: na etapa de definições deve-se determinar o modo de condução e o responsável por esta análise (ABNT, 2001), que deve ser realizada ao final do estudo para verificação de sua qualidade.

- tipo e formato do relatório final: segundo a ABNT (2001), os resultados de uma ACV devem ser relatados ao público alvo de forma fiel, completa e exata, e o tipo e formato deste relatório devem ser definidos na etapa de definição do escopo.

As principais etapas do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) são apresentadas a seguir:

#### Preparação para coleta de dados

Esta etapa deve incluir:

- construção de fluxogramas dos processos unitários, incluindo suas interrelações;
- descrição de cada processo e listagem das categorias de dados a estes associadas;
- determinação das unidades de medida;
- determinação e descrição dos métodos de coleta e cálculo para cada categoria de dado, e

- provisão de instruções para documentação de casos especiais, irregularidades, etc.

### Coleta de dados

Na coleta de dados, os procedimentos usados variam de acordo com cada processo elementar, sendo necessário um conhecimento completo sobre cada processo elementar e com o registro de cada um destes.

As principais fontes de dados podem ser: bancos de dados eletrônicos, dados de literatura, dados passados por terceiros (empresas, órgãos do governo, associações de classe, laboratórios, etc) e medições diretas em campo, podendo o procedimento de coleta ser realizado, por exemplo, através de revisão bibliográfica, aplicação de questionários específicos, cálculos teóricos a partir de modelos ou medições de campo.

Ao final desta etapa de coleta o que se obtém é uma planilha de aspectos ambientais quantificados para cada processo em separado.

### Procedimentos de cálculo

Estes são necessários, assim como o procedimento para coleta de dados. Adequar os processos unitários e a unidade funcional, além de avaliar sua qualidade. Este procedimento pode ser dividido nas seguintes etapas (NBR ISO 14041:2004):

- validação dos dados: verificações dos balanços de massa e energia, análises comparativas, etc. Procedimentos para detectar, ainda em numa fase inicial, quaisquer anomalias existentes, e determinar o que deve ser feito na ausência do dado desejado;
- adequação dos dados à unidade funcional: transformação dos valores obtidos para cada processo, na base unitária de cada um, a uma mesma base de cálculo referente à unidade funcional (por exemplo, 1 kg de produto, 1 MJ de energia, etc), fazendo tanto as necessárias alocações das cargas ambientais como a conversão de unidades;
- agregação dos dados: Os dados obtidos numa única tabela devem ser agregados.

Na verdade, a medição dos aspectos das etapas de transporte em t.km existe como uma forma de alocar, a cada tonelada transportada, apenas a respectiva parcela dos

aspectos ambientais dentre o total impingido ao meio pelo meio de transporte considerado. Desta forma, o cálculo dos valores das contribuições aos aspectos em t.km é obtido dividindo-se cada um dos aspectos referentes a um quilômetro percorrido pelo meio de transporte em questão pela capacidade de carga em toneladas.

#### Refinamento das fronteiras do sistema

Conforme já dito, o ICV é um processo iterativo, ao longo do qual se vai progressivamente obtendo maior conhecimento sobre o objeto de análise. Desta forma, a norma (ISO, 1998) recomenda que as fronteiras do sistema sejam revistas para identificar necessidades de novos refinamentos e dados adicionais. Devem ser realizadas análises de sensibilidade quando necessário, de modo a avaliar a pertinência de:

- excluir estágios do ciclo de vida ou processos que não sejam significantes;
- excluir aspectos ambientais sem representatividade no resultado final, e
- incluir novos processos ou aspectos que sejam julgados relevantes.

#### **2.7.5 Análise do impacto do ciclo de vida (AICV);**

Esta etapa visa compreender a relevância ambiental de todos os fluxos de entrada e saída. A Avaliação do Impacto (NBR ISO 14042) refere-se à identificação e avaliação em termos de impactos potenciais ao meio ambiente que podem ser associados aos dados levantados no inventário. Como neste, há a necessidade de uma definição de meta e a extensão da mesma, ele torna-se um guia de seleção de método e categoria de impacto. Esta fase da ACV é apontada para compreensão e avaliação da magnitude e significado dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produtos.

Existe, na descrição da norma NBR 14042, uma distinção feita entre os elementos obrigatórios, como classificação e caracterização, e os elementos opcionais, como normalização, posicionamento, agrupamento e pesagem.

Este procedimento é realizado pelo uso das categorias de impacto, que representam problemas ambientais que potencialmente podem ser provocados (ou incrementados) pelos aspectos ambientais em questão.

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14041:2004, a AICV é composta de elementos obrigatórios e opcionais, da seguinte forma:

#### 1- Elementos obrigatórios

**Classificação:** consiste no relacionamento qualitativo entre os aspectos identificados no ICV e as categorias de impacto às quais estes contribuem. É importante ressaltar que muitas vezes algum dos aspectos ambientais do ICV, principalmente algumas emissões de poluentes, podem contribuir para mais de uma categoria de impacto simultaneamente.

**Caracterização:** a caracterização consiste na quantificação da classificação, ou seja, na determinação numérica de qual é a contribuição de cada aspecto a cada categoria de impacto (CONSOLI et al., 1993). Este procedimento é feito por meio da conversão dos resultados do ICV em unidades comuns (através de fatores de equivalência, também conhecidos como fatores de caracterização), e posterior agregação de resultados, dentro de cada categoria de impacto.

Ao final da Caracterização obtém-se um valor total de contribuição daquele ciclo de vida para cada categoria de impacto. Este resultado muitas vezes já é o suficiente para os propósitos da ACV, uma vez que permitem conhecer, dentro das hipóteses admitidas, as contribuições do ciclo de vida do produto para as categorias de impacto.

#### 2- Elementos opcionais:

Normalização: tem por objetivo prover uma melhor avaliação da magnitude dos resultados da caracterização, calculando a representatividade dos valores encontrados em relação a um valor de referência estabelecido para cada categoria de impacto. Alguns exemplos de valores de referência são: total das emissões (ou uso de recursos) de uma determinada área (país, região, etc.) em um ano, o mesmo per capita, ou ainda um cenário de referência, elaborado a partir do uso de uma alternativa ao sistema de produto avaliado (comparação entre alternativas) (ISO, 2000a).

Agrupamento: nada mais é do que uma reordenação da apresentação das categorias de impacto. Basicamente, segundo a norma NBR ISO 14.040:2004, há duas maneiras de realizar este processo:

ordenação das categorias de acordo com seu “tipo”, ou seja, em “efeitos sobre o meio físico”, “efeitos sobre o meio biótico”, “consumo de recursos não-renováveis”, etc.

Hierarquização das categorias segundo o critério não numérico da ordem de importância (ex: alta, média e baixa importância), o que evidentemente subentende um julgamento de valores. Este procedimento já leva a uma interpretação para a tomada de decisões, e deve ser coerente com os objetivos e escopo do estudo. Cada instituição ou grupo social tem valores e preferências distintos e, portanto em cada situação onde for pesquisado pode haver diferentes hierarquizações. É muito importante determinar, também em função do objetivo e escopo, como esta será desenvolvida;

Valoração (ou ponderação): consiste em determinar a ponderação das categorias de impacto, ou seja, escolher um “peso” relativo entre estas.

Dependendo da posterior agregação, essa etapa pode ser útil para converter os valores da normalização de modo a expressar numericamente a preferência ou para agregar as categorias de impacto de modo ponderado, formando um único indicador do desempenho ambiental do sistema de produto.

A norma ISO 14042 propõe uma estrutura para o processo de avaliação que inclui basicamente três etapas:

Seleção e definição das categorias: as categorias devem ser estabelecidas com base no conhecimento científico;

Classificação: os dados são classificados e apurados nas diversas categorias selecionadas;

Caracterização: os dados são modelados por categoria de forma que cada um possa ter seu indicador numérico.

### **2.7.6: A interpretação do estudo.**

A interpretação dos resultados de ACV (ISO 14043) é uma das etapas mais sensíveis, porque as hipóteses estabelecidas durante as fases anteriores, assim como as adaptações que podem ter ocorrido em função de ajustes necessários, podem afetar o resultado final do estudo. A interpretação, segundo a norma ISO 14043, descreve uma série de averiguações necessárias às conclusões do estudo.

O objetivo da etapa de interpretação de uma ACV é combinar, resumir e discutir resultados do estudo, com o intuito de obter fundamentos para conclusões e recomendações que satisfaçam os objetivos inicialmente propostos.

Além disso, tem a função de desenvolver uma apresentação dos resultados na forma de um relatório consistente e transparente.

Para efetuar a interpretação são necessários quatro tipos de informação (NBR ISO 14043:2004):

- resultados das etapas anteriores (ICV e/ou AICV),
- escolhas metodológicas (critérios de alocação, fronteiras, categorias de impacto, etc.),
- juízos de valores admitidos e relação dos envolvidos, seus interesses e obrigações.

De acordo com a norma ISO 14.043 (ISO, 2000b), existem três elementos básicos na interpretação:

- 1) Identificação dos temas de relevância:

Uma vez que os resultados do ICV ou do AICV estiverem de acordo com a meta e escopo do estudo, deve-se proceder à identificação dos pontos mais relevantes do estudo. Segundo a norma ISO 14.043 (ISO, 2000b), estes podem ser: aspectos do inventário ou suas categorias (uso recursos não renováveis, consumo energia, geração resíduos, etc.), categorias de impacto, e operações unitárias, processos como transporte, geração vapor, etc.

Existem diversas técnicas para esta identificação e os procedimentos a serem seguidos variam de caso a caso.

## 2) Avaliações:

Esta parte do estudo tem como função determinar a confiabilidade nos resultados, incluindo os temas e relevância identificados anteriormente. Os resultados devem ser apresentados de forma clara e compreensível ao usuário determinado para o estudo.

De acordo com a ISO (2000b), pode-se descrever cada uma de suas etapas como se segue:

- análise de abrangência: tem como objetivo verificar se todas as informações relevantes e dados necessários estão disponíveis e completos. Pode resultar na adição de comentários extras ao relatório do estudo, ou mesmo a revisão do ICV ou do AICV;

- análise de sensibilidade: tem como objetivo avaliar a confiabilidade final dos resultados e conclusões, determinado quanto estes são afetados pelas incertezas dos dados, métodos de alocação, cálculos dos indicadores, etc. Esta avaliação deve levar em conta as hipóteses e simplificações feitas na etapa de definições, as análises de sensibilidade e incerteza já realizadas nas etapas de ICV e AICV, e a opinião de especialistas na área e experiências anteriores.

- análise de consistência: avalia o quanto as hipóteses, métodos e dados obtidos são consistentes com as definições iniciais. Verifica-se, por exemplo, as diferenças de

qualidade de dados entre as diferentes etapas do ciclo de vida, se houve consideração de variações temporal-espaciais, se a aplicação de alocação e estabelecimento de fronteiras foi adequada, se os elementos da avaliação de impacto estão de acordo com o estabelecido ao início, etc.

### 3) Conclusões, recomendações e relatório:

Esta última etapa da ACV tem como objetivo estabelecer conclusões e recomendações para os usuários do estudo. Além disso, deve, através do relatório, fornecer uma visão transparente e completa do estudo. Estas ações devem ser feitas como segue (ISO, 2000b):

-conclusões: devem ser estabelecidas de modo iterativo com outros elementos da etapa de interpretação, sempre considerando as definições iniciais;

-recomendações: sempre que apropriado à meta e ao escopo estabelecidos, devem ser feitas recomendações aos tomadores de decisão que irão utilizarão os resultados da ACV. Estas devem ser baseadas nos resultados do estudo e justificadas de modo a refletir as conseqüências lógicas e razoáveis destes, e,

-relatório: uma vez que já se tenha considerado o estudo terminado, seus resultados devem ser relatados ao público alvo. O formato deste relatório deve ser definido na etapa de definições do estudo, embora a norma ISO 14.040 (ISO, 1997) relacione alguns itens fundamentais.

A norma ISO 14.040 (ISO, 1997) ainda requer, após o término do estudo, a elaboração de uma avaliação, denominada de Análise Crítica, que deve verificar o atendimento da norma pelo estudo quanto à metodologia, dados e relatório. Tanto o realizador do estudo como o modo de condução do mesmo devem ser definidos a

priori, e a norma (ABNT NBR ISO 14041:2004) traz considerações a respeito dos objetivos, necessidades, processo e responsáveis por este procedimento.

Os procedimentos para alocação que possuem mais de uma saída de interesse para o sistema produtivo, além de originar mais de um produto, podem gerar subprodutos que são incorporados a processos através de reuso ou reciclagem. O procedimento de alocação busca criar um método de distribuição das contribuições aos impactos entre os diferentes resultados do sistema (WENZEL et al., 1997). A cada produto ou subproduto atribui-se então uma parcela dos aspectos que o sistema possui até o momento de sua geração.

Existem diversas técnicas de alocação e cada um segue um critério, sendo os mais conhecidos os de massa (que aloca proporcionalmente às massas dos produtos do sistema); e o econômico (que o faz proporcionalmente ao valor de mercado de cada produto).

- tipos de impacto e metodologia de avaliação de impactos: Para que seja dada seqüência aos estudos após o inventário, é necessário que se estabeleçam critérios de avaliação dos aspectos ambientais. Isto é feito através da definição das categorias de impacto, que é a denominação genérica dos tipos de impacto que serão considerados no estudo, e sua definição deve ser particular para cada estudo, e de acordo com seu propósito específico. Exemplos são: aquecimento global, acidificação do solo, toxicidade humana, consumo de recursos naturais, etc.

Os estudos de ACV, apesar de toda a orientação normativa, continuam a ser descrições imperfeitas do sistema de produção. Existe um potencial de incerteza relativa à qualidade dos dados, e mesmo involuntariamente, certa subjetividade pode estar presente desde o início dos estudos.

Assim, no intuito de reduzir os riscos de manipulações, abusos na condução ou mesmo erros involuntários devido à complexidade dos estudos, a norma NBR ISO

14.040 salienta que uma revisão crítica pode ser realizada por um especialista independente do estudo de ACV.

Ao se tratar de afirmações comparativas ou públicas, estas devem passar obrigatoriamente por uma revisão crítica externa independente, pois o uso de resultados de ACV para apoiar afirmações comparativas levanta preocupações especiais e requer análise crítica, uma vez que esta aplicação provavelmente afeta partes interessadas que são externas ao estudo de ACV.

As Análises Críticas são realizadas para diminuir a possível existência de mal-entendidos ou efeitos negativos em relação às partes externas interessadas, sendo conduzidas às análises críticas em estudos de ACV quando os resultados são usados para apoiar afirmações comparativas. O fato de uma análise crítica ter sido conduzida não implica de modo algum em um endosso a qualquer afirmação comparativa que seja baseada num estudo de ACV. Esta análise pode ser feita tanto por um especialista externo quanto por uma comissão, a qual pode incluir representantes das partes interessadas. A declaração sobre a análise crítica e o relatório da comissão de análise crítica, assim como comentários do especialista e quaisquer respostas às recomendações feitas pelo analista ou pela comissão, deve ser incluída no relatório de estudo de ACV.

### **2.7.7 Limitações na Elaboração do Estudo de ACV**

Um estudo que utiliza a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida quase sempre consome muito tempo, recursos financeiros e humanos e, dependendo da profundidade do estudo que se pretende conduzir, pode existir grande dificuldade na coleta de dados por várias outras razões. Essa questão, principalmente quando se trata de dados importantes pode afetar de alguma forma o resultado final do estudo e, por conseqüência, na sua confiabilidade.

Sendo assim, é necessária uma avaliação criteriosa da relação custo-benefício para se atingir à qualidade desejada no estudo, levando-se em consideração qual tipo de dado deverá ser pesquisado, o custo e o tempo empregado para sua coleta e os recursos disponíveis para a condução do estudo. A ACV é uma ferramenta técnica ainda em evolução e portanto, análises comparativas de processos ou produtos devem ser evitadas.

Para os casos de comparações levadas ao conhecimento público, dadas as limitações da ACV, deve ser obedecido o estabelecido na norma NBR ISO 14040. Deve-se ainda observar que, em virtude da complexidade da ferramenta, podem existir ainda incertezas na qualidade dos dados e nos seus resultados, além de haver certo grau de subjetividade.

Cabe ressaltar que a ACV, não é uma ferramenta capaz de medir qual produto ou processo é o mais eficiente tanto em relação ao custo quanto em relação a outros fatores, já que não mede, por exemplo, impactos reais ambientais, e sim impactos potenciais. Mas as informações resultantes de seu estudo podem e devem ser utilizadas como uma ferramenta que auxilie num amplo processo decisório que leve em consideração outros fatores, dentre eles os aspectos econômicos e ambientais.

## **2.8 Revisão Bibliográfica de Estudos de ACV já realizados para o Biodiesel**

Uma vez realizada a pesquisa bibliográfica sobre a metodologia a ser empregada (ACV) e o objeto de estudo (biodiesel de óleo de palma), procedeu-se ao levantamento dos estudos sobre as experiências de aplicação da metodologia ao objeto de estudo.

Durante este levantamento, sobre a aplicação da ACV na produção de biocombustíveis no Brasil, verificou-se que existe uma pequena base de estudos realizados. Este fato levou à realização desta revisão bibliográfica, dedicada ao propósito de identificar e estudar as experiências de iniciativas internacionais semelhantes. Aqui serão resumidos os detalhes dos principais estudos encontrados e seus pontos principais.

### **2.8.1 “Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus” (SHEEHAN, et.al. 1998)**

Este estudo foi desenvolvido pelo Laboratório Nacional do Departamento de Energia americano e teve como finalidade elaborar o Inventário do Ciclo de Vida para o Biodiesel de Soja nos EUA e realizar as comparações com o diesel. O sistema proposto incluiu as principais etapas dentro do limite do sistema de produção do diesel:

- Extração do petróleo
- Transporte para refinaria de óleo
- Refinação do óleo cru para diesel combustível
- Transporte do diesel combustível para seu ponto de uso
- Uso do combustível em um ônibus de diesel.

Para o sistema biodiesel:

- Produção da soja
- Transporte da soja até a usina de beneficiamento (moenda dos grãos)
- produção do óleo de soja
- Transporte do óleo de soja para um processo industrial de fabricação de biodiesel
- Conversão do óleo de soja para biodiesel
- Transporte do biodiesel combustível até o ponto de uso
- Uso do combustível em um ônibus de diesel.

As etapas listadas acima foram detalhadas e seus processos descritos detalhadamente no relatório intitulado "Inventários de Ciclo de Vida de Biodiesel e Diesel de Petróleo para Uso em um Ônibus Urbano".

Além dos consumos energéticos e fluxos ambientais em cada processo, foram incluídas as contribuições ambientais da produção das matérias-primas. Geralmente são caracterizados fluxos do ciclo de vida para todas as matérias-primas do ponto de extração ao uso final. Igualmente, se incluíram no ciclo de vida os fluxos de fontes de energia intermediárias como eletricidade para a extração de carvão, lubrificação, gás natural, calcário, e outros recursos primários.

A ACV se limitou ao uso de diesel de petróleo e biodiesel nos Estados Unidos; contudo, incluiu alguns passos que vão além das fronteiras geográficas do país. O ciclo de vida incluiu a produção de óleo cru importado (metade do óleo diesel usado nos Estados Unidos é importado).

As entradas de energia do ciclo de vida foram divididas em:

- Energia Primária: foram consideradas todas as matérias-primas extraídas do ambiente que contem energia, calculando a energia primária total introduzida em cada fase do ciclo do combustível (energia cumulativa é igual ao conteúdo de todos os recursos extraídos do ambiente).

-Energia de Matéria-prima: considerada a energia contida em matérias-primas que terminam diretamente em produto final como o combustível e é denominada "feedstock de energia". Para produção de biodiesel, a energia de matéria-prima inclui a energia contida no óleo de soja e de matéria-prima do metanol que são convertidos em biodiesel. Igualmente, o petróleo diretamente convertido a diesel em uma refinaria contém energia primária que é considerada um "feedstock" de energia para o diesel de petróleo. Energia de matéria-prima é um subconjunto das contribuições de energia primárias.

- Energia de Processo: é o segundo subconjunto principal da energia primária. É a energia contida nas matérias-primas do ambiente que não fazem contribuição à energia do próprio produto, mas são necessárias no processo de energia de matéria-prima em sua forma de produto final. A Energia de processo consiste principalmente em carvão, gás natural, urânio, e fontes de geração hidroelétricas consumidas diretamente ou indiretamente pelo ciclo de vida do combustível.

- Energia Fóssil: energia primária que especificamente vem de fontes fósseis (carvão, óleo, e gás natural). Todos os três podem ser categorizados em fluxos de energia previamente definidos como fóssil ou energia não fóssil.

- Energia do Produto: é a energia contida no produto final e que está disponível para trabalhar em uma máquina.

Os principais resultados analíticos apresentados mostram que o balanço de energia do Biodiesel e diesel de petróleo têm eficiências de energia muito parecidas. No caso estudado, as estimativas do modelo de eficiências de energia do ciclo de vida são 80.55% para biodiesel contra 83.28% para diesel de petróleo. A menor eficiência para biodiesel reflete, ligeiramente, exigências de energia de processo mais altas por converter a energia contida em óleo de soja para combustível. Em termos de uso efetivo de recursos de energia fósseis, o balanço energético para o biodiesel é 3.2, ou seja, ele produz 3.2 unidades de energia de produto de combustível para toda unidade de energia fóssil consumida pelo ciclo de vida. Por contraste, o ciclo de vida do diesel obteve valor de 0.83 (unidades de energia de produto por unidade de energia fóssil consumida). Tais medidas confirmam a natureza renovável do biodiesel. O ciclo de vida para B20, tem uma proporcionalidade em diminuir a relação de energia fóssil (0.98 unidades de energia de produto para toda energia fóssil consumida). A relação de energia Fóssil de B20 reflete o impacto de se somar o diesel de petróleo na mistura.

## **2.8.2 “Production and Utilization biofuel’s derived of vegetable oils” (ITC, 2000).**

Neste estudo realizado pelo Comitê Técnico Italiano, selecionou-se o biodiesel de colza e girassol e analisou-se a cadeia produtiva destes dois sistemas, utilizando informações elementares sobre cultivo dessas oleaginosas e fazendo-se a relação input/output para comparação entre vários países da Europa. Na fase final do estudo foram analisadas as informações referentes às contribuições ambientais, como as emissões do ciclo de vida do biodiesel para os dois estudos de caso, obtendo-se o balanço geral de emissões do ciclo de vida para a colza e o girassol.

Neste estudo, a cadeia de produção do biodiesel considerou a etapa de produção agrícola, a etapa de extração de óleo vegetal e transformação em biodiesel e os aspectos de uso final, além de contabilizar o transporte em todas as etapas. Este foi dividido em três categorias, a saber:

- transporte 1: da colheita de frutos ao local de estocagem
- transporte 2: transporte do fruto a usina de extração de óleo e
- transporte 3: o transporte do biodiesel pronto ao consumidor final

Os valores encontrados foram comparados com o ciclo de vida da gasolina, de modo a formar um quadro geral relativo às contribuições ambientais e aspectos energéticos. O input do sistema considerado foram os insumos energéticos utilizados, maquinaria, fabricação e, output, as emissões para a atmosfera. As tabelas 2.10 e 2.11 a seguir apresentam os dados de consumo de energia na produção do biodiesel de girassol e de colza respectivamente.

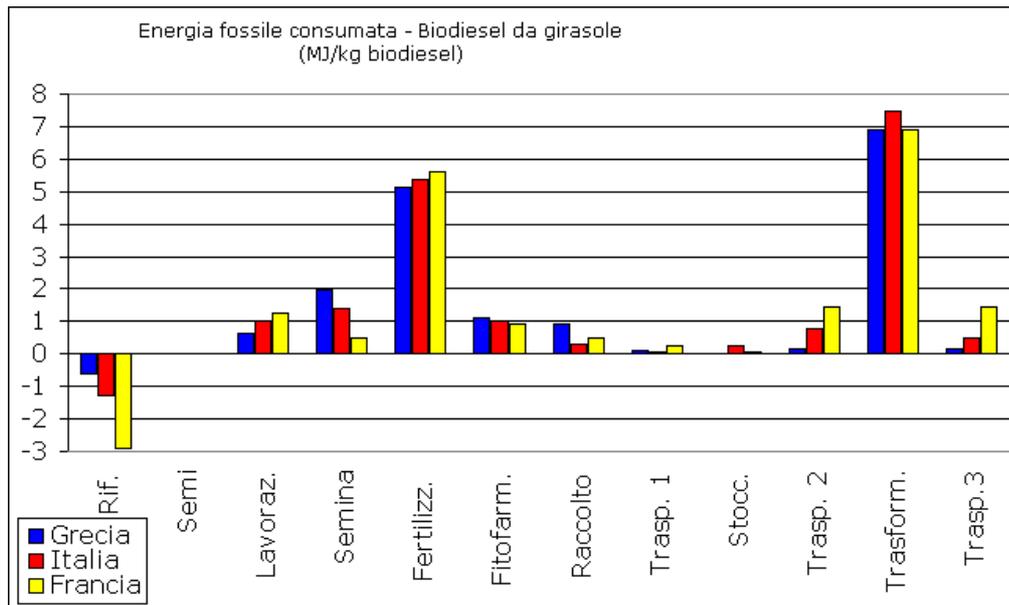
**Tabela 2.10: Consumo de energia fóssil - Biodiesel de girassol (MJ/kg biodiesel) (Comitê Termotecnico Italiano – Biofit, 2000)**

| Biodiesel de Girassol            | Grécia | Itália | França |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| Sistema de referência            | -0,61  | -1,27  | -2,88  |
| Produção da semente              | 0,03   | 0,02   | 0,01   |
| Preparação do solo               | 0,61   | 1,01   | 1,27   |
| Cultivo                          | 1,99   | 1,40   | 0,49   |
| Fertilização                     | 5,11   | 5,38   | 5,60   |
| Agro-químicos                    | 1,12   | 1,02   | 0,90   |
| Extração do óleo                 | 0,92   | 0,29   | 0,49   |
| Transporte 1                     | 0,11   | 0,05   | 0,24   |
| Estocagem                        | 0,03   | 0,24   | 0,07   |
| Transporte 2                     | 0,17   | 0,80   | 1,43   |
| Produção industrial do biodiesel | 6,89   | 7,46   | 6,89   |
| Transporte 3                     | 0,15   | 0,47   | 1,43   |
| Total                            | 16,51  | 16,87  | 15,92  |

**Tabela 2.11: Consumo de energia fóssil - Biodiesel de colza  
(MJ/kg biodiesel) (Comitê Termotecnico Italiano – Biofit, 2000)**

| Biodiesel de Colza               | Germânia | Áustria | Svizzera | França | Dinamarca |
|----------------------------------|----------|---------|----------|--------|-----------|
| Sistema de referência            | -0,76    | -1,16   | -3,33    | -2,31  | -2,48     |
| Produção de semente              | 0,02     | 0,02    | 0,02     | 0,02   | 0,01      |
| Preparação do solo               | 0,62     | 0,21    | 1,33     | 0,36   | 0,78      |
| Cultivo                          | 0,18     | 0,32    | 0,47     | 0,39   | 0,25      |
| Fertilização                     | 10,57    | 8,44    | 10,28    | 14,17  | 11,59     |
| Agroquímicos                     | 0,25     | 0,59    | 1,07     | 0,86   | 0,46      |
| Extração do óleo                 | 0,35     | 0,46    | 0,70     | 0,72   | 0,50      |
| Transporte 1                     | 0,03     | 0,02    | 0,12     | 0,19   | 0,01      |
| Estocagem                        | 0,12     | 0,06    | 2,47     | 0,10   | 0,06      |
| Transporte 2                     | 0,32     | 0,27    | 0,16     | 1,50   | 0,16      |
| Produção industrial do biodiesel | 4,78     | 2,76    | 3,62     | 3,01   | 4,67      |
| Transporte 3                     | 0,13     | 0,18    | 0,06     | 0,34   | 0,06      |
| Total                            | 16,60    | 12,17   | 16,96    | 19,36  | 16,06     |

Nos gráficos das figuras 2.59, 2.60, 2.61, 2.62 3 2.63 estão consolidadas as informações referentes aos resultados finais encontrados para o ciclo de vida dessas duas oleaginosas.



**Figura 2.59: Energia fóssil consumida na produção do Biodiesel de Girassol (Comitê Termotecnico Italiano - Biofit 2000).**

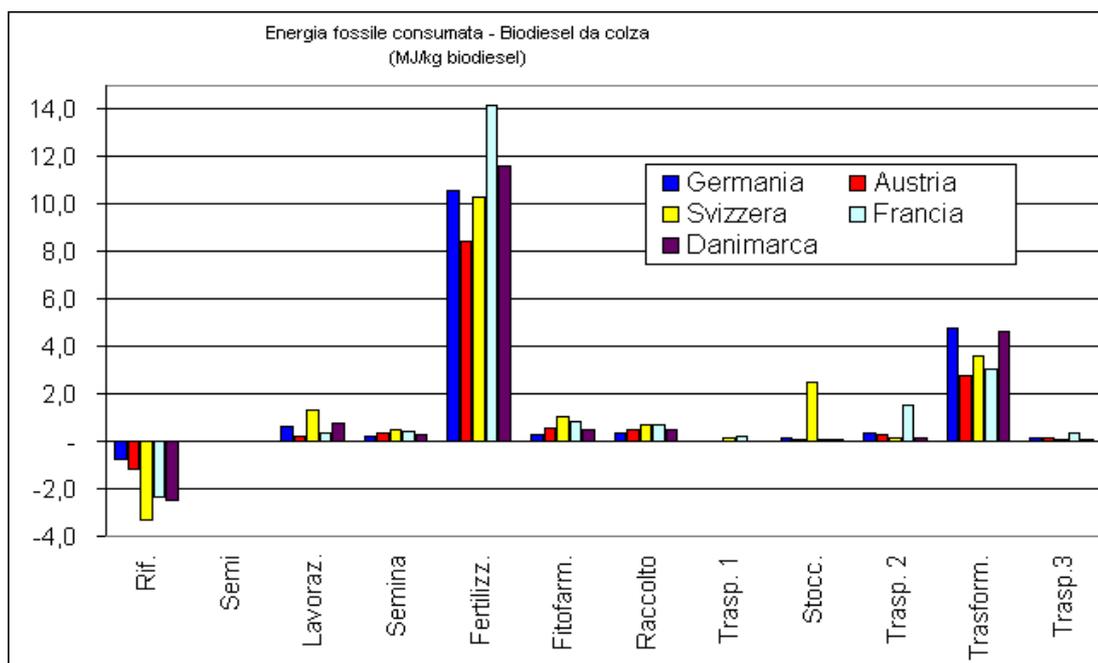


Figura 2.60: Energia fóssil consumida na produção do Biodiesel de colza (Comitê Termotecnico Italiano - Biofit 2000)

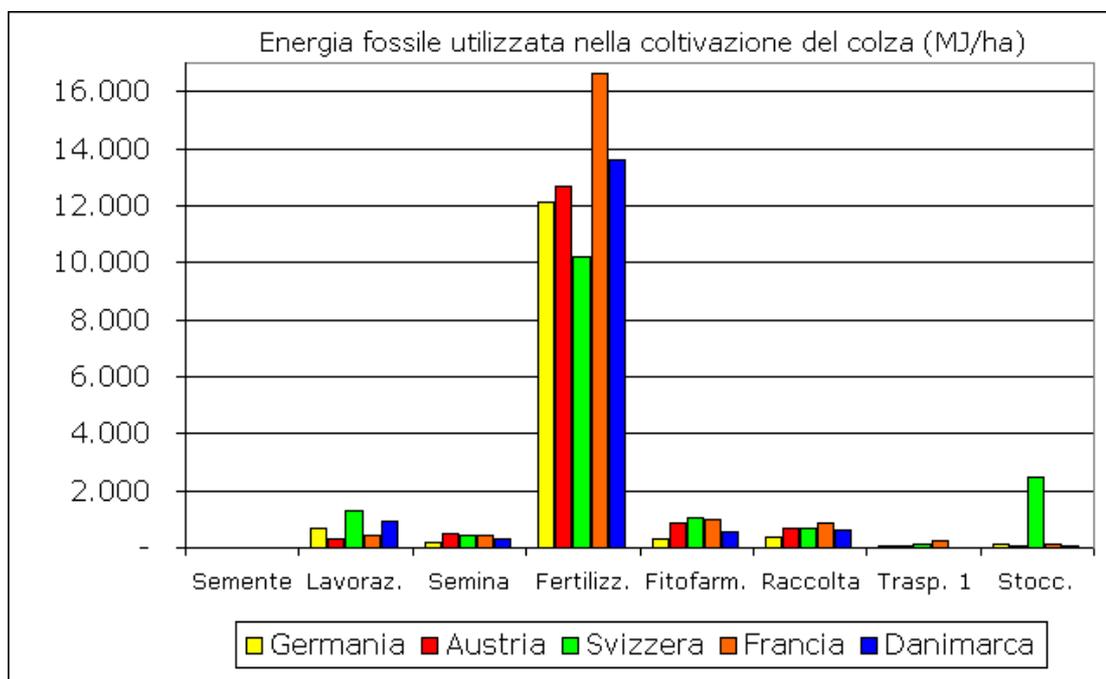
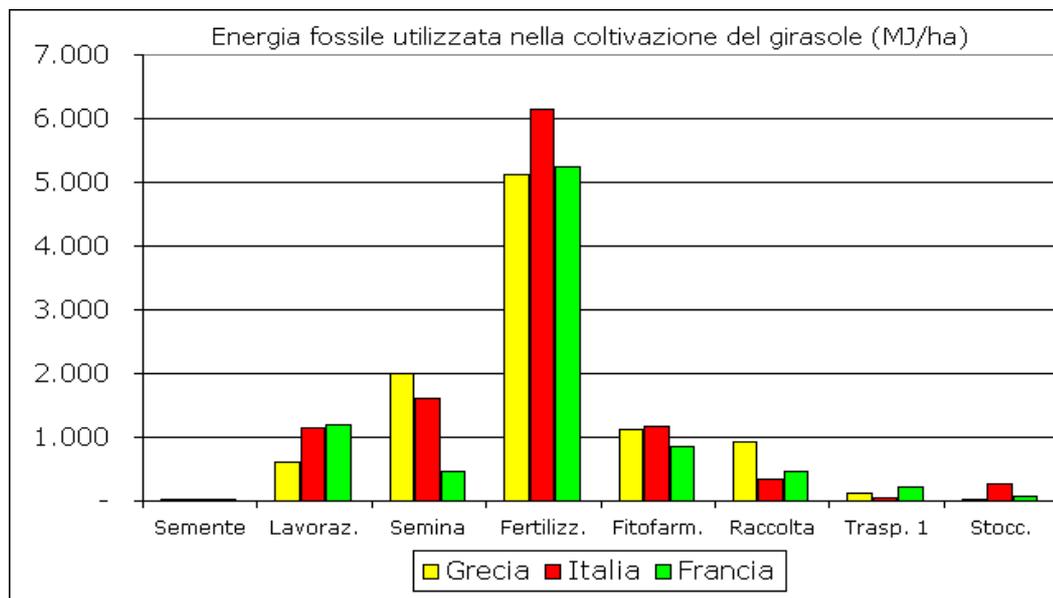
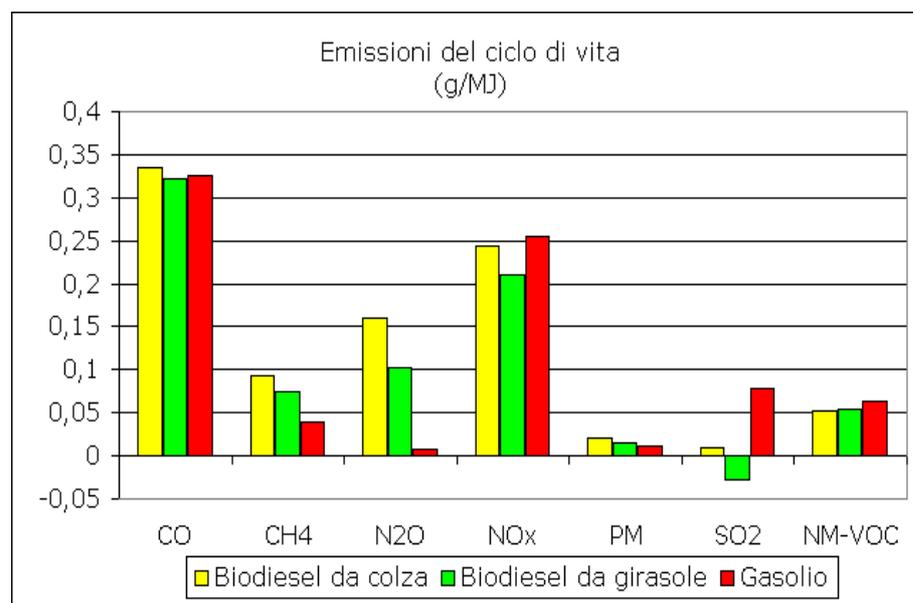


Figura 2.61: Energia fóssil consumida no cultivo da colza (Comitê Termotecnico Italiano - Biofit 2000)

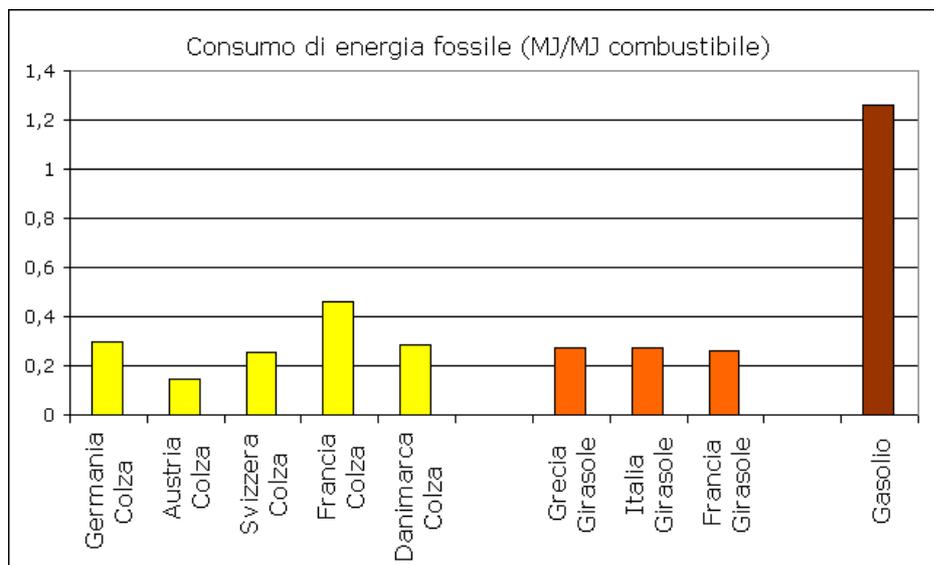


**Figura 2.62: Energia fóssil consumida no cultivo do girassol (Comitê Termotecnico Italiano - Biofit 2000)**

E por fim nas figuras 2.63 e Figura 2.64 são apresentadas as emissões do ciclo de vida e a comparação dos consumos do biodiesel de colza e girassol com a gasolina.



**Figura 2.63: Emissões do ciclo de vida das oleaginosas colza e girassol comparado com a gasolina. (Comitê Termotecnico Italiano - Biofit 2000)**



**Figura 2.64: Comparação dos consumos de energia fóssil na produção do biodiesel de colza, girassol e gasolina. (Comitê Termotecnico Italiano - Biofit 2000)**

Através da análise dos gráficos nota-se que, para o cultivo das oleaginosas, a maior contribuição diz respeito aos fertilizantes e os consumos de energia fóssil se encontram para o cultivo da colza, mas ainda sim são menores que os consumos para a gasolina.

### **2.8.3 “Integrated Economic and Environmental Life Cycle Optimization: an Application to Biofuel Production in France” (FREIRE, F. et al. 2002).**

Um modelo econômico de equilíbrio desenvolvido por (FREIRE F. et al 2002) baseado em princípios de programação matemática (OSCAR3) e auxiliado pela ACV foi montado para auxiliar na análise micro e macro econômica de sistemas multicadeia da indústria de biocombustível,. Essa abordagem combina as vantagens da ACV com as vantagens de usar uma programação matemática chamada Análise de Atividade Econômica. A metodologia permite o uso de “análises de cenários” e análise multidisciplinar pela produção de matrizes. O método do ponto de referência

foi aplicado e possibilitou a exploração da área factível, melhorando o diálogo entre “stakeholders” durante o processo de tomada de decisão e modelando as cadeias existentes de biocombustível na França – beterraba e trigo em ETBE e colza em RME. O modelo micro-econômico representa a estrutura da cadeia de agroenergia simulando o comportamento de fazendeiros e o da indústria. Ele integra o setor de agricultura e um modelo da indústria de biocombustível baseado em princípios de programação matemática para aperfeiçoar o excedente econômico. Quando a capacidade industrial é uma variável contínua, OSCAR é um modelo de programação linear (LP). De outra maneira, ele se torna um MILP (programa misto de integração linear) que consiste de:

- modelo do setor de agricultura: um grande número de sub-modelos (cada um correspondendo a uma fazenda particular) são articulados em forma de escada, possibilitando a modelagem do setor da agricultura. Fazendeiros maximizam sua margem sujeitos as restrições de recursos (disponibilidade de terra arável), institucionais (terra reservada, cota de beterraba) e agronômicas (rotação de colheitas).
- modelo do setor industrial: cada cadeia de biocombustível pode fazer uso das quantidades disponíveis para produzir biocombustíveis considerando-se as condições técnicas e econômicas da produção (incluindo preços de colheitas, custos de transformação, preços de mercado e créditos garantidos pelo governo); indicadores de capacidade são levadas em conta e as características mais recentes das usinas são usadas. Sob essas condições a cadeia visa maximizar seu próprio lucro. Neste estudo foram vislumbrados três diferentes cenários, nos quais foram simuladas várias situações. Assim a metodologia permitiu definir qual o melhor cenário a ser usado e qual melhor estratégia para tomada de decisão. A conclusão deste estudo é que este modelo pode ser usado para projetar e elaborar pacotes alternativos de estratégia ambiental ou política ambiental, incluindo programas de ação para promoção de sistemas de bioenergia, com o fim de identificar práticas mais sustentáveis.

## **2.9 Adaptações da metodologia ACV aos estudos de caso**

Este estudo consiste em um levantamento de um ICV, e pretende seguir a metodologia normalizada já exposta (ABNT, 2001), mas em alguns momentos certas etapas da metodologia foram agrupadas ou ligeiramente modificadas. Cabe salientar aqui que estas mudanças se restringem meramente a nomenclaturas e procedimentos de registro e apresentação das informações, para facilitar a execução e a compreensão do trabalho, não trazendo nenhum prejuízo ao seu desenvolvimento ou aos resultados apresentados.

Em relação a estas modificações, a etapa de Definições da metodologia não será alterada, já a etapa de Inventário de Ciclo de Vida terá a divisão de alguns procedimentos ligeiramente alterada.

A primeira modificação se refere à etapa de preparação da coleta de dados que não será descrita aqui como sugerido pelas normas (ISO NBR 14040, 14041 e 14042).

A etapa de coleta de dados é dividida em duas partes distintas. Na primeira parte foram levantados dados referentes às entradas e saídas de matéria e energia da produção de biodiesel (fluxos elementares provenientes ou destinados diretamente ao meio natural ou relativo a insumos utilizados). Neste processo, quantificam-se as quantidades de insumos agrícolas, aço, cimento, diesel, etc., utilizado na produção do biodiesel.

Em uma segunda etapa da coleta de dados, buscou-se estimar os aspectos ambientais referentes à obtenção desses insumos anteriormente quantificados.

As duas etapas citadas da coleta de dados têm seus cálculos e estimativas apresentadas respectivamente nos Anexos C e D, intitulados com a denominação de cada etapa, sendo que no Capítulo 4 apresenta-se apenas os resultados consolidados.

Cabe salientar que, considerando que não existem bases de dados brasileiras para alguns insumos em questão, não foi intuito deste estudo desenvolver bases de dados de cimento, aço, derivados de petróleo, fertilizantes, etc. A consolidação do ICV deste estudo se deu na etapa de procedimento de cálculo proposta na metodologia e adaptações da mesma para a produção do biodiesel de palma.

A etapa de refino das fronteiras, pela razão de limitação de recursos e disponibilidade de tempo para tal, foi efetuada de forma simplificada, pois seria necessário um grande esforço de nova coleta de dados primários, específicos para o estudo de caso. Como nas atuais condições há a impossibilidade de executar nova coleta, julgou-se mais adequado apenas relatar as possibilidades de refino de fronteira no Capítulo 3.

E por fim, cabe salientar que não houve a execução de Avaliação de Impactos, por se tratar de um trabalho apenas de Inventário de Ciclo de Vida.

## Capítulo 3

### **3. METODOLOGIA - INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA DO BIODIESEL DE PALMA (Dendê)**

Neste Capítulo é realizado o levantamento do ICV do biodiesel obtido a partir do óleo de Palma segundo as etapas propostas pela norma NBR ISO 14041 e modificadas de acordo com as considerações do Capítulo 2, item 2.9.

#### **3.1 Definições do Objetivo e Escopo do Estudo**

##### **3.1.1 Objetivo**

O objetivo do presente estudo é disponibilizar um Inventário de Ciclo de Vida (ICV) para o Biodiesel obtido a partir do Óleo de Palma nas condições do Brasil e da Colômbia. Sua principal aplicação encontra-se nos estudos de ACV de produtos que

consumam o biodiesel, sendo assim um banco de dados dedicado ao ACV para o Biodiesel de Oleaginosas no Brasil.

As justificativas para a realização deste estudo se encontram na disponibilização de bases de dados nacional para se desenvolver ACVs sobre este tema no Brasil, como já justificado no Capítulo 1, no item 1.2. Com este banco de dados se pode reduzir tempo e custo das análises, ao mesmo tempo que se aumenta a representatividade dos resultados de ACVs dos produtos.

Com relação ao público-alvo, a que se destina este inventário, o mesmo se refere aos usuários da metodologia ACV que tenham nos seus estudos de ciclos de vida o consumo do biodiesel obtido de óleos vegetais, ou o desenvolvimento de outros usos, como, por exemplo, o estudo dos aspectos ambientais da construção de usinas de biodiesel e sua comparação com outras fontes combustíveis.

### **3.1.2 Escopo**

#### **Sistema de Produto**

O sistema de produto para este estudo consiste no conjunto de operações para a produção do biodiesel obtido a partir do óleo de palma, para as condições do Sul da Bahia, Região Amazônica e Colômbia.

Neste estudo, a aplicação da Análise do Ciclo de Vida foi adotada para a consideração das etapas de produção agrícola, extração do óleo vegetal e processo de transesterificação do óleo vegetal. Os processos de distribuição do produto final, uso e destinação final após o uso não foram considerados neste estudo.

Os dados coletados caracterizam os fluxos de matéria e energia em toda cadeia de produção do biodiesel, considerando três etapas básicas: a produção agrícola, a

extração do óleo vegetal e a usina de biodiesel. Para as etapas de produção agrícola e extração do óleo foram consideradas as infra-estruturas dos sistemas.

### **Função do sistema de produto**

Uma vez definidos os objetivos e o sistema de produtos, pode-se indicar que a função do sistema estudado é a produção de biodiesel de óleo de palma pelo processo de transesterificação através da rota metílica.

### **Unidade funcional (UF)**

A unidade funcional deste estudo se refere a 1 MJ/Kg de biodiesel de palma (EMP), produzido ao final do processo de transesterificação. Esta unidade foi escolhida por ser uma medida relacionada à função a ser avaliada (produção do biodiesel).

### **Horizonte de Análise do Inventário**

O horizonte de estudo para a produção do biodiesel de óleo de palma foi definido em 20 anos.

### **Qualidade dos dados**

Os dados para este Inventário foram coletados a partir de questionários respondidos pelos responsáveis das plantações agrícolas e usinas de processamento do óleo vegetal, sendo considerados dados representativos do sistema e específicos de cada atividade. Tais dados coletados foram obtidos através de entrevistas em duas áreas produtoras de fruto da palma na Região Sul da Bahia e uma empresa na Região Amazônica, além de três empresas de extração de óleo vegetal no Sul da Bahia e uma produtora de óleo vegetal na Região Amazônica. Na Colômbia foram realizadas

entrevistadas em três empresas de produção agrícola e extração de óleo em diferentes regiões do país (Zona Norte, Zona Central e Zona Oriental).

Alguns dados que não puderam ser mensurados foram estimados e alguns dos coeficientes utilizados foram obtidos de base de dados em literatura internacional e da base de dados do software SIMAPRO 7. Os dados referentes ao processo de produção de biodiesel por via metílica foram obtidos de BORKEN, et.al (2006), uma vez que não existem usinas de produção de biodiesel de palma no Sul da Bahia e na Colômbia. Na usina de Biodiesel da Região Amazônica, o processo utilizado é o da esterificação. Assim, para fins de comparação com as outras regiões, para esta região também foi simulado a produção pelo processo por transesterificação.

### **Fronteiras do sistema inicial**

As fronteiras deste sistema se constituem dos processos envolvidos na produção do biodiesel: a produção agrícola, produção do óleo vegetal e processo de transesterificação e a utilização de insumos básicos (insumos agrícolas, água, cimento, aço, gasolina, diesel e óleos lubrificante), além dos transportes relacionados. A delimitação dos processos considerados neste sistema é detalhada no item relativo às fronteiras iniciais do sistema.

- Fronteiras em relação ao sistema natural:

Deve-se verificar como o sistema de produto se situa dentro do meio natural. Para o estudo de caso, será considerado que a produção do biodiesel interage com o meio natural consumindo os seguintes recursos:

Água, captada de poços artesianos ou da rede de abastecimento, para irrigação no plantio e para uso industrial;

O uso da energia solar não foi incorporado ao estudo.

- Fronteiras de bens de capital:

Para os consumos materiais e energéticos para a construção das usinas de beneficiamento do óleo e usina de produção do biodiesel, foram considerados três aspectos da sua construção: consumo de aço, eletricidade e concreto. Estes entram na contabilidade das cargas ambientais da construção das usinas de beneficiamento de óleo. No processo de transesterificação não foram quantificadas os consumos energéticos das construções.

- Fronteiras em relação a outros sistemas:

Os processos elementares para a produção do biodiesel são: a produção agrícola (obtenção do fruto da palmeira), a extração do óleo vegetal e a produção de biodiesel pelo processo de transesterificação. A distribuição deste produto e o consumo final não foram considerados como objetivos do estudo.

- fronteira geográfica:

Como este estudo busca definir um ICV para as condições do Sul da Bahia, Região Amazônica e a Colômbia, a localização geográfica do sistema de produto consiste principalmente no local das plantações agrícolas, sendo também incluídos os locais das usinas de beneficiamento de óleo. Como mencionado anteriormente, até o presente momento não existem usinas de produção de biodiesel no Sul da Bahia e na Colômbia. Foram, portanto, desconsideradas as distancias entre a usina de processamento do óleo e usina de produção de biodiesel. Desta forma, a validade deste estudo restringe-se a este escopo geográfico: o das usinas de extração de óleo da região Sul da Bahia, região Amazônica e da Colômbia.

-fronteira temporal:

à definição do período de análise e da vida útil das plantações agrícolas, das estruturas e componentes, são as questões mais importantes sobre a fronteira temporal, pois os impactos na etapa agrícola, aparentemente os mais significativos, deverão ser alocados através da produção de frutos ao longo da vida útil da plantação.

Considerando o exposto acima, a estimativa de horizonte de análise selecionado para a realização deste estudo de ACV é de 20 anos, pois uma palmeira adulta tem um ciclo de vida médio, ainda com alta produtividade de frutos, com idade de 20 anos. Sobre a vida útil dos equipamentos permanentes, de modo a realizar as estimativas, utilizou-se para os equipamentos os valores de vida útil dados por 20 anos, considerando tanto o número de reposições como os consumos com taxas de manutenção no período. As hipóteses assumidas sobre estes consumos e a aplicação destes valores aos equipamentos encontram-se nas tabelas do Apêndice B, onde se estimam os consumos de materiais utilizados na fabricação do maquinário agrícola, dos equipamentos para as usinas de beneficiamento do óleo e produção do biodiesel, para os 20 anos de horizonte de análise considerado.

### **Procedimento de alocação**

Não foram considerados procedimentos de alocação neste estudo, tendo em vista que somente a função de produção do biodiesel foi considerada.

### **Metodologia de avaliação de impacto**

Como este estudo consiste apenas em um inventário de ciclo de vida, não será realizada a etapa de Avaliação de Impactos da metodologia da ACV.

### **Requisitos da qualidade dos dados**

É necessária uma maior precisão na coleta dos dados a serem levantados, que devem ser sempre os mais precisos possíveis dentro das possibilidades. Para obter a quantificação dos fluxos de materiais e energia na produção do biodiesel de dendê, foram feitos contatos com plantações agrícolas, usinas de extração de óleo no Sul da Bahia, região Amazônica (com usina de biodiesel no Pará), e na Colômbia, que forneceram dados sobre os consumos energéticos no processo e dados de emissões e

efluentes no processo. Além disso, foram utilizadas informações da literatura publicada em periódicos, livros e artigos sobre a produção de biodiesel pelo processo de transesterificação e os processos de extração de óleo e cultivo da palma. Em outros casos, foram consultados especialistas das áreas afins que forneceram informações.

Para os casos onde não foram obtidos dados diretamente, utilizaram-se informações de situações semelhantes, observando os devidos cuidados para este tipo de colocação. As fontes de dados utilizadas, e as estimativas realizadas encontram-se detalhadas no Apêndices B, C e D.

### **Tipo e formato do relatório final**

Há que se considerar a característica deste estudo enquanto dissertação de mestrado. Desta forma, pretende-se que o documento de dissertação que resulta deste estudo tenha a função de relatório final.

## **3.2 Inventário de ciclo de vida**

### **3.2.1 Preparação para a coleta de dados**

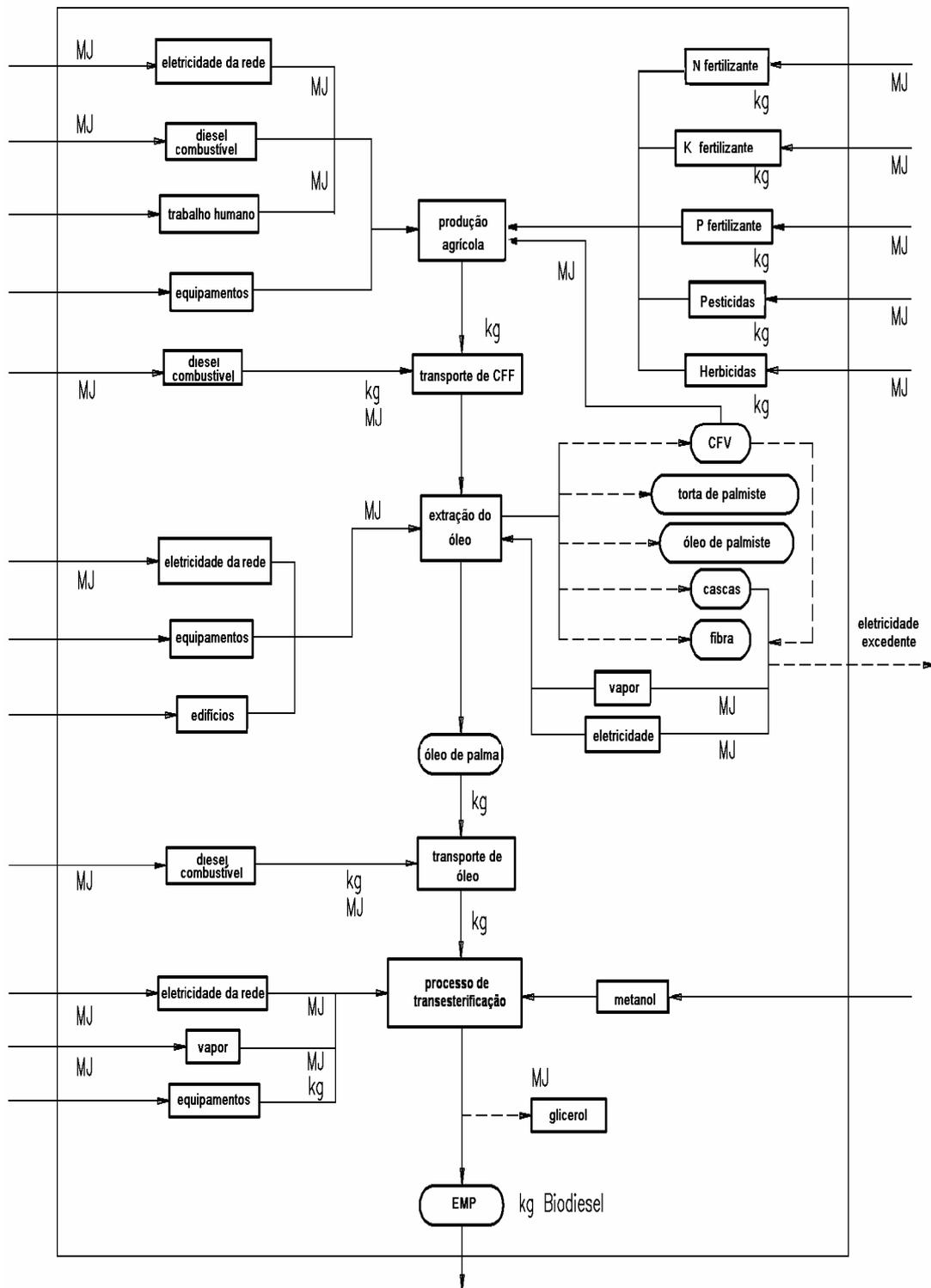
#### **Estudo do modelo escolhido**

Foi possível obter o levantamento do inventário a partir de extensa pesquisa bibliográfica em publicações sobre o tema, revistas especializadas publicadas e aplicação de questionário próprio elaborado para este fim. Com a aplicação deste questionário foi possível a realização de visita técnica nas localidades, nas quais além de conhecer as instalações teve-se então a oportunidade de entrevistar diversos técnicos e solicitar dados primários. Os contatos realizados com estas pessoas

apontaram diversos dados essenciais ao trabalho, sendo todos estes referenciados neste documento como “comunicação pessoal”.

### **Fluxograma de processo e identificação dos aspectos ambientais**

Em análise as características do processo, avaliou-se as fronteiras do sistema inicialmente propostas, de modo a adequá-las à realidade do sistema de produto em estudo. Com a construção do fluxograma de processos identificam-se os fluxos de matéria e energia mais relevantes, que serão quantificados posteriormente. O fluxograma de processo, com as fronteiras do sistema é apresentado na Figura 3.1 a seguir:



**Figura 3.1: Diagrama do Inventário do Ciclo de Vida da Produção do Biodiesel de Óleo de Palma**

### **3.2.2 Coleta de dados**

A coleta de dados deste estudo foi dividida em duas partes. A primeira parte refere-se aos processos integrantes do ciclo de vida da produção do Biodiesel de óleo de Palma, conforme apresentado na Figura 3.1, com as entradas e saídas de energia do sistema e a segunda parte onde são estimadas as emissões atmosféricas. A seguir são apresentadas, de modo bastante resumido, as principais fontes de dados para cada caso estudado.

#### **Estimativa dos processos integrantes do ciclo de vida do Biodiesel de Óleo de Palma**

Um grande volume de informação foi coletado, onde se deu preferência a valores passados diretamente pelos responsáveis das plantações agrícolas e por técnicos das próprias empresas consultadas. Estes dados foram referentes principalmente aos consumos de materiais utilizados para o cultivo da oleaginosa, como dados técnicos de processos e uso de matérias para a extração do óleo vegetal e produção do biodiesel propriamente, além das etapas de transporte de materiais e aspectos ambientais em toda a cadeia de produção do biocombustível. Em seguida, de modo complementar, foram levantados dados na literatura disponível sobre estes aspectos mencionados acima, além de consultas pessoais com especialistas na área.

Em algumas situações, no entanto, não foram encontrados os dados necessários e nestes casos fez-se uma escolha entre duas possibilidades, variando caso a caso qual a alternativa adotada:

- não inclusão do dado, apontando a necessidade futura de avaliação de sua possível relevância;

- aproximação do dado, utilizado informação de processos similares. Para esta alternativa, se procedeu ao levantamento de informações de outras fontes, utilizando-se tanto de informações de literatura como contatos pessoais diversos que poderiam contribuir com o tema.

### **3.2.3 Apresentação dos dados referentes à produção agrícola, extração do óleo vegetal e produção do biodiesel para o óleo de palma.**

Aqui serão apresentados os consolidados de dados com as informações coletadas nos três contextos propostos (região Sul da Bahia, Região Amazônica e Colômbia), mostrando apenas o consolidado de dados final obtido para cada região. Os dados utilizados nos cálculos dos consumos energéticos para o óleo de palma foram obtidos pelo levantamento de dados em duas áreas de cultivo e em três fábricas de óleo vegetal, na região Sul da Bahia e uma plantação agrícola, fábrica de extração de óleo no Pará e produção do biodiesel, na Região Amazônica. Na Colômbia os dados foram obtidos em três fábricas de óleo com suas respectivas plantações agrícolas em três distintas regiões deste país.

De forma geral no estudo foram considerados os dados para a produção do biodiesel de palma, dividindo este sistema nas unidades descritas a seguir:

Unidade 1: Produção Agrícola e Transporte nas Operações

Unidade 2: Transporte do Fruto (CFF) a usina de Extração de Óleo

Unidade 3: Processo de Extração do Óleo Vegetal

Unidade 4: Processo de Transesterificação.

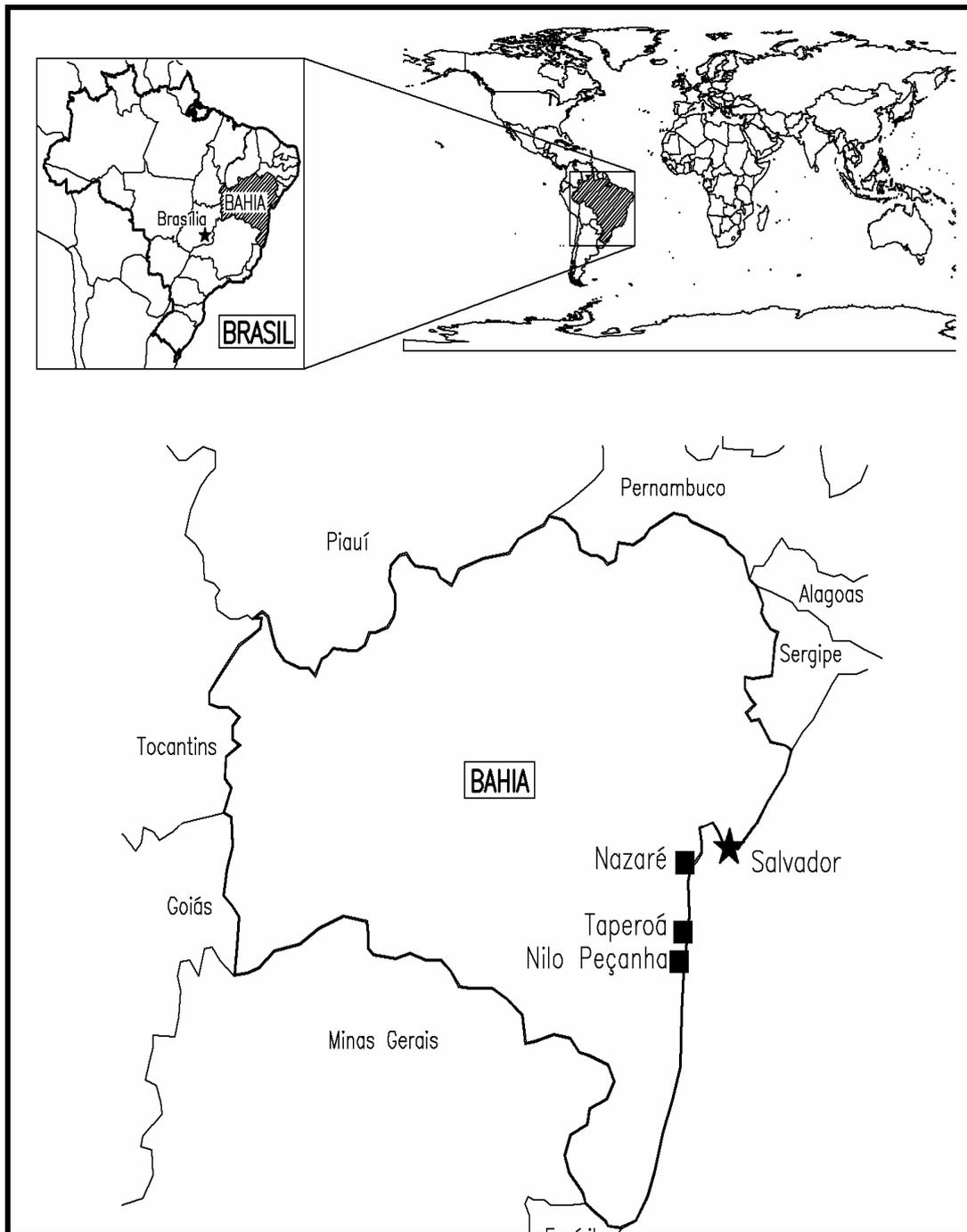
O transporte do óleo até a usina de biodiesel não foi considerado neste estudo.

Nos estudos de caso foi considerada que a usina de produção do biodiesel seria agregada à usina extração do óleo vegetal, considerando uma distancia mínima na qual não seja necessária a quantificação do transporte nesta etapa.

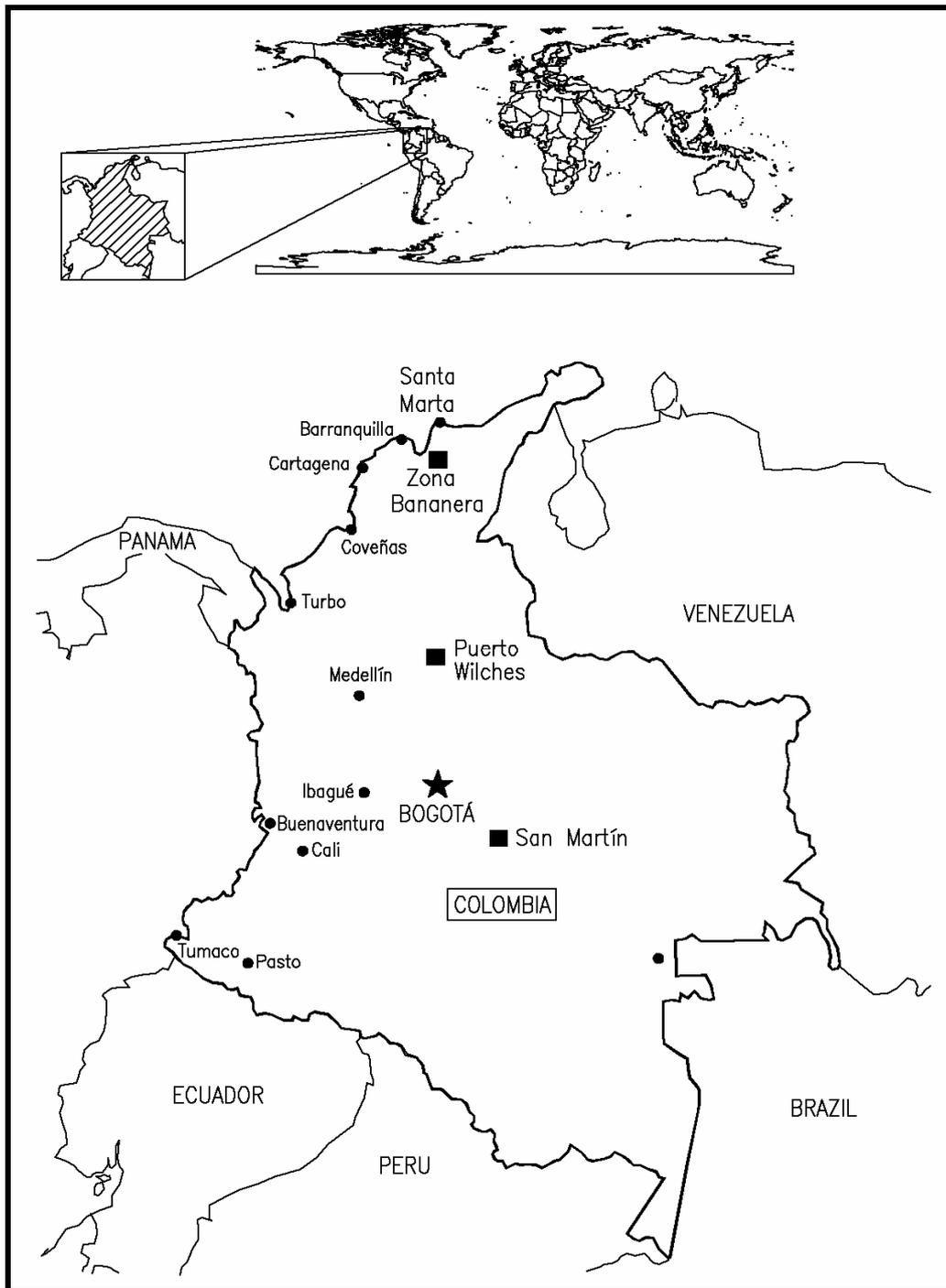
Foram visitadas quatro usinas de beneficiamento de óleo vegetal no Brasil, três no Sudeste da Bahia, nos municípios de Nazaré, apresentada nas tabelas e gráficos como empresa C, em Taperoá, apresentada nas tabelas e gráficos como Empresa A e em Nilo Peçanha, apresentada como Empresa B. Também foram colhidos dados no Pará, em Tailândia, apresentado no estudo como Região Amazônica e foram visitadas três áreas de cultivo da palma, duas na Bahia, nos municípios de Nazaré (empresa C) e Taperoá (empresa A) e uma em Tailândia, no Pará. Devido às características em comum de produtividade e capacidade de produção da empresa B e C, no Brasil, foram considerados os mesmos dados de produção agrícola da empresa C para a empresa B, tendo em vista que esta não possui área de plantio própria, beneficiando frutos de vários pequenos outros produtores da região, adaptando apenas os dados de transporte de frutos para a situação real. Também foi visitada uma usina de produção de biodiesel em Belém, no Pará.

Na Colômbia, a maioria das usinas de beneficiamento de óleo possui plantio próprio, assim foram escolhidas três distintas regiões do país, coletando dados em três usinas com localização das áreas agrícolas e produção de óleo nas regiões Norte, (empresa B), região Central (empresa C) e região Centro-Occidental (empresa A) da Colômbia.

Nas figuras 3.2 e 3.3 a seguir, são apresentados os mapas com a localização onde foram coletados os dados das usinas visitadas no Brasil e na Colômbia, nos três estudos de caso em questão.



**Figura 3.2 : Localização das áreas agrícolas e produção de óleo nas regiões Sul da Bahia e na Região Amazônica**



**Figura 3.3: localização das áreas agrícolas e produção de óleo nas regiões Norte, Central e Centro-Ocidental da Colômbia**

Os dados gerais fornecidos por cada empresa com relação à área cultivada, capacidade produtiva são apresentados na Tabela 3.1 a seguir. Os dados complementares ao estudo, com relação aos consumos nas etapas de produção agrícola, produção do óleo e produção do biodiesel são apresentados no Apêndice B.

**Tabela 3.1: Dados de Produtividade das Regiões Estudadas no Brasil e da Colômbia**

| Empresa<br>-<br>Colômbia     | Área Cultivada<br>(ha) |                 | Processamento<br>CFF<br>(ton CFF/ano) | Produtividade<br>(ton CFF/ha) | Taxa de<br>extração de<br>óleo     |
|------------------------------|------------------------|-----------------|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
|                              | Viveiro                | Palma<br>Adulta |                                       |                               |                                    |
| <b>A Centro<br/>Oriental</b> | 1100                   | 1200            | 101,323.77                            | 25                            | 19,8                               |
| <b>B<br/>Norte</b>           | 64,1                   | 3435,9          | 80,000.00                             | 25                            | 21,08                              |
| <b>C<br/>Central</b>         | 130                    | 4765            | 154,352.00                            | 21                            | 20,4                               |
| Empresa<br>-<br>Brasil       | Area Cultivada<br>(ha) |                 | Processamento<br>CFF<br>(ton CFF/ano) | Produtividade<br>(ton CFF/ha) | Taxa de<br>extração de<br>oleo (%) |
|                              | Viveiro                | Palma<br>Adulta |                                       |                               |                                    |
| <b>A</b>                     | 111                    | 1400            | 16,200.00                             | 3                             | 20                                 |
| <b>B</b>                     | -                      | -               | 26,700.00                             | 5                             | 11                                 |
| <b>C</b>                     | 5.8                    | 3150            | 22,068.28                             | 5                             | 20                                 |
| <b>Região<br/>Amazônica</b>  | 40                     | 32960           | 125248                                | 19                            | 20                                 |

Na etapa industrial foram consideradas as particularidades de cada empresa, considerando as características térmicas e particularidades de seus sistemas de geração de eletricidade, utilização de resíduos industriais para o aproveitamento no processo e na etapa agrícola. Na etapa de extração do óleo são utilizados resíduos do processo para a geração de eletricidade no sistema e o envio de parte desse resíduo é utilizado na produção agrícola como fertilizante. Com relação ao aproveitamento de resíduos do processo, considerou-se cada empresa separadamente.

Utilização de resíduos no processo:

Na Região Sul da Bahia todas as empresas utilizam 100% das fibras para a geração de vapor e foi considerado que os cachos vazios são utilizados em 100% pelas empresas A e C para uso como fertilizantes e a empresa B utiliza 100% para queima na caldeira para a produção de eletricidade.

Para a empresa A as cascas são utilizadas em 100% para queima na caldeira, para a empresa B, 70% é vendido como carvão ativado e o restante vai para a queima na caldeira e, por fim, na empresa C, 60% vão para queima na caldeira e o restante é vendido como carvão ativado.

Na Região Amazônica, a empresa estudada queima 80% das fibras na caldeira e 90% das cascas, sendo o restante vendido como matéria-prima na produção do carvão ativado. O vapor gerado utilizado diretamente no processo e o restante usado para acionamento de turbo - geradores para a produção de eletricidade.

Para as condições da Colômbia, foram considerados:

Utilização de resíduos no processo:

As fibras são utilizadas em 100% para queima na caldeira para todas as empresas. As cascas são utilizadas em 63% na empresa A, na empresa B 75% e na empresa C 71% respectivamente. Os cachos vazios são utilizados em 100% como fertilizantes na produção agrícola.

Produção de Torta e Óleo de Palmiste:

Com relação à produção de óleo e torta de palmiste, foi considerado para todas as empresas o processo de alocação por valor de utilidade no mercado, com exceção à empresa C, na Colômbia, que não produz óleo e torta de palmiste, vende-se a amêndoa para outras empresas. Assim para esta empresa, foi considerado apenas o valor energético agregado da amêndoa extraída no processo. Os coeficientes utilizados para a torta e óleo de palmiste foram obtidos de OKIY (1988).

Para as fibras e cascas, o conteúdo energético foi obtido Singh et al. (1989) (Tabela 3.2). Considerando-se as porcentagens utilizadas para cada empresa. Quanto aos cachos de fruta vazios (CFV), foram utilizados os coeficientes propostos por Gurmit et al (1990), Watson and Lim. (1981) e Loong et. al., (1988) (Tabela 3.3), contabilizando-se a energia substituída para produção de fertilizantes por cada porcentagem de CFV utilizado no processo pelas usinas e descontando-se do consumo energético total pelos fertilizantes utilizados na produção agrícola. Nas tabelas 3.2, 3.3 e 3.4, são apresentados estes coeficientes utilizados no estudo.

**Tabela 3.2: Característica Físico-Químicas das Fibras e Cascas**

| Parâmetro                   | Fibras | Cascas | Óleo de Palma |
|-----------------------------|--------|--------|---------------|
| PCI (MJ/kg)                 | 11,20  | 18,42  | 3,26          |
| Umidade (%)                 | 30,00  | 22,00  |               |
| Óleo Residual (base seca %) | 8,00   | 0,00   |               |

Fonte: Singh et al. (1989)

**Tabela 3.3: Quantidade de Nutrientes contidos nas Cinzas de Cachos de Fruta Fresca**

| <b>fertilizantes</b>                     | <b>( %) nas cinzas de 1 EFB*</b> |
|--|----------------------------------|
| nitrogênio (N)                           | INSIGNIFICANTE                   |
| fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 3,7                              |
| potássio (K <sub>2</sub> O)              | 41,4                             |
| magnésio                                 | 5,8                              |
| * Toh et al. (1983)                      | <b>TOTAL</b>                     |

Fonte: TOH et al. (1983)

**Tabela 3.4: Quantidades de Nutrientes em porcentagem contidos em 1 t de Cachos de Fruta Vazio (CFV)**

| <b>fertilizante</b>                      | <b>( %) CFV</b> |
|--|-----------------|
| nitrogênio (N)                           | 0,32            |
| fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 0,09            |
| potássio (K <sub>2</sub> O)              | 1,16            |
| magnésio                                 | 0,12            |

Fonte: GURMIT et al (1990), CHAN, K.W, WATSON and LIM K.C. (1981); LOONG et. Al., (1988)

Com relação ao aproveitamento de resíduos na geração de eletricidade, foram considerados para as condições do Brasil:

Geração de eletricidade: na Região Sul da Bahia apenas a empresa B gera sua própria eletricidade, utilizando além do uso das fibras, a biomassa proveniente dos cachos vazios e quando necessário o uso de lenha para complementar a queima. Esta biomassa incorporada não foi quantificada no estudo. As empresas A e C compram toda a eletricidade necessária da rede pela concessionária. Na Região Amazônica existe praticamente uma produção auto-suficiente de eletricidade, utilizando os resíduos do processo e a utilização de combustível diesel para produção de energia.

Para as condições da Colômbia, foram considerados:

Geração de eletricidade: As empresas A e B geram respectivamente 85% e 75% de eletricidade consumida no processo e a empresa B não possui sistema de geração própria, comprando toda a energia necessária ao processo pela concessionária.

### **3.2.4 Procedimento de Cálculo**

Nesta etapa do balanço energético, foram quantificadas as entradas e saídas de matérias e energia na produção do biodiesel de palma considerando a rota metílica, realizando o cálculo do balanço energético para o sistema de produção deste biocombustível, como a diferença entre a energia consumida por unidade de produto produzido expresso em kg-biodiesel (insumo/kg biodiesel) e a energia produzida por unidade de produto produzido expresso em kg-biodiesel (produção/kg biodiesel), sendo um indicador importante na viabilidade econômica e ambiental de um processo.

Assim foram utilizados dados de consumo energético considerando as etapas de produção agrícola e seu transporte (atividades agrícolas); a fase de extração do óleo vegetal e seu transporte (matéria-prima até a usina de beneficiamento) e a produção do biodiesel pelo processo de transesterificação.

O sistema estudado foi delimitado com seu início na produção agrícola até a produção do biodiesel, considerando as etapas de transporte na produção agrícola e de extração do óleo vegetal. Neste estudo não foram consideradas as etapas de distribuição do biodiesel até distribuidoras, postos de combustível e ao consumidor final.

As entradas de energia consideradas foram relativas ao uso de combustíveis fósseis na produção agrícola (preparação do solo, cultivo); transporte dos frutos; processamento do óleo e produção do biodiesel; além das entradas de energia relativas aos fertilizantes, produção de metanol e consumo de eletricidade durante todo o ciclo de vida de produção do biodiesel de palma.

O cálculo do consumo energético para o sistema de produção de biodiesel será o somatório entre a energia consumida por quilograma de biocombustível produzido nas várias etapas da sua cadeia de produção.

O balanço energético para a produção do biodiesel foi dividido em energia direta e indireta. A energia direta é a energia consumida na forma de combustíveis fósseis, vapor, trabalho humano em toda cadeia de produção do biocombustível, sendo calculada a partir da energia primária consumida na sua produção (no PCI para o diesel e demais combustíveis consumidos) estimada a partir da distância, e do consumo de combustível.

A energia indireta é definida como a energia consumida na forma de insumos agrícolas (fertilizantes, herbicidas, inseticidas), equipamentos, máquinas, eletricidade da rede e metanol sendo estimada através do consumo de energia na produção de cada produto.

Os cálculos foram realizados com a utilização de coeficientes energéticos, com a quantificação energética dos insumos obtida multiplicando-se o produto físico, pelos respectivos índices de conversão, computados em MJ/kg Biodiesel. Os fluxos de energia considerados neste trabalho são apresentados nas tabelas 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9 a seguir.

**Tabela 3.5: Coeficientes Energéticos na Etapa de Produção Agrícola**

| Coeficiente Energético     | unidade | Coeficiente Energético           | unidade |
|----------------------------|---------|----------------------------------|---------|
| fertilizantes <sup>1</sup> | MJ/kg   | Fungicidas <sup>2</sup>          | MJ/kg   |
| Nitrogênio (N)             | 48,9    | Fungicida                        | 97,13   |
| Fósforo (P2O5)             | 17,43   | Trator <sup>3</sup>              | 69,83   |
| Potássio (K2O)             | 10,38   | Caminhão <sup>3</sup>            | 62,8    |
| Cálcio (CaO)               | 2,32    | Outros Equipamentos <sup>3</sup> | 57,2    |
| Herbicidas <sup>2</sup>    | 245,57  | Trabalho Humano <sup>4</sup>     | MJ/dia  |
| Inseticidas <sup>2</sup>   | 184,71  | Atividade de colheita            | 15      |

Fonte:

<sup>1</sup> PATYK, et.al, (2003), PATYK, A., et.al (1997).

<sup>2</sup> PIMENTEL,D. (1980)

<sup>3</sup> MACEDONIAN, B.C.; PICCHIONI, S.A.,(1985).

<sup>4</sup> WOOD, B.J; CORLEY, R.H.V. (1991)

**Tabela 3.6: Porcentagem de nutrientes contidos nos cachos vazios.**

| fertilizantes  | ( %) em EFB* |
|----------------|--------------|
| nitrogênio (N) | 0,32         |
| fósforo (P2O5) | 0,09         |
| potássio (K2O) | 1,16         |
| magnésio       | 0,12         |

Fonte: WOOD, B.J; CORLEY, R.H.V. (1991)

**Tabela 3.7: Coeficientes Energéticos na Etapa Industrial**

| <b>Coeficiente Energético</b> | <b>unidade</b>          |
|-------------------------------|-------------------------|
| <b>Edificações</b>            | <b>MJ/m<sup>2</sup></b> |
| Prédios                       | 7117,56                 |
| Escritórios                   | 18840,6                 |
| Oficina, laboratórios         | 7117,56                 |
| <b>Material</b>               | <b>MJ/kg</b>            |
| Aço forjado                   | 117,23                  |
| Aço estrutural                | 69,50                   |
| Turbinas                      | 40,19                   |
| Tratores                      | 59,87                   |
| Caldeira                      | 55,09                   |
| Aço inox                      | 79,96                   |

Fonte: PIMENTAL (1980)

**Tabela 3.8: Coeficientes Energéticos na Produção do Biodiesel**

| <b>Coeficientes Energéticos</b> | <b>MJ/kg</b> |
|---------------------------------|--------------|
| Metanol <sup>1</sup>            | 39,1         |
| Glicerina <sup>1</sup>          | 18,05        |
| Vapor <sup>2</sup>              | MJ/t RME     |
|                                 | 1360         |

Fonte: <sup>1</sup> NETO, A. A. (2004)

<sup>2</sup> BORKEN et. al. (2006).

**Tabela 3.9: PCI s para Insumos, Combustíveis e Lubrificantes utilizados no estudo.**

| item                      | MJ/L         |
|---------------------------|--------------|
| diesel <sup>1</sup>       | 38,45        |
| gasolina <sup>2</sup>     | 42,32        |
| lubrificante <sup>3</sup> | 35,94        |
| Casca <sup>4</sup>        | 18,42        |
| Fibra <sup>4</sup>        | 11,20        |
| RME <sup>5</sup>          | <b>MJ/kg</b> |
|                           | 39,6         |

Fonte:

<sup>1</sup> ULBANERE (1998)

<sup>2</sup> PIMENTEL, D (1980)

<sup>3</sup> COMITRE (1993)

<sup>4</sup> SINGH et al. (1989)

<sup>5</sup> NETO, A. A. (2004)

Os resultados relativos aos valores das emissões foram obtidos com a utilização de fatores de emissão para os combustíveis (IPCCC, 2005) e a partir de dados de literatura para o caso das emissões na usina de extração de óleo. Os dados correspondentes à queima das fibras e cascas utilizadas no processo foram obtidos de YUSSOF, HANSSSEN (2005).

O CO<sub>2</sub> proveniente da queima da biomassa não foi considerado neste estudo, pois se considera que seja absorvido pela plantas, através do ciclo do carbono. Na etapa agrícola, as emissões atmosféricas consideradas foram provenientes dos combustíveis fósseis nas operações agrícolas. Foi também considerado seguindo SCHIMIDT, J. (2004), em que 10% da entrada de N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fertilizantes se

transformam em efluente líquido e a relação proposta por Almeida (2006), apresentada na Tabela 3.10 a seguir são apresentados estes valores.

**Tabela 3.10: Emissão Atmosférica para 1 Kg de fertilizante Nitrogenado**

| Fator de Emissão (kg/kg) | Poluente         |
|--------------------------|------------------|
| 0,0125                   | N <sub>2</sub> O |
| 0,5                      | CO <sub>2</sub>  |

Fonte: ALMEIDA, 2006

### 3.2.5 Estimativa dos processos dos ciclos de vida dos

Conforme exposto anteriormente, decidiu-se incluir neste estudo os ciclos de vida dos principais insumos da produção do biodiesel de palma: fertilizantes, herbicidas, energia elétrica, transportes de trator, caminhão, produção de cimento, aço, óleo diesel, óleos lubrificante, metanol. Devido à inexistência de bases de dados nacionais para alguns destes insumos, buscou-se construir um conjunto de estimativas que, em cada caso específico, melhor se aproximasse das condições produtivas dos insumos utilizados no sistema. Em outros momentos foram utilizados dados de bases de dados internacionais diretamente, sem nenhuma adaptação.

A seguir apresenta-se, de modo muito sucinto, a abordagem da estimativa do consumo de energia no ciclo de vida para alguns insumos considerados:

- Eletricidade

No caso da eletricidade utilizaram-se dados oficiais da composição do sistema de geração brasileiro para a atualidade, sobre os quais se modelou a geração baseada nas tecnologias hidrelétrica e termelétrica. Para a hidroeletricidade, foi utilizado o

coeficiente de dados fornecido pelo programa SIMAPRO Pre Consults. Para a geração termelétrica, no entanto, admitiu-se a composição dos combustíveis, com o perfil de queima (poder calorífico e emissões) e eficiências de conversão, utilizando bases de dados com fatores internacionais. As exceções foram consideradas para o carvão e a biomassa que tiveram seu poder calorífico corrigido para valores do carvão brasileiro, e o caso da biomassa foi considerado o uso em sistemas de cogeração. O coeficiente energético utilizado para a eletricidade é 5.2 MJ/kWh.

- Transportes

Neste estudo foram considerados dois tipos de transporte: trator e caminhão. Para o caso dos transportes feitos por caminhão e tratores utilizaram-se fatores de consumo de diesel e emissão de poluentes da literatura disponibilizada pelo IPCC. Os valores destes fatores de emissão são apresentados nas Tabelas 3.7 e 3.8, que fornecem os fatores de consumo de diesel e emissão de poluentes para cada tipo de transporte considerado.

**Tabela 3.11: Fatores de Emissão utilizados para o Diesel Combustível**

| Fator de Emissão | g/l   |
|------------------|-------|
| CO <sub>2</sub>  | 2,80  |
| CO               | 60,97 |
| CH <sub>4</sub>  | 0,18  |
| NO <sub>x</sub>  | 78,25 |
| N <sub>2</sub> O | 0,02  |
| NM VOC           | 14,97 |

**Tabela 3.12: Fatores de Emissão utilizados para a Gasolina Combustível**

| Fator de Emissão | g/km   |
|------------------|--------|
| CO <sub>2</sub>  | 178,02 |
| CO               | 35,92  |
| CH <sub>4</sub>  | 0,043  |
| Nox              | 1,28   |
| N <sub>2</sub> O | 0,005  |
| NMVOOC           | 6,68   |

- Metanol

O coeficiente utilizado para o metanol foi determinado a partir de base de dados internacionais e com base na eficiência de conversão do processo. De acordo com ROAM,V,et al,(2004), 60% do metanol produzido no mundo é obtido a partir do gás natural usando o ICI Low Pressure Methanol (LPM) Process, e a eficiência de conversão do processo de 75,14% .

- Fertilizantes, Herbicidas, Inseticidas.

Os coeficientes utilizados para os fertilizantes já apresentados na Tabela 3.2, foram obtidos de PARTYK,A. et al 2003 e PARTYK,A., REINHARDT,G.A 1997, uma vez que não existe base de dados nacionais para a produção de fertilizantes, o que também ocorre com os herbicidas e inseticidas, para os quais também foi utilizada uma base de dados internacional.

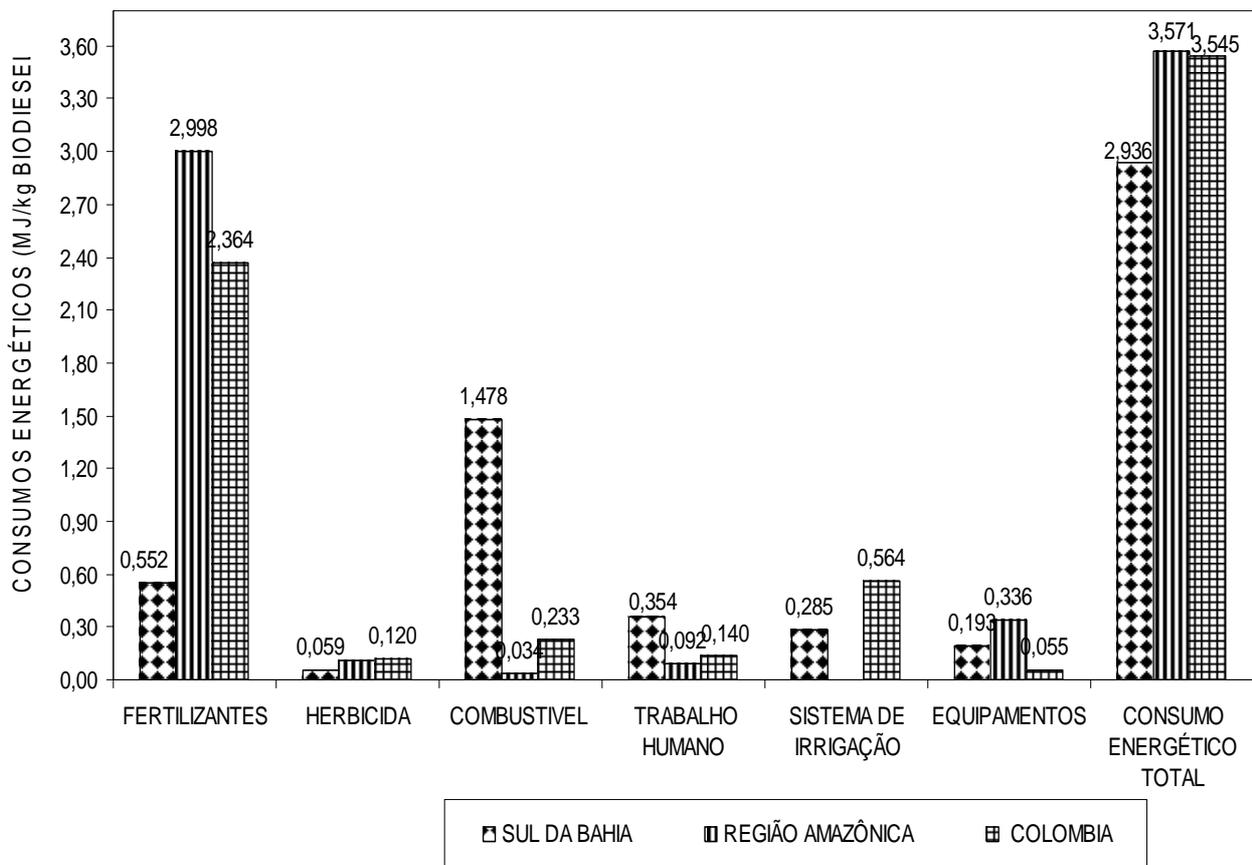
## Capítulo 4

### **4. ANÁLISE DE RESULTADOS**

Os cálculos foram realizados utilizando os coeficientes e seguindo a metodologia apresentada anteriormente. Nos gráficos das figuras apresentadas no item 4.1, 4.2, e 4.3 são apresentados os principais resultados da modelagem realizada, com as condições propostas e com os valores comparativos médios para os três estudos de caso. A seguir são apresentados os gráficos com as principais contribuições energéticas e emissões em cada fase do processo de produção do biodiesel de palma para os três estudos de caso propostos. Os gráficos das figuras 4.1 a 4.4 correspondem às contribuições dos fluxos de energia.

#### **4.1 Consumo energético total na Etapa Agrícola**

O gráfico da Figura 4.1 apresenta os resultados relativos aos consumos energéticos na produção agrícola para as três regiões estudadas.



**Figura 4.1: Resultado dos Consumos Energéticos Médios Comparativos na Produção Agrícola para os três casos analisados.**

A partir dos gráficos da Figura 4.1 apresentada é possível observar que a maior contribuição energética para etapa agrícola para os três estudos de casos diz respeito ao consumo de fertilizantes, seguido do consumo dos combustíveis fósseis. A maior contribuição dos fertilizantes se deve ao elevado conteúdo energético deste insumo, principalmente pelos compostos nitrogenados. Para o consumo de combustível, os maiores resultados encontrados para a Bahia, resultam da baixa produtividade de frutos, que acarretam em um sistema ineficiente de transporte, pois se realiza o transporte para uma coleta pequena de frutos. Para a Colômbia, apesar da alta produtividade de frutos que exigiria um consumo maior de combustível, é bastante

utilizado o transporte animal, com o auxílio de mulas e búfalos, o que acarreta em um menor consumo de combustível.

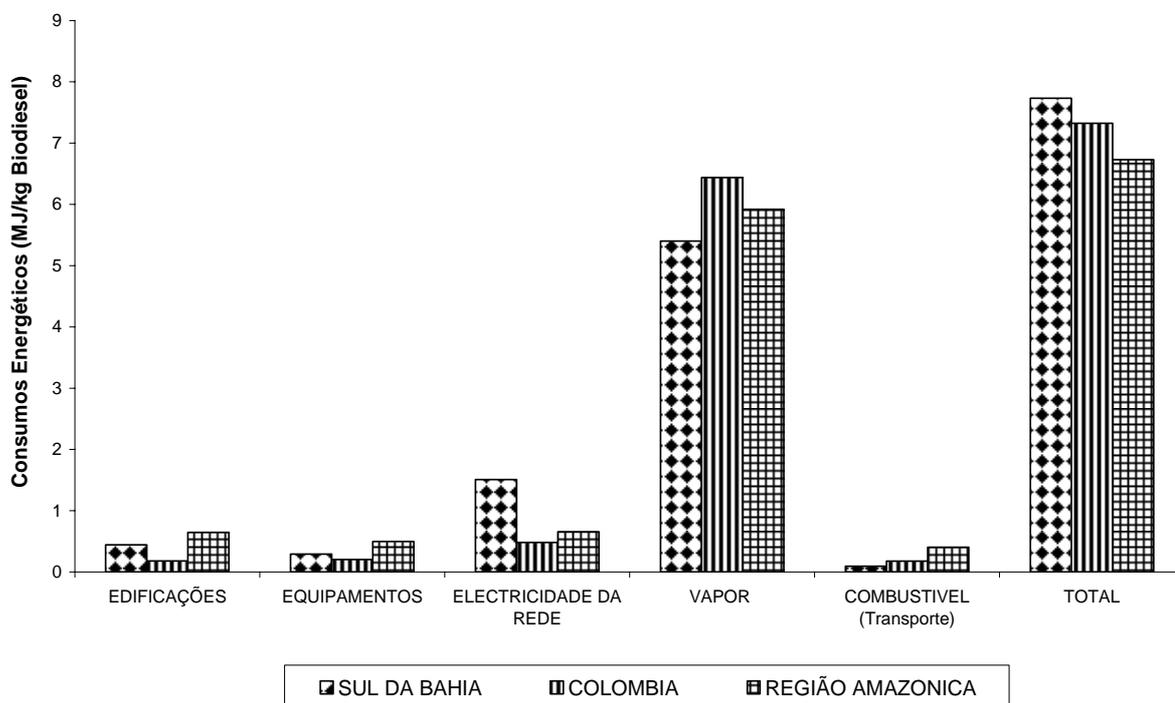
No balanço energético para o caso do Brasil, os herbicidas e o sistema de irrigação contribuem de forma pouco significativa, uma vez que não se irriga a palma adulta e não há a utilização de herbicidas, apenas esporadicamente (em áreas isoladas de plantio e em poucas épocas do ano para a região Sul da Bahia).

Na Região Sul da Bahia, a maior parte da produção de óleo de dendê é proveniente de dendezeiros subespontâneos de baixa produtividade, que na sua maioria apresentam um precário estado de manutenção e a área total de dendezeiros cultivada corresponde apenas a 1,53% da área total disponível para o plantio dessa cultura. Na Região Amazônica realiza-se o controle biológico, utilizando uma pequena quantidade de defensivos. BUECKE, J.(2006).

Na análise Energética para a etapa agrícola na Colômbia, o sistema de irrigação e os fertilizantes contribuem de forma mais significativa, uma vez que diferente do Brasil, a palma adulta é irrigada e a fertilização é feita intensivamente durante os anos de vida útil da planta. Na Região Amazônica os resultados finais na etapa agrícola estão mais próximos aos valores encontrados para a Colômbia, isso se deve ao maior uso de fertilizantes e produtos químicos no cultivo da palma, devido às condições climáticas da região, que são semelhantes em alguns locais de plantio na Colômbia.

## **4.2 Consumo energético total da Etapa Industrial**

O gráfico da Figura 4.2 apresenta os consumos energéticos totais na extração do óleo vegetal para as três regiões estudadas. Neste gráfico estão contabilizados consumos de vapor no processo. No gráfico final estes não serão incluídos, pois o vapor consumido é produzido a partir de resíduos do próprio processo, por isso não foram considerados no estudo.

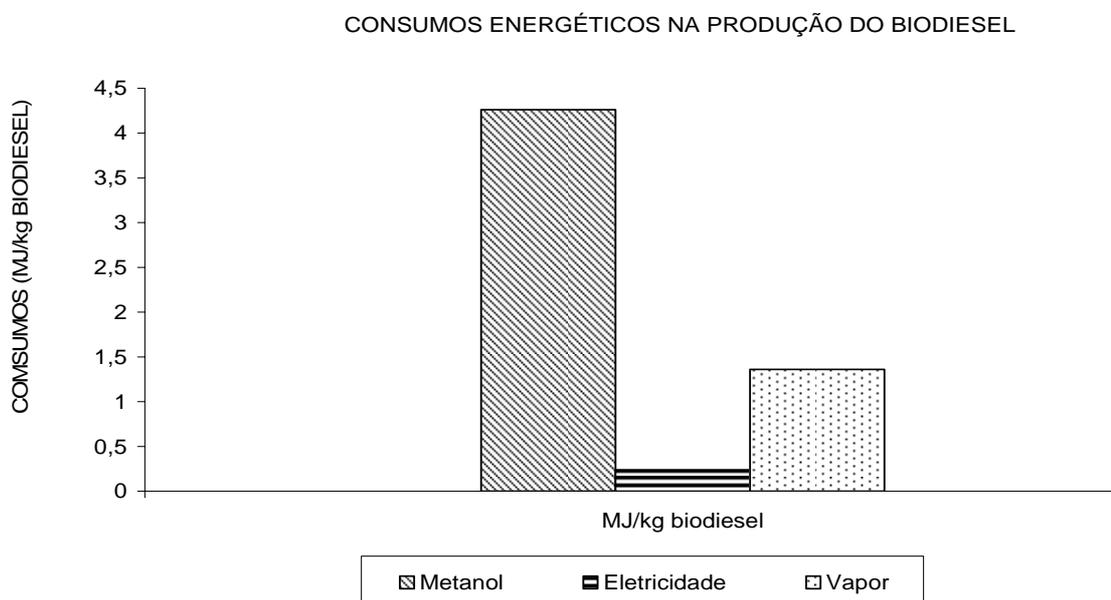


**Figura 4.2: Resultado dos Consumos Energéticos Médios Comparativos na Etapa de Extração do Óleo Vegetal**

Na análise da Fase Industrial, pelo gráfico da figura 4.2 acima, percebe-se que as maiores contribuições correspondem ao consumo de vapor e ao consumo de combustível no transporte da matéria-prima até a usina de beneficiamento. Com relação ao consumo de vapor no processo, como já esclarecido anteriormente, este não é considerado no consumo final, pois o vapor é gerado a partir dos próprios resíduos da biomassa produzida no processo.

Nas usinas onde se faz a cogeração de eletricidade e se usam amplamente os resíduos do processo tem-se reduzido o consumo energético, este fato fica evidente na demonstração do gráfico da figura 3.2.3.3, no qual se observa um menor consumo energético para a Colômbia, em que apenas uma das empresas estudada não realiza a cogeração. A maior eficiência no processo e menor uso de combustível fosseis e uso de cogeração no processamento do óleo conduzem a um menor consumo energético na contagem final.

### 4.3 Consumo energético total do Processo de Transesterificação

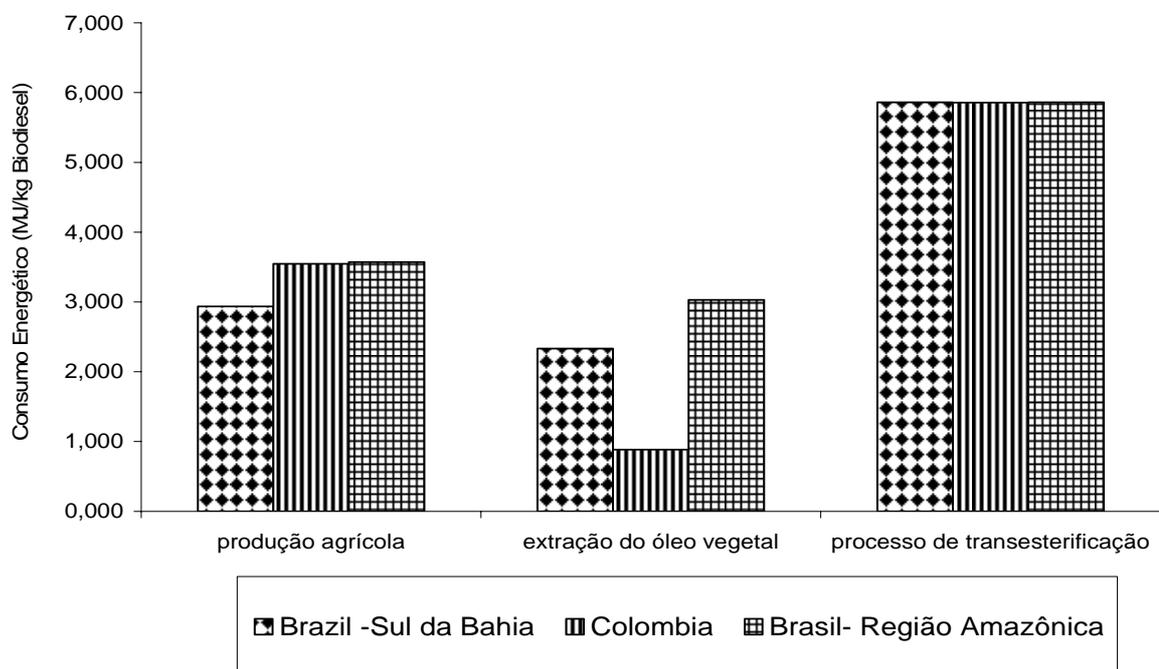


**Figura 4.3: Resultado dos Consumos Energéticos Médios durante o Processo de Transesterificação**

O principal consumo desta etapa diz respeito ao uso do metanol que representa o maior consumo de energia desta etapa no processo de produção do biodiesel de palma. Nesta etapa o consumo de energia específico é praticamente o mesmo em ambos os casos, pois as usinas de produção de EPM foram modeladas usando os mesmos coeficientes de energia para o metanol e o vapor. A diferença em relação aos coeficientes de eletricidade da rede é pequena, além de dos consumos de eletricidade não serem tão significativos e não alteram em muito a qualidade dos dados.

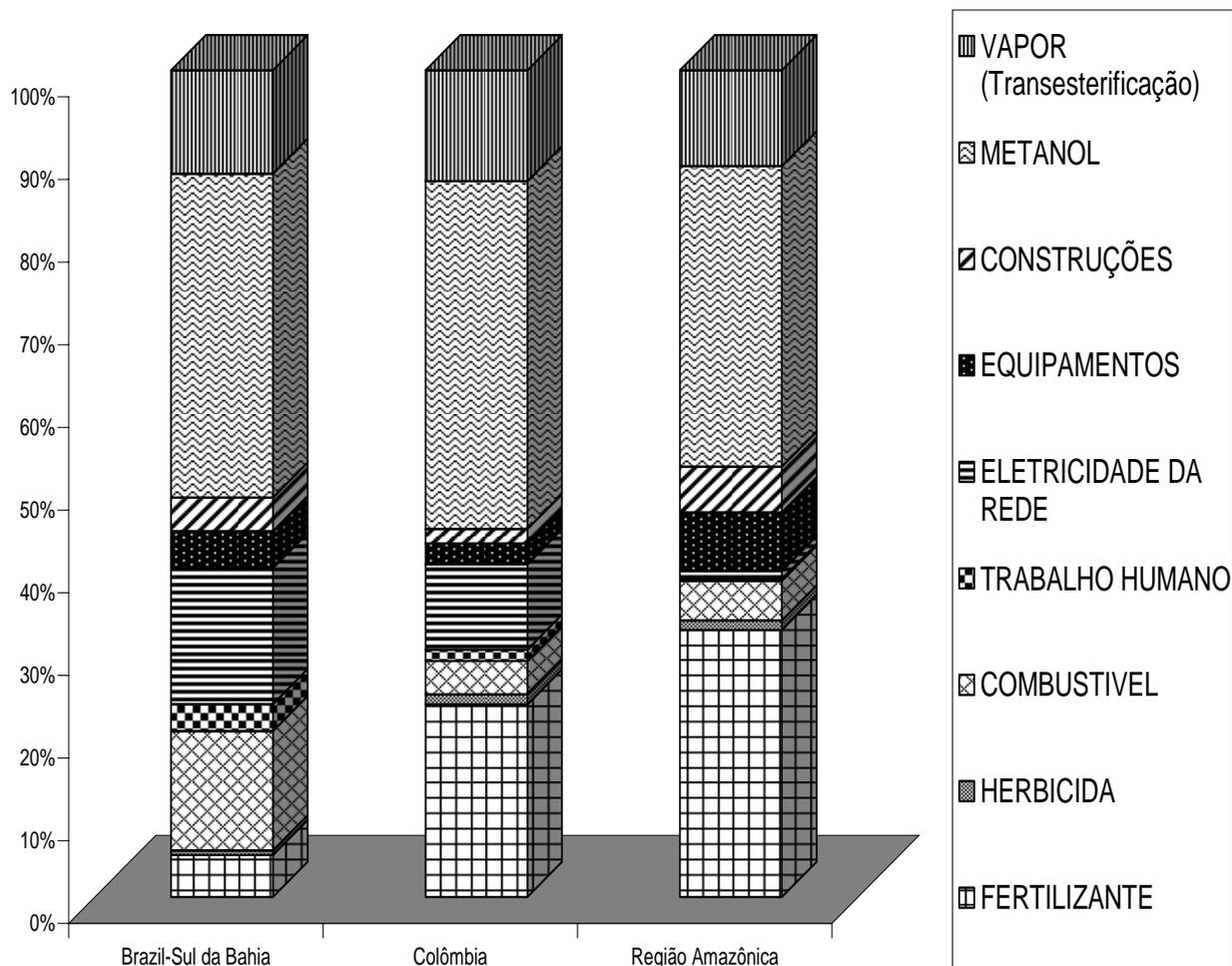
O balanço energético do processo de transesterificação foi realizado baseado em um mesmo modelo e mesmas condições. Assim os coeficientes e os consumos energéticos foram os mesmo utilizados nos três estudos de caso, apenas modificando o coeficiente de eletricidade utilizado, que não possui uma significativa diferença na comparação dos resultados obtidos.

O gráfico da Figura 4.4 apresenta o consolidado dos consumos energéticos finais para toda a cadeia de produção do EMP, considerando as etapas de produção agrícola, extração do óleo e a produção do biodiesel.



**Figura 4.4: Resultado dos Consumos Energéticos Cumulativos para a Produção Agrícola, Extração de Óleo e Processo de Transesterificação.**

No gráfico da figura 4.5 são apresentadas as contribuições em porcentagem para os fluxos de energia no ciclo de vida do EMP, considerando todos os consumos energéticos referentes a todas as etapas estudadas.



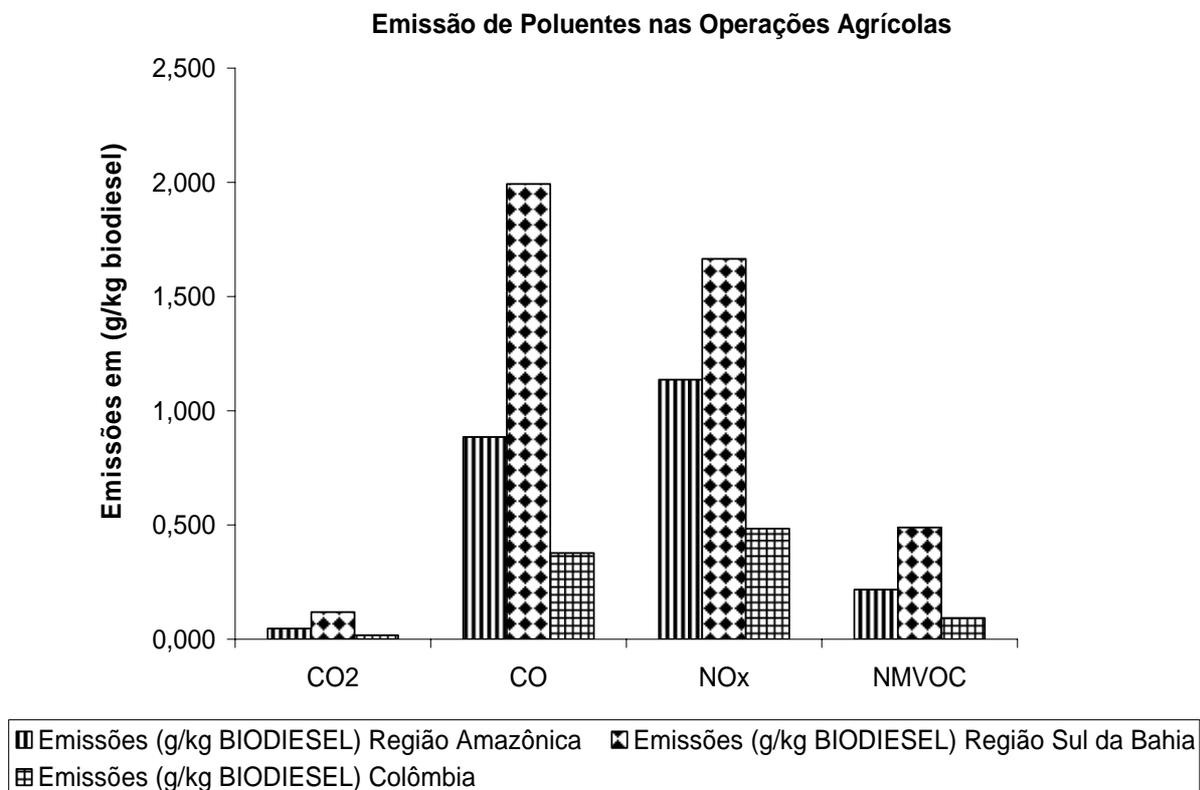
**Figura 4.5: Porcentagem de Contribuição dos Consumos Energéticos do ciclo de vida do biodiesel de palma.**

Na análise da Figura 4.5 que mostra a contribuição total dos consumos energéticos na cadeia de produção do biodiesel de palma, o fluxo de energia relacionado ao metanol representa uma média de 43.9% para o caso da Colômbia e de 43.0 % para o Sul da Bahia no Brasil, considerando todo o consumo de energia durante o ciclo de vida do EPM. Analisando os resultados deste gráfico, pode-se observar uma expressiva contribuição dos fertilizantes para a Região Amazônica, seguido da Colômbia.

#### **4.4. Emissão de Poluentes no Ciclo de Vida do EMP**

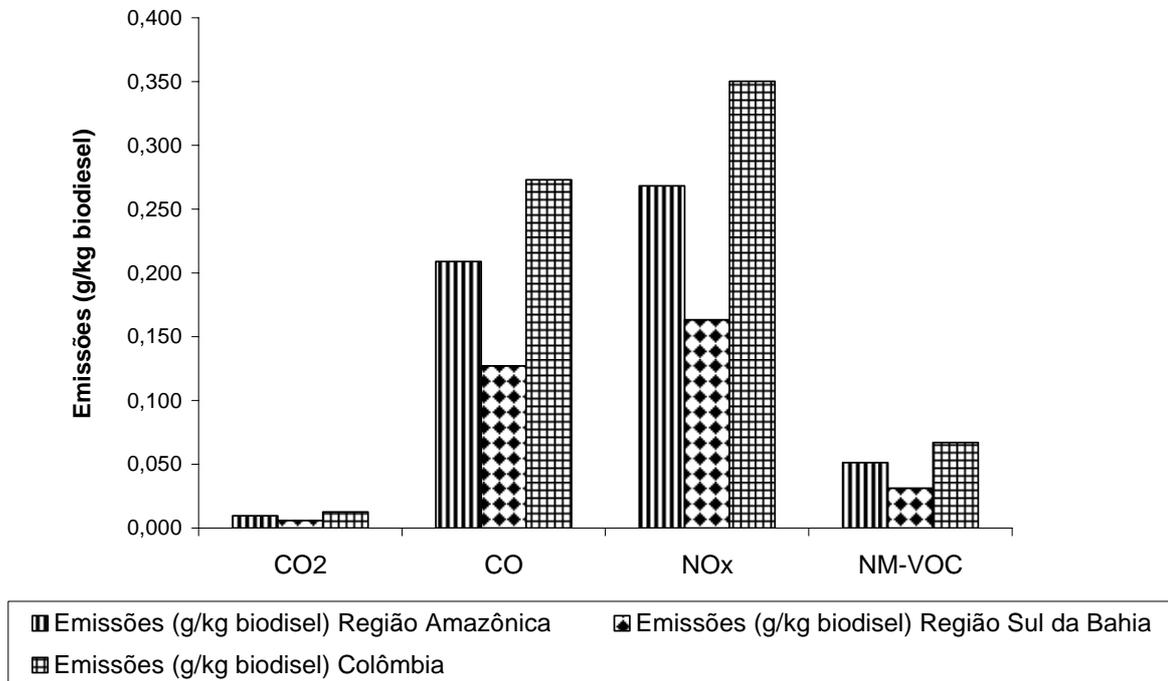
Nos gráficos 4.6 a 4.8 são apresentadas as contribuições referentes às emissões atmosféricas nas etapas agrícola, transporte de frutos a extração do óleo e produção do biodiesel. Na etapa agrícola estão contabilizadas as emissões referentes ao transporte nas operações agrícolas e a emissão de poluentes pela utilização dos fertilizantes.

Na etapa de extração do óleo estão contabilizadas as emissões referentes ao processo de extração do óleo propriamente dito e a o transporte dos frutos da plantação até a usina de extração de óleo e as emissões referentes ao processo de extração do óleo de palma. Na etapa de produção do biodiesel, não foi considerado o transporte do óleo vegetal a usina de biodiesel, pois se considerou que a usina de produção do biodiesel se encontra muito próxima da usina de extração de óleo vegetal.



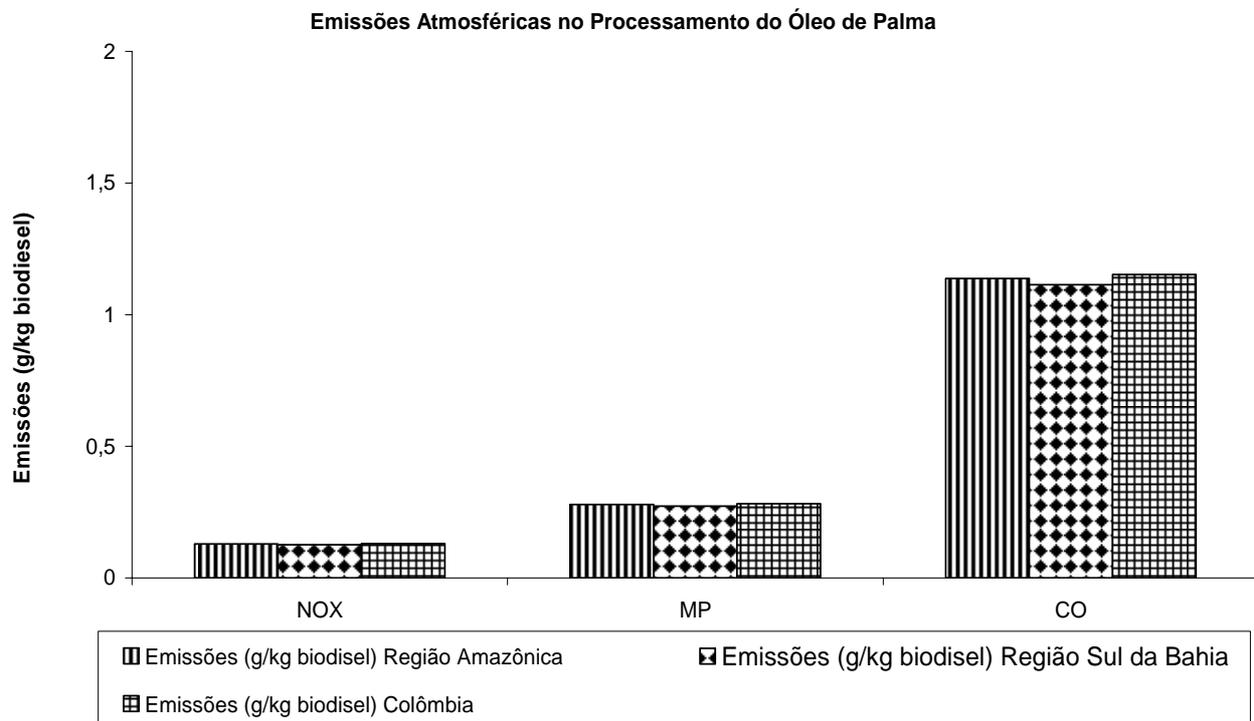
**Figura 4.6: Emissão de Poluentes Atmosféricas na Etapa de Produção Agrícola**

### Emissão de Poluentes no Transporte de Frutos à Usina de Extração de Óleo



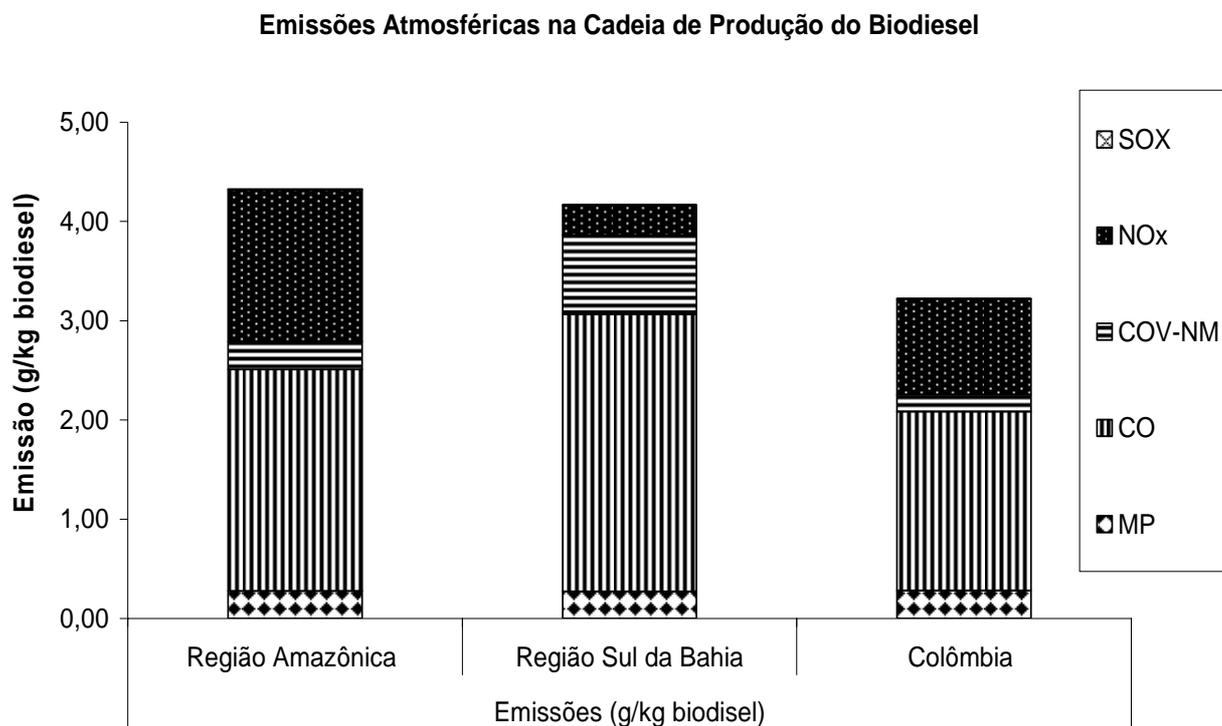
**Figura 4.7: Emissão de Poluentes Atmosféricos referente ao Transporte de Frutos à Usina de extração de Óleo.**

Para a elaboração do gráfico da figura 3.23.7, os dados de emissão foram retirados da literatura, considerando a emissão de poluentes por toneladas de óleo produzido. YUSSOF; HANSEN, (2005).



**Figura 4.8: Emissão de Poluentes Atmosféricos na Etapa de Processamento do Óleo de Palma**

No gráfico da Figura 4.9 são apresentadas as contribuições das emissões atmosféricas em toda a cadeia de produção do biodiesel para as três regiões estudadas. Neste gráfico estão somadas as emissões referentes às etapas de produção agrícola, processamento do óleo e produção do biodiesel.



**Figura 4.9: Emissão de Poluentes Atmosféricos na Cadeia de Produção do EMP**

A análise conjunta dos dados dos gráficos das Figuras 4.6 a 4.8 apresentados anteriormente e das informações sobre produtividade agrícola em cada caso torna evidente a contribuição da produtividade de frutos na obtenção dos resultados tanto para a produção agrícola como para a extração de óleo.

Para a etapa de produção agrícola, os maiores resultados foram encontrados na emissão de monóxido de carbono e NOx e as maiores emissões encontradas para a região Sul da Bahia, são causados pelo maior consumo de combustível específico nas operações agrícolas como consequência da baixa produtividade de frutos por hectare por ano.

Para a etapa de extração do óleo de palma, as maiores contribuições das emissões dizem respeito a emissão de Material Particulado (MP), pela queima de resíduos do processo industrial, o que justifica um maior resultado obtido para a Região Amazônica e Colômbia, pela maior utilização das cascas para queima na caldeira.

Considerando o ciclo de vida da produção do biodiesel, as maiores contribuições dizem respeito à emissão de NOX e CO em todos os processos, pelo fato das emissões devido ao uso dos combustíveis fósseis, assim como o uso do metanol no processo de transesterificação do óleo para transformação em biodiesel.

#### **4.5. Resultados para a Relação Output/Input**

Nas tabelas 4.5.1 e 4.5.2 a seguir são apresentadas às análises dos balanços energéticos, utilizando como indicador a relação output/input na Produção de Biodiesel no Brasil e na Colômbia. Nesta tabela são apresentados os dados consolidados para as três empresas da Região Sul da Bahia, da Região Amazônica e para as três empresas das três distintas regiões da Colômbia, assim como a relação output/input para cada empresa.

**Tabela 4.5.1: Apresentação da Relação Output/Input na Produção de Biodiesel de Óleo de Palma para o Brasil.**

| <b>EMPRESA A (Sul da Bahia)</b>        |                                      |                             |
|--|--------------------------------------|-----------------------------|
|  | Insumo Energético (MJ/ton biodiesel) | Produção (MJ/ton biodiesel) |
| Produção Agrícola                      | 3,590                                |                             |
| Extração do óleo de Palma e Transporte | 2,237                                |                             |
| Torta de Palmiste (ração)              |                                      | 0,884                       |
| Produção de Óleo de Palmiste           |                                      | 1,466                       |
| Produção do Biodiesel                  | 5,861                                |                             |
| Biodiesel (PCI)                        |                                      | 39,600                      |
| Produção de Glicerina                  |                                      | 2,094                       |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>11,688</b>                        | <b>44,043</b>               |
| <b>Produção/Insumo</b>                 | <b>3,768</b>                         |                             |
| <b>EMPRESA B (Sul da Bahia)</b>        |                                      |                             |
|  | Insumo Energético MJ/ton Biodiesel   | Produção (MJ/ton biodiesel) |
| Produção Agrícola                      | 1,630                                |                             |
| Extração do óleo de Palma e Transporte | 1,060                                |                             |
| Cascas (carvão ativado)                |                                      | 3,257                       |
| Torta de Palmiste (ração)              |                                      | 0,973                       |
| Produção de Óleo Palmiste              |                                      | 2,418                       |
| Produção do Biodiesel                  | 5,861                                |                             |
| Biodiesel (PCI)                        |                                      | 39,600                      |
| Produção de Glicerina                  |                                      | 2,0938                      |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>8,551</b>                         | <b>48,341</b>               |
| <b>Produção /Insumo</b>                | <b>5,653</b>                         |                             |
| <b>EMPRESA C (Sul da Bahia)</b>        |                                      |                             |
|  | Insumo Energético MJ/ton Biodiesel   | Produção (MJ/ton biodiesel) |
| Produção Agrícola                      | 1,460                                |                             |
| Extração do óleo de Palma e Transporte | 3,700                                |                             |
| Cascas (Carvão Ativado)                |                                      | 1,861                       |
| Torta de Palmiste                      |                                      | 0,973                       |
| Produção de Óleo de Palmiste           |                                      | 2,418                       |
| Produção do Biodiesel                  | 5,861                                |                             |
| Biodiesel (PCI)                        |                                      | 39,600                      |
| Produção de Glicerina                  |                                      | 2,094                       |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>11,022</b>                        | <b>46,945</b>               |
| <b>Produção /Insumo</b>                | <b>4,259</b>                         |                             |
| <b>EMPRESA -Região Amazônica</b>       |                                      |                             |
|  | Insumo Energético MJ/ton Biodiesel   | Produção (MJ/ton biodiesel) |
| Produção Agrícola                      | 1,670                                |                             |
| Extração do óleo de Palma e Transporte | 1,931                                |                             |
| Cascas (Carvão Ativado)                |                                      | 6,699                       |
| Torta de Palmiste                      |                                      | 0,075                       |
| Produção de Óleo de Palmiste           |                                      | 2,418                       |
| Produção do Biodiesel                  | 5,861                                |                             |
| Biodiesel (PCI)                        |                                      | 39,600                      |
| Produção de Glicerina                  |                                      | 2,094                       |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>9,462</b>                         | <b>50,886</b>               |
| <b>Produção /Insumo</b>                | <b>5,378</b>                         |                             |

**Tabela 4.5.2: Apresentação da Relação Output/Input na Produção de Biodiesel de Óleo de Palma para a Colômbia.**

| <b>EMPRESA A</b>               |                                      |                             |
|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
|                                | Insumo Energético (MJ/kg biodiesel)  | Produção (MJ/kg biodiesel)  |
| Produção Agrícola e Transporte | 3,449                                |                             |
| Extração do Óleo e Transporte  | 0,578                                |                             |
| Cascas (caldeira)              |                                      | 1,565                       |
| Torta de Palmiste (ração)      |                                      | 2,947                       |
| Produção de Palmiste           |                                      | 4,885                       |
| Produção do Biodiesel          | 5,857                                |                             |
| Biodiesel (PCI)                |                                      | 39,600                      |
| Produção de Glicerina          |                                      | 2,094                       |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>9,884</b>                         | <b>51,091</b>               |
| <b>Produção/Insumo</b>         | <b>5,169</b>                         |                             |
| <b>EMPRESA B</b>               |                                      |                             |
|                                | Insumo Energético (MJ/ton Biodiesel) | Produção (MJ/ton biodiesel) |
| Produção Agrícola e Transporte | 4,125                                |                             |
| Extração do Óleo e Transporte  | 0,838                                |                             |
| Cascas (caldeira)              |                                      | 1,103                       |
| Torta de Palmiste (ração)      |                                      | 2,768                       |
| Produção de Palmiste           |                                      | 4,613                       |
| Produção do Biodiesel          | 5,857                                |                             |
| Biodiesel (PCI)                |                                      | 39,600                      |
| Produção de Glicerina          |                                      | 2,094                       |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>10,819</b>                        | <b>50,178</b>               |
| <b>Produção /Insumo</b>        | <b>4,638</b>                         |                             |
| <b>EMPRESA C</b>               |                                      |                             |
|                                | Insumo Energético (MJ/ton Biodiesel) | Produção (MJ/ton biodiesel) |
| Produção Agrícola e Transporte | 2,133                                |                             |
| Extração de Óleo e Transporte  | 0,607                                |                             |
| Cascas (caldeira)              |                                      | 1,323                       |
| Produção de Amendoa            |                                      | 0,006                       |
| Produção do Biodiesel          | 5,857                                |                             |
| Biodiesel (PCI)                |                                      | 39,600                      |
| Produção de Glicerina          |                                      | 2,094                       |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>8,596</b>                         | <b>43,022</b>               |
| <b>Produção /Insumo</b>        | <b>5,005</b>                         |                             |

Na relação Output/Input, os melhores resultados foram encontrados para o Brasil, para a empresa B na Região Sul da Bahia. Esta empresa possui a maior eficiência na utilização dos resíduos e apresenta um sistema de geração próprio de eletricidade, sendo auto-suficiente, esta empresa utiliza um locomóvel para a geração de eletricidade a partir da queima da biomassa do processo e uso de outras fontes, como a queima de lenha, que não foi considerado no balanço energético do ciclo de vida.

Cabe lembrar que o consumo da biomassa excedente empregada no processo não foi contabilizada, como também não foram quantificadas as emissões provenientes dessa queima. Portanto o resultado real da relação output/input neste caso deve ser menor.

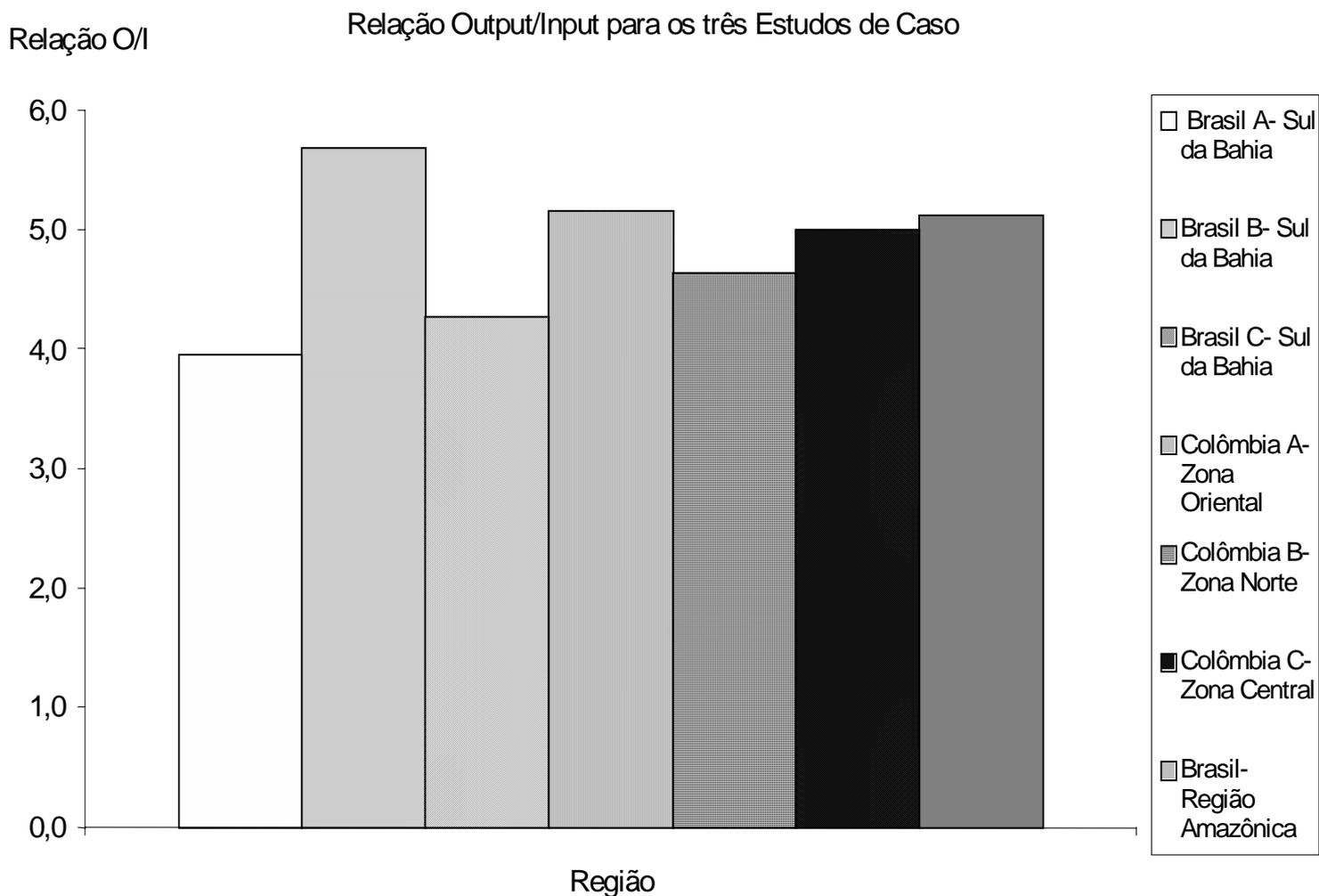
Com relação aos resultados obtidos para as outras empresas da Região Sul da Bahia, estas não apresentaram melhores desempenhos, apesar de seus reduzidos consumos na produção agrícola, que devem-se ao menor uso de fertilizantes e por este mesmo motivo, traduziram-se em produtividades reduzidas, o que na contabilização final foi um fator relevante.

Ainda com relação aos resultados obtidos para o Brasil, a Região Amazônica obteve um resultado mais expressivo, semelhante ao encontrado para a empresa B na Região Sul da Bahia, que novamente se deve ao fato do maior aproveitamento de resíduos, baixo uso de defensivos e, principalmente a alta produtividade no caso da Região Amazônica.

Para os resultados encontrados para a Colômbia, os melhores resultados foram obtidos pela empresa A, devido ao maior valor agregado dos subprodutos (cascas, torta e óleo de palmiste) do processo, comparado com a empresa C, que obteve resultados semelhantes.

A empresa B, por sua vez, obteve um resultado menos satisfatório pelo fato de não possuir sistema de cogeração e, por sua localização geográfica e climática, necessita

uma quantidade elevada de fertilizantes, que são muito significativos na contabilização final do balanço. No gráfico da Figura 4.10 a seguir são apresentadas as comparações dos resultados encontrados para as três regiões estudadas.



**Figura 4.10: Relação Output/Input para os três estudos de caso**

Na tabela 3.2.3 a seguir é apresentada uma comparação da Relação Output/ Input para o biodiesel de dendê obtida neste estudo para o Brasil e para a Colômbia e com o

biodiesel obtido a partir de diferentes oleaginosas na Europa e EUA, obtidos na revisão bibliográfica sobre este assunto, em consulta às literaturas citadas.

**Tabela 3.2.3: Apresentação da Comparação da Relação Output/Input para o Biodiesel obtido por diferentes oleaginosas.**

| <b>Biodiesel</b>                 | <b>Output/Input</b> | <b>Referências</b> |
|----------------------------------|---------------------|--------------------|
| RME (Europa)                     | 1,7                 | ITC, 2000          |
| Soja (EUA)                       | 3,2 – 3,4           | SHEEHAN, 1998      |
| Girassol e RME (Europa)          | 2,4 – 5,23          | JANULIS, 2003      |
| Mamona (Brasil)                  | 2 – 2,9             | NETO, et. al 2004  |
| EMP (Brasil)                     | 4,70                | Este estudo        |
| EMP (Colômbia)                   | 4,92                | Este estudo        |
| Óleo de Palma biodiesel (Brasil) | 5,6                 | FBDS, 2005.        |

Na tabela 3.2.3 é possível observar que a relação output/input encontrada para o EMP é mais elevada em comparação a outras culturas de oleaginosas. Isto se deve principalmente pelo elevado rendimento do dendê, que é quase oito vezes maior que outras culturas oleaginosas. A cultura do dendê também produz uma maior quantidade de biomassa, que podem agregar valor ao processo industrial quanto a produção agrícola, podendo ser usada como combustível para o vapor e a geração de eletricidade.

## Capítulo 5

### **5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

O presente trabalho possibilitou realizar a análise dos resultados do balanço energético na cadeia de produção do biodiesel, através da relação output/input, assim como mensurar o Inventário do Ciclo de Vida da Produção do Biodiesel obtido a partir do Óleo de Palma, com o consumo energético da produção do biodiesel de óleo de palma e a estimativa dos impactos ambientais.

Deve ser mencionado que o presente estudo tentou retratar em sua totalidade a realidade das empresas apresentadas, principalmente no que diz respeito à produção agrícola e extração do óleo. Foi realizada uma análise aprimorada, com a consideração do aporte energético dos resíduos utilizados na etapa industrial e dos sistemas de cogeração utilizados e equivalência energética dos cachos vazios eventualmente utilizados como fertilizante. Assim foram estabelecidas as particularidades de cada empresa, nas três condições propostas, além da real contribuição das emissões de poluentes para etapa de produção agrícola e transporte de frutos. Devido à indisponibilidade de alguns dados, houve a necessidade de serem adaptados, mas os resultados finais não tiveram sua veracidade comprometida.

Com relação aos consumos energéticos, na etapa agrícola, para as três regiões estudadas, as maiores contribuições vêm dos fertilizantes. Cabe salientar que para a Região Sul da Bahia no Brasil este consumo é bem menos expressivo devido a não fertilização da palma adulta, mas, por outro lado, acarreta uma produtividade de frutos muito inferior.

Cabe salientar que uma comparação entre os resultados encontrados na relação output/input do EMP para Brasil e para a Colômbia e os valores encontrados para RME na Europa, ITC, (2000); o SME nos EUA, SHEEHAN, J.et.al (1998), e o biodiesel de mamona no Brasil, no estudo realizado por Neto, (2006) é possível notar uma melhor eficiência na relação output/input para o EMP. Isto se deve ao fato da maior alocação dos co-produtos e resíduos na cadeia de produção do biodiesel.

É de grande importância e necessidade uma análise de sensibilidade para a sustentabilidade na produção do EMP, que deve considerar os fatores como: a taxa de utilização de fertilizantes de forma racional e sustentável, a cogeração nos processos, a substituição do metanol pelo etanol no processo, pois o consumo de metanol no processo corresponde cerca de 43% da energia fóssil consumida na produção do biodiesel, pelo processo de transesterificação.

Em relação à Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida realizado deve ser mencionada a necessidade da utilização de uma base de dados para a produção de fertilizantes no Brasil, já que este insumo possui um grau de significância bastante elevado na apresentação dos resultados. Outra questão importante é o uso da rota etílica.

Assim, como sugestão para futuros trabalhos relacionados a consumos energéticos e inventário de ciclo de vida na agricultura, seria muito apropriada a elaboração de um banco de dados nacional para a produção de fertilizantes e um aprofundamento da

utilização da rota etílica na produção do biodiesel, além da utilização de outros indicadores de sustentabilidade para uma confiabilidade do estudo.

Com relação aos aspectos ambientais significativos, os métodos de processamento utilizados até hoje no plantio na Região Sudeste da Bahia, na extração dos cachos e seu transporte e mesmo na produção do óleo e derivados outros, contribuem significativamente aos impactos ambientais, e em muitos casos por falta de informações, educação formal, orientações preservacionistas e fiscalização necessárias à conservação ambiental.

Para que se possa manter um padrão adequado do uso dos recursos naturais, visando a dendeicultura, é necessário que estes processos sejam revistos, possibilitando que essa atividade seja promovida de modo a contribuir para o desenvolvimento sustentável dessa região e minimização dos impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Sistemas de gestão ambiental – Especificações e diretrizes para uso - NBR ISO 14.001, ABNT, Rio de Janeiro, 1996.

ABNT, Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura - NBR ISO 14.040, ABNT, Rio de Janeiro, 2001.

AKSOY, H. A., KAHRAMAN, I., KARAOSMANOGLU, F., AND CIVELEKOGLU, H. Evaluation of Turkish sulphur olive oil as an alternative diesel fuel. J. Am. Oil Chem. Soc., 65, 936-938, 1988.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás e Combustíveis Renováveis. Brasil. (2006). Anuário Estatístico Brasileiro de Petróleo e Gás Natural 2005. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>> Acesso em Novembro 2006.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás e Combustíveis Renováveis. Brasil. (2006). Legislação Biodiesel Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/petro/legis\\_biodiesel.asp](http://www.anp.gov.br/petro/legis_biodiesel.asp)>. Acesso em Dezembro de 2006.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás e Combustíveis Renováveis. Brasil. (2006). Capacidade Autorizada de Plantas de Produção de Biodiesel. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/petro/capacidade\\_plantas.asp](http://www.anp.gov.br/petro/capacidade_plantas.asp)> Acesso em Dezembro de 2006.

ANZULES, V. Manejo agronômico de plantações de palma africana. In: PRIMER TALLER NACIONAL SOBRE PALMA ACEITERA. Memórias.Santo Domingo de los Colorados, Equador: ANCUPA / FAO, P.17-23, 1990.

BEN. Balanço Nacional de Energia. Brasil. 2005. Documento preparado pelo Departamento de Energia do Ministério de Minas e Energia. Brasil, 2006.

Disponível em:

<[http://www.mme.gov.br/site/menu/select\\_main\\_menu\\_item.do?channelId=1432&pageId=4060](http://www.mme.gov.br/site/menu/select_main_menu_item.do?channelId=1432&pageId=4060)> . Acesso em Março 2006

Boletim Estatístico de Minas e Energia (1999-2005) Documento do Departamento de Minas e Energia da Colômbia, Colômbia, 2005.

Disponível em:

<[http://www.upme.gov.co/docs/boletin\\_estadistico\\_1999\\_2005.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/boletin_estadistico_1999_2005.pdf)>. Acesso em Agosto de 2006.

BORKEN, J.; PATYK. A; REINHARDT, E.A. Basic data for life cycle assessment. Vieweg publishers, Germany. 2006.

BORKEN J; PATYK; REINHARDT. Basic data for life cycle assessment. Vieweg publishers, Gwermany. 2006.

BOUNSTED, I; HANCOCK,G.F. Handbook of Industrial Energy Analysis. John Wiley and Sons, New York, U.S.A. 1979.

BRASIL, 2005. LEI No 11.097, DE 13 DE JANEIRO DE 2005. Lei Federal que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências.

Disponível em:

[http://www.biodiesel.gov.br/docs/lei11097\\_13jan2005.pdf](http://www.biodiesel.gov.br/docs/lei11097_13jan2005.pdf)

BREZING, D. Subproductos de la palma africana en plantas de beneficio primario. El tratamiento de efluentes. In MESA REDONDA SOBRE PALMA ACEITERA, 4, 1986, Valledupar, Colômbia. Memórias... Valledupar: FEDEPALMA / FAO, 1986. p. 151-160, 1v.

BUEKE, J. Responsável pelo controle de fitossanidade da empresa de produção de óleo de palma da Região Amazônica. Comunicação Pessoal. 2006

CAMPOS, A. T. et al. Balanço econômico e energético na produção de silagem de milho em sistema intensivo de produção de leite. Engenharia Rural, Piracicaba, v.9, n.1,p.10-20, 1998.

CARVALHO, C.E., A Análise de ciclo de vida e os custos completos no planejamento energético, Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

CARVALHO, J., Análise de ciclo de vida ambiental aplicada à construção civil- Estudo de caso: Comparação ente cimento Portland com adição de resíduos, Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CATERPILLAR, Site corporativo.

Disponível em <[http:// www.caterpillar.com](http://www.caterpillar.com)>, acessado em 20 de Março de 2005.

CEDEÑO, L. Etapas de una plantación de palma africana. In: PRIME TALLER NACIONAL SOBRE PALMA ACEITERA, 1990, Santo Domingo de los Colorados, Ecuador. Memórias... Santo Domingo de los Colorados ANCUPA / FAO,1990. 1v.

CEFS. COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e Calagem para o Estado da Bahia. 2 ed. rev. Salvador, CEPLAC / EMATERBA / EPABA / Nitrofertil, 1989. p.118 - 119.

CEPEL. RELATÓRIO CEPEL. Adaptação de moto-gerador diesel para funcionamento com óleo vegetal de dendê in natura, dezembro de 1999. 23p.

CHAN, K.W.; WATSON,I; LIM,K.C. Use of palm oil waste material for increased production. Planter, Kuala Lumpur 57:14-37.

CHEHEBE, J.R.B. Análise do Ciclo de Vida de Produtos – Ferramenta Gerencial da ISO 14000. Qualitymark Editora, Rio de Janeiro. 1998.

COMITRE, V. Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto -SP. 1993. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

CONSOLI, F. et al., Guidelines fo Life-Cycle Assessment: A "Code of Practice", SETAC, Pensacola, 1993.

EMBRAPA CPAA. Modelos de projeto de dendê, 2005. Disponível em: <<http://www.cpaa.embrapa.br/produto/dende>>. Acesso em: 9/01/2006.

FBDS. Liquid Biofuels for Transportation in Brazil. Study commissioned by the German Technical Cooperation (GTZ), Novembro, 2005.

GÄRTNER, S. O IFEU. Comunicação pessoal em 29/10/2004.

FEDEPALMA, 2006. Avances del Proyecto de Biodiesel en Colombia. Programa de Mercadeo y Promoción de Mercados, 27 de Septiembre de 2006.

Disponível em: <<http://www.fedepalma.org>> . Acesso em dezembro 2006.

FEDEDAPALMA, 2006. Primer Congreso Grupo Empresarial del Campo “Biocombustibles y Agricultura” Jens Mesa Dishington, Centro de Convenciones Gonzalo Jiménez de Quesada, Bogota D.C, 16 de Noviembre 2006.

Disponível em: <<http://www.fedepalma.org>>. Acesso em dezembro 2006.

FEUGE, R. O. AND GROSE, T. Modification of vegetable oils. VII. Alkali catalyzed interesterification of peanut oil with ethanol. J. Am. Oil Chem. Soc., 26, 97-102, 1949.

FNP. “Agrianual 2005. Anuário da Agricultura Brasileira”. Editora Argos, São Paulo, 2005.

FORMO, M. W. Ester reactions of fatty materials. J. Am. Oil Chem. Soc., 31, 548-559, 1954.

FREEDMAN, B., BUTTERFIELD, R. O., AND PRYDE, E. H. Transesterification kinetics of soybean oil. J. Am. Oil Chem. Soc., 63, 1375-1380, 1986.

FREIRE F., MALÇA, J.; ROZAKIS, S. Integrated Economic and Environmental Life Cycle Optimization: an Application to Biofuel Production in France.

Disponível em:

<[http://www.novem.nl/?menuId=10&documentId=102538\\_tcm24-124271.pdf](http://www.novem.nl/?menuId=10&documentId=102538_tcm24-124271.pdf)>

FUKUDA, H, KONDO, A, NODA, H. REVIEW: Biodiesel fuel production by transesterification of oils. Journal of Bioscience and Bioengineering. 92(5): 405-416., 2001

FURLAN, L.; GROSSO, F, et al . Potencialidades Regionais Estudo de Viabilidade Econômica Dendê Sumário Executivo, 2003.

Disponível em: <<http://www.suframa.gov.br/publicacoes>>. Acesso em: 9/01/2006.

GOMES, P. Adubos e adubações. São Paulo: Nobel, 1984. 85p.

GURMIT, S.; MANOHARAN, S.; TOH, T.S. United Nations approach to palm oil mill by-product management and utilization p 225-234 in: Proceedings 1989. PORIN International Palm Oil Development Conference. Inst. Malaysia, Kuala Lumpur, p i-xxii, 1-588. 1989.

HEISNER, C. Responsável pela área de meio ambiente da empresa de produção de óleo de palma da Região Amazônica. Comunicação Pessoal. 2006

HOLANDA, A. Biodiesel e Inclusão Social: Relatório Apresentado ao Conselho de Altos Estudos e Avaliação Tecnológica. Centro de Documentos e Informação Coordenação de Publicação. Caderno de Altos Estudos 1. Brasília, 2004.

ISO 14040:2001. Environmental management—life cycle assessment—principles and framework.

ISO 14041:2004. Environmental management—life cycle assessment—goal and scope definition and inventory analysis.

ISO 14042:2004. Environmental management—life cycle assessment—life cycle impact assessment.

ISO 14043:2004. Environmental management—life cycle assessment—life cycle interpretation.

ITC. Production and Utilization biofuel's derived of vegetable oils. Documento do Comitê Termotécnico Italiano. Lombardia Region. Itália, 2000.

Disponível em: <<http://www.cti2000.it/virt/cti2000/headbio.html>> Acesso em Abril 2005.

JANULIS, P. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. Laboratório de Pesquisa em Agroecologia, Instituto de Meio Ambiente, Universidade de Agricultura da Lituânia, Lituânia, 2003.

LOONG, S.G. NAZZEEB, M.; LETCHUMANAN, A. Optimising the use of EFB mulch on oil palms on two different soils. P605-639. in: Proc. Oil Palm Conference – Agriculture. Palm Oil Res. Inst.Malaysia, Kuala Lumpur. Pi-xiv, 1-293. 1987.

MA, F.; HANNA, M. A. Biodiesel production: a review. Bioresour. Technol., 70, 1-15, 1999.

MACEDO I., Greenhouse gas emissions and energy balance for bioethanol production and utilization in Brazil, Biomass and Bioenergy, Vol 14, no 1, 1998.

MACEDÔNIO, a.C; PICCHIONI, S. A. Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária, Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, 1985.

MIRANDA, Ires. Pesquisa revela: Cultivo do dendê em pequena escala preserva ecossistema florestal, 2005.

Disponível em:<<http://www.canalciencia.ibict.br>>. Acesso em janeiro de 2006.

MME. Ministério de Minas e Energia, 2006. Programa Biodiesel - O Combustível Verde. Demeres, D. G; Gomide, R. B. Secretaria de Petróleo e Gás Natural e Combustíveis Renováveis, MME, 2006.

MORAES, J. G. L. Fatores restritivos à expansão do agribusiness do dendê na Bahia. Cruz das Almas - Bahia, Brasil, 2000. 207p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) UFBA. 2000.

MÜLLER, A. A., ALVES, R. M., FURLAN JÚNIOR, J. Potencialidades agrícola econômica e social da dendeicultura no Estado do Pará. In: Conferência Internacional de Integração de Sistemas, 3, 1994, São Paulo. Memórias... São Paulo: IISis/EMBRAPA, 1994. p. 81-97. 1v.

NETO, J.A. A et.al, 2004. Balanço Energético de Ésteres Metílicos e Etilícos de óleo de mamona. I Congresso Brasileiro de Mamona, 2004.

NETO, J A.A.; DUTRA, A.C.; PIRES, M.M.; DA CRUZ, R.S.; et.al. Produção de biodiesel em escala piloto: Parte 3- Aspectos ambientais.2005.

Disponível em:

<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congressso2006/producao/Aspectosambientais34.pdf>

NGAN, M. A., A environmental management for the palm oil industry. Palm oil Development 30, Kuala Lumpur, Malaysian: 1997. P 1-9.

NOGUEIRA, L.A.H.; PIKMAN, Biodiesel: Novas Perspectivas de Sustentabilidade. Conjuntura & Informação, Brasília, n. 19, p. 2-4, ago./out. 2002.

NOGUEIRA, L.A.H. Análise da Utilização de Energia na Produção de Álcool de Cana de Açúcar. Tese de Doutorado, Campinas, 1987.

NUNES, C. O programa de pesquisa e desenvolvimento do dendê na Amazônia. In: Workshop sobre a Cultura do Dendê, 1995, Manaus. Anais...Manaus: EMBRAPA / CPAA, 1996. p. 66-75. 1v.

OKIY, D.A. Chemical and biological characterisation of the by-products of NIFOR oil palm mill. P 434-347 in: Progress and Prospects, Proc 1987. Int. Oil Palm/Palm Oil Conference II. Inst Malaysia, Kuala Lumpur, p i-xviii, 1-488. 1987.

OLIVEIRA, L.B; COSTA, A.O. Biodiesel: uma experiência de desenvolvimento sustentável. IVIG/COPPE/UFRJ. 2001. 14p.

OTA. Green Products by Design: Choices for a Cleaner Environment. Office of Technology Assessment , U.S.A Congress, Washington, DC.1992.

PARENTE, E.J.de S.; SANTOS JUNIOR, J.N., PEREIRA, J.A.B.; PARENTE JUNIOR,E.J.de S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: Tecbio, 2003.68p.

PATYK, A., REINHARDT G.A. Düngemittel - Energie-und Stoffstrombilanzen (Fertilizers - Energy and Material Flow Balances). Verlag Vieweg, Braunschweig - Wiesbaden, 1997.

PATYK, A., REINHARDT, G.A., GÄRTNER, S.O. Internal update of environmental impacts for fertilizers, Heidelberg, 2003.

PERES, J.; FREITAS, E.; GAZZONI, D. Biocombustíveis: Uma oportunidade para o agro-negócio brasileiro. Ano XIV - Nº 1 - Jan./Fev./Mar. 2005 39.  
Disponível em: <<http://www.agronegocios-e.com.br/agr/down/artigos>>.

PIMENTEL, D. Handbook of energy utilization in agriculture. Boca Raton, CRC: Press, 1980.

PRÉ CONSULTANTS, SIMAPRO versão 7, Pré Consultants, Amsterdam, 2006.  
Disponível em [www.pre.nl](http://www.pre.nl), acessado em 20 de Outubro de 2006.

PNPB. Programa Nacional de Uso e Produção do Biodiesel. Objetivos e Diretrizes.  
Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/programa.html#seccoObjetivos>>.  
Acesso em Setembro 2006.

RIBEIRO, F.M. Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil- Usina de Itaipu: primeira aproximação. 2003. 2v. Dissertação (mestrado)- Programa Interunidades de Pós- Graduação em Energia (EP-IF-FEA-IEE). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ROAM, V., BETTS D., TWINING A.; et.al. An Investigation of the Feasibility of Coal-Based Methanol for Application in Transportation Fuel Cell Systems. Final Report submitted to Georgetown University prepared by: Universidade of Florida. Gainesville, Florida, Abril, 2004.

Disponível em [http:// fuelcelbus.gworgetown.edu/methanolfromcoal/finalreport04-2004.pdf](http://fuelcelbus.gworgetown.edu/methanolfromcoal/finalreport04-2004.pdf). Acesso em Abril 2005.

ROCCA, O. CRAI / AGROPALMA / AGROPAR. “Marketing e comercialização da cultura do dendê. In: Workshop sobre a Cultura do Dendê, 1995, Manaus. Anais... Manaus: EMBRAPA / CPAA, 1996. p. 31-36, 1v.

SHEEHAN et. al. An Over.view of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles. s.n.t. p. 14-24. (Relatório NREL/TP 580-24772, Golden EUA), 1998.

SHEEHAN, J., Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M. and Shapouri, HFinal Report: Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus. NREL/SR-580-24089 UC Category 1503. USA, 1998.

SIMAPRO LCA software. Simapro life cycle assesstment software. The data base. Disponível em: <<http://pre.nl/simapro>>. Acessado em 20 de Outubro de 2006.

SOLANO, R. G. Principales subproductos de las plantas extractoras de aceite. In: Mesa Redonda Latino Americana sobre Palma Aceitera, 4, 1986, Valledupar, Colômbia. Memórias. Valledupar: FEDEPALMA / FAO, 1986. p. 161- 169, 1v.

TILLMAN, A.M.; BAUMANN, H., General Description of Life Cycle Assessment Methodology, Chalmers University of Technology, Estocolmo, 1995.

TOH, P.Y.; POON, Y.C.; YEOW, K.H. Bunch ash as a nutrient source in oil palms. P. 135-142. in: Proc. Nat. Workshop on oil palm by-product utilization. Palm Oil Res. Inst. Malaysia, Kuala Lumpur, p i-vii, 1-150. 1983.

TORRES, E. A.; CHIRINOS H. D, Alves C. T.; SANTOS D.C.; CAMELIER ,L. A Biodiesel: o combustível para o novo século1. BAHIA ANÁLISE & DADOS Salvador, v. 16, n. 1, p. 89-95, jun. 2006.

TORRES, E.; SANTOS, D. C.; SOUZA, D. V. D.; PEIXOTO, L.B.; FRANÇA, T. Ensaio de Motores Estacionários do Ciclo Diesel Utilizando Óleo Diesel e Biodiesel(B100). Agrener 2006.

ULBANERE, R. C. Análise dos balanços energético e econômico relativa à produção e perda de grãos de milho no Estado de São Paulo. 1988. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1988.

UPME. Unidad de Planeación Minero Energética, 2006. Los Biocombustibles en Colombia. Documento do Ministério de Minas e Energia, Colômbia, 2006. Disponível em: <<http://www.upme.gov.co>> Acesso em janeiro de 2007.

VIÉGAS, I,J; MÜLLER, A A. A Cultura do Dendezeiro na Amazônica Brasileira. Belém Embrapa Amazônica Oriental/Manaus: Embrapa Amazônica Ocidental. 374p. 2000.

WENZEL, H; HAUSCHILD, M; ALTING, L., Environmental Assessment of Products, 2 vol., Kluwer Academic Press, Copenhagen, 1997.

WOOD, B.J; CORLEY, R.H.V. The energy balances of oil palm cultivation. In: PORIN INTERNATIONAL PALM OIL CONFERENCE, Kuala Lumpur, Malásia, 1991.

WRIGHT, H. J., SEGUR, J. B., CLARK, H. V., COBURA, S. K., LANGDON, E. E., DUPUIS, R. N. A report on ester interchange. Oil Soap, 21, 145-148, 1944.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**INSTITUTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA**  
**ENERGIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel  
obtido a partir do óleo de palma para as  
condições do Brasil e da Colômbia**

Autor: **Rosélis Ester da Costa**

Orientador: **Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora**

Co-Orientador: **Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres**

Vol (2)- Anexos

Itajubá, Maio de 2007

## Lista de Tabela

|  |    |
|--|----|
| Tabela A.1: Dados Gerais das Empresas .....  | 2  |
| Tabela A.2: Quantidades de fertilizantes e produtos químicos .....   | 3  |
| Tabela A.3: Consumos Energéticos da Etapa Agrícola .....   | 5  |
| Tabela A.4: Dados da Maquinaria Agrícola.....  | 5  |
| Tabela A.5 : Uso de Animais para o transporte de frutos .....  | 6  |
| Tabela A.6: Transportes das plântulas, frutos coletados e óleo de palma .....  | 6  |
| Tabela A.7: Dados de origem da água de irrigação, disposição de materiais e material de restos de colheita de frutos. .... | 7  |
| Tabela A.8: Dados Gerais das Empresas .....  | 7  |
| Tabela A.9: Quantidades de produtos gerados no processo de extração do azeite de palma.....                                | 8  |
| Tabela A.10: Consumo de vapor, eletricidade e água no processo de extração do óleo de palma. ....                          | 8  |
| Tabela A 11: Dados da Caldeira .....   | 9  |
| Tabela A12: Dados da Efluente de Saída de Processo .....   | 9  |
| Tabela A.13: Dados da Chaminé .....  | 10 |
| Tabela A.14: Consumo de vapor, eletricidade e água no processo de palmiste.....  | 10 |
| Tabela A.16: Geração de Eletricidade e Consumo de Eletricidade da Rede.....  | 11 |
| Tabela B.1: Quantidades de Nutrientes em 1t de Cacho de Fruta Vazio .....  | 12 |
| Tabela B.2: Composição Química das Cinzas da Queima de Cachos Vazios .....   | 13 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela B.3: Parâmetros dos Efluentes de Saída do Processo.....  | 13 |
| Tabela B.4: Matéria Seca e Fixação de Carbono pelo Dendezeiro .....   | 14 |
| Tabela B.5: Característica Físico-Químicas das Fibras e Cascas.....   | 14 |
| Tabela B.6: Quantidade de Nutrientes contidos nas Cinzas de Cachos de Fruta Fresca.....   | 15 |
| Tabela B.7: Quantidades de Nutrientes em porcentagem contidos em 1 t de Cachos de Fruta Vazio (CFV) .....                               | 15 |
| Tabela B.8: Emissão Atmosférica para 1 Kg de fertilizante Nitrogenado .....   | 15 |
| Tabela B.9: Consumos na Etapa de Viveiro para o Brasil .....  | 16 |
| Tabela B.10: Quantidades de Insumos Agrícolas utilizados para as Regiões Estudadas no Brasil ....                                       | 17 |
| Tabela B.11: Maquinário Agrícola e Consumo de Combustível nas Regiões do Brasil.....  | 18 |
| Tabela B.12: Dados de Transporte na Produção Agrícola para o Brasil.....  | 19 |
| Tabela B.14: Dados Gerais de Processamentos de Cachos de Fruta Fresca (CFF) .....   | 21 |
| Tabela B.15: Balanço de Massa em Porcentagem das Usinas de Extração de Óleo.....  | 21 |
| Tabela B.16: Processamento em toneladas de Óleo Bruto por ano em cada região do Brasil.....   | 22 |
| Tabela B.17: Consumos Energéticos no Processo Industrial para o Brasil.....   | 22 |
| Tabela B.18: Parâmetros de Temperatura, Pressão e Entalpia em Mega-Joule para cada tonelada de óleo cru produzido no processo .....     | 23 |
| Tabela B.19: Energia na Fabricação e Manutenção dos Equipamentos da Usina de Extração de Óleo da empresa A, na Região Sul da Bahia..... | 24 |
| Tabela B.20: Energia na Fabricação e Manutenção dos Equipamentos da Usina de Extração de Óleo da empresa B, na Região Sul da Bahia..... | 25 |
| Tabela B.21: Energia na Fabricação e Manutenção dos Equipamentos da Usina de Extração de Óleo da empresa C, na Região Sul da Bahia..... | 26 |
| Tabela B.22: Consumo Energético Total no Transporte de Frutos a Usina de Processamento do Óleo para o Brasil.....                       | 27 |
| Tabela B.23: Dados Gerais das Empresas Estudadas na Colômbia .....  | 28 |
| Tabela B.24: Consumos de Combustível, Eletricidade e Água para a Produção Agrícola na Colômbia .....                                    | 28 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela B.25: Dados de Insumos Agrícolas Utilizados na Produção Agrícola na Colômbia para a etapa de viveiro .....            | 29 |
| Tabela B.26: Insumos Agrícolas na Cultura da Palma Adulta para a Colômbia .....  | 30 |
| Tabela B.27: Maquinário Agrícola e Consumo de Combustível na Produção Agrícola na Colômbia .....                             | 31 |
| Tabela B.28: Uso de Animais para Transporte de Frutos .....  | 32 |
| Tabela B.29: Consumo Energético para Fabricação e Manutenção de Equipamento Agrícola na Colômbia .....                       | 32 |
| Tabela B.30: Resultado Final dos Consumos Energéticos na Produção Agrícola para a Colômbia.                                  | 33 |
| Tabela B.31: Dados Gerais de Produtividade das Empresas de Processamento de óleo de Palma na Colômbia .....                  | 34 |
| Tabela B.32: Consumo de Vapor e Eletricidade no Processo .....   | 35 |
| Tabela B.33: Dados de Geração de Vapor .....   | 36 |
| Tabela B.34: Parâmetros de Temperatura, Entalpia e Pressão no Processo.....  | 36 |
| Tabela B.35: Dados de Saída de Efluentes Líquidos no Processo .....  | 37 |
| Tabela B.36: Quantidades de Subprodutos Gerados no Processo em porcentagem por cada t de óleo processado .....               | 38 |
| Tabela B.37: Energia na Fabricação e Manutenção dos Equipamentos da Usina de Extração de Óleo da empresa A, da Colômbia..... | 39 |
| Tabela B.38: Energia na Fabricação e Manutenção dos Equipamentos da Usina de Extração de Óleo da empresa B, da Colômbia..... | 40 |
| Tabela B.39: Energia na Fabricação e Manutenção dos Equipamentos da Usina de Extração de Óleo da empresa C, da Colômbia..... | 41 |
| Tabela B.40: Resultado final dos Consumos Energéticos no Processamento de Óleo de Palma na Colômbia .....                    | 42 |
| Tabela B.41: Quantidades de Insumos na Reação de Transesterificação .....  | 43 |
| Tabela B.42: Consumos Energéticos na Produção do Biodiesel (Reação de Transesterificação) ....                               | 43 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela B.43: Resultado Final do Consumo Energético na Cadeia de Produção do Biodiesel para as três Regiões estudadas .....  | 44 |
| Tabela B.44: Resultado dos Consumos Energéticos totais no Processo de Extração do óleo para as três Regiões Estudadas ..... | 44 |
| Tabela B.45: Emissões nas Operações Agrícolas .....   | 45 |
| Tabela B.46: Emissões devido ao transporte de frutos a Usina de Extração de Óleo .....                                      | 46 |
| Tabela C.1: Inventário para Derivados de Petróleo .....   | 50 |
| Tabela C.2: Inventário para a Energia Elétrica .....  | 53 |

## Sumário

|   |    |
|---|----|
| ANEXO A - MODELO DE QUESTIONARIO PROPOSTO APLICADO AS PLANTACOES AGRÍCOLAS, USINAS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO. ....   | 2  |
| ANEXO B - COEFICIENTES ENERGÉTICOS E PARÂMETROS UTILIZADOS DE FORMA GERAL NO ESTUDO E CONSOLIDADO GERAL DE DADOS OBTIDOS PARA OS CONSUMOS ENERGÉTICOS E EMISSOES NO CICLO DE VIDA DO BIODIESEL DE ÓLEO DE PALMA..... | 12 |
| ITEM 1 - COEFICIENTES ENERGÉTICOS E PARÂMETROS UTILIZADOS DE FORMA GERAL NO ESTUDO E CONSOLIDADO GERAL DE DADOS OBTIDOS PARA OS CONSUMOS ENERGÉTICOS E EMISSOES NO CICLO DE VIDA DO BIODIESEL DE ÓLEO DE PALMA.....  | 12 |
| ANEXO B ITEM 2- DADOS DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA PARA AS CONDIOES DO BRASIL.....  | 16 |
| ANEXO B- ITEM 3- DADOS DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE PALMA PARA O BRASIL .....   | 21 |
| ANEXO B - ITEM 4- DADOS DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA PARA A COLÔMBIA .....  | 28 |
| ANEXO. B. DADOS DO PROCESSAMENTO DE ÓLEO PARA A COLÔMBIA  | 34 |
| ANEXO B - CONSUMOS ENERGÉTICOS E EMISSOES NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL DE PALMA.....   | 43 |
| ANEXO C-APRESENTAÇÃO DO INVENTÁRIO PRODUZIDO.....   | 49 |
| Anexo C. INVENTÁRIOS UTILIZADOS NO ESTUDO .....   | 50 |

## ANEXO A

### MODELO DE QUESTIONÁRIO PROPOSTO APLICADO AS PLANTAÇÕES AGRÍCOLAS, USINAS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO.

#### ITEM 1. PRODUÇÃO AGRÍCOLA.

Tabela A.1: Dados Gerais das Empresas

| EMPRESA | Eficiência<br>das<br>sementes | Densidade<br>de<br>plantação | Área de cultivo<br>(ha) |       | nº de Trabalhadores | Nº de<br>horas |
|---------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------|-------|---------------------|----------------|
|         | (%)                           | Palma/ha                     | Viveiro                 | Palma |                     |                |
|         |                               |                              |                         |       |                     |                |

Tabela A.2: Quantidades de fertilizantes e produtos químicos

|   |  |
|---|--|
| <b>FERTILIZANTES</b><br><b>(kg/ha/Ano)</b>              |  |
| Nitrógeno<br>Fósforo<br>Potasio<br>Magnésio             |  |
| <b>PRODUTOS QUÍMICOS</b><br><b>(Kg/Ha/Ano)</b>          |  |
| <b>Herbicidas</b>                                       |  |
| Glifosfato<br>Douad Up<br>Furadan<br>Outro(especificar) |  |
| <b>Inseticidas (l/ha/ano)</b>                           |  |
| Vitavax<br>Kaitar<br>Gevin<br>Lorvan                    |  |
| <b>Fungicida</b><br><b>(kg/ha/Ano)</b>                  |  |
| Gnancoseb<br>Atakill                                    |  |

|   |  |
|---|--|
| <b>CULTURA (PALMA ADULTA)</b>   |  |
| <b>FERTILIZANTES (Kg/Ha/Ano)</b>  |  |
| Nitrógeno<br>Fósforo<br>Potasio<br>Magnésio<br>Boro   |  |
| <b>PRODUTOS QUÍMICOS (Kg/ha/Ano)</b>  |  |
| <b>Herbicidas</b>   |  |
| Glifosfato<br>Alay<br>Furadan<br><b>Inseticidas</b><br>Vitavax<br>Dart<br>Monocrotofos<br>Controle Biológico<br>(kg/ano)<br>Entomopatogenos<br>Orgânicos t/ano<br>Borra<br>Fibras<br><b>Outros:</b> Rampa de<br>Captura |  |

Tabela A.3: Consumos Energéticos da Etapa Agrícola

|  |  |
|--|--|
| ÁGUA (irrigação)<br>(m <sup>3</sup> /ha) |  |
| ELETRICIDADE<br>(kWh/ha)                 |  |
| <b>CULTURA<br/>(PALMA ADULTA)</b>        |  |
| ÁGUA (irrigação)<br>(m <sup>3</sup> /ha) |  |
| ELETRICIDADE<br>(kWh/ha)                 |  |
| CONSUMO DE<br>COMBUSTÍVEL (l/h)          |  |

Tabela A.4: Dados da Maquinaria Agrícola

| EMPRESA | maquinaria agrícola |                  |                                   |                        |                |
|---------|---------------------|------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------|
|         | modelo              | Potencia<br>(cv) | Nº de horas<br>de<br>trabalho/dia | consumo de combustível |                |
|         |                     |                  |                                   | gasolina<br>(l/dia)    | diesel (l/dia) |
|         |                     |                  |                                   |                        |                |

Tabela A.5 : Uso de Animais para o transporte de frutos

| Uso de Tração<br>Animal | Empresa |  |  |
|-------------------------|---------|--|--|
|                         |         |  |  |
| Búfalos                 |         |  |  |
| Burro                   |         |  |  |
| Bois                    |         |  |  |

Tabela A.6: Transportes das plântulas, frutos coletados e óleo de palma

| TRANSPORTE DA PLÂNTULAS - VIVEIRO A PLANTAÇÃO                                 |                 |                 |                           |                              |
|---|-----------------|-----------------|---------------------------|------------------------------|
| EMPRESA   | distancia (Km.) | tipo de veículo | Nº de viagens por veículo | Consumo de Combustível (l/h) |
|   |                 |                 |                           |                              |
|   |                 |                 |                           |                              |
| TRANSPORTE DOS FRUTOS COLETADOS (LOTE DE PLANTIO) AO PONTO DE APOIO           |                 |                 |                           |                              |
| EMPRESA   | Distancia (Km.) | tipo de veículo | Nº de viagens por veículo | Consumo de Combustível       |
|   |                 |                 |                           |                              |
|   |                 |                 |                           |                              |
| TRANSPORTE DOS FRUTOS COLETADOS DA ZONA DE APOIO PLANTA DE BENEFICIO PRIMÁRIO |                 |                 |                           |                              |
| EMPRESA   | distancia (Km.) | tipo de veículo | Nº de viagens por veículo | Consumo de Combustível       |
|   |                 |                 |                           |                              |
|   |                 |                 |                           |                              |
| TRANSPORTE DO ÓLEO BRUTO A PLANTA DE REFINAÇÃO                                |                 |                 |                           |                              |
| EMPRESA   | Distancia (Km.) | Tipo de veículo | Nº de viagens por veículo | Consumo de Combustível       |
|   |                 |                 |                           |                              |

Tabela A.7: Dados de origem da água de irrigação, disposição de materiais e material de restos de colheita de frutos.

| EMPRESA | Origem da água de irrigação | Como se dispõe o material não utilizado (bolsas) | Palmas derrubadas<br>Altura (m) |
|---------|-----------------------------|--|---------------------------------|
|         |                             |  |                                 |

## ITEM 2. EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE PALMA E PALMISTE

Tabela A.8: Dados Gerais das Empresas

| EMPRESA | Produtividade de Frutos (t RFF/ano) | Capacidade de processamento (t RFF/h) | Geração de Eletricidade | Área (m <sup>2</sup> ) |         |
|---------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------|
|         |                                     |                                       |                         | Equipamentos           | Predial |
|         |                                     |                                       |                         |                        |         |

Tabela A.9: Quantidades de produtos gerados no processo de extração do azeite de palma

| <b>INSUMO/SUBPRODUTO</b> | <b>(em % toc processado)</b> |
|--------------------------|------------------------------|
|                          |                              |
| CACHOS VAZIOS            |                              |
| FIBRAS                   |                              |
| CASCAS                   |                              |
| CINZAS                   |                              |
| <b>INSUMO/SUBPRODUTO</b> | <b>(em % toc processado)</b> |
| AMÊNDOA                  |                              |
| TORTA DE PALMISTE        |                              |
| ÓLEO DE PALMISTE         |                              |
| ÁGUA RESIDUAL            |                              |
| BORRA                    |                              |

Tabela A.10: Consumo de vapor, eletricidade e água no processo de extração do óleo de palma.

| <b>EMPRESA</b> | <b>CONSUMO TOTAL DE VAPOR NO PROCESSO (t /t RFF)</b>           | <b>Tempo de Operação (h)</b> | <b>Temperatura (°C)</b> | <b>Pressão (bar)</b> |
|----------------|--|------------------------------|-------------------------|----------------------|
|                |  |                              |                         |                      |
|                | <b>CONSUMO TOTAL DE ELETRICIDADE NO PROCESSO (kWh/t RFF)</b>   |                              |                         |                      |
|                |  |                              |                         |                      |
|                | <b>CONSUMO TOTAL DE ÁGUA NO PROCESSO (M<sup>3</sup>/t RFF)</b> |                              |                         |                      |
|                |  |                              |                         |                      |

Tabela A 11: Dados da Caldeira

| <b>CALDEIRA</b>          | <b>EMPRESAS</b> |
|--------------------------|-----------------|
|                          |                 |
| Vapor Gerado (t vapor/h) |                 |
| Pressão (Psi)            |                 |
| Temperatura(°C)          |                 |
| Eficiência (%)           |                 |

Tabela A12: Dados da Efluente de Saída de Processo

| <b>ÁGUA DE EFLUENTE</b>                              |  |                   |
|--|--|-------------------|
|  | Entrada da lagoa<br>(Efluente de saída<br>do processo) | saída<br>da lagoa |
| Caudal (l/s)   |  |                   |
| DBO (ppm)  |  |                   |
| DQO(ppm)   |  |                   |
| Temperatura  |  |                   |
| Sólidos totais                                       |  |                   |
| Graxas e Azeites                                     |  |                   |
| pH   |  |                   |
| Tempo de Residência (dia)                            |  |                   |
| Volume de água armazenada na lagoa (m <sup>3</sup> ) |  |                   |

Tabela A.13: Dados da Chaminé

| <b>Chaminé</b>       |  |
|----------------------|--|
| Temperatura (°C)     |  |
| Altura (m)           |  |
| <b>Emissões</b>      |  |
| CO <sub>2</sub>      |  |
| Material Particulado |  |
| CO                   |  |
| O <sub>2</sub>       |  |
| NOX                  |  |

Tabela A.14: Consumo de vapor, eletricidade e água no processo de palmiste

| <b>EMPRESA</b> | <b>CONSUMO TOTAL DE VAPOR EN EL PROCESO (t/t RFF)</b>        | <b>Tempo de Operação (h)</b>        | <b>Temperatura (°C)</b>      | <b>Pressão</b> |
|----------------|--|-------------------------------------|------------------------------|----------------|
|                |  |                                     |                              |                |
|                | <b>CONSUMO TOTAL DE ELETRICIDADE NO PROCESO (kWh/t RFF)</b>  | <b>Potencia do Equipamento (cv)</b> | <b>Tempo de Operação (h)</b> |                |
|                | <b>CONSUMO TOTAL DE AGUA NO PROCESO (M<sup>3</sup> /día)</b> |                                     |                              |                |

Tabela A.15: Dados Gerais de produtos utilizados, produção de biogás, eletricidade e produção de metano

| EMPRESA |                               |                         |                                       |                   |                         |                         |                    |
|---------|-------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|
|         | Utilização de subprodutos (%) | Produtos não Utilizados | Destino dos subprodutos no utilizados | Geração de Biogás | Tratamento de efluentes | Geração de Eletricidade | Produção de Metano |
|         |                               |                         |                                       |                   |                         |                         |                    |
|         |                               |                         |                                       |                   |                         |                         |                    |

Tabela A.16: Geração de Eletricidade e Consumo de Eletricidade da Rede

| <b>GERAÇÃO DE ELETRICIDADE E CONSUMO DA REDE</b>     |  |
|--|--|
| Eletricidade gerada                                  |  |
| Tipo de Combustível utilizado                        |  |
| Consumo de Combustível (l/t RFF)                     |  |
| Eletricidade Utilizada da Rede                       |  |
| Porcentual de Utilização da Eletricidade da Rede (%) |  |

## ANEXO B

# CONSOLIDADO GERAL DE DADOS OBTIDOS PARA OS CONSUMOS ENERGÉTICOS E EMISSÕES NO CICLO DE VIDA DO BIODIESEL DE PALMA

## COEFICIENTES ENERGÉTICOS E PARÂMETROS UTILIZADOS DE FORMA GERAL NO ESTUDO

Tabela B.1: Quantidades de Nutrientes em 1t de Cacho de Fruta Vazio

### Balanço de Massa em Kg para 1 ton de Cacho Vazio

|                  |      |
|------------------|------|
| Uréia            | 7    |
| Potássio         | 19,3 |
| Rohas fosfáticas | 2,8  |

Fonte: Basiron e Darus (1996)

Tabela B.2: **Composição Química das Cinzas da Queima de Cachos Vazios****Composição Química em porcentagem (%) das Cinzas da Queima de Cachos Vazios**

|      |        |
|------|--------|
| P2O5 | 2,06   |
| K2O  | 38,63  |
| CaO  | traços |
| MgO  | traços |

Fonte: Solano (1984)

Tabela B.3: **Parâmetros dos Efluentes de Saída do Processo****Características físico-químicas dos efluentes líquido na saída do processo**

| Parâmetro            | Valores Médios (mg/l) |
|----------------------|-----------------------|
| DBO                  | 25000                 |
| DQO                  | 50000                 |
| Sólidos Totais       | 40000                 |
| Sólidos em Suspensão | 18000                 |
| óleos e graxas       | 6000                  |
| Nitrogênio Total     | 750                   |
| Nitrogênio Amoniacal | 35                    |

Fonte: Basiron e Darus (1996)

Tabela B.4: Matéria Seca e Fixação de Carbono pelo Dendezeiro

**Produção Anual de Matéria Seca e fixação de Carbono pelo Dendezeiro**

| <b>Estrutura da Planta</b> | <b>kg de matéria seca/palma/ano</b> | <b>ton de carbono ha/ano</b> |
|----------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Folhas                     | 114,4                               | 6,64                         |
| Tronco                     | 16,2                                | 0,93                         |
| Raízes                     | 3,8                                 | 0,22                         |
| Inflorescências            | 6,4                                 | 0,37                         |
| Cachos                     | 90,8                                | 5,19                         |
| Total                      | 231,6                               | 13,25                        |

Tabela B.5: Característica Físico-Químicas das Fibras e Cascas

**Características físico-químicas das fibras e cascas**

| <b>Parâmetro</b>            | <b>Fibras</b> | <b>Cascas</b> | <b>Oleo de Palma</b> |
|-----------------------------|---------------|---------------|----------------------|
| PCI (MJ/kg)                 | 11,20         | 18,42         | 3,26                 |
| Umidade (%)                 | 30,00         | 22,00         |                      |
| Óleo Residual (base seca %) | 8,00          | 0,00          |                      |

Fonte: Singh et al. (1989)

Tabela B.6: Quantidade de Nutrientes contidos nas Cinzas de Cachos de Fruta Fresca

| <b>fertilizantes</b> | <b>( %) nas cinzas de 1 EFB*</b> |
|----------------------|----------------------------------|
| nitrogênio (N)       | INSIGNIFICANTE                   |
| fósforo (P2O5)       | 3,7                              |
| potássio (K2O)       | 41,4                             |
| magnésio             | 5,8                              |

Fonte: TOH et al. (1983)

Tabela B.7: Quantidades de Nutrientes em porcentagem contidos em 1 t de Cachos de Fruta Vazio (CFV)

| <b>fertilizantes</b> | <b>( %) CFV</b> |
|----------------------|-----------------|
| nitrogênio (N)       | 0,32            |
| fósforo (P2O5)       | 0,09            |
| potássio (K2O)       | 1,16            |
| magnésio             | 0,12            |

Fonte: GURMIT et al (1990), CHAN, K.W, WATSON and LIM K.C. (1981); LOONG et. Al., (1988)

Tabela B.8: Emissão Atmosférica para 1 Kg de fertilizante Nitrogenado

Fator de Emissão para fertilizantes (p/cada Kg de fertilizante nitrogenado)

| Fator de Emissão (kg/kg) | Poluente         |
|--------------------------|------------------|
| 0,0125                   | N <sub>2</sub> O |
| 0,5                      | CO <sub>2</sub>  |

Fonte: ALMEIDA, 2006.

## DADOS DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA PARA AS CONDIÇÕES DO BRASIL

Tabela B.9: Consumos na Etapa de Viveiro para o Brasil

| Etapa de Viveiro |               |                                |                                   |                         |
|------------------|---------------|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| EMPRESA          | Água l/ha/ano | nº horas de irrigações por dia | Consumo de Eletricidade (kWh/mês) | Consumo de Diesel l/mês |
| C-Sul da Bahia   | 1026000       | 8                              | 700                               | -                       |
| A-Sul da Bahia*  | 0             | 0                              | 0                                 | -                       |
| Região Amazônica | 16425         | 8                              | -                                 | 80                      |

\* Utiliza a borra do processo industrial como fertirrigação

Tabela B10: Quantidades de Insumos Agrícolas utilizados para as Regiões Estudadas no Brasil

|                                   | insumos agrícolas- etapa de viveiro                |                  |                | insumos -Palma Adulta   |                  |   |
|-----------------------------------|--|------------------|----------------|---|------------------|---|
| <b>EMPRESA</b>                    | fertilizante kg/ha.ano                             | inseticida kg/ha | herbicida l/ha | fertilizante kg/ha.ano  | inseticida kg/ha | herbicida l/ha                                  |
| <b>C</b><br><b>Sul-Bahia</b>      | 572 (NPK)  | 0                | 3,8            | 0   | 0                | 0   |
| <b>A</b><br><b>Sul-Bahia</b>      | 150 (N)<br>53,2 (P205)<br>120 (K20)                | 0                | 3,8<br>0       |   |                  |   |
| <b>região</b><br><b>Amazônica</b> | 39,6 (N)<br>39,6 (P205)<br>39,6 (K20)<br>27,5 (Mg) | 0                |                | 135 (N)<br>135 (P205)<br>495 (k20)<br>27 (Mg)<br>9 (SO2)<br>9 (CaO) | 1,72<br>acefato  | herbicida g/planta/ano<br>0,01485<br>glifosfato |

Tabela B.11: Maquinário Agrícola e Consumo de Combustível nas Regiões do Brasil

| EMPRESA                    | modelo            | potência (cv) | n de hora de trabalho/ano | consumo de combustível |                   | lubrificantes (l/mês) | n de hora de trabalho/dia | n de trabalhadores        |
|----------------------------|-------------------|---------------|---------------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
|                            |                   |               |                           | gasolina (l/dia)       | diesel (l/há/mês) |                       |                           |                           |
| <b>C</b><br>Sul-Bahia      | 7x Trator M.F 265 | 70            | 2880                      | -                      |                   |                       |                           |                           |
|                            | 3x New Holand     | 270           | 2880                      | -                      |                   |                       |                           |                           |
|                            | Roçadeira         |               | 2880                      | -                      |                   |                       |                           |                           |
|                            | Adubadeira        |               | 2880                      | -                      | 1,60              |                       |                           |                           |
|                            | Moto Yamaha 125   | 125           | 60000                     | 2                      | -                 | 40                    | 8                         | 115                       |
| <b>A</b><br>Sul-Bahia      | modelo            | potência (cv) | n de hora de trabalho/ano | consumo de combustível |                   | lubrificantes (l/mês) | trabalhadores             |                           |
|                            |                   |               |                           | gasolina (l/dia)       | diesel (l/dia)    |                       | n de hora de trabalho/dia | n de trabalhadores        |
|                            | Ford 6610         | 85            | 2880                      | -                      |                   |                       |                           |                           |
|                            | TWH 7610          | 110           | 2880                      | -                      |                   |                       |                           |                           |
|                            | TWH 6630          | 90            | 2880                      | -                      |                   |                       |                           |                           |
|                            | CBT 8610          | 85            | 2880                      | -                      |                   |                       |                           |                           |
|                            | MF 285            | 90            | 2880                      | -                      | 78                |                       |                           |                           |
|                            | Michican Saveiro  | 75            | 2880                      |                        | -                 |                       |                           |                           |
| Moto XL 125                | 125               | 2880          | 26                        | -                      | 50                | 6                     | 110                       |                           |
| <b>região</b><br>Amazônica | modelo            | potência (cv) | n de hora de trabalho/ano | consumo de combustível |                   | lubrificantes (l/ano) | trabalhadores             |                           |
|                            |                   |               |                           | gasolina (l/ano)       | diesel (l/ano)    |                       | n de trabalhadores        | n de hora de trabalho/dia |
|                            | 140 x Trator      | 25            | 2880                      | 4000                   | 1800000           | 90000                 | 3200                      | 8                         |
|                            | 20 x Trator       | 385           | 2880                      |                        |                   |                       |                           |                           |
|                            | 1 onibus          | 45            | 2880                      |                        |                   |                       |                           |                           |
| 10 x caminhão              |                   |               |                           |                        |                   |                       |                           |                           |
| 10 x trator                |                   |               |                           |                        |                   |                       |                           |                           |

Tabela B.12: Dados de Transporte na Produção Agrícola para o Brasil

| <b>Transporte das plântulas - viveiro a plantação</b>               |                 |                   |                           |                              |
|---|-----------------|-------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>Empresa-<br/>Região<br/>Sul da<br/>Bahia</b>                     | Distancia (km.) | Tipo de veículo   | nº de viagens por veículo | Consumo de combustível l/dia |
| <b>A</b>  | 01 a 03 km      | Trator c/ carreta | 5                         | 30                           |
| <b>C</b>  | 01 a 13         | Trator c/ carreta | 3                         | 30                           |
| <b>Transporte dos frutos colhidos a plantação ao ponto de apoio</b> |                 |                   |                           |                              |
| <b>empresa<br/>Região<br/>Sul da<br/>Bahia</b>                      | Distancia (km.) | Tipo de veículo   | nº de viagens por veículo | Consumo de combustível       |
| <b>A</b>  | Média = 0,8     | Burro de carga    | Até 15 por dia / burro    | Não                          |
| <b>C</b>  | Média = 0,8     | Trator 4 x 4      | Até 06 por dia            | 30                           |

**Tabela B.13:** Consumo Energético para os Equipamentos Agrícolas

| <b>Energia Total<br/>MJ/ano</b> | <b>Energia de<br/>Manutenção<br/>MJ/ano</b> | <b>Energia<br/>em MJ/ano</b> | <b>Energia do<br/>Material (MJ)</b> | <b>Peso do<br/>Equipamento<br/>(Kg)</b> | <b>Equipamento</b> |
|---------------------------------|---|------------------------------|-------------------------------------|---|--------------------|
| 44579,472                       | 12736,992                                   | 31842,48                     | 318424,8                            | 4560                                    | Ford 6610          |
| 44579,472                       | 12736,992                                   | 31842,48                     | 318424,8                            | 4560                                    | TWH 7610           |
| 44579,472                       | 12736,992                                   | 31842,48                     | 318424,8                            | 4560                                    | TWH 6630           |
| 44579,472                       | 12736,992                                   | 31842,48                     | 318424,8                            | 4560                                    | CBT 8610           |
| 31137,197                       | 8896,342                                    | 22240,855                    | 222408,55                           | 3185                                    | MF 285             |
| 37217,9934                      | 10633,7124                                  | 26584,281                    | 265842,81                           | 3807                                    | M.F 265            |
| 36954,036                       | 10558,296                                   | 26395,74                     | 263957,4                            | 3780                                    | NEW HOLLAND        |
| 8384,376                        | 2395,536                                    | 5988,84                      | 59888,4                             | 1047                                    | MICHICAN SAVEIRO   |
| 864,864                         | 247,104                                     | 617,76                       | 6177,6                              | 108                                     | MOTO YAMAHA 125    |
| 72537,465                       | 20724,99                                    | 51812,475                    | 518124,75                           | 8250                                    | CAMINHÃO           |

## DADOS DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE PALMA PARA O BRASIL

Tabela B.14: Dados Gerais de Processamentos de Cachos de Fruta Fresca (CFF)

| Empresa                   | PROCESSAMENTO ton cacho/dia |                | Média anual (tonrff/ano) |
|---------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------------|
|                           | NA SAFRA                    | NA ENTRESSAFRA |                          |
| C- Sul da Bahia           | 140                         | 20             | 22.068,28                |
| B- Sul da Bahia           | 150                         | 20             | 26.700,00                |
| A- Sul da Bahia           | 80                          | 20             | 16.200,00                |
| Empresa- Região Amazônica | 320                         | 320            | 115.200,00               |

Tabela B.15: Balanço de Massa em Porcentagem das Usinas de Extração de Óleo

Balanço de Massa em Porcentagem

| Empresa          | bucha | fibras | cascas | óleo bruto | borra | cinzas | óleo de palmiste | torta |
|------------------|-------|--------|--------|------------|-------|--------|------------------|-------|
| C-Sul da Bahia   | 20    | 12     | 5      | 20         | 2     | 1      | 2                | 3     |
| B-sul Bahia      | 17    | 12     | 5      | 20         | 22,5  | 1,5    | 2                | 3     |
| A-Sul da Bahia   | 20    | 12     | 5      | 22         | 2     | 1      | 3                | 3     |
| Região Amazônica | 23    | 12     | 8      | 20         | 2     | 1      | 2                | 3,9   |

Tabela B.16: Processamento em toneladas de Óleo Bruto por ano em cada região do Brasil

| Empresa          | Processamento<br>toc/ano | Processamento<br>ton rff/ano |
|------------------|--------------------------|------------------------------|
| C- Sul d Bahia   | 3.699,18                 | 22.068,28                    |
| B-Sul da Bahia   | 5.340,00                 | 26.700,00                    |
| A- Sul da Bahia  | 3.564,00                 | 16.200,00                    |
| Região Amazônica | 132.000,00               | 660.000,00                   |

Tabela B.17: Consumos Energéticos no Processo Industrial para o Brasil

| EMPRESA          | consumos no processo |                        |                        |
|------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
|                  | vapor (kg/h)         | eletricidade (kwh/ano) | água no processo (l/h) |
| C- Sul d Bahia   | 4000                 | 1.751.401,20           | 4000                   |
| B-Sul da Bahia   | 8                    | 1.152.000,00           | 110                    |
| A- Sul da Bahia  | 2000                 | 1.006.848,00           | 3750                   |
| Região Amazônica | 50160000             | 16500000               | 6000                   |

Tabela B.18: **Parâmetros de Temperatura, Pressão e Entalpia em Mega-Joule para cada tonelada de óleo cru produzido no processo**

| <b>EMPRESA</b>          | <b>Temperatura da Água de Alimentação</b> | <b>Temperatura de Vapor na Saída (° C)</b> | <b>Pressão de Vapor na Saída (kPa)</b> | <b>Entalpia de Vapor de Saída MJ/kg</b> | <b>Entalpia de Entrada MJ/kg</b> |
|-------------------------|---|--|--|---|----------------------------------|
| <b>C- Sul d Bahia</b>   | 60  | 150  | 392,27                                 | 2,753                                   | 0,25113                          |
| <b>B-Sul da Bahia</b>   | 70  | 150  | 980,66                                 | 0,63289                                 | 0,29298                          |
| <b>A- Sul da Bahia</b>  | 70  | 120  | 784,53                                 | 0,50372                                 | 0,29298                          |
| <b>Região Amazônica</b> | 70  | 120  | 784,53                                 | 0,50372                                 | 0,29298                          |

Tabela B.19: Energia na Fabricação e Manutenção dos Equipamentos da Usina de Extração de Óleo da empresa A, na Região Sul da Bahia

**ENERGIA NA FABRICAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS EQUIPAMENTOS**  
**Empresa A - Região Sul da Bahia**

| EQUIPAMENTOS  | PESO (kg) | Energia (MJ) | Energia (MJ/ano) | Energia Manutenção (MJ/ano)              | EnergiaTotal (MJ/ton.óleo bruto) |
|---|-----------|--------------|------------------|--|----------------------------------|
| caldeira Morgan/Eonia                                 | 9.775,00  | 538585,7652  | 21.543,43        | 21.543,43                                | 12,09                            |
| turbina   | 4.080,00  | 162280,368   | 16.228,04        | 6.491,21                                 | 6,37                             |
| esterilizador -trolleys <sup>1</sup>                  | 15.045,00 | 1045640,74   | 41.825,63        | 41.825,63                                | 23,47                            |
| debulhadeira <sup>2</sup>                             | 680,00    | 54378,1584   | 2.175,13         | 2.175,13                                 | 1,22                             |
| rampa por gravidade (15 m <sup>2</sup> ) <sup>1</sup> | 22.500,00 | 1563769,8    | 62.550,79        | 62.550,79                                | 35,10                            |
| elevador <sup>1</sup>                                 | 680,00    | 47260,5984   | 4.726,06         | 1.890,42                                 | 1,86                             |
| rosca transportadora <sup>2</sup>                     | 850,00    | 67972,698    | 6.797,27         | 2.718,91                                 | 2,67                             |
| digestor <sup>1</sup>                                 | 2.890,00  | 200857,5432  | 20.085,75        | 8.034,30                                 | 7,89                             |
| prensas (4 unidades) <sup>3</sup>                     | 8.000,00  | 937843,2     | 93.784,32        | 37.513,73                                | 36,84                            |
| decantador <sup>1</sup>                               | 1.785,00  | 124059,0708  | 12.405,91        | 4.962,36                                 | 4,87                             |
| centrifuga <sup>2</sup>                               | 935,00    | 74769,9678   | 7.477,00         | 2.990,80                                 | 2,94                             |
| transportador -descarregador e ciclones <sup>1</sup>  | 1.700,00  | 118151,496   | 11.815,15        | 4.726,06                                 | 4,64                             |
| tanques de armazenamento <sup>4</sup>                 | 9.860,00  | 685278,6768  | 27.411,15        | 27.411,15                                | 15,38                            |
| estruturas <sup>1</sup>                               | 4.080,00  | 283563,5904  | 28.356,36        | 11.342,54                                | 11,14                            |
|   |           |              |                  | <b>Energia Total (MJ/ton.óleo bruto)</b> | <b>166,49</b>                    |

1 - essencialmente aço estrutural

2- aço inox

3- aço forjado

4- aço carbono laminado

Tabela B.20: Energia na Fabricação e Manutenção dos Equipamentos da Usina de Extração de Óleo da empresa B, na Região Sul da Bahia

Empresa B- Região Sul da Bahia

| EQUIPAMENTOS   | PESO (kg) | Energia (MJ) | Energia (MJ/ano) | Energia Manutenção (MJ/ano) | EnergiaTotal (MJ/ton.óleo bruto) |
|--|-----------|--------------|------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Locomovel  | 80.700,00 | 4446431,842  | 177.857,27       | 177.857,27                  | 66,61                            |
| Gerador Sawyer- 18 hp e 1750 rpm                     | 1.000,00  | 41,868       | 4,19             | 1,67                        | 0,00                             |
| turbina a vapor                                      | 8640      | 343.652,54   | 13.746,10        | 6.491,21                    | 6,31                             |
| esterilizador -trolleys <sup>1</sup>                 | 31.860,00 | 2214298,037  | 88.571,92        | 88.571,92                   | 33,17                            |
| debulhadeira <sup>2</sup>                            | 1.440,00  | 115153,7472  | 11.515,37        | 4.606,15                    | 3,02                             |
| elevador <sup>1</sup>                                | 1.440,00  | 100081,2672  | 10.008,13        | 4.003,25                    | 2,62                             |
| rosca transportadora <sup>2</sup>                    | 1.800,00  | 143942,184   | 14.394,22        | 5.757,69                    | 3,77                             |
| digestor <sup>1</sup>                                | 6.120,00  | 425345,3856  | 42.534,54        | 17.013,82                   | 11,15                            |
| prensas (4 unidades) <sup>3</sup>                    | 8.000,00  | 937843,2     | 93.784,32        | 37.513,73                   | 24,59                            |
| decantador <sup>1</sup>                              | 3.780,00  | 262713,3264  | 26.271,33        | 10.508,53                   | 6,89                             |
| centrifuga <sup>2</sup>                              | 1.980,00  | 158336,4024  | 15.833,64        | 6.333,46                    | 4,15                             |
| transportador -descarregador e ciclones <sup>1</sup> | 3.600,00  | 250203,168   | 25.020,32        | 10.008,13                   | 6,56                             |
| tanques de armazenamento <sup>4</sup>                | 20.880,00 | 1451178,374  | 58.047,13        | 58.047,13                   | 21,74                            |
| estruturas <sup>1</sup>                              | 8.640,00  | 600487,6032  | 60.048,76        | 24.019,50                   | 15,74                            |
| <b>Energia Total (MJ/ton.óleo bruto)</b>             |           |              |                  |                             | <b>206,34</b>                    |

1 - essencialmente aço estrutural

2- aço inox

3- aço forjado

4- aço carbono laminado

Tabela B.21: Energia na Fabricação e Manutenção dos Equipamentos da Usina de Extração de Óleo da empresa C, na Região Sul da Bahia

Empresa C- Região Sul da Bahia

| EQUIPAMENTOS  | PESO (kg) | Energia (MJ) | Energia (MJ/ano) | Energia Manutenção (MJ/ano) | EnergiaTotal (MJ/ton.óleo bruto) |
|---|-----------|--------------|------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| caldeira Arauterm                                     | 40.000,00 | 2.203.931,52 | 88.157,26        | 88.157,26                   | 47,66                            |
| Turbina   | 33600,00  | 1336171,20   | 53446,85         | 53446,85                    | 2,65                             |
| rampa por gravidade (30 m <sup>2</sup> ) <sup>1</sup> | 45.000,00 | 3.127.539,60 | 125.101,58       | 125.101,58                  | 67,64                            |
| esterilizador -cestos (6 unidades) <sup>1</sup>       | 10.000,00 | 695.008,80   | 69.500,88        | 27.800,35                   | 26,30                            |
| debulhadeira <sup>2</sup>                             | 5.000,00  | 1.327.466,81 | 132.746,68       | 53.098,67                   | 50,24                            |
| rosca transportadora <sup>2</sup>                     | 5.000,00  | 399.839,40   | 39.983,94        | 15.993,58                   | 15,13                            |
| digestor <sup>1</sup>                                 | 2.000,00  | 139.001,76   | 5.560,07         | 5.560,07                    | 3,01                             |
| prensa parafuso (10 unidades) <sup>3</sup>            | 10.000,00 | 1.172.304,00 | 46.892,16        | 46.892,16                   | 25,35                            |
| decantador <sup>1</sup>                               | 5.000,00  | 347.504,40   | 34.750,44        | 13.900,18                   | 13,15                            |
| transportador -descarregador e ciclones <sup>1</sup>  | 12.000,00 | 834.010,56   | 83.401,06        | 33.360,42                   | 31,56                            |
| tanques de armazenamento <sup>4</sup>                 | 60.000,00 | 4.798.072,80 | 191.922,91       | 191.922,91                  | 103,77                           |
| estruturas <sup>1</sup>                               | 40.000,00 | 2.780.035,20 | 278.003,52       | 111.201,41                  | 105,21                           |
| trator Caterplillar (1 unidade)                       |           |              |                  |                             |                                  |
| <b>Energia Total (MJ/toc)</b>                         |           |              |                  |                             | <b>491,68</b>                    |

1 - essencialmente aço estrutural  
2- aço inox  
3- aço forjado  
4- aço carbono laminado

Tabela B.22: **Consumo Energético Total no Transporte de Frutos a Usina de Processamento do Óleo para o Brasil**

| Consumo Energético do Transporte de Frutos |                 |                 |                 |                     |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| Transporte dos frutos                      | B- Sul da Bahia | C- Sul da Bahia | A- Sul da Bahia | Região<br>Amazônica |
| consumo(l/ano)                             | 12.700,80       | 11.880,00       | 2.160,00        | 448.000,00          |
| consumo total (MJ/toc)                     | 132,01          | 123,48          | 23,30           | 130,50              |

## Dados da Produção Agrícola para a Colômbia

Tabela B.23: Dados Gerais das Empresas Estudadas na Colômbia

| EMPRESA | Eficiência das sementes (%) | Densidade de Palma/ha | Área de cultivo (ha) |        | nº de Trabalhadores | Nº de horas |
|---------|-----------------------------|-----------------------|----------------------|--------|---------------------|-------------|
|         |                             |                       | Vivero               | Palma  |                     |             |
| A       | 85                          | 145                   | 1100                 | 1200   | 194                 | 8           |
| B       | 95                          | 143                   | 64,1                 | 3435,9 | 494                 | 6           |
| C       | 97                          | 143                   | 130                  | 4675   | 650                 | 8           |

Tabela B.24: Consumos de Combustível, Eletricidade e Água para a Produção Agrícola na Colômbia

| CONSUMOS                                 | EMPRESA |        |        |
|--|---------|--------|--------|
|  | A       | B      | C      |
| <b>VIVERO</b>                            |         |        |        |
| (m <sup>3</sup> /ha)                     | 17,5    | 1944   | 769,23 |
| ELETRICIDADE (kWh/ha)                    | 42,46   | 687,27 | 950    |
| <b>CULTURA (PALMA ADULTA)</b>            |         |        |        |
| AGUA PARA IRRIGAÇÃO (m <sup>3</sup> /ha) | 17,5    | 1944   | -      |
| ELETRICIDADE (kWh/ha)                    | 996     | 687,27 | -      |
| CONSUMO DE COMBUSTIVEL DIESEL (l/h)      | 106,6   | 11,35  | -      |

Tabela B.25: Dados de Insumos Agrícolas Utilizados na Produção Agrícola na Colômbia para a etapa de viveiro

| INSUMOS                            | EMPRESA  |          |          |
|------------------------------------|----------|----------|----------|
|                                    | A        | B        | C        |
| <b>VIVEIRO</b>                     |          |          |          |
| <b>FERTILIZANTES (g/palma/Ano)</b> |          |          |          |
| Nitrógeno                          | 125      | 22,44    | 51,1     |
| Fósforo                            | 111,1    | 41,22    | 16,14    |
| Potasio                            | 166,7    | 64,8     | 30,98    |
| Magnésio                           | 416,66   | 3,6      | 16,14    |
| Boro                               | 0        | 0        | 0        |
|                                    |          |          |          |
| <b>PRODUTOS QUIMICOS</b>           |          |          |          |
| <b>L/Ha/Ano</b>                    | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> |
| <b>Herbicidas</b>                  |          |          |          |
| Glifosfate                         | 3,2      | 0        | 60       |
| Rouad Up                           | 0        | 0        | 20       |
| Furadan                            | 0        | 0        | 4        |
| <b>Inseticidas (L/Ha/ano)</b>      |          |          |          |
| Novacrom                           |          | 3        | 0        |
| Kaitar                             | 0        | 0        | 4        |
| Gevin                              | 10       | 0        | 0        |
| Lorsbam                            | 10       | 0        | 0        |
| <b>Fungicida (kg/ha/Ano)</b>       |          |          |          |
| Gnancoseb                          | 5        | 0        | 0        |
| Atakill                            | 20       | 0        | 0        |
| Vitavax                            | 0        | 3        | 1        |

Tabela B.26: Insumos Agrícolas na Cultura da Palma Adulta para a Colômbia

| <b>CULTURA (PALMA ADULTA)</b>          | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> |
|--|----------|----------|----------|
| <b>FERTILIZANTES (Kg/Ha/Ano)</b>       |          |          |          |
| Nitrogênio                             | 135,00   | 286,00   | 82,02    |
| Fósforo                                | 72,00    |          | 51,16    |
| Potássio                               | 290,00   | 429,00   | 243,21   |
| Magnésio                               | 35,00    | 143,00   | 50,20    |
| Boro                                   | 0,50     | 25,00    | 7,76     |
| <b>PRODUTOS QUIMICOS<br/>Kg/Ha/Ano</b> | <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> |
| <b>Herbicidas</b>                      |          |          |          |
| Glifosfate                             | 0        | 0        | 1,044    |
| Alay                                   | 0        | 0        | 0,839    |
| Furadan                                | 0        | 0        | 0        |
| <b>Inseticidas (kg/Ha/ano)</b>         |          |          |          |
| Vitavax                                | 0        | 0,003    | 0        |
| Dart                                   | 0        | 0        | 0,257    |
| Monocrotofos                           | 0        | 0        | 2,032    |
| <b>Controle Biológico (kg/ano)</b>     |          |          |          |
| Entomopatogenos                        | 226,5    | 0        | 0        |
| <b>Orgânicos (ton/ano)</b>             |          |          |          |
| Raquis                                 | 120000   | 0        | 0        |
| Fibras                                 | 6000     | 0        |          |
| <b>Outros: Rampa de Captura</b>        | -        | sim      | -        |

Tabela B.27: Maquinário Agrícola e Consumo de Combustível na Produção Agrícola na Colômbia

| maquinaria agrícola |                     |               |                         |                        |                |                     |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------|
| EMPRESA             | modelo              | potencia (cv) | nº de horas de trabalho | consumo de combustível |                |                     |
|                     |                     |               |                         | gasolina (l/dia)       | diesel (l/dia) |                     |
| <b>A</b>            |                     |               |                         |                        | total          | <b>l/dia.trator</b> |
| trator              | 7x Ford 6600        | 85            | 8                       | -                      | 181,824        | 30,304              |
| <b>B</b>            |                     |               |                         |                        |                | <b>l/dia.trator</b> |
| trator              | 10x Ford 6600       | 86            | 12                      | -                      | 264,6          | 7                   |
| trator              | 7x Ford 4610        | 85            | 12                      | -                      | 158,76         | 6                   |
|                     |                     |               |                         | <b>soma</b>            | 423,36         |                     |
| <b>C</b>            |                     |               |                         |                        |                | <b>l/ha.ano</b>     |
| trator              | 2 x JohN Deere 5605 | 85            | 8                       | -                      | 15,72          | 7,86                |
| trator              | 9x Zetor            | 85            | 8                       | -                      | 70,76          |                     |
| trator              | 4x J.D 5705         | 85            | 8                       | -                      | 31,45          |                     |
|                     |                     |               |                         | <b>soma</b>            | 117,94         |                     |

Tabela B.28: **Uso de Animais para Transporte de Frutos**

| Uso de Animais | Empresa |   |    |
|----------------|---------|---|----|
|                | A       | B | C  |
| Búfalos        | 45      | 0 | 45 |
| Burro          | 0       | 0 | 0  |
| Bois           | 70      | 0 | 70 |

Tabela B.29: **Consumo Energético para Fabricação e Manutenção de Equipamento Agrícola na Colômbia**

| Energia Total MJ/ano | Energia de Manutenção MJ/ano | Energia em MJ/ano | Energia do Material (MJ) | Peso do Equipo | Equipamento |
|----------------------|------------------------------|-------------------|--------------------------|----------------|-------------|
| 44579,472            | 12736,992                    | 31842,48          | 318424,8                 | 4560           | Ford 6600   |
| 38713,752            | 11061,072                    | 27652,68          | 276526,8                 | 3960           | J.D. 6600   |
| 44579,472            | 12736,992                    | 31842,48          | 318424,8                 | 4560           | Ford 4610   |
| 44579,472            | 12736,992                    | 31842,48          | 318424,8                 | 4560           | J.D.5605    |
| 31137,197            | 8896,342                     | 22240,855         | 222408,55                | 3185           | MF 285      |
| 44579,472            | 12736,992                    | 31842,48          | 318424,8                 | 4560           | J.D 5705    |
| 36954,036            | 10558,296                    | 26395,74          | 263957,4                 | 3780           | Zetor       |
| 72537,465            | 20724,99                     | 51812,475         | 518124,75                | 8250           | CAMINHÃO    |

Tabela B.30: Resultado Final dos Consumos Energéticos na Produção Agrícola para a Colômbia

| CONSUMOS ENERGÉTICOS       | EMPRESA    |          |            |          |            |        |
|----------------------------|------------|----------|------------|----------|------------|--------|
|                            | A          |          | B          |          | C          |        |
|                            | MJ/ha.ano  | MJ/toc   | MJ/ha.ano  | MJ/toc   | MJ/ha.ano  | MJ/toc |
| <b>FERTILIZANTES</b>       |            |          |            |          |            |        |
| NITROGÊNIO                 | 6.172,86   | 1.247,04 | 12.948,26  | 2.456,98 | 3.828,11   | 893,58 |
| FÓSFORO                    | 1.181,90   | 238,77   | 7,71       | 1,46     | 849,14     | 198,21 |
| POTÁSSIO                   | 2.803,25   | 566,31   | 4.126,26   | 782,97   | 2.400,59   | 560,36 |
| MAGNÉSIO                   | 61,63      | 12,45    | 220,96     | 41,93    | 84,03      | 19,61  |
| <b>HERBICIDAS</b>          | 58,94      | 11,91    | 0,00       | 0,00     | 1.470,66   | 343,29 |
| <b>INSETICIDAS</b>         | 277,07     | 55,97    | 42,07      | 7,98     | 438,56     | 102,37 |
| <b>FUNGICIDAS</b>          | 182,12     | 36,79    | 21,85      | 4,15     | 4,86       | 1,13   |
| <b>COMBUSTIVEL</b>         | l/ha.ano   | MJ/toc   | l/ha.ano   | MJ/toc   | l/ha.ano   | MJ/toc |
| gasolina                   | 0,00       | 0,00     | 0,00       | 0,00     | 0,00       | 0,00   |
| diesel                     | 45,46      | 353,09   | 36,96      | 269,70   | 7,86       | 70,57  |
| lubrificantes              | -          | -        | -          | -        | -          | -      |
| <b>TRABALHO HUMANO</b>     | MJ/ha.ano  | MJ/toc   | MJ/ha.ano  | MJ/toc   | MJ/ha.ano  | MJ/toc |
|                            | 727,50     | 146,97   | 646,99     | 122,77   | 625,67     | 146,05 |
| <b>IRRIGAÇÃO</b>           | kWh/ha.ano | MJ/ton   | kWh/ha.ano | MJ/toc   | kWh/ha.ano | MJ/toc |
|                            | 924,48     | 952,50   | 687,27     | 665,10   | 47,50      | 56,55  |
| <b>EQUIPAMENTOS</b>        | MJ/ha.ano  | MJ/toc   | MJ/ano     | MJ/toc   | MJ/ano     | MJ/toc |
| energia total equipamentos | 447,99     | 90,50    | 220,57     | 41,85    | 128,36     | 29,96  |

## DADOS DO PROCESSAMENTO DE ÓLEO PARA A COLÔMBIA

Tabela B.31: Dados Gerais de Produtividade das Empresas de Processamento de óleo de Palma na Colômbia

| EMPRESA | Produtividade de Frutos (ton RFF/ano) | Capacidade de procesamento (ton RFF/h) | Geração de Eletricidade | Área (m <sup>2</sup> ) |           |
|---------|---------------------------------------|--|-------------------------|------------------------|-----------|
|         |                                       |  |                         | Equipamentos           | Predial   |
| A       | 101.323,77                            | 27.66                                  | sim                     | 16.100,00              | 2.300,00  |
| B       | 80.000,00                             | 20                                     | não                     | 16.425,00              | 12.131,00 |
| C       | 154.352,00                            | 28.29                                  | sim                     | 13.000,00              | 3.700,00  |

Tabela B.32: Consumo de Vapor e Eletricidade no Processo

| <b>EMPRESA</b> | <b>Consumo Total de Vapor no Processo (ton /ton RFF)</b>       | <b>Tempo de Operação (h)</b> | <b>Temperatura (°C)</b> | <b>Pressão (bar)</b> |
|----------------|--|------------------------------|-------------------------|----------------------|
| <b>A</b>       | 0,4  | 16                           | 400                     | 20,67                |
| <b>B</b>       | 0,54   | 18                           | 132                     | 3,1                  |
| <b>C</b>       | 0,53   | 18                           | 260                     | 20                   |
| <b>EMPRESA</b> | <b>CONSUMO TOTAL DE ELETRICIDADE NO PROCESO (kWh/t RFF)</b>    |                              |                         |                      |
| <b>A</b>       | 22   |                              |                         |                      |
| <b>B</b>       | 22,7   |                              |                         |                      |
| <b>C</b>       | 15,44  |                              |                         |                      |
|                | <b>CONSUMO TOTAL DE ÁGUA NO PROCESSO (m<sup>3</sup>/t RFF)</b> |                              |                         |                      |
| <b>A</b>       | 1,52   |                              |                         |                      |
| <b>B</b>       | 1,3  |                              |                         |                      |
| <b>C</b>       | 0,8  |                              |                         |                      |

Tabela B.33: **Dados de Geração de Vapor**

| CALDEIRA                 | EMPRESAS |      |     |
|--------------------------|----------|------|-----|
|                          | A        | B    | C   |
| Vapor Gerado (t vapor/h) | 0.74     | 0.60 | 10  |
| Pressão (Psi)            | 300      | 90   | 80  |
| Temperatura(°C)          | 400      | 132  | 155 |
| Eficiencia (%)           | 42       | 42   | 70  |
|                          |          |      |     |

Tabela B.34: Parâmetros de **Temperatura, Entalpia e Pressão no Processo**

| EMPRESA | Temperatura da Água de Alimentação (° C) | Temperatura de Vapor na Saída (° C) | Pressão de Vapor na Saída (kPa) | Entalpia de Vapor de Saída MJ/kg | Entalpia de Entrada MJ/kg |
|---------|--|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| A       | 70,000                                   | 400,000                             | 2068,430                        | 3,246                            | 0,293                     |
| B       | 70,000                                   | 132,000                             | 310,000                         | 2,758                            | 0,293                     |
| C       | 70,000                                   | 260,000                             | 2000,000                        | 2,926                            | 0,293                     |

Tabela B.35: Dados de Saída de Efluentes Líquidos no Processo

| AGUA DE EFLUENTES                                    | EMPRESAS          |                  |                   |                  |
|--|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
|  | B                 |                  | C                 |                  |
|  | entrada da laguna | salida da laguna | entrada da laguna | salida da laguna |
| Caudal (l/s)   | 3.8               | 1.07             | 9.21              | 2.16             |
| DBO (mg/l)   | 19125             | 125              | 9000              | 250              |
| DQO(mg/l)  | 86332             | 266.5            | 24575             | 715              |
| Temperatura  | 68,4              | 31,4             | 43                | 24,2             |
| Sólidos totais                                       | 57000             | 23.3             | 5799.8            | 225              |
| Graxas e Azeites                                     | 1544,3            | 5,7              | 571,8             | 0,9              |
| pH   | 4                 | 6,95             | 2.5               | 7,6              |
| Tempo de Residencia(dia)                             | 44                | 44               | 15                | 15               |
| Volume de agua armazenada na lagoa (m <sup>3</sup> ) | 14700             |                  | 96336             |                  |

Tabela B.36: Quantidades de Subprodutos Gerados no Processo em porcentagem por cada t de óleo processado

| INSUMO/<br>SUBPRODUTO | EMPRESAS        |              |           |
|-----------------------|-----------------|--------------|-----------|
|                       | (% de produção) |              |           |
|                       | B               | A            | C         |
| CACHOS VAZIOS         | 22,3            | 20           | 21,5      |
| FIBRA                 | 13,5            | 15           | 12        |
| CINZAS                | n quantifica    | n quantifica | 5 ton/dia |
| CASCA                 | 12              | 9            | 7         |

Tabela B.37: Energia na Fabricação e Manutenção dos Equipamentos da Usina de Extração de Óleo da empresa A, da Colômbia

| <b>EQUIPAMENTOS</b>                     | <b>PESO (kg)</b> | <b>Energia (MJ)</b> | <b>Energia (MJ/ano)</b> | <b>Energia Manutenção (MJ/ano)</b>       | <b>EnergiaTotal (MJ/ton.óleo bruto)</b> |
|---|------------------|---------------------|-------------------------|--|---|
| caldeira                                | 13.489,50        | 743248,356          | 29.729,93               | 29.729,93                                | 2,96                                    |
| turbina                                 | 5.630,40         | 223946,9078         | 8.957,88                | 8.957,88                                 | 0,89                                    |
| esterilização- vagonetas <sup>1</sup>   | 161.460,00       | 11221612,08         | 448.864,48              | 448.864,48                               | 44,75                                   |
| desfrutador e rampa <sup>2</sup>        | 24.840,00        | 1986402,139         | 198.640,21              | 79.456,09                                | 13,86                                   |
| debulhadeira <sup>1</sup>               | 66.240,00        | 7765341,696         | 776.534,17              | 310.613,67                               | 54,19                                   |
| elevador , repartidor <sup>1</sup>      | 11.040,00        | 0                   | 0,00                    | 0,00                                     | 0,00                                    |
| digestor-prensado <sup>1</sup>          | 46.920,00        | 3260981,29          | 130.439,25              | 130.439,25                               | 13,00                                   |
| clarificador <sup>1</sup>               | 28.980,00        | 2014135,502         | 201.413,55              | 80.565,42                                | 14,06                                   |
| centrifuga <sup>2</sup>                 | 15.180,00        | 1213912,418         | 121.391,24              | 48.556,50                                | 8,47                                    |
| transportador e ventilador <sup>1</sup> | 27.600,00        | 8088,8976           | 808,89                  | 323,56                                   | 0,06                                    |
| Armazenamento <sup>4</sup>              | 160.080,00       | 11125700,87         | 445.028,03              | 445.028,03                               | 44,37                                   |
| estruturas <sup>1</sup>                 | 66.240,00        | 4603738,291         | 460.373,83              | 184.149,53                               | 32,13                                   |
|   |                  |                     |                         | <b>Energia Total (MJ/ton.óleo bruto)</b> | <b>228,73</b>                           |

1 - essencialmente aço estrutural

2- aço inox

3- aço forjado

4- aço carbono laminado

Tabela B.38: Energia na Fabricação e Manutenção dos Equipamentos da Usina de Extração de Óleo da empresa B, da Colômbia

| EQUIPAMENTOS                            | PESO (kg)  | Energia (MJ) | Energia (MJ/ano) | Energia Manutenção (MJ/ano)              | Energia Total (MJ/ton.óleo bruto) |
|---|------------|--------------|------------------|--|-----------------------------------|
| caldeira                                | 9.775,00   | 538585,7652  | 21.543,43        | 21.543,43                                | 2,55                              |
| turbina                                 | 4.080,00   | 162280,368   | 6.491,21         | 6.491,21                                 | 0,77                              |
| esterilização- vagonetas <sup>1</sup>   | 117.000,00 | 8131602,96   | 325.264,12       | 325.264,12                               | 38,57                             |
| desfrutador e rampa <sup>2</sup>        | 18.000,00  | 1439421,84   | 143.942,18       | 57.576,87                                | 11,95                             |
| debulhadeira <sup>1</sup>               | 48.000,00  | 5627059,2    | 562.705,92       | 225.082,37                               | 46,71                             |
| elevador , repartidor <sup>1</sup>      | 8.000,00   | 937843,2     | 93.784,32        | 37.513,73                                | 7,79                              |
| digestor-prensado <sup>1</sup>          | 34.000,00  | 2363029,92   | 236.302,99       | 94.521,20                                | 19,62                             |
| clarificador <sup>1</sup>               | 21.000,00  | 1459518,48   | 145.951,85       | 58.380,74                                | 12,12                             |
| centrifuga <sup>2</sup>                 | 11.000,00  | 879646,68    | 87.964,67        | 35.185,87                                | 7,30                              |
| transportador e ventilador <sup>1</sup> | 20.000,00  | 1390017,6    | 139.001,76       | 55.600,70                                | 11,54                             |
| Armazenamento <sup>4</sup>              | 116.000,00 | 8062102,08   | 322.484,08       | 322.484,08                               | 38,25                             |
| estruturas <sup>1</sup>                 | 48.000,00  | 3336042,24   | 333.604,22       | 133.441,69                               | 27,69                             |
|   |            |              |                  | <b>Energia Total (MJ/ton.óleo bruto)</b> | <b>224,87</b>                     |

1 - essencialmente aço estrutural

2- aço inox

3- aço forjado

4- aço carbono laminado

Tabela B.39: Energia na Fabricação e Manutenção dos Equipamentos da Usina de Extração de Óleo da empresa C, da Colômbia.

| EQUIPAMENTOS                            | PESO (kg)  | Energia (MJ) | Energia (MJ/ano) | Energia Manutenção (MJ/ano)              | EnergiaTotal (MJ/ton.óleo bruto) |
|---|------------|--------------|------------------|--|----------------------------------|
| caldeira                                | 13.782,75  | 759405,9289  | 30.376,24        | 30.376,24                                | 1,93                             |
| turbina                                 | 5.752,80   | 228815,3189  | 9.152,61         | 9.152,61                                 | 0,58                             |
| esterilização- vagonetas <sup>1</sup>   | 164.970,00 | 11465560,17  | 458.622,41       | 458.622,41                               | 29,13                            |
| desfrutador e rampa <sup>2</sup>        | 25.380,00  | 2029584,794  | 202.958,48       | 81.183,39                                | 9,02                             |
| debulhadeira <sup>1</sup>               | 67.680,00  | 4703819,558  | 470.381,96       | 188.152,78                               | 20,91                            |
| elevador , repartidor <sup>1</sup>      | 11.280,00  | 783969,9264  | 78.396,99        | 31.358,80                                | 3,49                             |
| digestor-prensado <sup>1</sup>          | 47.940,00  | 3331872,187  | 333.187,22       | 133.274,89                               | 14,81                            |
| clarificador <sup>1</sup>               | 29.610,00  | 2057921,057  | 205.792,11       | 82.316,84                                | 9,15                             |
| centrifuga <sup>2</sup>                 | 15.510,00  | 1240301,819  | 124.030,18       | 49.612,07                                | 5,51                             |
| transportador e ventilador <sup>1</sup> | 28.200,00  | 1959924,816  | 195.992,48       | 78.396,99                                | 8,71                             |
| Armazenamento <sup>4</sup>              | 163.560,00 | 11367563,93  | 454.702,56       | 454.702,56                               | 28,88                            |
| estruturas <sup>1</sup>                 | 67.680,00  | 4703819,558  | 470.381,96       | 188.152,78                               | 20,91                            |
|   |            |              |                  | <b>Energia Total (MJ/ton.óleo bruto)</b> | <b>153,05</b>                    |

1 - essencialmente aço estrutural

2- aço inox

3- aço forjado

4- aço carbono laminado

Tabela B.40: Resultado final dos Consumos Energéticos no Processamento de Óleo de Palma na Colômbia

| Consumos Energéticos<br>(MJ/kg Biodiesel) | ELETRICIDADE DA REDE | EQUIPAMENTOS | EDIFICAÇÕES | ÁGUA  | VAPOR  | COMBUSTIVEL (Transporte) | TOTAL |
|---|----------------------|--------------|-------------|-------|--------|--------------------------|-------|
| Emresa A                                  | 0,056                | 0,213        | 0,046       | 0,026 | 5,549  | 0,002                    | 0,342 |
| EMresa B                                  | 0,392                | 0,227        | 0,310       | 0,022 | 6,378  | 0,166                    | 0,726 |
| EMresa C                                  | 0,069                | 0,155        | 0,051       | 0,018 | 10,430 | 0,267                    | 0,559 |
| <b>Consumos Médios na Colômbia</b>        | 0,062                | 0,198        | 0,135       | 0,022 | 7,453  | 0,145                    | 0,542 |

## CONSUMOS ENERGÉTICOS E EMISSÕES NA PRODUÇÃO DO BIODIESEL DE PALMA

Tabela B.41: Quantidades de Insumos na Reação de Transesterificação

| <b>Reação de Transesterificação</b>           |          |
|---|----------|
| Metanol (kg/t RME)                            | 109,00   |
| Eletricidade (kWh/t RME)                      | 46,00    |
| RME (ton RME/t óleo refinado)                 | 0,990    |
| Vapor (MJ/ton RME)                            | 1.360,00 |
| Glicerina 80% (t glicerina/ton óleo refinado) | 0,116    |

Fonte: Borken et. al 2006

Tabela B.42: Consumos Energéticos na Produção do Biodiesel (Reação de Transesterificação)

| <b>Consumo Energético na Produção do Biodiesel</b> | <b>MJ/kg biodiesel</b> |
|--|------------------------|
| Metanol  | 4,2619                 |
| Eletricidade                                       | 0,2346                 |
| Vapor  | 1,36                   |
| Glicerina 80% (ton glicerina/ton óleo refinado)    | 2,0938                 |
| <b>TOTAL</b>                                       | <b>5,8565</b>          |

Tabela B.43: **Resultado Final do Consumo Energético na Cadeia de Produção do Biodiesel para as três Regiões estudadas**

| <b>consumo energético total</b> | <b>Brazil -Sul da Bahia</b> | <b>Colômbia</b> | <b>Brasil- Região Amazônica</b> |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------|---------------------------------|
| produção agrícola               | 2,936                       | 3,545           | 4,962                           |
| extração do óleo vegetal        | 2,333                       | 0,885           | 4,927                           |
| processo de transesterificação  | 5,861                       | 5,857           | 5,861                           |

Tabela B.44: **Resultado dos Consumos Energéticos totais no Processo de Extração do óleo para as três Regiões Estudadas**

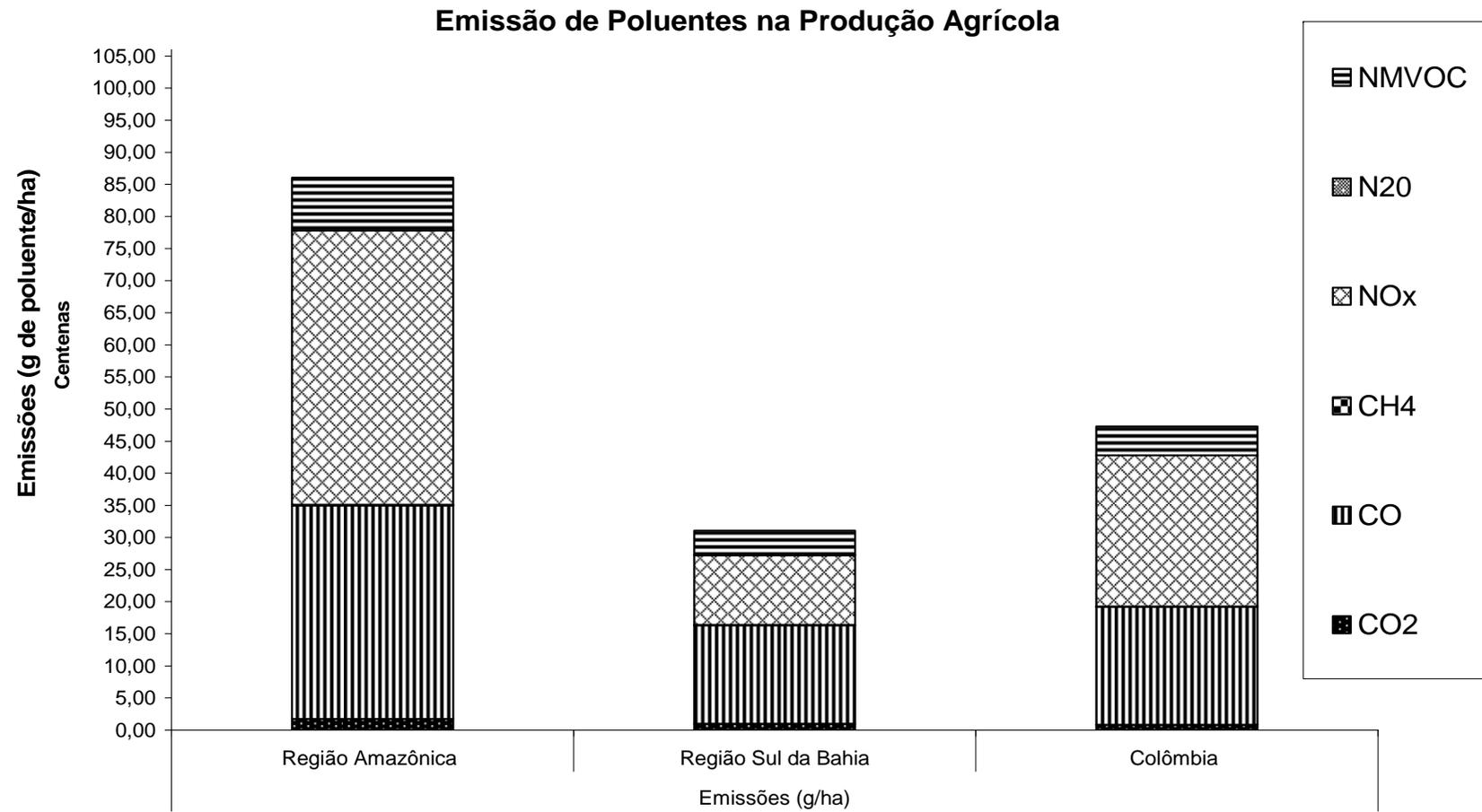
| <b>Consumos Energéticos (MJ/kg Biodiesel)</b> | <b>EDIFICAÇÕES</b> | <b>EQUIPAMENTOS</b> | <b>ELECTRICIDADE DA REDE</b> | <b>VAPOR</b> | <b>COMBUSTIVEL (Transporte)</b> | <b>TOTAL</b> |
|---|--------------------|---------------------|------------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| SUL DA BAHIA                                  | 0,44               | 0,29                | 1,51                         | 5,40         | 0,09                            | 7,73         |
| COLOMBIA                                      | 0,18               | 0,20                | 0,48                         | 6,44         | 0,18                            | 7,32         |
| REGIÃO AMAZONICA                              | 0,65               | 0,50                | 0,66                         | 5,92         | 0,13                            | 4,93         |

Tabela B.45: Emissões nas Operações Agrícolas

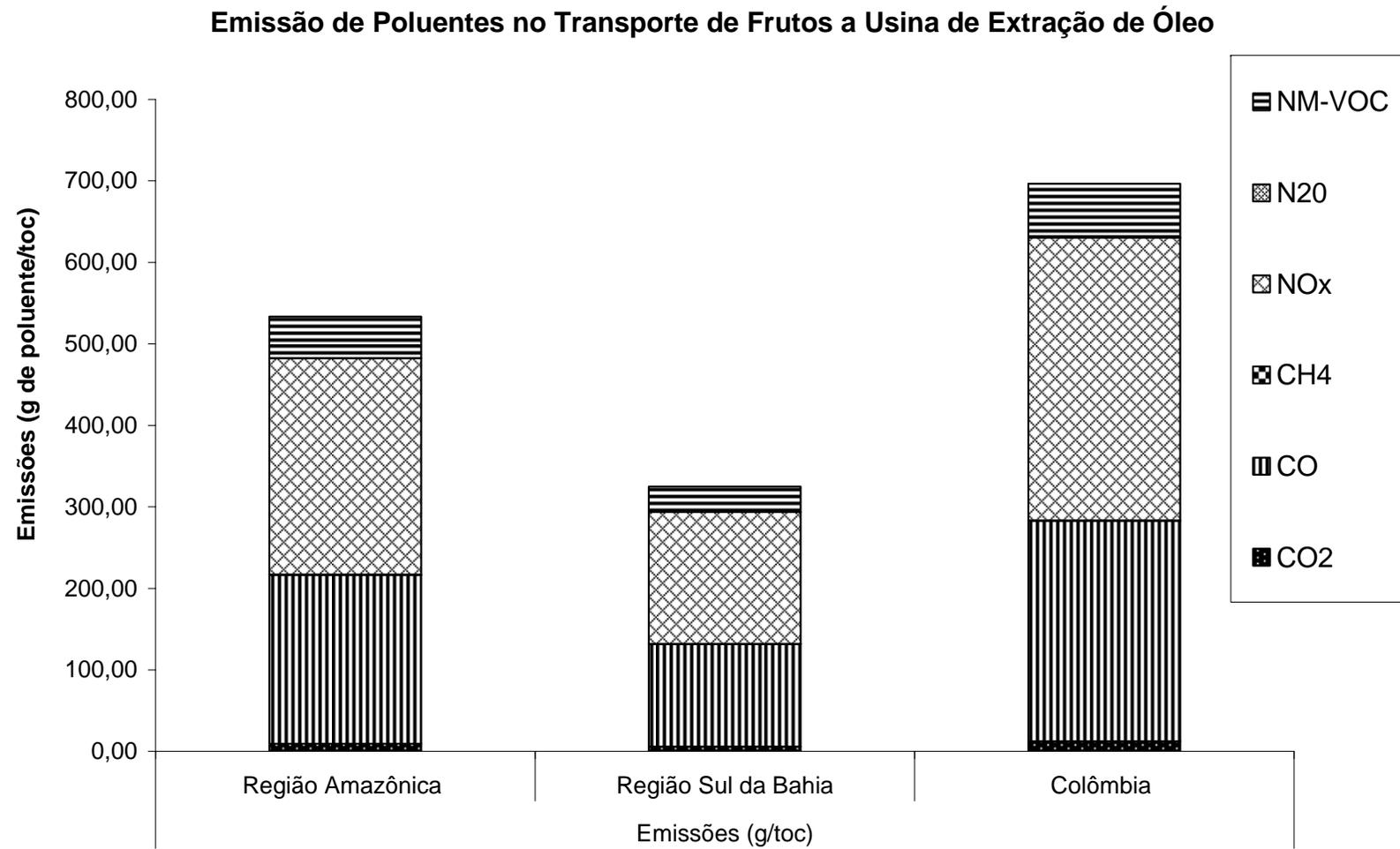
| Poluente | Emissões (g)     |                     |            |
|----------|------------------|---------------------|------------|
|          | Região Amazônica | Região Sul da Bahia | Colômbia   |
| CO2      | 5.690.808,00     | 230.403,42          | 203685,02  |
| CO       | 109.746.000,00   | 3.358.227,60        | 4436825,92 |
| CH4      | 327.600,00       | 10.024,56           | 13244,26   |
| NOx      | 140.850.000,00   | 1.527.607,68        | 5694302,58 |
| N2O      | 52.315,20        | 3.007,46            | 1455,41    |
| NM-VOC   | 26.946.000,00    | 824.547,60          | 1089376,48 |

Tabela B46: Emissões devido ao transporte de frutos a Usina de Extração de Óleo

| Poluente         | Emissões (g/ano) |                     |            |
|------------------|------------------|---------------------|------------|
|                  | Região Amazônica | Região Sul da Bahia | Colômbia   |
| CO <sub>2</sub>  | 1.253.952,00     | 24.949,17           | 305230,95  |
| CO               | 27.314.560,00    | 543.462,19          | 6648778,50 |
| CH <sub>4</sub>  | 81.536,00        | 1.622,28            | 19847,10   |
| NO <sub>x</sub>  | 35.056.000,00    | 697.489,20          | 8533162,50 |
| N <sub>2</sub> O | 8.960,00         | 178,27              | 2181,00    |
| NM-VOC           | 6.706.560,00     | 133.436,59          | 1632478,50 |

**Figura B1:** Gráfico de Emissão de Poluentes na Produção Agrícola em gramas por hectare de plantio

**Figura B.2:** Gráfico de Emissões devido ao Transporte de Frutos a Usina de Extração de Óleo em gramas de poluente por tonelada de óleo cru produzido



## ANEXO C

### **APRESENTAÇÃO DO INVENTÁRIO PRODUZIDO**

## INVENTÁRIOS PRODUZIDOS E UTILIZADOS NO ESTUDO

Tabela C.1: Inventário para Derivados de Petróleo

|                        | Diesel (/kg) | Gasolina (/kg) | unidade |
|------------------------|--------------|----------------|---------|
| Entradas               |              |                |         |
| Energia não específica | 2,19E+00     | 2,49E+00       | MJ      |
| Energia de gás natural | 7,59E-01     | 8,62E-01       | MJ      |
| Energia de diesel      | 7,20E-02     | 8,17E-02       | MJ      |
| Energia de óleos       | 4,98E-02     | 5,65E-02       | MJ      |
| Petróleo               | 1,07E+00     | 1,22E+00       | kg      |
| Gás natural            | 5,12E-02     | 5,82E-02       | kg      |
| Bauxita                | 3,34E-04     | 3,79E-04       | kg      |
| Água                   | 7,31E-03     | 8,29E-03       | kg      |
| carvão                 | 7,63E-05     | 8,66E-05       | kg      |
| Aço                    | 2,09E-07     | 2,38E-07       | kg      |
| Argila                 | 2,09E-07     | 2,38E-07       | kg      |

continu

| Emissões hídricas-saidas      |          |          |    |
|-------------------------------|----------|----------|----|
| HOA                           | 4,90E-08 | 5,56E-08 | kg |
| DBO                           | 3,35E-05 | 3,81E-05 | kg |
| COD                           | 9,17E-06 | 1,04E-05 | kg |
| DQO                           | 3,36E-05 | 3,82E-05 | kg |
| H <sub>2</sub>                | 2,58E-05 | 2,92E-05 | kg |
| Íons metálicos                | 4,17E-06 | 4,74E-06 | kg |
| Petróleo                      | 2,92E-05 | 3,31E-05 | kg |
| C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> | 2,37E-06 | 2,69E-06 | kg |
|                               |          |          |    |
| Cl                            | 2,65E-05 | 3,01E-05 | kg |
| N                             | 9,71E-09 | 1,10E-08 | kg |
| Óleos não específicos         | 2,62E-04 | 2,98E-04 | kg |
| Sulfur                        | 2,85E-08 | 3,24E-08 | kg |
| HC                            | 2,99E-08 | 3,39E-08 | kg |
| COT                           | 9,21E-06 | 1,05E-05 | kg |
| Fenol                         | 7,15E-07 | 8,11E-07 | kg |
| Na                            | 1,70E-05 | 1,93E-05 | kg |
| Resíduos sólidos              |          |          |    |
| Resíduo inerte                | 1,02E-03 | 1,16E-03 | kg |
| Escória                       | 1,11E-05 | 1,26E-05 | kg |
| Emissões não materiais        |          |          |    |
| Uso e ocupação do solo        | 9,78E-06 | 1,11E-05 | kg |
| Saídas                        |          |          |    |
| Emissões atmosféricas         |          |          |    |
| CO <sub>2</sub>               | 1,94E-01 | 2,20E-01 | kg |
| CO                            | 2,52E-04 | 2,86E-04 | kg |
| SO <sub>x</sub>               | 6,13E-05 | 6,96E-05 | kg |

|                               |          |          |    |
|-------------------------------|----------|----------|----|
| NOx                           | 2,89E-03 | 3,28E-03 | kg |
| HCl                           | 7,15E-06 | 8,12E-06 | kg |
| HC                            | 9,93E-05 | 1,13E-04 | kg |
| Metais                        | 1,19E-06 | 1,35E-06 | kg |
| Particulados                  | 1,91E-04 | 2,17E-04 | kg |
|                               |          |          |    |
| SO <sub>2</sub>               | 8,78E-04 | 9,97E-04 | kg |
| Fuligem                       | 1,66E-06 | 1,89E-06 | kg |
| C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> | 1,49E-03 | 1,69E-03 | kg |
| VOC                           | 9,97E-04 | 1,13E-03 | kg |
| CH <sub>4</sub>               | 4,08E-05 | 4,63E-05 | kg |
| NMVOC                         | 3,67E-06 | 4,16E-06 | kg |
| Poeira                        | 1,06E-05 | 1,20E-05 | kg |
| Metil<br>mercaptano           | 1,04E-08 | 1,18E-08 | kg |
| H <sub>2</sub> S              | 2,19E-07 | 2,48E-07 | kg |

Fonte: Adaptada de Simapro PréConsult

Tabela C.2: Inventário para a Energia Elétrica

| Entradas                        |          |    |
|---------------------------------|----------|----|
| Energia de carvão               | 1,70E-02 | MJ |
| Energia de biomassa             | 1,80E-02 | MJ |
| Energia de gás natural          | 4,97E-02 | MJ |
| Energia de combustíveis fósseis | 2,70E-02 | MJ |
| Energia termonuclear            | 3,00E-02 | MJ |
| Energia não específica          | 1,39E-02 | MJ |
| Energia hidrelétrica            | 8,28E-01 | MJ |
| Urânio 1,11 GJ/kg               | 8,16E-05 | kg |
| Biomassa                        | 1,90E-03 | kg |
| Carvão                          | 5,82E-04 | kg |
| Combustíveis fósseis            | 6,47E-04 | kg |
| Gás natural                     | 1,31E-03 | kg |

continua

| Resíduos Sólidos                     |          |                |
|--------------------------------------|----------|----------------|
| Resíduo sólido não inerte            | 9,22E-08 | kg             |
| Resíduo nuclear alta radioatividade  | 5,36E-10 | m <sup>3</sup> |
| Resíduo nuclear baixa radioatividade | 1,32E-10 | m <sup>3</sup> |

Adaptada do SIMAPRO PR´CONSULTS.