RITA DE CÁSSIA MONTEIRO MARZULLO

**“ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA DOS ÓLEOS VEGETAIS
ORIUNDOS DA SOJA E PALMA, VISANDO A PRODUÇÃO DE
BIODIESEL”**

São Paulo

2007

RITA DE CÁSSIA MONTEIRO MARZULLO

**“ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA DOS ÓLEOS
VEGETAIS ORIUNDOS DA SOJA E PALMA, VISANDO
A PRODUÇÃO DE BIODIESEL”**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia**

São Paulo

2007

RITA DE CÁSSIA MONTEIRO MARZULLO

**“ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA DOS ÓLEOS
VEGETAIS ORIUNDOS DA SOJA E PALMA, VISANDO
A PRODUÇÃO DE BIODIESEL”**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia**

**Área de Concentração:
Engenharia Química**

Orientador: Prof. Dr. Gil A. da Silva

**São Paulo
2007**

FICHA CATALOGRÁFICA

Marzullo, Rita de Cássia Monteiro

Análise de ecoeficiência dos óleos vegetais oriundos da soja e palma, visando a produção de biodiesel / R.C.M. Marzullo. -- São Paulo, 2007.

302 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

**1.Biodiesel 2.Avaliação do Ciclo de vida (ACV)
3.Ecoeficiência 4.Óleos vegetais como combustíveis
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia Química II.t.**

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais (in memoriam) que
continuam sempre presentes através de
valores e exemplos de integridade*

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder a força necessária para todas as horas.

Aos meus pais, José e Maria, por me fazerem compreender que amar é estar junto: fisicamente se possível; espiritualmente sempre.

Ao meu orientador, Gil Anderi, pela oportunidade de realização deste trabalho.

A CAPES pela concessão da bolsa de mestrado

A todos da Agropalma, por proporcionarem o enriquecimento da pesquisa, em especial ao Marcelo Brito, pelo incentivo.

A Mirian Zancheta por ter aberto as portas da Fundação Espaço-ECO para a aplicação da ferramenta desenvolvida pela BASF.

A todos da Fundação Espaço-ECO, em especial a Sueli Oliveira e Georgia Cunha, pelo apoio, incentivo e revisão do trabalho.

A todos do GP2, em especial aos amigos Fernanda Vianna, Paulo Ribeiro e Marcelo Viana, pelas incansáveis ajudas em todos os momentos.

Ao Marcelo Almeida (IEE) pelas diversas e valiosas colaborações.

As professoras Patrícia, Idalina e Isabel pelos inúmeros incentivos.

A todos os companheiros do bloco 18 pela inesquecível convivência positiva.

A Maria Lúcia da biblioteca (bloco 19), por toda sua cooperação.

Aos professores Reinaldo, Idalina e Sanches, pelas valiosas contribuições fornecidas durante os seminários e aos professores Simone e Paiva por contribuírem igualmente no meu exame de qualificação.

A família "R" (Rubens, meu marido; Rodrigo e Rafael, meus filhos e Rex, o cão), pela torcida, incentivo e vibrações de alegria. Á família Marzullo, por todo o carinho.

Aos meus irmãos Francisco, Antônio e Geraldo, simplesmente por existirem e acreditarem em mim. Aos meus primos, sobrinhos, tios e antepassados, pela enorme família que formamos, pois uma árvore só se fortalece se suas raízes são fortes.

A Silvia Helena, minha amiga da graduação, por me apontar o caminho.

A todos os meus amigos, por entender e aceitar a minha ausência.

Enfim, a todos que compartilharam, compartilham e compartilharão do meu eterno aprendizado.

EPÍGRAFE

*“Tudo o que acontecer à Terra, acontecerá
aos filhos da terra.
Todas as coisas estão ligadas como o sangue
que une uma família.
Há uma ligação em tudo.
O homem não tramou o tecido da vida; ele é
simplesmente um de seus fios. Tudo o que
fizer ao tecido, fará a si mesmo.”*

Cacique Seattle

RESUMO

O biodiesel é um combustível proveniente de fontes lipídicas renováveis (óleos ou gorduras, vegetais ou animais). Sua obtenção se dá por craqueamento (térmico ou catalítico) ou através das reações de transesterificação ou esterificação.

Pela reação de transesterificação, se tem a reação de um triglicerídeo com um álcool de cadeia curta (etanol ou metanol) resultando na mistura de ésteres etílicos ou metílicos (biodiesel) mais a glicerina. Já na reação de esterificação, se tem a reação de ácidos graxos livres com um álcool, também de cadeia curta, resultando a mistura de ésteres sem a formação do glicerol.

O biodiesel é considerado na atualidade como uma alternativa em potencial para a substituição do diesel de origem fóssil, pois além da semelhança em suas propriedades, este biocombustível reduz a emissão de poluentes emitidos pelos veículos, como SO_x e CO₂.

O Brasil é contemplado internacionalmente como um dos países com maior potencial de produção e exportação de biodiesel, devido à sua grande extensão territorial com excelentes condições de clima para o plantio de diversas fontes oleaginosas. Frente a grande variedade de óleos vegetais que poderão ser utilizados para a produção de biodiesel, faz-se necessária a adoção de alguns critérios para a tomada de decisão sobre a melhor opção de matéria-prima a ser utilizada.

Este trabalho expõe o resultado comparativo da Análise de Ecoeficiência, feita através de uma ferramenta desenvolvida pela BASF, entre duas potenciais matérias primas para biodiesel: óleo de soja e óleo de palma.

Esta análise pondera o desempenho ambiental de forma integrada com o desempenho econômico, a qual seu resultado é apresentado em um gráfico de fácil identificação do produto mais ecoeficiente, segundo os critérios adotados pela ferramenta.

O cálculo do desempenho ambiental é feito através da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), em conjunto com uma avaliação simplificada de riscos de acidentes. Desta forma, a partir dos dados do inventário, são estimados os potenciais impactos provenientes das emissões atmosféricas (EE, DCO, FFO e CA) que são posteriormente agregados às emissões para o solo e água formando uma classe única de “rejeitos”. Assim sendo, as classes analisadas pela ferramenta para a

determinação do desempenho ambiental são: consumo de energia, consumo de recursos naturais, rejeitos, uso da terra, toxicidade humana e potencial de riscos. O cálculo do desempenho econômico é feito através da somatória dos custos durante o ciclo de vida do sistema de produto considerado.

O estudo comparativo considera a quantidade necessária de cada óleo para produzir biodiesel capaz de gerar 40GJ de energia, com as cargas ambientais distribuídas aos subprodutos do sistema, de acordo com critérios econômicos de alocação. A abordagem adotada é do tipo “cradle to gate”, ou seja, do berço ao portão da usina de extração do óleo bruto.

Como resultado, a Matriz de Ecoeficiência aponta o óleo de palma como a alternativa mais favorável quando comparado ao óleo de soja devido ao seu melhor desempenho econômico e melhor desempenho ambiental.

ABSTRACT

The Biodiesel is a fuel proceeding from renewable lipid sources (oils and fats from vegetables or animals).It can be obtained from cracking (thermal or catalytic) or through chemicals reactions (trasterification or esterification). In transesterification, the reaction is between any triglycerides and an alcohol with short chain such as methanol or ethanol, resulting an ester mix (biodiesel) and glycerin. In esterification, the reaction occurs between free fatty acids and an alcohol with short chain as well, resulting biodiesel without glycerol formation.

Now a day, biodiesel is considered as a potential alternative for fossil fuel substitution, because beyond the similarity in its properties, this biofuel reduces pollutants emissions from vehicles such as SO_x and CO₂.

Brazil is internationally contemplated as one of the countries with greater potential to produce and export biodiesel, due to its territorial extension and excellent climate conditions for diverse vegetable lipid agriculture sources .

In front of the great variety os vegetable oils that could be used for biodiesel production, becomes necessary some criteria adoption to decision taking on the better raw material option to be used.

This paper displays a comparative eco-efficiency analysis of two potential raw-material to biodiesel production: palm oil and soybean oil. This analysis was made according to Eco-Efficiency tool developed by BASF.

The Eco-Efficiency analysis compares environmental and economical performance of two or more alternatives, within an integrated way. The results are shown in a simple portfólio where is possible to identificate the better alternative (more ecoefficient than the others).

The environmental approach is based on Life Cycle Assessment methodology (ISO 14040) associated to simplified risks of industrial accidents analysis.

In order to determine an environmental indicator, six classes of impact are analysed: energy consumption, natural material resurces consumption, land use, toxicity potential, acidents risks potential and emissions. Emissions values are initially calculated separately as air, water and soil emissions (waste). The emissions to air include four impact categories as well: Global Warming Potential (GWP),

Ozone Depletion Potential (ODP), Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) and Acidification Potential (AP).

All impact classes are combined through weighting factors and the aggregation results in only one environmental indicator.

The economical approach is based in Life Cycle costs and generates an economical indicator.

This kind of analyse is made to compare products that have the same function, and the functional unity used in this work was biodiesel energy generation of 40 GJ, using palm and soybeam oils as raw-material.

The final result of analysis shows that palm oil is better in both: environmental and economical aspects, resulting in the most ecoefficient alternative.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	i
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	viii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	3
3 JUSTIFICATIVAS.....	3
4 PLANO DE TRABALHO E METODOLOGIA	3
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
5.1 Ecologia Industrial	6
5.2 Ecoeficiência	7
5.2.1 Introdução.....	7
5.2.2 Análise de Ecoeficiência desenvolvida pela empresa BASF.....	16
5.2.2.1 Vertente Ambiental	17
5.2.2.1.1 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	17
5.2.2.1.1.1 Aplicações de estudos de ACV	21
5.2.2.1.1.2 Condução de estudos de ACV.....	24
5.2.2.1.1.2.1 Definição de objetivo e escopo	24
5.2.2.1.1.2.2 Análise do Inventário	26
5.2.2.1.2 Avaliação de Impactos	28
5.2.2.1.2.1 Consumo de Energia	29
5.2.2.1.2.2 Emissões (Rejeitos).....	29
5.2.2.1.2.3 Consumo de materiais	35
5.2.2.1.2.4 Potencial de Toxicidade	36
5.2.2.1.2.5 Uso da terra	37
5.2.2.1.2.6 Avaliação Simplificada do Potencial de Riscos.....	38
5.2.2.1.3 Impressão Ecológica	39
5.2.2.1.4 Determinação do Indicador Ambiental	40
5.2.2.2 Vertente Econômica	40
5.2.2.2.1 Determinação do Indicador Econômico.....	41
5.2.2.3 Matriz de Ecoeficiência.....	41
5.3 Óleos e Gorduras	43
5.3.1 Introdução.....	43
5.3.2 Ácidos Carboxílicos Graxos.....	43
5.4 Óleos e Gorduras Vegetais.....	44
5.4.1 Introdução.....	44
5.4.2 Composição dos Triglicerídeos.....	45
5.4.3 Propriedades Físico-Químicas dos Óleos Vegetais.....	46
5.4.4 Produção Brasileira de Óleos Vegetais	46
5.5 Óleos Vegetais para fins Carburantes	47
5.5.1 Introdução.....	47

5.5.2	Combustíveis Líquidos a partir de Óleos Vegetais	47
5.5.2.1	Óleo Vegetal Natural	47
5.5.2.1.1	Puro	47
5.5.2.1.2	Misturado	48
5.5.2.1.2.1	Óleo Vegetal misturado com Óleo Diesel.....	48
5.5.2.1.2.2	Óleo Vegetal misturado com Óleo Diesel e Etanol.....	49
5.5.2.1.2.3	Etanol misturado ao Óleo Diesel.....	49
5.5.2.2	Óleo Vegetal Processado.....	49
5.5.2.2.1	Craqueamento Térmico	49
5.5.2.2.2	Craqueamento Catalítico	49
5.5.2.2.3	Esterificação de Ácidos Graxos Livres	50
5.5.2.2.4	Transesterificação.....	50
5.5.2.2.4.1	Fatores que influenciam a reação	51
5.6	Extração de Óleos Vegetais.....	52
5.6.1	Introdução.....	52
5.6.2	Processo Mecânico.....	53
5.6.3	Processo Químico.....	53
5.6.3.1	Extração com Fluido Supercrítico	53
5.6.3.2	Extração por Solventes Orgânicos	54
5.7	Biodiesel.....	54
5.7.1	Introdução.....	54
5.7.2	Especificações do Biodiesel	55
5.7.3	Propriedades Físicas e Químicas do Biodiesel.....	56
5.7.4	Oleaginosas para Biodiesel	58
5.7.5	Potencialidades para o Mercado Brasileiro	58
5.8	Soja.....	60
5.8.1	Introdução.....	60
5.8.2	Mercado brasileiro.....	60
5.8.3	Agricultura	61
5.8.3.1	Sistema de Plantio Direto	62
5.8.3.2	Calagem.....	62
5.8.3.2.1	Calcário (Carbonato de Cálcio).....	63
5.8.3.3	Nutrientes	64
5.8.3.4	Pragas e Doenças.....	65
5.8.3.5	Irrigação	66
5.9	Palma.....	66
5.9.1	Introdução.....	66
5.9.2	Mercado brasileiro.....	67
5.9.3	Agricultura	68
5.10	Extração de óleos vegetais para Biodiesel	69
5.10.1	Introdução.....	69
5.10.2	Extração de óleo de soja.....	70
5.10.3	Extração do óleo de palma	72
6	RESULTADOS	74
6.1	Estudos de ACV	74
6.1.1	ACV do Óleo de Soja.....	76
6.1.1.1	Objetivo.....	76
6.1.1.2	Escopo	76
6.1.1.2.1	Definição da Função do Produto.....	76
6.1.1.2.2	Definição da Unidade Funcional.....	76

6.1.1.2.3	Definição do Fluxo de Referência.....	76
6.1.1.2.4	Definição do Sistema de Produto.....	78
6.1.1.2.4.1	Subsistema Agrícola (SSA) da Soja.....	80
6.1.1.2.4.2	Subsistema de Transporte dos Grãos	81
6.1.1.2.4.3	Subsistema: Extração do Óleo Bruto	82
6.1.1.2.5	Definição do Critério de Alocação.....	83
6.1.1.3	Análise do Inventário	83
6.1.1.3.1	Coleta de dados	83
6.1.1.3.2	Inventário do subsistema agrícola da soja.....	84
6.1.1.3.2.1	Inventário do óleo diesel	92
6.1.1.3.2.2	Inventário dos fertilizantes	101
6.1.1.3.2.2.1	Inventário do transporte de fertilizante	106
6.1.1.3.2.3	Inventário das operações mecanizadas.....	113
6.1.1.3.2.4	Inventário do Calcário.....	117
6.1.1.3.2.4.1	Inventário do transporte de Calcário	120
6.1.1.3.2.5	Inventário consolidado do subsistema agrícola sa soja....	122
6.1.1.3.3	Inventário do Subsistema de Transporte	124
6.1.1.3.4	Inventário do subsistema de extração do óleo de soja	129
6.1.1.3.5	Inventário Consolidado	135
6.1.1.4	Tratamento dos Dados.....	137
6.1.1.4.1	Conversão ao Fluxo de Referência.....	137
6.1.1.4.2	Aplicação do fator de alocação	139
6.1.2	ACV do Óleo de Palma.....	142
6.1.2.1	Objetivo.....	142
6.1.2.2	Escopo	142
6.1.2.2.1	Definição da Função do Produto.....	142
6.1.2.2.2	Definição da Unidade Funcional.....	143
6.1.2.2.3	Definição do Fluxo de Referência.....	143
6.1.2.2.4	Definição do Sistema de Produto.....	144
6.1.2.2.4.1	Subsistema Agrícola (SSA) do Dendê	146
6.1.2.2.4.2	Subsistema de Transporte (SST) dos Cachos de Frutos Frescos	148
6.1.2.2.4.3	Subsistema de Extração (SSE) do Óleo Bruto	148
6.1.2.2.5	Definição do Critério de Alocação.....	149
6.1.2.3	Análise do Inventário	149
6.1.2.3.1	Coleta de dados	149
6.1.2.3.2	Inventário do Subsistema Agrícola (SSA) da palma.....	150
6.1.2.3.2.1	Inventário do óleo diesel	153
6.1.2.3.2.2	Inventário dos Fertilizantes	154
6.1.2.3.2.2.1	Inventário do transporte de fertilizantes.....	158
6.1.2.3.2.3	Inventário das operações mecanizadas.....	165
6.1.2.3.2.4	Inventário consolidado do subsistema agrícola da palma	167
6.1.2.3.3	Inventário do Subsistema de Transporte	170
6.1.2.3.4	Inventário do subsistema de extração do óleo de palma	172
6.1.2.3.5	Inventário Consolidado	176
6.1.2.4	Tratamento dos Dados.....	179
6.1.2.4.1	Conversão ao Fluxo de Referência.....	179
6.1.2.4.2	Aplicação do fator de alocação	181
6.2	Análise de Ecoeficiência	184
6.2.1	Vertente Ambiental	184

6.2.1.1	Consumo de recursos energéticos	184
6.2.1.2	Emissões (Rejeitos)	185
6.2.1.2.1	Emissões para o ar	186
6.2.1.2.2	Efluentes Líquidos (emissões para a água)	190
6.2.1.2.3	Resíduos sólidos	192
6.2.1.2.4	Total da categoria <i>rejeitos</i>	194
6.2.1.3	Consumo de material (recursos naturais)	197
6.2.1.4	Potencial de Toxicidade	199
6.2.1.5	Uso da Terra	202
6.2.1.6	Avaliação do potencial de riscos	207
6.2.1.7	Impressão Ecológica	210
6.2.1.8	Cálculo do índice ambiental	211
6.2.2	Vertente econômica	215
6.2.2.1	Avaliação econômica	215
6.2.2.2	Cálculo do índice econômico	217
6.2.3	Matriz de Ecoeficiência	217
7	DISCUSSÃO	219
7.1	Análise crítica do estudo	240
7.1.1	Análise de sensibilidade	241
7.1.2	Avaliação qualitativa da consistência dos dados	246
8	CONCLUSÕES	248
9	SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES	254
10	BIBLIOGRAFIA	257
11	SIGLAS E ABREVIATURAS	273
12	GLOSSÁRIO	274

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 : DIAGRAMA DE ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA	9
FIGURA 2: INDICADORES DE ECOEFICIÊNCIA UTILIZADOS PELA COPESUL.....	10
FIGURA 3 : DIMENSÕES DE UM ESTUDO DE ACV	25
FIGURA 4: EM DESTAQUE, A AGREGAÇÃO DAS CATEGORIAS DE IMPACTO DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	30
FIGURA 5: EXEMPLIFICAÇÃO DA PONDERAÇÃO DOS FATORES DE OPINIÃO.....	32
FIGURA 6: EM DESTAQUE, A AGREGAÇÃO DOS ASPECTOS DE REJEITOS	34
FIGURA 7: EXEMPLIFICAÇÃO DE IMPRESSÃO ECOLÓGICA	39
FIGURA 8: EM DESTAQUE, A AGREGAÇÃO DAS CLASSES AMBIENTAIS EM UM ÚNICO ÍNDICE	40
FIGURA 9: EXEMPLIFICAÇÃO DA MATRIZ DE ECOEFICIÊNCIA	41
FIGURA 10: EXEMPLIFICAÇÃO DE OBTENÇÃO DOS DESVIOS DOS ÍNDICES AMBIENTAIS ..	42
FIGURA 11: FORMA ISOMÉRICA DE TRIGLICERÍDEO COMPOSTO CONTENDO DOIS ÁCIDOS GRAXOS DIFERENTES	46
FIGURA 12: REPRESENTAÇÃO DA REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO ETÍLICA	51
FIGURA 13: POTENCIALIDADES REGIONAIS DE OLEAGINOSAS PARA BIODIESEL	59
FIGURA 14: MERCADO DA SOJA NO BRASIL EM 2005	61
FIGURA 15: MERCADO BRASILEIRO DE ÓLEO DE PALMA EM 2005	68
FIGURA 16: ETAPAS PRODUTIVAS DO ÓLEO DE SOJA PARA OBTENÇÃO DO BIODIESEL...	71
FIGURA 17: ETAPAS PRODUTIVAS DO ÓLEO DE PALMA PARA OBTENÇÃO DO BIODIESEL	72
FIGURA 18 : SISTEMA DE PRODUTO PARA A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE ÓLEOS VEGETAIS VISANDO A PRODUÇÃO DE BIODIESEL	75
FIGURA 19 : DESEMPENHO DO ÓLEO DE SOJA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL CAPAZ DE GERAR 40GJ DE ENERGIA (REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO ETÍLICA).	77
FIGURA 20 : SISTEMA DE PRODUTO PARA A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ÓLEO DE SOJA BRUTO	79
FIGURA 21: SUBSISTEMAS DO SISTEMA DE PRODUTO DO ÓLEO DE SOJA BRUTO	80
FIGURA 22: SUBSISTEMA AGRÍCOLA DE CULTIVO DA SOJA	81
FIGURA 23: SISTEMA DE TRANSPORTE DOS GRÃOS DE SOJA.....	82
FIGURA 24: SISTEMA DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA BRUTO	82
FIGURA 25: DESTINO DOS DEFENSIVOS AGRÍCOLAS APÓS A APLICAÇÃO.....	88
FIGURA 26 : DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS EMPRESAS FABRICANTES DE FERTILIZANTES NO BRASIL	106
FIGURA 27: LOGÍSTICA ADOTADA PARA O TRANSPORTE DE FERTILIZANTES (AGRICULTURA DA SOJA EM MATO-GROSSO)	107
FIGURA 28: DESEMPENHO DO ÓLEO DE PALMA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL CAPAZ DE GERAR 40GJ DE ENERGIA (REAÇÃO DE TRANSESTERIFICAÇÃO ETÍLICA)	144
FIGURA 29: SISTEMA DE PRODUTO PARA A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ÓLEO DE PALMA BRUTO	145
FIGURA 30: SUBSISTEMAS DO SISTEMA DE PRODUTO DO ÓLEO DE PALMA BRUTO	146
FIGURA 31: SISTEMA AGRÍCOLA DE CULTIVO DO DENDZEIRO	147
FIGURA 32: SISTEMA DE TRANSPORTE DE CFF	148
FIGURA 33: SISTEMA DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO BRUTO DE PALMA	148
FIGURA 34: LOGÍSTICA DE TRANSPORTE DE FERTILIZANTES PARA A AGRICULTURA DA PALMA NO PARÁ.....	159
FIGURA 35: IMPRESSÃO ECOLÓGICA.....	211
FIGURA 36: MATRIZ DE ECOEFICIÊNCIA.....	218

FIGURA 37: COMPARATIVO DO CONSUMO DE ENERGIA ENTRE OS SUBSISTEMAS DOS ÓLEOS DE SOJA E PALMA.....	219
FIGURA 38: FONTES DE ENERGIA QUE COMPÕEM O SUBSISTEMA AGRÍCOLA DA PALMA E SOJA	220
FIGURA 39: FONTES DE ENERGIA QUE COMPÕEM O SUBSISTEMA DE TRANSPORTE DE CFF E GRÃOS	220
FIGURA 40: FONTES DE ENERGIA QUE COMPÕEM O SUBSISTEMA DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE SOJA E PALMA.....	221
FIGURA 41: FONTES DE ENERGIA PARA OBTENÇÃO DOS ÓLEOS DE SOJA E PALMA	222
FIGURA 42: EMISSÕES ATMOSFÉRICAS PARA A PRODUÇÃO DOS ÓLEOS DE SOJA E PALMA	223
FIGURA 43: ORIGEM DO CO ₂ EMITIDO NO SUBSISTEMA AGRÍCOLA DA SOJA E PALMA.	223
FIGURA 44: BALANÇO DE CO ₂ PARA A PRODUÇÃO DE ÓLEO DE SOJA E ÓLEO DE PALMA	224
FIGURA 45: POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO PARA O EFEITO ESTUFA.....	225
FIGURA 46: POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO PARA A FORMAÇÃO FOTOQUÍMICA DE OZÔNIO.....	226
FIGURA 47: POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO PARA A CHUVA ÁCIDA	227
FIGURA 48: OBTENÇÃO DO FATOR TOTAL DE PONDERAÇÃO PARA AGREGAÇÃO DAS CATEGORIAS DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS.....	227
FIGURA 49: COMPARATIVO ENTRE OS VALORES NORMALIZADOS DA CLASSE “EMISSÕES ATMOSFÉRICAS”	228
FIGURA 50: COMPARAÇÃO DO VOLUME CRÍTICO PARA A PRODUÇÃO DOS ÓLEOS DE SOJA E PALMA	229
FIGURA 51: COMPARAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA A PRODUÇÃO DOS ÓLEOS DE SOJA E PALMA.....	230
FIGURA 52: OBTENÇÃO DO FATOR TOTAL DE PONDERAÇÃO PARA AGREGAÇÃO DAS CATEGORIAS DE REJEITOS.....	231
FIGURA 53: COMPARATIVO ENTRE OS VALORES NORMALIZADOS DA CLASSE “REJEITOS”	231
FIGURA 54: COMPARAÇÃO DO USO DE RECURSOS NATURAIS	232
FIGURA 55: COMPARAÇÃO DO POTENCIAL DE TOXICIDADE.....	233
FIGURA 56: COMPARAÇÃO DO POTENCIAL DE RISCOS DE ACIDENTES	233
FIGURA 57: COMPARAÇÃO DO USO DA TERRA PARA A OBTENÇÃO DOS ÓLEOS DE SOJA E PALMA.....	234
FIGURA 58: EVOLUÇÃO DO USO DA TERRA PARA AGRICULTURA DA SOJA NO BRASIL	235
FIGURA 59: BIOMAS BRASILEIROS (IBAMA, 2007).....	236
FIGURA 60: MUNICÍPIOS PRODUTORES DE SOJA NO BRASIL (WWF-BRASIL,2003)....	237
FIGURA 61: ÁREAS PROPÍCIAS PARA A PRODUÇÃO DE ÓLEO DE PALMA (AGROPALMA,2006)	238
FIGURA 62: OBTENÇÃO DO FATOR TOTAL DE PONDERAÇÃO PARA AGREGAÇÃO DAS CLASSES DE IMPACTO E CÁLCULO DO INDICADOR AMBIENTAL	239
FIGURA 63: AVALIAÇÃO ECONÔMICA COMPARATIVA	240
FIGURA 64: CONCLUSÃO SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA EXTERNA PARA OBTENÇÃO DE ÓLEO DE SOJA E PALMA	248
FIGURA 65: CONCLUSÃO SOBRE O POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO PARA A REDUÇÃO DO EFEITO ESTUFA	249
FIGURA 66: CONCLUSÃO SOBRE O POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO PARA A FORMAÇÃO FOTOQUÍMICA DE OZÔNIO.....	249

FIGURA 67: CONCLUSÃO SOBRE O POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO PARA A FORMAÇÃO DE CHUVA ÁCIDA	250
FIGURA 68: DETERMINAÇÃO DA CONFIANÇA NOS RESULTADOS OBTIDOS	251
FIGURA 69: IMPRESSÃO ECOLÓGICA EM CENÁRIO DE RECICLAGEM DO EFLUENTE LÍQUIDO DA INDÚSTRIA DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE PALMA (UTILIZAÇÃO DO EFLUENTE PARA IRRIGAÇÃO)	252
FIGURA 70: MATRIZ DE ECOEFICIÊNCIA EM CENÁRIO DE RECICLAGEM DO EFLUENTE LÍQUIDO DA INDÚSTRIA DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE PALMA (UTILIZAÇÃO DO EFLUENTE PARA IRRIGAÇÃO)	253
FIGURA 71: DETERMINAÇÃO DA CONFIANÇA NOS RESULTADOS OBTIDOS EM CENÁRIO DE RECICLAGEM DO EFLUENTE LÍQUIDO DA INDÚSTRIA DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE PALMA (UTILIZAÇÃO DO EFLUENTE PARA IRRIGAÇÃO).....	254

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: TIPOS DE ESTUDOS DE ACV	20
TABELA 2: EXEMPLO DE FORMULÁRIO PARA OBTENÇÃO DE DADOS PRIMÁRIOS	28
TABELA 3: FATORES DE EQUIVALÊNCIA PARA EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	30
TABELA 4: CÁLCULO DOS FATORES DE RELEVÂNCIA	31
TABELA 5: FATOR DE PONDERAÇÃO PARA AS CATEGORIAS DE EMISSÕES PARA O AR ...	32
TABELA 6: FATORES DE PONDERAÇÃO PARA O VOLUME CRÍTICO	33
TABELA 7: FATOR DE PONDERAÇÃO CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS	35
TABELA 8: FATORES DE PONDERAÇÃO PARA POTENCIAL DE TOXICIDADE.....	37
TABELA 9: FATOR DE PONDERAÇÃO PARA O USO DA ÁREA.....	38
TABELA 10: ÁCIDOS GRAXOS SATURADOS MAIS COMUNS	44
TABELA 11: ÁCIDOS GRAXOS INSATURADOS MAIS COMUNS	44
TABELA 12- COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS ÁCIDOS GRAXOS NOS ÓLEOS DE SOJA E PALMA.	45
TABELA 13: PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ÓLEOS VEGETAIS	47
TABELA 14: OLEAGINOSAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL.	58
TABELA 15: CONSUMO APARENTE DE DIESEL NO BRASIL (ANP, 2006B)	59
TABELA 16: OCUPAÇÃO DE TERRA NO BRASIL (MAPA, 2004)	60
TABELA 17: REATIVIDADE DO CALCÁRIO	64
TABELA 18: PRODUTIVIDADE DO DENDEZEIRO.....	69
TABELA 19: ESPECIFICAÇÃO DE ÓLEOS VEGETAIS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL ...	70
TABELA 20: ABORDAGEM DOS QUESTIONÁRIOS PARA COLETA DE DADOS SOBRE O CICLO DE VIDA DO ÓLEO DE SOJA	84
TABELA 21: INVENTÁRIO DAS ENTRADAS NECESSÁRIAS PARA A PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE GRÃOS DE SOJA.....	85
TABELA 22: DEFENSIVOS AGRÍCOLAS CONSIDERADOS NESTE ESTUDO PARA A CULTURA DA SOJA	89
TABELA 23: INGREDIENTES ATIVOS DOS DEFENSIVOS CONSIDERADOS PARA O CULTIVO DA SOJA	89
TABELA 24: CONSUMO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS PARA A PRODUÇÃO DE 1 T DE SOJA	90
TABELA 25: INVENTÁRIO PARCIAL DO SUBSISTEMA AGRÍCOLA PARA A PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE SOJA	91
TABELA 26: INVENTÁRIO DO PETRÓLEO PARA A PRODUÇÃO DE 1 KG DE ÓLEO DIESEL .	93
TABELA 27: INVENTÁRIO DOS ASPECTOS ASSOCIADOS AO TRANSPORTE DE PETRÓLEO IMPORTADO	94
TABELA 28: INVENTÁRIO DO TRANSPORTE DE PETRÓLEO IMPORTADO	95
TABELA 29: INVENTÁRIO DA ETAPA DE REFINO DO PETRÓLEO	96
TABELA 30: INVENTÁRIO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	97
TABELA 31: INVENTÁRIO CONSOLIDADO DO REFINO DE 2,68 KG DE PETRÓLEO	98
TABELA 32: FATORES DE ALOCAÇÃO PARA OS DERIVADOS DE PETRÓLEO	99
TABELA 33: INVENTÁRIO PARA A PRODUÇÃO DE 1 KG DE ÓLEO DIESEL.....	100
TABELA 34: INDICAÇÕES DE ADUBAÇÃO FOSFATADA	101
TABELA 35: ASPECTOS ASSOCIADOS À PRODUÇÃO DOS FERTILIZANTES PARA A PRODUÇÃO DE 1 T SOJA.....	102
TABELA 36: FATORES DE EMISSÃO PARA A QUEIMA DE 1KG DE DIESEL	104
TABELA 37: INVENTÁRIO DOS FERTILIZANTES UTILIZADOS PARA A PRODUÇÃO DE 1 T DE SOJA	105
TABELA 38: DEZ MAIORES MUNICÍPIOS PRODUTORES DE SOJA NO BRASIL	106

TABELA 39: DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE OS FORNECEDORES DE NUTRIENTES E FORMULADOR NPK	107
TABELA 40: DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE O FORMULADOR NPK E OS MUNICÍPIOS COM AGRICULTURA DE SOJA NO MATO-GROSSO-MT.....	107
TABELA 41: INVENTÁRIO DO TRANSPORTE DE NUTRIENTES ATÉ O MISTURADOR NPK	108
TABELA 42: INVENTÁRIO CONSOLIDADO DE TRANSPORTE DOS NUTRIENTES NECESSÁRIOS PARA A PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE SOJA.....	109
TABELA 43: INVENTÁRIO DO TRANSPORTE DA FORMULAÇÃO NPK NECESSÁRIA PARA A PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE SOJA	110
TABELA 44: INVENTÁRIO CONSOLIDADO DE TRANSPORTE DA FORMULAÇÃO NPK NECESSÁRIA PARA A PRODUÇÃO DE 1 T DE SOJA	111
TABELA 45: INVENTÁRIO DO TRANSPORTE DE FERTILIZANTES NECESSÁRIOS PARA O CULTIVO DE 1 TONELADA DE SOJA.....	113
TABELA 46: CONSUMO DE DIESEL EM KG/HA PARA CADA OPERAÇÃO MECANIZADA DO CULTIVO DE SOJA.....	114
TABELA 47: CONSUMO DE DIESEL PARA A PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE SOJA	114
TABELA 48: EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DAS OPERAÇÕES MECANIZADAS PARA A PRODUÇÃO DE 1 T DE SOJA.....	115
TABELA 49: INVENTÁRIO DAS OPERAÇÕES MECANIZADAS PARA A PRODUÇÃO DE 1 T DE SOJA	116
TABELA 50: INVENTÁRIO PARCIAL PARA A PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE CALCÁRIO	117
TABELA 51: INVENTÁRIO DO CALCÁRIO NECESSÁRIO PARA A PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE GRÃOS DE SOJA.....	119
TABELA 52: DISTÂNCIAS PERCORRIDAS PARA TRANSPORTE DE CALCÁRIO	120
TABELA 53: INVENTÁRIO DO TRANSPORTE DE CALCÁRIO NECESSÁRIO PARA A PRODUÇÃO DE 1 T DE SOJA.....	120
TABELA 54: INVENTÁRIO CONSOLIDADO DO TRANSPORTE DE CALCÁRIO NECESSÁRIO PARA A PRODUÇÃO DE 1 T DE SOJA	122
TABELA 55: INVENTÁRIO CONSOLIDADO DO SSA DA SOJA PARA A PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE GRÃOS	124
TABELA 56: PRODUÇÃO E CAPACIDADE DE ESMAGAMENTO DA SOJA POR REGIÃO DO BRASIL	125
TABELA 57 : EMPRESAS ESMAGADORAS DE SOJA NA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL....	126
TABELA 58: DISTÂNCIA ENTRE OS MAIORES MUNICÍPIOS PRODUTORES DE GRÃOS E MUNICÍPIOS QUE POSSUEM UNIDADES DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO NO MATO-GROSSO	126
TABELA 59: INVENTÁRIO PARCIAL DO TRANSPORTE DE GRÃOS DE SOJA.....	127
TABELA 60: INVENTÁRIO CONSOLIDADO DO SUBSISTEMA DE TRANSPORTE DOS GRÃOS DE SOJA	129
TABELA 61: INVENTÁRIO PARA PROCESSAMENTO DE 1 TONELADA DE SOJA.....	131
TABELA 62: INVENTÁRIO PARCIAL PARA PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE ÓLEO DE SOJA	132
TABELA 63: INVENTÁRIO PARA A PRODUÇÃO DE 1 KG DE HEXANO	133
TABELA 64: FATORES DE EMISSÃO PARA QUEIMA DE CAVACOS	133
TABELA 65: INVENTÁRIO DO SSE DA SOJA PARA A OBTENÇÃO DE 1 TONELADA DE ÓLEO BRUTO DE SOJA.....	134
TABELA 66: INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A OBTENÇÃO DE 1 TONELADA DE ÓLEO DE SOJA	137
TABELA 67: INVENTÁRIO DO ÓLEO DE SOJA CONVERTIDO AO FLUXO DE REFERÊNCIA	139

TABELA 68: FATORES DE ALOCAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUTO DO ÓLEO DE SOJA ..	140
TABELA 69: INVENTÁRIO DO ÓLEO DE SOJA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL CAPAZ DE GERAR 40GJ DE ENERGIA	142
TABELA 70: ABORDAGEM DOS QUESTIONÁRIOS PARA COLETA DE DADOS SOBRE O CICLO DE VIDA DO ÓLEO DE PALMA	149
TABELA 71: INVENTÁRIO DE ENTRADAS DO SUBSISTEMA AGRÍCOLA DA PALMA	150
TABELA 72: MATÉRIA SECA DO DENDEZEIRO NAS CONDIÇÕES DE MOJU-PA	151
TABELA 73: CONSUMO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS PARA A PRODUÇÃO DE 1 T DE CFF	152
TABELA 74: INVENTÁRIO PARCIAL DO SUBSISTEMA AGRÍCOLA PARA A PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE CFF.....	153
TABELA 75: ASPECTOS ASSOCIADOS À PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES PARA A PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE CFF.....	155
TABELA 76: INVENTÁRIO DOS FERTILIZANTES UTILIZADOS PARA A PRODUÇÃO DE 1 T DE CFF.....	158
TABELA 77: DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE OS FORNECEDORES DE NUTRIENTES E FORMULADOR NPK.....	159
TABELA 78: DISTÂNCIAS PERCORRIDAS ENTRE O FORMULADOR NPK E OS MUNICÍPIOS COM AGRICULTURA DE PALMA NO PARÁ	159
TABELA 79: INVENTÁRIO DO TRANSPORTE DE NUTRIENTES DA PALMA ATÉ O MISTURADOR NPK	160
TABELA 80: INVENTÁRIO CONSOLIDADO DE TRANSPORTE DOS NUTRIENTES NECESSÁRIOS PARA A PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE CFF	161
TABELA 81: INVENTÁRIO DO TRANSPORTE DA FORMULAÇÃO NPK NECESSÁRIA PARA A PRODUÇÃO DE 1 T DE CFF	162
TABELA 82: INVENTÁRIO CONSOLIDADO DE TRANSPORTE DA FORMULAÇÃO NPK NECESSÁRIA PARA A PRODUÇÃO DE 1 T DE CFF	163
TABELA 83: INVENTÁRIO DO TRANSPORTE DE FERTILIZANTES NECESSÁRIOS PARA O CULTIVO DE 1 TONELADA DE CFF	165
TABELA 84: INVENTÁRIO DA OPERAÇÃO DE CARREAMENTO PARA A PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE CFF.....	167
TABELA 85: INVENTÁRIO CONSOLIDADO DO SUBSISTEMA AGRÍCOLA DA PALMA	169
TABELA 86: INVENTÁRIO PARCIAL DO TRANSPORTE DE CFF.....	170
TABELA 87: INVENTÁRIO CONSOLIDADO DO SUBSISTEMA DE TRANSPORTE DE CFF ...	172
TABELA 88: INVENTÁRIO PARCIAL PARA PRODUÇÃO DE 1 TONELADA DE ÓLEO DE PALMA.....	173
TABELA 89: EMISSÕES DA QUEIMA DE FIBRAS E CASCAS DO DENDÊ	174
TABELA 90: INVENTÁRIO DO SSE DA PALMA A EXTRAÇÃO DE 1 TONELADA DE ÓLEO BRUTO DE PALMA	176
TABELA 91: INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO DE 1 T DE ÓLEO DE PALMA	178
TABELA 92: INVENTÁRIO DA PRODUÇÃO DE ÓLEO DE PALMA CONVERTIDO AO FLUXO DE REFERÊNCIA	181
TABELA 93: FATORES DE ALOCAÇÃO DO SISTEMA DE PRODUTO DO ÓLEO DE PALMA	182
TABELA 94: INVENTÁRIO DO ÓLEO DE PALMA PARA PRODUZIR BIODIESEL CAPAZ DE GERAR 40 GJ DE ENERGIA	184
TABELA 95: UTILIZAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS (EM MASSA).....	185
TABELA 96: UTILIZAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS (EM MJ).....	185

TABELA 97: NORMALIZAÇÃO DA CATEGORIA “CONSUMO DE RECURSOS ENERGÉTICOS”	185
TABELA 98: FATORES DE AGREGAÇÃO PARA EMISSÕES ATMOSFÉRICAS SEGUNDO AEE	186
TABELA 99: EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR UNIDADE FUNCIONAL	187
TABELA 100: POTENCIAIS IMPACTOS DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	187
TABELA 101: NORMALIZAÇÃO DOS POTENCIAIS IMPACTOS DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	188
TABELA 102: FATORES DE OPINIÃO DAS CATEGORIAS DE IMPACTO REFERENTES A EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	188
TABELA 103: IMPACTOS AMBIENTAIS PROVENIENTES DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS ANUAIS NO BRASIL	189
TABELA 104: FATORES DE RELEVÂNCIA DAS CATEGORIAS DE IMPACTO REFERENTES AS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	189
TABELA 105: FATOR DE PONDERAÇÃO PARA AS CATEGORIAS DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	189
TABELA 106: NORMALIZAÇÃO DA CATEGORIA “EMISSÕES ATMOSFÉRICAS”	190
TABELA 107: FATORES DE CONVERSÃO PARA EFLUENTES LÍQUIDOS SEGUNDO AEE	191
TABELA 108: EMISSÕES PARA A ÁGUA POR UNIDADE FUNCIONAL	192
TABELA 109: NORMALIZAÇÃO DA CATEGORIA “EFLUENTES LÍQUIDOS”	192
TABELA 110: FATORES DE CONVERSÃO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS SEGUNDO A AEE	193
TABELA 111: CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS QUANTIFICADOS NO INVENTÁRIO	193
TABELA 112: RESÍDUOS SÓLIDOS POR UNIDADE FUNCIONAL	194
TABELA 113: NORMALIZAÇÃO DA CATEGORIA “RESÍDUOS SÓLIDOS”	194
TABELA 114: RESUMO DAS CATEGORIAS CONTIDAS EM “REJEITOS”	194
TABELA 115: EFLUENTES LÍQUIDOS E RESÍDUOS SÓLIDOS EMITIDOS ANUALMENTE NO BRASIL	195
TABELA 116: RELEVÂNCIA DAS CATEGORIAS <i>EFLUENTES LÍQUIDOS</i> E <i>RESÍDUOS SÓLIDOS</i>	195
TABELA 117: CÁLCULO DA RELEVÂNCIA DA CATEGORIA <i>EMISSÕES ATMOSFÉRICAS</i>	196
TABELA 118: CÁLCULO DO FATOR DE RELEVÂNCIA DAS TRÊS CATEGORIAS CONTIDAS EM <i>REJEITOS</i>	196
TABELA 119: FATORES DE OPINIÃO DAS CATEGORIAS DE IMPACTO REFERENTES A REJEITOS	196
TABELA 120: FATOR DE PONDERAÇÃO PARA AS CATEGORIAS DE REJEITOS	197
TABELA 121: NORMALIZAÇÃO DA CATEGORIA “REJEITOS”	197
TABELA 122: RECURSOS NATURAIS POR UNIDADE FUNCIONAL PARA A PRODUÇÃO DOS ÓLEOS DE SOJA E PALMA	198
TABELA 123: FATOR DE PONDERAÇÃO PARA A CATEGORIA DE <i>UTILIZAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS</i>	198
TABELA 124: NORMALIZAÇÃO DA CATEGORIA CONSUMO DE MATERIAL (RECURSOS NATURAIS)	199
TABELA 125: PONTUAÇÃO DE TOXICIDADE DOS PRODUTOS CONSIDERADOS NOS SISTEMAS DE PRODUTO	199
TABELA 126: HIPÓTESE ADOTADA PARA PONTUAÇÃO TOXICOLÓGICA DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NA AEE	200
TABELA 127: PONTUAÇÃO TOXICOLÓGICA SOBRE O USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS	200
TABELA 128: FLUXOS CONSIDERADOS PARA A PRODUÇÃO DE 1 KG DE ÓLEO DE SOJA E 1 KG DE ÓLEO DE PALMA	201

TABELA 129: CONSUMO MATERIAIS PARA PRODUZIR ÓLEO DE SOJA E ÓLEO DE PALMA QUE SERÃO UTILIZADOS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL CAPAZ DE GERAR 40 GJ DE ENERGIA	201
TABELA 130: NORMALIZAÇÃO DA CATEGORIA “POTENCIAL DE TOXICIDADE”	202
TABELA 131: USO DA TERRA DE PRODUTOS E SERVIÇOS CONSIDERADOS POR ESTE ESTUDO	202
TABELA 132: ÁREAS OCUPADAS PARA A PRODUÇÃO DE 1 KG DE ÓLEO DE SOJA E 1 KG DE ÓLEO DE PALMA.....	203
TABELA 133: FLUXOS PARA A PRODUÇÃO DE 1 KG DE ÓLEO DE SOJA E 1 KG DE ÓLEO DE PALMA.....	205
TABELA 134: ÁREA TOTAL PARA A PRODUÇÃO DE 1 KG DE ÓLEO DE SOJA E 1 KG DE ÓLEO DE PALMA.....	206
TABELA 135: USO DA TERRA PARA PRODUZIR MATÉRIAS-PRIMAS DE BIODIESEL CAPAZ DE GERAR 40 GJ DE ENERGIA	206
TABELA 136: NORMALIZAÇÃO DA CLASSE DE IMPACTO “USO DA TERRA”	206
TABELA 137: QUANTIDADE DE ACIDENTES DO TRABALHO REGISTRADOS EM 2003....	207
TABELA 138: QUANTIDADE DE ACIDENTES REGISTRADOS EM 2005	207
TABELA 139: ESTIMATIVA DA OCORRÊNCIA DE ACIDENTES	208
TABELA 140: ESTIMATIVA DA OCORRÊNCIA DE ACIDENTES POR UNIDADE FUNCIONAL	208
TABELA 141: SEVERIDADE DOS ACIDENTES NO CULTIVO DA PALMA	208
TABELA 142: SEVERIDADE DOS ACIDENTES NA EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE PALMA	209
TABELA 143: NÍVEL DE SEVERIDADE DOS RISCOS DE ACIDENTES	209
TABELA 144: NORMALIZAÇÃO DA CLASSE POTENCIAL DE RISCOS DE ACIDENTES	210
TABELA 145: RESUMO DAS CLASSES DE IMPACTO NORMALIZADAS.....	210
TABELA 146: FATORES DE OPINIÃO SOCIAL PARA AS CLASSES DE IMPACTO ANALISADAS PELA FERRAMENTA DE AEE	211
TABELA 147: VALOR TOTAL ANUAL DE USO DA TERRA, CONSUMO DE RECURSOS MATERIAIS E ENERGÉTICOS NO BRASIL	212
TABELA 148: VALOR DE USO DA TERRA, CONSUMO DE RECURSOS MATERIAIS E ENERGÉTICOS POR UNIDADE FUNCIONAL	212
TABELA 149: RELEVÂNCIA DO USO DA TERRA, CONSUMO DE RECURSOS MATERIAIS E ENERGÉTICOS.	212
TABELA 150: CÁLCULO DA RELEVÂNCIA DA CLASSE <i>TOTAL DE REJEITOS</i>	213
TABELA 151: CÁLCULO DOS FATORES DE RELEVÂNCIA.....	213
TABELA 152: CÁLCULO DOS FATORES DE PONDERAÇÃO	214
TABELA 153: FATORES DE PONDERAÇÃO PARA O CÁLCULO DO ÍNDICE AMBIENTAL...	214
TABELA 154: CÁLCULO DO ÍNDICE AMBIENTAL	214
TABELA 155: NORMALIZAÇÃO DOS ÍNDICES ECONÔMICOS	217
TABELA 156: RESUMO SOBRE OS ÍNDICES AMBIENTAIS E ECONÔMICOS DAS DUAS ALTERNATIVAS.....	217
TABELA 157: SISTEMA DE COORDENADAS PARA A CONSTRUÇÃO DA MATRIZ DE ECOEFICIÊNCIA	218
TABELA 158 : FATORES DE OPINIÃO (MÁXIMOS E MÍNIMOS) PARA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	241
TABELA 159: RESULTADO DA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARA FATORES DE OPINIÃO MÁXIMOS E MÍNIMOS	242
TABELA 160: SIMULAÇÃO DA VARIAÇÃO DO FATOR DE OPINIÃO SOBRE A CLASSE POTENCIAL DE RISCOS	242

TABELA 161: ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA VARIAÇÃO DO FATOR DE OPINIÃO PARA A CLASSE POTENCIAL DE RISCOS.....	243
TABELA 162: SIMULAÇÃO DA VARIAÇÃO DO FATOR DE OPINIÃO SOBRE A CLASSE REJEITOS.....	244
TABELA 163: ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA VARIAÇÃO DO FATOR DE OPINIÃO PARA A CLASSE REJEITOS	245
TABELA 164: AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA CONSISTÊNCIA DOS DADOS	247

INTRODUÇÃO

Vivemos em um planeta com transformações progressivas em todo o seu processo evolutivo, onde a presença da espécie humana se destaca frente à grandiosidade de sua capacidade criativa e inventiva, transformando e alocando os recursos naturais oferecidos em uma enorme cadeia produtiva que movimenta a economia dos países em torno de um suposto bem estar para a própria espécie.

Os seres humanos, geradores de atividades modificadoras do meio ambiente, vivem em um processo de acelerada urbanização, na qual podemos observar o aumento da quantidade de pessoas vivendo e trabalhando nas cidades. Este fenômeno demanda maiores deslocamentos, ora de pessoas, ora de bens de consumo, com a utilização de diferentes meios de transporte, que desempenham um papel fundamental dentro do contexto ambiental, visto que suas emissões são prejudiciais ao bem-estar do homem.

Com a concentração da maioria da população em determinadas regiões, torna-se cada vez mais agravante a tendência de piora da qualidade do ar nos centros urbanos, o que proporciona significativos danos à saúde humana em períodos de estagnação atmosférica, influenciados tanto por fatores qualitativos e quantitativos da fonte de emissão, como também pelos fatores climáticos e topográficos que determinam uma maior ou menor diluição dos poluentes.

Freitas et al (2004) realizou estudos com a finalidade de investigar efeitos de curto prazo da poluição atmosférica na morbidade respiratória de menores de 15 anos e na mortalidade de idosos, encontrando real associação entre variações de curto prazo dos poluentes atmosféricos e incremento na morbidade e mortalidade nos grandes centros urbanos.

As emissões atmosféricas, provenientes da queima de combustíveis fósseis são igualmente um problema de peso para a saúde do equilíbrio de nosso planeta.

Em termos mundiais, o efeito estufa se destaca como o principal problema para o meio ambiente, devido ao aumento da concentração de determinados gases na atmosfera que geram o aquecimento global. O impacto ambiental causado pelos derivados do petróleo aumenta com a concentração de gás carbônico na atmosfera, comprovando a necessidade de busca de substituição dos combustíveis fósseis.

Por outro lado, o crescente consumo de petróleo no mundo vem exaurindo as reservas existentes para a obtenção dos combustíveis fósseis: carvão mineral, petróleo e demais

fósseis, que levam eras geológicas para se formarem, tornando a busca por alternativas renováveis cada vez mais presentes.

A utilização de óleos vegetais para fins carburantes é cogitada desde a invenção dos motores de ciclo diesel, pois as propriedades dos óleos vegetais são muito semelhantes às do óleo diesel. Tecnicamente, os óleos vegetais podem ser utilizados como combustíveis na forma "in natura" ou modificados por processos físicos e químicos.

Uma das formas de se utilizar óleos vegetais para fins carburantes é através do biodiesel, uma mistura de ésteres obtida basicamente na reação de transesterificação entre um triglicerídeo (óleos de origem vegetal ou animal) e um álcool de cadeia curta, podendo desta forma ser classificado como um combustível proveniente de fontes renováveis e potencial substituto para o diesel do petróleo.

A preocupação com a questão ambiental, dentro de um contexto de desenvolvimento sustentável, fez com que a análise dos principais impactos negativos causados pela ação do homem esteja cada dia mais presente em atitudes pró-ativas de prevenção da poluição e desenvolvimento de tecnologias limpas.

Dentro deste cenário, em 1998 surge no Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, o Grupo de Prevenção da Poluição (GP2) que sob a coordenação do Prof. Dr. Gil Anderi da Silva, possui como principal linha de pesquisa a abordagem da problemática ambiental de forma preventiva através da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Frente à crescente preocupação mundial focada em uma busca por alternativas ao petróleo e com a possibilidade do biodiesel ser um potencial substituto do diesel, o GP2, em 2003, tomou a iniciativa de planejar um estudo sobre o desempenho ambiental do Biodiesel em todo o seu ciclo de vida. Em 2004, após uma parceria do Grupo com a BASF, indústria multinacional do setor químico, adicionou-se ao projeto a vertente econômica, ficando o mesmo intitulado de “Avaliação Econômico - Ambiental do Biodiesel”. A parceria entre a BASF e o GP2 deve-se ao fato de que a avaliação do desempenho ambiental utilizada pela ferramenta de Análise de Ecoeficiência desenvolvida pela BASF é alicerçada na técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Este trabalho de dissertação de mestrado visa apresentar, através do uso da ferramenta de Análise de Ecoeficiência desenvolvida pela BASF, o resultado de um estudo comparativo do desempenho econômico-ambiental de dois tipos de matéria-prima para a produção de biodiesel: óleo de soja e óleo de palma, contribuindo desta forma para o processo de tomada de decisão sobre a escolha de uma matéria-prima mais ecoeficiente.

OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é estudar comparativamente, por meio da ferramenta de Análise de Ecoeficiência desenvolvida pela empresa BASF, o desempenho ambiental de forma integrada com o desempenho econômico dos óleos de soja e palma (dendê), matérias-primas para a produção de biodiesel. Espera-se desta forma contribuir para o processo de tomada de decisão, entre as duas opções estudadas, sobre a escolha da matéria-prima mais ecoeficiente para a produção deste potencial combustível proveniente de fontes renováveis.

Este trabalho tem por objetivo específico contribuir para o Projeto de Avaliação econômico - ambiental do biodiesel em andamento pelo Grupo de Prevenção da Poluição (GP2), Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

JUSTIFICATIVAS

De acordo com MCT (2002a), ficou instituído o Programa Brasileiro de Desenvolvimento Tecnológico de Biodiesel (PROBIODIESEL) com o intuito de promover o desenvolvimento científico e tecnológico de biodiesel a partir de ésteres etílicos de óleos vegetais puros e/ou residuais. Além disso, de acordo com a LEI 11097 (2005) ficou promulgado que a partir de 2013 será obrigatória a adição de 5% de biodiesel ao diesel convencional. Assim sendo, a principal justificativa para a elaboração deste trabalho consiste na atual ausência de estudos que abordem critérios ambientais no processo de decisão sobre a escolha da melhor matéria-prima para a produção do biodiesel.

PLANO DE TRABALHO E METODOLOGIA

O Plano de Trabalho para a realização desta dissertação de mestrado é o instrumento que descreve as atividades que foram desenvolvidas durante o período que correspondeu ao cumprimento do programa de pós-graduação. Desta forma, as principais atividades foram: revisão bibliográfica, estudos de ACV, avaliação econômica, avaliação de riscos e aplicação da ferramenta de Análise de Ecoeficiência.

Para atingir o objetivo deste trabalho, foram identificados os aspectos ambientais e econômicos associados à produção dos óleos brutos de soja e palma (dendê), para a posterior

aplicação da ferramenta de Análise de Ecoeficiência desenvolvida pela empresa BASF. A metodologia desta ferramenta é descrita na revisão bibliográfica.

Embora o biodiesel seja um combustível de forte apelo social, este aspecto não será abordado neste trabalho devido à falta de indicadores sociais disponíveis para o estudo de sustentabilidade.

A revisão bibliográfica, detalhada no capítulo 5, compreende a primeira etapa para a elaboração deste trabalho, abrangendo a busca pelo conhecimento sobre o tema abordado. Buscou-se desta forma, instrução por meio de literatura sobre o termo “Ecoeficiência” com destaque na aquisição de conhecimentos a respeito da ferramenta de Análise de Ecoeficiência da BASF, ponto de convergência desta dissertação de mestrado. Esta ferramenta utiliza a técnica de elaboração de Inventários do Ciclo de Vida (ICV) dentro do contexto de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para a determinação do desempenho ambiental de produtos, portanto tratou-se igualmente de se conhecer os métodos de aplicação desta técnica.

De maneira similar, pesquisou-se sobre óleos e gorduras vegetais, que possuem diferentes composições, estruturas e propriedades que variam de acordo com a oleaginosa. Em seguida, pesquisou-se o histórico de utilização de óleos vegetais para fins carburantes em seus diferentes estados (puro ou transformado). Dentre os processos utilizados para a transformação de óleos vegetais em combustíveis, foi dada uma maior ênfase ao processo de transesterificação por se tratar da rota de produção de biodiesel considerada para este estudo.

Por intermédio de empresas fornecedoras de tecnologia para a produção de biodiesel, foi possível identificar o tipo e especificação das matérias-primas, adotando-se para este estudo a matéria-prima “óleo vegetal” em seu estado bruto ao considerar que a unidade produtora de biodiesel possua as unidades de tratamento do óleo antes das unidades de transesterificação, uma vez que esta é uma decisão do empreendedor. Esta hipótese segue as diretrizes do Plano Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB, 2003) sugeridas pelo governo federal, uma vez que este plano está alicerçado em projetos de inclusão social, no qual o próprio empreendedor rural poderá extrair o óleo vegetal bruto e fornecer ao produtor de biodiesel. Mesmo tendo-se consciência de que as extrações dos óleos de palma e soja necessitem de unidades industriais de grande porte, o produtor de biodiesel teria uma unidade padrão para o recebimento do óleo vegetal bruto proveniente de diversas fontes oleaginosas.

Buscou-se por meio de literatura e entrevistas com pessoas relacionadas à área, o conhecimento sobre o processo de extração de óleos vegetais em escala industrial, com a identificação das principais peculiaridades de cada oleaginosa, assim como as características necessárias ao óleo para a obtenção do biodiesel.

Dentre as oleaginosas susceptíveis de serem utilizadas no processo de obtenção do biodiesel, elegeu-se a soja e palma para serem objeto de estudo por representarem juntas mais de 90% da produção de óleos vegetais no Brasil (OIL WORLD ANNUAL, 2005), estarem entre as matérias-primas mais promissoras para produção de biodiesel (NAE, 2005), além de pertencerem a classes distintas (leguminosa e fruto úmido respectivamente) e se tratar de diferentes tipos de cultura (anual e perene respectivamente), cujas características proporcionam diferentes etapas de processamento na hora da produção do óleo bruto. Em seguida, efetuou-se uma análise sobre o estado da arte da soja e palma no Brasil, envolvendo o conhecimento das peculiaridades agrícolas de cada cultura.

A atividade de execução dos Inventários do Ciclo de Vida (ICV) dos óleos de soja e palma, apresentada no capítulo 6 a título de resultados, consiste na segunda etapa deste estudo, sendo também considerada a etapa mais trabalhosa. Estes inventários auxiliam na determinação do desempenho ambiental dos citados produtos e consequente geração de um índice ambiental pela ferramenta comparativa de Análise de Ecoeficiência.

A técnica utilizada para a execução dos ICV é abordada, em parte, segundo os requisitos estabelecidos nas normas ABNT NBR ISO 14040 e 14041, pois somente serão seguidos os requisitos necessários para a execução do estudo comparativo pela ferramenta da BASF. A dinâmica desta técnica, segundo as citadas normas, compreende basicamente em estabelecer: definição de objetivo, escopo e análise de inventário respectivamente. A norma ABNT NBR ISO 14042 diz respeito à avaliação de impacto do ciclo de vida, na qual ocorre a classificação dos aspectos obtidos no inventário em diferentes categorias de impacto. Porém, nesta fase do estudo houve a adaptação à ferramenta de Análise de Ecoeficiência. A título de diferenciação com a terminologia adotada em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), onde é usado o termo “categoria de impacto”, adotou-se o termo “classe” para os parâmetros ambientais analisados pela ferramenta. Desta forma, foram consideradas seis “classes” de impacto: consumo de recursos materiais; consumo de recursos energéticos; rejeitos (emissões para terra, água e ar); uso da Terra (Área); potencial de toxicidade e potencial de riscos.

Seguindo-se as diretrizes traçadas pelo objetivo previamente estabelecido, o escopo do estudo de ACV, em termos de aspectos ambientais, compreendeu na identificação das entradas e saídas de matéria e energia em determinados elos da cadeia produtiva definidos pela fronteira do sistema de produto de cada óleo vegetal.

A aplicação da ferramenta de ecoeficiência foi feita na própria BASF (Fundação Espaço-ECO), com o apoio da equipe de ecoeficiência, dentro de um período de quatro meses para o fechamento do estudo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Ecologia Industrial

O conceito de Ecologia Industrial começou a ser difundido no final da década de 80 e assume a premissa de que as atividades industriais podem ser consideradas como ecossistemas nos quais as etapas de produção equivalem a níveis. A partir de analogias biológicas com ecossistemas naturais, são identificados e propostos novos arranjos para os fluxos de energia e materiais em sistemas industriais com a integração das atividades econômicas e consequente redução da degradação ambiental. A rede de conexões que caracteriza os fluxos de energia e materiais (na qual um determinado nível trófico aproveita os rejeitos de um outro nível, de forma que o ciclo de materiais do sistema ampliado tenda para o fechamento) serve como um modelo para os sistemas industriais na sua evolução tecnológica e organizacional. O ecossistema industrial pode ser definido em função de um produto, de um material, de uma região específica, e, por conseguinte estabelece as fronteiras do sistema que engloba os fluxos de energia e materiais em três domínios distintos: o primeiro descreve o conjunto de interações energéticas e de materiais das unidades de produção e consumo; o segundo se refere ao universo econômico e o terceiro destaca a conexão entre a rede de negócios e o seu ambiente social e ecológico. De um modo geral, a Ecologia Industrial adota princípios de fechamento do ciclo de materiais e possui um vasto espectro de alcance: da dimensão micro, ligada às vantagens econômicas para as empresas da redução da geração de poluentes e aproveitamento de resíduos em outras unidades, até à dimensão macro, em que um novo paradigma econômico-ambiental é construído na direção das práticas de sustentabilidade (COSTA, 2002).

De acordo com Gama e Pires (2007), a implantação da ecologia industrial nos processos produtivos depende tanto da ação competitiva das empresas quanto das políticas públicas adotadas pelo Estado com o respaldo da sociedade, ou seja, a sociedade deve analisar seus processos produtivos, os fluxos de massa e energia que acontecem e estabelecer uma forma de diminuir as perdas entre os componentes de uma cadeia produtiva, promovendo um fluxo circular de matéria e energia à semelhança dos ciclos biogeoquímicos. Com a ciclagem de nutrientes, os sistemas seriam capazes de manter o equilíbrio dinâmico pela utilização de fluxos de massa e energia. Desta maneira, poderiam promover a adaptação aos ambientes, a co-evolução e a complexidade ecossistêmica, resultando em menos perturbações ambientais.

Dentro do conceito de ecologia industrial, como uma estratégia complementar para os mecanismos de produção mais limpa a nível global, a ecoeficiência se destaca como o tópico central, uma ferramenta para a mensuração tanto de progressos internos de cada companhia quanto para a avaliação dos desempenhos econômico e ambiental como um todo, através de indicadores que podem ser utilizados para se mensurar o nível de melhoria (FET e MICHELSEN, 2003).

1.2 Ecoeficiência

1.2.1 Introdução

Entende-se como Ecoeficiência, as atividades desenvolvidas e realizadas por qualquer organização que visem otimizar a utilização dos recursos com a finalidade de reduzir o impacto ambiental, resultando em benefícios ecológicos e econômicos.

O conceito de ecoeficiência, que constitui a ligação entre os desempenhos financeiro e ambiental, foi definido primeiramente em 1992 por uma organização não-governamental, o Conselho de Negócios Mundial para o Desenvolvimento Sustentado (World Business Council for Sustainable Development - WBCSD), tendo sido atualizado posteriormente.

Segundo WBCSD (2000a), a ecoeficiência é alcançada através da oferta de produtos e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e proporcionem qualidade de vida, enquanto que progressivamente reduzam a utilização de recursos e impactos ambientais por todo o ciclo de vida, a um nível pelo menos equivalente à capacidade estimada de suportaço pela Terra.

De acordo com WBCSD (2006), ecoeficiência é a arte de agregar valor aos produtos com menos impacto no ambiente, ou seja, uma filosofia de gerenciamento e administração que incentiva as organizações a buscar melhorias ambientais que representem paralelamente melhores rendimentos em termos de benefícios econômicos. Seria como uma combinação de objetivos para se atingir a excelência empresarial e ser competitiva no mercado de modo a alcançar o desenvolvimento sustentável.

Seguindo a teoria de Porter (1995) na qual as melhorias do comportamento ambiental estão associadas ao ganho econômico, Sablowski et al (2007b) sugerem a "linha ideal de fluxo" como um referencial para avaliação analítica de comportamento ambiental e econômico. Esta metodologia analítica pode ser aplicada dentro do conceito de "Ecologia Industrial" na avaliação e melhoria de sistemas de produção. Isso quer dizer que, em paralelo aos ganhos para o meio ambiente, deve-se buscar a manutenção, ou preferivelmente o

incremento da receita gerada pela cadeia de produção, independente da matéria a ser trabalhada e do produto final. Desta forma, o incremento da receita deve ter como origem não o aumento de produção, mas a redução dos custos oriundos do sistema produtivo. Isso se alcança através da otimização da eficiência da linha ou cadeia de produção, com máximo aproveitamento da matéria prima através de novas tecnologias. Este processo permite, portanto, a melhoria da eficiência ambiental com a melhoria da eficiência de produção. Para se alcançar a Linha Ideal de Fluxo, a variação entre entrada e saída de material e energia deve tender a zero. Ao se estabelecer o nível de produção final ideal para a manutenção econômica do sistema, este se torna o ponto de referencia para traçar a linha de equalização do fluxo de massa e ou energia (Linha Ideal de Fluxo – LIF), e definir a quantidade ideal de entrada de massa e ou energia. Esta linha ideal de fluxo será o indicador do comportamento ambiental e de produção dos pontos que compõe o fluxo produtivo. O ajuste do sistema é feito através da inovação tecnológica com a melhoria na eficiência de uso da matéria e energia.

Cabe ressaltar que a ecoeficiência abrange os aspectos econômicos em conjunto com os aspectos ambientais, enquanto que a sustentabilidade engloba também os aspectos sociais. A Figura 1 mostra as três vertentes do desenvolvimento sustentável como vértices de um triângulo, onde é possível notar os diferentes tipos de indicadores e análises existentes. Segundo FET (2002) a análise individual do desempenho ambiental tende a ser agrupada com a análise individual do desempenho econômico com a geração de uma análise de ecoeficiência para a posterior análise de sustentabilidade.

Figura 1 : Diagrama de análise de ecoeficiência
Adaptado de FET (2002)

A Ecoeficiência pode ser largamente empregada pelas empresas em diferentes abordagens, buscando sempre resultados que otimizem o desempenho econômico juntamente com a preservação do meio ambiente.

Segundo o CEMPRE (2007), a Nestlé pratica ecoeficiência através do NEMS (Nestlé Environmental Management System) com o monitoramento anual de indicadores de desempenho ambiental por tonelada de produto produzido: quantidade de embalagem utilizada, consumo de energia, emissões atmosféricas (CO₂, SO_x, NO_x, CFC), consumo de água e geração de resíduos sólidos. Já a ecoeficiência da KRAFT é alcançada através do programa de reciclagem de resíduos industriais. Outras empresas possuem igualmente programas de ecoeficiência como: Tetra Pak, Unilever, Philips, Natura, Souza Cruz e Ambev.

A Copesul acompanha a evolução da ecoeficiência de sua unidade produtiva através de indicadores de consumo de energia e consumo de matéria-prima por tonelada de petroquímico produzido, como mostra a Figura 2 (COPESUL, 2007).

Figura 2: Indicadores de ecoeficiência utilizados pela Copesul

Os indicadores de ecoeficiência vêm sendo progressivamente incorporados pelas empresas, na medida em que líderes empresariais ficam conscientes de que o comportamento ecoeficiente, além de reduzir o impacto das atividades empresariais no meio ambiente, aumenta a rentabilidade de suas empresas, além de que a utilização destes indicadores são consideradas medidas necessárias para conferir transparência aos negócios das empresas assim como avaliar o risco ambiental. Essa linguagem está relacionada com o conceito de “fazer mais utilizando menos” e aspira a seguinte perspectiva macroeconômica: minimizar a utilização de material; minimizar a utilização de energia; minimizar a geração de resíduos; aumentar a durabilidade do produto; aumentar a reciclabilidade; maximizar os recursos renováveis; e aumentar a utilização de serviços. Entre os indicadores ou medidas de ecoeficiência, o autor cita: o consumo de energia por empregado ou por valor adicionado; a

emissão de CO₂ por tonelada produzida; e o total de resíduos por tonelada produzida (BERGAMINI, 1988).

Damesma forma, WBCSD (2002a) enfatiza sete elementos que permitem vislumbrar a melhora da ecoeficiência:

- Redução da necessidade de materiais (ex., componentes de veículos).
- Redução da intensidade de energia (ex., menor potência de standby em produtos eletrônicos).
- Redução de dispersão tóxica (ex., eliminação de componentes tóxicos em retardantes de chama).
- Melhoria na reciclabilidade de materiais (ex., embalagens alimentícias elaboradas por um único polímero plástico)
- Uso sustentável de recursos renováveis (ex. materiais alternativos de pavimentação)
- Extensão da durabilidade de produtos (ex., upgrade de computadores)
- Acréscimo na intensidade de serviços (ex., aluguel de carros)

Segundo WBCSD (2000b), ao se desenvolver uma forma de se mensurar a ecoeficiência, são necesssárias informações tanto sobre o desempenho ambiental quanto sobre o desempenho econômico, podendo a ecoeficiência ser calculada pela seguinte equação:

$$\text{ecoefficiência} = \text{valor do produto ou serviço por influência ambiental}$$

Na posição de produtor, este valor pode ser o volume de produção anual, as vendas totais ou valores declarados de faturamento, enquanto que a influência ambiental pode envolver desde o impacto em apenas uma categoria (consumo de energia, materiais, recursos naturais, emissões de gases que causam o aquecimento global, destruição da camada de ozônio, etc.), até uma agregação de valores, que requer um sistema de ponderação. De qualquer forma, para se avaliar a ecoeficiência de um produto, são necessárias informações referentes a todo o seu ciclo de vida de modo a permitir uma completa avaliação sobre o desempenho ambiental e econômico do produto estudado.

Desta forma, um indicador de ecoeficiência pode ser igualmente calculado através de indicadores de desempenho econômico e indicadores de desempenho ambiental, segundo a equação:

$$\text{Indicador de ecoeficiência} = \frac{\text{Indicador do desempenho econômico}}{\text{Indicador do desempenho ambiental}}$$

Segundo FET (2002), dentro do conceito de se combinar o desempenho econômico com o desempenho ambiental, existem diferentes maneiras de se abordar e mensurar a ecoeficiência. O autor apresenta 4 estudos de caso com as seguintes abordagens:

1) Uso de indicadores específicos de desempenho ambiental e de ecoeficiência

A empresa em questão escolheu como indicador de desempenho ambiental as emissões de gases que causam mudanças no clima e chuva ácida. Para mensurar a ecoeficiência, utilizam como base as emissões totais provenientes dos transportes internos e queima de combustível em motores e caldeiras. O montante adquirido é expresso relacionado com o valor de venda anual:

- Vendas anuais por emissões que causam acidificação (NOx e SOx)
- Vendas anuais por emissões que causam mudanças climáticas (CO₂)

Neste caso, o indicador de ecoeficiência aponta a tendência de melhora ou piora do desempenho ao longo dos anos.

Outro indicador de desempenho ambiental escolhido foi aquele relacionado aos resíduos. Através da mensuração da proporção de resíduos pelo volume de produção presume-se a avaliação da eficiência sobre o consumo de recursos. O indicador de resíduos fornece inclusive informações sobre resíduos perigosos, resíduos para reciclagem e resíduos destinados a aterros. Em seguida, indicadores de custo por tonelada de resíduo descartado juntamente com indicadores de investimentos ambientais são mensurados, chegando-se posteriormente ao indicador de ecoeficiência: vendas anuais por tonelada de resíduo descartado.

2) Uso de indicadores sistêmicos de desempenho ambiental de acordo com a comunidade local.

Neste caso, os seguintes objetivos da agenda 21 são seguidos:

- Estabelecimento de um sistema de relatórios ambientais que possam ser comparados dentro de um grupo de indústrias em uma determinada comunidade (município)
- Estabelecimento de indicadores de desempenho ambiental apropriados que atinjam as expectativas da comunidade e da indústria, por exemplo:
 - Indicadores para aquisição de matérias-primas:
 - Proporção de produtos que possuem declaração ambiental(%)
 - Número de fornecedores que possuem sistema de gestão ambiental
 - Indicadores sobre consumo energético:
 - Utilização anual de energia elétrica
 - Utilização anual de energia proveniente de combustíveis fósseis
 - Total de energia utilizada por unidade de área
 - Total de energia utilizada por faturamento anual
 - Indicadores sobre resíduos:
 - Total anual de resíduos
 - Total anual por volume de produção
 - Total anual por faturamento anual
 - Quantidade anual reciclada por total de resíduos gerados
 - Quantidade anual destinada a depósitos de lixo ou aterros

O indicador de ecoeficiência poderá assim ser determinado pela participação do município no PIB sobre o indicador ambiental escolhido.

3) Uso de indicadores de ecoeficiência com o propósito de se comparar combustíveis alternativos para atividades de recreação

Neste caso, os indicadores de desempenho ambiental são: mudanças climáticas, acidificação, poluição local do ar, formação fotoquímica de ozônio, e eutrofização. O cálculo do indicador de ecoeficiência é feito a partir do preço de cada combustível analisado e do valor normalizado de acordo com a emissão do local do estudo. Desta forma, foi possível observar qual combustível possui melhor indicador de ecoeficiência em cada categoria de impacto.

4) Ecoeficiência de produtos.

A mensuração da ecoeficiência de produtos pode ser feita de forma simples (para cada produto, como no caso da metodologia proposta pelo WBCSD) ou de forma comparativa entre produtos (o autor exemplifica o caso da metodologia desenvolvida pela BASF).

De acordo com Cramer e Lochem (2001), a ecoeficiência é vista pelas indústrias como uma bandeira sob a qual as companhias são estimuladas a buscar e a alcançar melhorias ambientais. Entretanto, o ganho em ecoeficiência adquirido através da melhoria de desempenho de um determinado produto não pode ser alcançado com a utilização de um indicador único. Para se obter um cenário ótimo de benefícios a serem alcançados, é necessário o uso de uma combinação de indicadores tanto qualitativos quanto quantitativos. Esta combinação de indicadores depende, entretanto do grau de inovação do produto estudado, seu estágio de desenvolvimento e aspectos específicos de cada negócio. Como resultado, os diferentes tipos de melhorias em ecoeficiência devem ser então refletidos em um processo interno de tomada de decisão, em cada companhia. No caso da Akzo Nobel Coatings, por exemplo, a opção mais promissora em termos de melhora de ecoeficiência é também a mais difícil de alcançar em termos de vantagens quantitativas.

A Monsanto em 1997 utilizou indicadores de ecoeficiência para avaliar o desempenho de seus processos em 9 diferentes plataformas de negócio em 22 plantas industriais localizadas ao redor do mundo. A partir do cálculo dos indicadores (por exemplo, quantidade de resíduo gerado por quantidade de produto produzido; quantidade de energia utilizada por quantidade de produto produzido dentre outros), foi possível identificar as plantas que operavam com mais ecoeficiência para o desenvolvimento de melhorias (PARTHASARATHY et al, 2005).

Kortelainen e Kuosmanendes (2007) desenvolveram um método para a avaliação da ecoeficiência de bens duráveis (como os carros), considerando tanto os benefícios econômicos privados quanto os custos sociais externos que aparecem durante a fase de uso do produto. Para a mensuração da eficiência, utilizam valores monetários absolutos que indicam a perda monetária mínima que o usuário de um serviço oferecido por um determinado bem de consumo pode ter em comparação com o melhor produto de referência. Esta eficiência é então relacionada a cinco categorias de impacto ambiental: mudança climática, acidificação, formação de névoa, dispersão de partículas e barulho.

De acordo com o FWI (2001), o conceito de ecoeficiência vem sendo largamente empregado por um grande número de empresas nos mais variados setores como o de eletro-

eletônicos, químico, metal, de mineração entre outros. Dentre as empresas de grande porte que publicamente utilizam o conceito de ecoeficiência estão: BASF, Shell, 3M, Dow, Compaq entre outras. Empresas de pequeno e médio porte também iniciaram o reconhecimento de oportunidades econômicas nos custos através da ecoeficiência, com a implementação de programas de redução de consumo de energia e materiais. Dentre os benefícios associados à utilização do conceito de ecoeficiência estão: imagem da marca; vantagem competitiva; redução de custos; relacionamento com clientes, fornecedores, funcionários e órgãos regulamentadores; inovação; responsabilidade; rentabilidade em longo prazo; novos mercados e melhoria do desempenho ambiental. Alguns programas de governo, como o do Canadá, promovem a ecoeficiência como uma opção para a redução dos impactos ambientais a medida em que aumentam a produtividade. Organizações como o World Bank's International Finance Corporation buscam alternativas de como integrar o conceito de ecoeficiência em seu ciclo de processamento de projetos.

Algumas das 40 maiores companhias do Japão utilizam o método de avaliação de impactos do ciclo de vida de produtos para monitorar a eco-eficiência e a eco-produtividade de suas organizações (SIEGENTHALER ; MARGNI, 2005).

Segundo estudo realizado pela TÜV Anlagentechnik GmgH em 2001, dentre as 22 metodologias analisadas que abrangem o conceito de ecoeficiência (BASF, WBCSD, Shell, Storebrand, EFFAS, MIPS, COMPASS, WiFolnst Wien, DOW, Wirth, Leiden Uni, Bayer, Euromat, IÖW, Wackernagel, Sinum, Ecoindicator 95, Ecoindicator 99, EPZ Finanz, Eyerer, New Value AG e Ellipson), a metodologia proposta pela ferramenta desenvolvida pela BASF demonstrou ser, tanto qualitativa quanto quantitativamente, a mais favorável para análise de casos comparativos. Este resultado é devido ao fato da ferramenta abranger o maior número de critérios para a análise do desempenho ambiental de forma implícita e integrada: emissões atmosféricas que causam o efeito estufa, acidificação, depreciação da camada de ozônio e formação fotoquímica de ozônio, além de utilização de recursos materiais, energéticos, efluentes líquidos, resíduos sólidos, potencial de riscos, uso da terra e potencial de toxicidade por todo o ciclo de vida. As outras metodologias atendem alguns dos critérios citados de forma isolada. (BASF, 2007).

Klöpffer (2005a) cita a análise de ecoeficiência desenvolvida pela BASF como a melhor metodologia conhecida para a avaliação comparativa de produtos dentro de um processo de Gerenciamento do Ciclo de Vida (LCM - Life Cycle Management), pois envolve os pilares econômico e ambiental com a possibilidade de agregação do componente social.

Segundo Saling et al (2005), a BASF já desenvolveu uma extensão da ferramenta de análise de ecoeficiência para a análise da sustentabilidade chamada SEEBalance®, na qual a dimensão social é incluída. Esta nova ferramenta encontra-se, entretanto em fase de testes com projetos pilotos.

Frente ao que foi apresentado sobre o tema pode-se, portanto concluir que são projetos de ecoeficiência:

- Redução na fonte: como uma atividade para diminuir a geração do resíduo ou efluente.
- Reciclagem: como uma atividade para diminuir a geração de resíduos ou efluentes, após a fabricação do produto.
- Tratamento: como uma atividade para neutralizar os impactos do rejeito que não é reciclável ou reutilizável, após a fabricação do produto.
- Planejamento estratégico: como uma atividade de apoio à tomada de decisão na escolha de fabricação ou utilização de produtos que visem o uso racional de materiais, da água e da energia com a minimização de rejeitos gerados (emissões atmosféricas, resíduos sólidos e efluentes líquidos).

Para esta dissertação de mestrado, buscou-se uma metodologia capaz de comparar a ecoeficiência de duas potenciais matérias-primas para a produção de biodiesel, no caso, a ferramenta de análise de ecoeficiência desenvolvida pela BASF. Desta forma, este estudo pretende contribuir para o processo de tomada de decisão sobre a escolha, entre as duas alternativas estudadas, da matéria-prima mais ecoeficiente para a produção do biocombustível.

1.2.2 Análise de Ecoeficiência desenvolvida pela empresa BASF

A BASF, para atender as necessidades internas de seu Grupo Empresarial, desenvolveu uma ferramenta de tomada de decisão denominada “Análise de Ecoeficiência (AEE)”. Esta é certificada por um instituto internacional independente, a TÜV Anlagentechnik GmbH e vem sendo aplicada com muito sucesso nas áreas de negócios da empresa (Europa e Estados Unidos) e no mercado europeu como um todo. Atualmente no Brasil, a BASF oferece o serviço de Análise de Ecoeficiência quer para suas unidades de negócio, quer para terceiros através da Fundação Espaço-ECO. Esta Fundação, instituída pela BASF em parceria com a GTZ (agência do governo alemão para a cooperação técnica internacional), é uma área focada em desenvolvimento sustentável, que abriga um centro de Ecoeficiência para a América Latina. A BASF mantém outros dois centros de Ecoeficiência

próprios ao redor do mundo: um na Alemanha e outro nos EUA. Porém, somente parte de seus serviços é prestada para clientes externos.

Esta ferramenta de análise de ecoeficiência já foi aplicada em mais de 200 estudos, envolvendo não apenas projetos internos da BASF, mas também projetos de outras companhias fora do Grupo. Em um futuro próximo, a análise de ecoeficiência se tornará uma importante peça para a análise da sustentabilidade, com a inclusão da dimensão social, através da ferramenta denominada SEEBalance® em fase de desenvolvimento pela BASF (SALING ET AL, 2005).

Na intenção de colaborar com a questão estratégica do país de escolha de uma matéria-prima mais ecoeficiente para a produção de biodiesel, a BASF gentilmente autorizou a utilização da ferramenta para que o resultado final fosse apresentado neste estudo.

A Ferramenta de Análise de Ecoeficiência baseia-se no estudo das vertentes ambiental e econômica, pois efetua uma análise do desempenho ambiental em conjunto com o desempenho econômico de forma comparativa entre dois ou mais produtos, processos ou serviços com apresentação dos resultados finais em uma Matriz de Ecoeficiência (SALING ET AL, 2002).

1.2.2.1 Vertente Ambiental

O estudo da vertente ambiental consiste na obtenção de um índice ambiental, para cada alternativa estudada, de modo a ser exibido e analisado na Matriz de Ecoeficiência juntamente com o índice econômico.

De acordo com Saling et al (2002), este estudo é baseado na técnica de Avaliação do Ciclo de Vida conforme metodologia sugerida pela norma ISO 14040 e deve ser feito para cada alternativa estudada.

1.2.2.1.1 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Segundo Curran (1996) e Sablowski et al (2007a), a ACV constitui uma das principais metodologias de análise e auxílio à decisão para a “Ecologia Industrial”.

As outras metodologias seriam: a análise de fluxo de massa, análise de fluxo de energia, análise de fluxo de substância e análise de fluxo de produto. A eficiência da aplicabilidade de cada metodologia está diretamente relacionada à capacidade de interpretação associada do comportamento ambiental e de produção através da comprovação da associação positiva entre o ganho ambiental e o ganho de produção. Estas metodologias têm como característica a busca da equalização entre a quantidade de matéria prima de

entrada e a quantidade de produto na saída do sistema, através da identificação dos pontos ineficientes na utilização de energia e ou matéria prima. Esses pontos, chamados críticos, quando passíveis de alteração podem ser aceitos como indicadores ambientais e de produção do sistema analisado. O resultado deste processo poderá gerar reflexos não somente na linha de produção, mas em toda a cadeia produtiva, desde a redução da quantidade de recurso natural explorado, até a diminuição dos resíduos e emissões do sistema. Desta forma, a melhoria da qualidade ambiental pode ser alcançada através da melhoria do sistema de produção (SABLOWSKI ET AL, 2007a).

De acordo com Finnveden e Moberg (2005), a ACV é uma das ferramentas disponíveis para avaliação ambiental entre outras existentes, como por exemplo a análise do custo-benefício e a avaliação estratégica ambiental.

O conceito de "Life Cycle Thinking" é um pré-requisito essencial para uma avaliação da sustentabilidade, uma vez que não faz sentido proporcionar uma melhoria (tanto ambiental, como econômica ou social) em apenas uma parte do sistema, ou em apenas em uma parte do ciclo de vida, se esta "melhoria" derivar consequências negativas em outras partes do sistema. O ato de "pensar ciclo de vida" significa fazer uma avaliação completa, desde a extração da matéria-prima, passando pela produção, distribuição, uso, reciclagem e disposição ou remoção dos resíduos. A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pode ser considerada como a primeira e única metodologia de avaliação ambiental padronizada a nível internacional (através das normas da série ISO 14040). Os princípios básicos que distinguem a ACV de outros métodos de avaliação ambiental são: possibilidade de condução da análise do "berço ao túmulo"; referência dos aspectos e impactos a uma "unidade funcional" como uma mensuração quantitativa da função ou benefício do sistema e consequente possibilidade de ser um instrumento comparativo. Dentro do conceito do "pensar ciclo de vida" estão incluídos, além dos objetivos ambientais, os conceitos econômicos e sociais. A avaliação econômica do ciclo de vida (Life Cycle Costing –LCC ou ACVC – Avaliação do Ciclo de vida de Custos) inclui igualmente todos os custos envolvidos desde a extração da matéria prima até a disposição final do produto, incluindo custos de proteção ambiental. A avaliação social do ciclo de vida (ASCV ou SLCA – Societal Life Cycle Assessment), entretanto se encontra em fase inicial de desenvolvimento metodológico por depender da definição dos diversos indicadores sociais. Ainda no "Life Cycle Thinking", um outro conceito emergente é a "Gestão do Ciclo de Vida - Life Cycle Management (LCM)", que visa combinar a ACV, ACVC e ASCV para a avaliação da sustentabilidade. Entretanto, isto só será possível com a equalização consistente do sistema de fronteiras dos três componentes. Assim sendo, será

possível comparar as vantagens e desvantagens ambientais, econômicas e sociais de um determinado sistema de produto com relação à outro que possua a mesma função (KLÖPFFER,2005a).

A SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) lançou as bases da ACV em 1990 com o conceito inicial de que um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida consistiria em três partes: inventário, avaliação de impacto e avaliação de melhoria. Desde então, muitos dos conceitos elaborados pela SETAC e CML (Centrum voor Milieukunde Leiden - Institute of Environmental Sciences -Leiden University), foram adotados pelas normas da série ISO 14040, dentro de um esforço globalizado de padronização e entendimento das diversas terminologias utilizadas em análises ambientais (GABATHULER, 2006).

Klöpffer (2005b) descreve a ACV como um processo de aprendizado que pode ser conduzido tanto por empresas privadas (em termos de competitividade) quanto em processos que geram benefícios para a comunidade, ressaltando que, dentre as mais importantes necessidades identificadas para o futuro, estão:

- a implementação da metodologia em práticas diárias para o processo de tomada de decisão na indústria
- extensão da metodologia em direção a sustentabilidade através de estudos sobre o ciclo de vida de custos (ACVC) e ciclo de vida social (ASCV) como instrumentos individuais de análise relacionados aos mesmos sistemas de produto do estudo de ACV.

Hunkeler (2006) sugere que, tanto a metodologia já estabelecida de ACV como as metodologias emergentes de ACVC e ASCV deveriam ser direcionadas no sentido de permitir uma comparação relativa entre produtos ao invés de uma análise absoluta. Segundo este autor, o desenvolvimento de ASCV ainda se encontra em um estado embrionário no qual importantes conceitos ainda precisam ser tratados com maior clareza, inclusive no que diz respeito ao manuseio de centenas de indicadores sociais. Assim sendo, para a elaboração de uma ASCV, o autor utiliza um método focado nas horas trabalhadas necessárias para se atingir as necessidades básicas de um estudo de ACV já existente.

Por outro lado, Norris (2006) utiliza um método focado na saúde ocupacional dos trabalhadores para avaliação dos impactos sociais no ciclo de vida de um produto através de indicadores sócio-econômicos, ressaltando que neste caso, normalmente os benefícios à saúde provenientes do desenvolvimento econômico possuem uma magnitude superior aos danos causados à saúde pelo acréscimo da poluição.

.Curran (1996) define um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como uma metodologia capaz de avaliar o efeito de um determinado produto, processo ou atividade no meio ambiente através da quantificação do impacto ambiental.

A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de um produto, normalmente considera todas as etapas necessárias para que o produto estudado cumpra a sua função, ou seja, ACV é uma técnica de Gestão que avalia os aspectos ambientais e impactos potenciais de um produto ao longo de um determinado período de tempo considerado como sua vida. O ciclo de vida de um produto normalmente começa quando os recursos naturais são extraídos da natureza para serem utilizados como matérias-primas; continua através dos processos de produção, transporte e uso e termina com a gestão dos resíduos gerados, incluindo a reciclagem ou reuso e a disposição final. Em cada estágio do ciclo de vida, existem emissões e consumo de recursos (CHEHEBE, 1988)

De acordo com Tillman; Baumann (1995), um estudo de ACV pode ser classificado de acordo com os limites que indicam onde o ciclo de vida se inicia e termina em relação ao meio natural, conforme apresentado na Tabela 1.

Tipo de estudo de ACV	Etapas do ciclo de vida consideradas
Cradle to grave (do berço ao túmulo)	Todas
Cradle to gate (do berço ao portão de fábrica)	Extração e beneficiamento de recursos naturais; produtos intermediários e fabricação do produto principal, o qual é o objeto de estudo.
Gate to grave (do portão de fábrica ao túmulo)	Distribuição, uso e disposição final do produto.

Tabela 1: Tipos de Estudos de ACV
Fonte: Tillman; Baumann (1995)

Atualmente, como a total reciclabilidade de materiais traduz a expressão de sustentabilidade, estudos de ACV do tipo cradle to cradle (do berço ao berço), para materiais recicláveis como, por exemplo, para o alumínio, também são elaborados (PIZZEY, 2002).

Segundo Coelho (2001), em uma abordagem "do berço ao berço", os produtos compostos de materiais que não são biodegradáveis servem de "nutrientes técnicos" que continuamente circulam dentro dos ciclos industriais de loops fechados, consolidando assim o metabolismo técnico.

1.2.2.1.1.1 Aplicações de estudos de ACV

Os estudos de ACV possuem diversas aplicações como: desenvolvimento de novos produtos que atendam parâmetros ambientais (ecodesign), desenvolvimento de estratégia de “marketing verde”, gerenciamento de resíduos, análises de processos produtivos, comparação de produtos que exercem a mesma função, identificação de oportunidades de melhoria, rotulagem ambiental, entre outras aplicações.

De acordo com Figueirêdo et al (2007), um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um importante instrumento para se avaliar a contribuição de uma inovação tecnológica para a sustentabilidade, com a avaliação dos seus impactos ambientais. Por conter uma visão sistêmica das questões ambientais, a ACV possibilita uma ampliação do escopo de avaliação dos impactos oriundos tanto de um produto quanto da tecnologia que contribuiu para sua produção.

Mendvil et al (2006) apresentam que a ACV pode ser igualmente empregada para avaliação da evolução tecnológica de determinado produto ao longo do tempo. Normalmente, o desempenho de um processo químico é influenciado por diversas variáveis durante seu tempo de vida. Assim sendo, informações históricas sobre o processo, principalmente informações sobre a evolução de parâmetros técnicos, são traduzidas por simulação em balanços de massa e energia em função do tempo. Os resultados destes balanços são então transformados em indicadores de impactos ambientais com a utilização da abordagem empregada em estudos de ACV. Desta forma, a evolução dos impactos ambientais resultantes da investigação de processos, pode ser atribuída ao desenvolvimento tecnológico.

Segundo Moraes (2005), o encontro entre a atividade de projeto e o meio ambiente é definido com a utilização do termo "ecodesign". Neste caso, a ACV é uma importante ferramenta para aplicação dos parâmetros ambientais, por parte dos profissionais de design, durante o desenvolvimento de seus projetos, auxiliando ao projeto de produtos eco-eficientes. Esta técnica, se conhecida pelo designer e utilizada em conjunto com metodologias clássicas de design, representa uma contribuição fundamental na redução do impacto ambiental associado à cada uma das fases do ciclo de vida de um produto. Entretanto, a pesquisa de campo realizada pelo autor junto aos profissionais de design na cidade do Rio de Janeiro mostrou um conhecimento extremamente superficial por parte dos designers com relação à técnica de Análise de Ciclo de Vida. De um modo geral, dentre os entrevistados que disseram conhecer a técnica, a maioria declarou não ter realizado experiências com estudos de ACV,

devido sua complexidade, que demanda um grande gasto de tempo para a sua aplicação, além de aumentar os custos do projeto.

Entretanto, o uso de estudos de ACV em projetos de ecodesign tem levado a resultados bastante satisfatórios em outros países. Na Alemanha, por exemplo, o Mercedes-Benz S-Class foi resultado de um projeto de ecodesign com o uso da ACV que proporcionou um acréscimo de 73% no uso de componentes feitos com material renovável de um total de 27 componentes com peso aproximado de 43 kg. De forma semelhante, foi possível identificar que 45 componentes com peso aproximado de 21 kg podem ser produzidos a partir de plásticos reciclados. (FINKBEINER ET AL, 2006)

Kobayashi (2005) ressalta que o Grupo Toshiba do Japão utiliza a metodologia de “Planejamento do Ciclo de Vida (PCV)” em projetos reais de desenvolvimento de seus produtos. A Toshiba possui diversas opções de ciclo de vida de seus produtos e componentes, como os serviços de manutenção (com ou sem up-grade para se estender o período de uso de determinado produto), reutilização ou reciclagem de componentes, produtos que economizam recursos naturais, disposição final em aterros ou incineração (com ou sem recuperação de energia), etc. Esta ferramenta, desenvolvida pelo *Corporate Research Development Center, Toshiba Corp, Japan*, incorpora os aspectos ambientais de cada fase do processo de design do produto e estabelece o conceito de ecodesign considerando não apenas o ciclo de vida do produto, mas também as opções de ciclo de vida de todos os componentes do produto. O suporte ao design é feito pelo planejamento do ciclo de vida através da combinação entre a distribuição da qualidade, da função e os dados da ACV. Desta forma, os projetos de ecodesign integram aspectos ambientais, de qualidade e de custos.

Siegenthaler e Margni (2005) comentam que as práticas de ACV no Japão se encontram em estágio avançado de evolução, nas quais mais de 10% das empresas já praticam atividades relacionadas a estudos de avaliações sobre o ciclo de vida de produtos (algumas empresas inclusive pretendem aplicar a ACV em todos seus milhares de produtos) e mais de 35% de todas as declarações ambientais de produtos são para a obtenção do rótulo ambiental do tipo III (obtidas através da prática de ACV).

Segundo Lemos e Barros (2006), através da rotulagem ambiental o consumidor pode diferenciar os produtos similares e assim optar por aqueles que impactam menos o meio ambiente. Os rótulos tipo III, definidos na recente norma ISO 14025 trazem informações ambientais de produtos baseados na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O selo sugere um novo olhar do consumidor em relação ao produto, podendo levar em consideração o histórico produtivo, desde a extração da matéria-prima até a disposição final. A exigência deste rótulo

tipo III pode dificultar a venda de produtos brasileiros em países que já praticam a rotulagem ambiental, como Alemanha, Suécia, Japão, Canadá e Holanda.

Existem diferentes tipos de informações ambientais a serem divulgadas em um sistema de rotulagem ambiental: os tipo I são baseados em critérios múltiplos de classificação, ou seja, categorias, critérios ambientais e características funcionais; os tipo II são baseados em auto-declarações ambientais, incluindo textos, símbolos de reciclagem e gráficos; os tipo III são baseados em uma declaração que tenha um estudo de ACV verificado por uma terceira parte, de modo que as informações contidas devem permitir a comparação entre produtos que exerçam a mesma função (FET e SKAAR, 2006 e CEMPRE, 2005).

De acordo com Fet e Skaar (2006), para se desenvolver uma declaração ambiental, para cada categoria de produto de acordo com os requisitos da norma ISO 14025, além de informações como: descrição do produtor, descrição do produto, identificação do produto (modelo), etc. são necessárias as seguintes informações:

- 1) descrição da categoria do produto (qualidade funcional, desempenho técnico e uso)
- 2) materiais e substâncias a serem declaradas
- 3) definição do objetivo e escopo para a elaboração da ACV da categoria do produto
- 4) análise do inventário
- 5) seleção das categorias de impacto que serão avaliadas
- 6) determinação dos parâmetros a qual a ACV será submetida (indicadores)
- 7) metodologias de informações complementares (avaliação de risco)
- 8) instruções para criação da declaração
- 9) instruções sobre o conteúdo e formato do rótulo tipo III
- 10) informações sobre o tipo de ACV estudado (total ou parcial)

Entretanto, Mungkung et al (2006) observam que, embora a ACV seja a melhor alternativa para a avaliação do desempenho ambiental de um produto, possibilitando o desenvolvimento de critérios para a rotulagem ambiental, os impactos associados ao uso da terra e biodiversidade são locais e de difícil quantificação para uma base comparativa entre 2 ou mais países. Além disso, os resultados da ACV podem revelar detalhes sobre a tecnologia empregada, provocando assim certa resistência por parte das empresas em se adotar o sistema de rotulagem ambiental.

1.2.2.1.1.2 Condução de estudos de ACV

Não existe um único método para se conduzir estudos da Avaliação do Ciclo de Vida, por esta razão, as normas da série ISO 14040 sugerem, de forma padronizada a nível internacional, a abordagem das quatro etapas principais da metodologia: definição de objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impactos e interpretação.

Como a ferramenta de Análise de Ecoeficiência desenvolvida pela BASF é baseada na técnica de Avaliação do Ciclo de Vida conforme metodologia sugerida pela padronização da norma ISO 14040 (SALING, 2002), esta metodologia será mais detalhada a seguir.

Segundo a ABNT (2001), a estrutura de uma ACV é representada pela interpretação, de forma integrada, da definição de objetivo e escopo, análise de inventário e avaliação de impacto, que representam as fases do estudo. As normas brasileiras NBR ISO 14040, 14041 e 14042 tratam sobre “Princípios e Estrutura”, “Definição de Objetivo e Escopo e Análise de Inventário” e “Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida” respectivamente.

1.2.2.1.1.2.1 Definição de objetivo e escopo

O objetivo e o escopo de um estudo de ACV devem ser claramente definidos e consistentes com a aplicação pretendida. Enquanto o objetivo estabelece a aplicação pretendida pelo estudo, assim como as razões que conduziram o mesmo e seu público alvo, o escopo visa fornecer informações de como o estudo será estruturado com a consideração de todos os itens relevantes (ABNT, 2001).

A ABNT (2001) sugere que, na definição do escopo, devem ser considerados e claramente descritos os seguintes itens:

- as funções do sistema de produto ou, no caso de estudos comparativos, dos sistemas;
- a unidade funcional;
- o sistema de produto a ser estudado;
- as fronteiras do sistema de produto;
- procedimentos de alocação;
- tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação subsequente a ser usada;
- requisitos dos dados;
- suposições;
- limitações;
- requisitos da qualidade dos dados iniciais;

- tipo de análise crítica, se aplicável; e
- tipo e formato do relatório requerido para o estudo.

De acordo com Chehebe (1998), um estudo de ACV é restringido pelo escopo em 3 dimensões como mostra a Figura 3: extensão, largura e profundidade. A extensão determina onde iniciar e parar o estudo de ACV; a largura determina quais subsistemas incluir no sistema de produto e a profundidade determina o nível de detalhamento do estudo. Entende-se por sistema de produto o conjunto de todos os subsistemas necessários para que um produto cumpra a sua função, como pode ser observado nos resultados deste estudo apresentados no capítulo 6 deste documento.

Figura 3 : Dimensões de um estudo de ACV

Adaptado de Chehebe (1988)

A ABNT (2001) recomenda que o escopo seja suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo estabelecido.

Na maioria dos casos, não há tempo, dados ou recursos suficientes para se conduzir um estudo de ACV com muita abrangência, por esta razão é fundamental o estabelecimento de fronteiras que definam os subsistemas e processos a serem incluídos no sistema de produto em estudo. Dentre os critérios para se decidir sobre a inclusão ou exclusão de um determinado processo estão os critérios de massa, energia ou relevância ambiental (ABNT 2004).

Ribeiro (2004) ressalta que, antes de se passar para a etapa de análise de inventário é necessário estabelecer um modelo representativo do sistema de produto. Este modelo permite tornar o estudo mais próximo possível da realidade do mercado e das características regionais existentes. Desta forma, para a adoção de um modelo representativo faz-se necessário o

dimensionamento das fronteiras temporal, geográfica e tecnológica. A fronteira temporal diz respeito ao espaço de tempo considerado para a validade dos dados do inventário.. A fronteira geográfica corresponde à área abrangida pelo estudo e a fronteira tecnológica considera as condições de processo à qual os dados do estudo se referem.

As definições do objetivo e escopo das ACVs de cada alternativa deste estudo seguem apenas as sugestões propostas pela norma ISO 14040 necessárias para a aplicação da metodologia da ferramenta de Análise de Ecoeficiência desenvolvida pela BASF. Desta forma, como se trata de um estudo comparativo, observou-se principalmente a equivalência dos sistemas que são comparados: a mesma unidade funcional e considerações metodológicas equivalentes, como desempenho, fronteiras dos sistemas, origem dos dados, procedimentos de alocação e regras de decisão na avaliação de entradas e saídas.

1.2.2.1.1.2.2 Análise do Inventário

Em um estudo de ACV, a análise de inventário consiste na fase que envolve a compilação e a quantificação de entradas e saídas (material, energia e rejeitos) para um determinado sistema de produto ao longo de seu ciclo de vida (ABNT 2001).

As etapas que compõe a análise de inventário são: preparação para a coleta de dados, coleta de dados, tratamento dos dados e alocação (ABNT 2004).

A etapa de preparação para a coleta de dados é definida no escopo com o estabelecimento de fronteiras que reúnam os processos e categorias de dados associadas. A etapa de coleta de dados de entrada e saída (material, energia e rejeitos) consiste na obtenção de dados primários (obtidos junto a empresas produtoras) ou secundários (obtidos na literatura). A etapa de tratamento dos dados consiste em estabelecer procedimentos de cálculos que gerem os resultados do inventário de acordo com a unidade funcional, por meio de um fluxo de referência (definidos no escopo do estudo). Entende-se por “unidade funcional” a quantificação do exercício da função de cada produto e por “fluxo de referência” a base comum de comparação, determinada através do desempenho do produto ao cumprir a unidade funcional. Notar que estes conceitos estão mostrados a título de resultados no capítulo 6 deste documento. A etapa de alocação consiste em uma ponderação das cargas ambientais associadas entre os produtos e co-produtos do sistema estudado, de acordo com procedimentos claramente estabelecidos.

A norma ABNT (2004) recomenda que os procedimentos de alocação se aproximem tanto quanto possível das relações e características fundamentais de entrada e saída na qual o inventário é baseado, segundo critérios de massa, valor comercial ou conteúdo energético.

Para a coleta de dados primários, uma exemplificação de formulário a ser fornecido para as empresas é apresentada a seguir na Tabela 2, sendo necessário um formulário para cada unidade de processo considerada no respectivo estágio do ciclo de vida do produto.

Legenda da Tabela 2:

Entrada de material:

^a Por exemplo, todo e qualquer material utilizado como matéria-prima ou auxiliar

Consumo de água:

^b Por exemplo, água superficial, água potável etc.

Entrada de energia:

^c Por exemplo, óleo combustível pesado, óleo combustível médio, óleo combustível leve, querosene, gasolina, gás natural, propano, biomassa, carvão, eletricidade de rede pública, etc.

Emissões atmosféricas:

^d Por exemplo, Cl₂, CO, CO₂, poeira/particulado, F₂, H₂S, H₂SO₄, HCl, HF, N₂O, NH₃, NO₂, SO₂, material orgânico: hidrocarbonetos, PCB, dioxinas, fenóis; metais: Hg, Pb, Cr, Fé, Zn, Ni, etc.

Emissões para a água:

^e Por exemplo, DBO, DQO. Ácidos como H⁺, Cl⁻, CN⁻, detergentes/óleos, materiais orgânicos dissolvidos (favor listar os compostos incluídos nesta categoria de dados), F⁻, íons de Fe, Hg, hidrocarbonetos (favor listar), Na⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, organoclorados (favor listar), outros metais (favor listar) outros N (favor listar), fenóis, fosfatos, SO₄, sólidos em suspensão, etc.

Emissões para o solo:

^f Por exemplo, resíduos minerais, resíduos industriais mistos, resíduos sólido urbanos, resíduos tóxicos (favor listar os compostos incluídos nesta categoria de dados)

Outras liberações:

^g Por exemplo, ruído, radiação, vibração, odor, calor perdido, etc

Nome da Empresa:				
Preenchido por:				Data:
Estágio do Ciclo de Vida: Extração do óleo bruto				
Unidade de Processo: Produção do óleo de palma			Referência: 1 t de cachos de frutos frescos (CFF)	
Descrição do processo: (anexar folha adicional, se necessário)				
Ano a qual as informações se referem:			Mês inicial:	Mês final:
Entradas de material ^a	UNIDADES	QUANTIDADE	Descrição de procedimentos de amostragem	Origem
CFF	t	1		
vapor				
Consumo de água ^b	UNIDADES	QUANTIDADE	Ps : para a descrição de procedimentos de amostragem, poderão se anexadas folhas se necessário	
Entradas de energia ^c	UNIDADES	QUANTIDADE	Descrição de procedimentos de amostragem	Origem
Saídas de material (produtos)	UNIDADES	QUANTIDADE	Descrição de procedimentos de amostragem	Destino
Oleo de palma	t			
fibras				
amendoas				
CFF vazio				
Emissões atmosféricas ^d	UNIDADES	QUANTIDADE	Descrição de procedimentos de amostragem	
Emissões para a água ^e	UNIDADES	QUANTIDADE	Descrição de procedimentos de amostragem	
Emissões para o solo ^f	UNIDADES	QUANTIDADE	Descrição de procedimentos de amostragem	
Outras liberações ^g	UNIDADES	QUANTIDADE	Descrição de procedimentos de amostragem	

Tabela 2: Exemplo de formulário para obtenção de dados primários

Fonte: ABNT (2004)

1.2.2.1.2 Avaliação de Impactos

Na avaliação de impactos, os aspectos levantados no inventário são relacionados com as alterações ao meio ambiente. Estes são agrupados por categorias, por exemplo, esgotamento de recursos naturais, efeito estufa, formação fotoquímica de ozônio, eutrofização, acidificação, entre outras.

A avaliação de impactos de um estudo de ACV (AICV) avalia o sistema de produto sob uma perspectiva ambiental, usando categorias de impacto e os indicadores de categoria associados aos resultados obtidos no inventário. A seleção das categorias de impacto é um elemento obrigatório em uma AICV (ABNT 2004).

De acordo com SETAC (1998), não existe uma listagem padrão de categorias de impacto a serem utilizadas em uma AICV, pois diferentes objetivos e escopos requerem diferentes categorias, dados e metodologias. Desta forma, a escolha das categorias pode ser determinada de forma independente para cada estudo de ACV de modo que esteja consistente com o objetivo previamente estabelecido.

A avaliação de impactos deste estudo segue a metodologia da ferramenta de Análise de Ecoeficiência da BASF.

Segundo Saling (2002), para esta ferramenta, os impactos ambientais são determinados com base em cinco classes principais: consumo de energia, rejeitos (emissões para o ar, água e solo), consumo de recursos naturais, potencial de toxicidade e potencial de riscos. Em estudos efetuados posteriormente, o próprio Saling (2005) assim como Zanchetta-Urso e Silva (2005) apresentam que a ferramenta da BASF passou por uma atualização e agora considera também o uso da terra como uma classe de impacto. Desta forma, este estudo abrange seis classes: consumo de energia, rejeitos (ar, água e solo), consumo de recursos naturais, potencial de toxicidade, uso da terra e potencial de riscos.

1.2.2.1.2.1 Consumo de Energia

O consumo de energia é contabilizado por todo o ciclo de vida e descreve o consumo primário de energia de acordo com o consumo de recursos materiais. Considera-se o valor total de energia requerida para cada sistema de produto estudado.

A título de comparação entre as alternativas em estudo, é feita uma normalização onde se adota o valor “1” para a alternativa menos favorável e, de forma relativa, calcula-se um valor entre “0” e “1” para as demais alternativas. Este método de cálculo (normalização) é usado de maneira similar para a comparação das outras classes de impacto vistas a seguir, que serão exibidas de forma comparativa em um gráfico denominado “impressão ecológica”.

1.2.2.1.2.2 Emissões (Rejeitos)

Os valores de emissões são inicialmente calculados separadamente como emissões para o ar, água e solo. Estes valores individuais são subsequentemente agregados, por um

esquema de ponderação, para a posterior formação de um valor único para o aspecto "emissões".

▪ Emissões para o ar

As categorias de impacto consideradas pela ferramenta de Análise de Ecoeficiência para o aspecto “emissões atmosféricas” são: potencial de aquecimento global ou efeito estufa (EE), potencial de destruição da camada de ozônio (DCO), potencial de formação fotoquímica de ozônio (FFO) e potencial de acidificação (PA). Os fatores de conversão das emissões em seus respectivos potenciais de impacto são mostrados na Tabela 3. Estes fatores de equivalência representam, por exemplo, que a emissão de 1kg de metano corresponde ao efeito decorrente da emissão de 21 kg de CO₂ para a categoria "efeito estufa".

Emissões atmosféricas	Efeito Estufa (EE)	Destruição da Camada de Ozônio (DCO)	Formação Fotoquímica de Ozônio (FFO)	Chuva Ácida (CA)
CO ₂	1	-	-	-
SO ₂	-	-	-	1
NO _x	-	-	-	0,7
CH ₄	21	-	0,007	-
Hidrocarbonetos	-	-	0,416	-
Hidrocarbonetos halogenados	4.000	1	-	-
NH ₃	-	-	-	1,88
N ₂ O	310	-	-	-
HCl	-	-	-	0,88

Tabela 3: Fatores de equivalência para emissões atmosféricas

Fonte: adaptado de Saling (2002)

Para cada alternativa e para cada categoria de impacto, efetua-se o produto entre a quantidade de substância emitida e seu respectivo fator de equivalência e, após a somatória deste produto, é feita a normalização.

○ *Agregação das categorias de impacto de emissões atmosféricas*

Figura 4: em destaque, a agregação das categorias de impacto de emissões atmosféricas

Fonte: adaptado de Saling (2002)

Como podemos observar na Figura 4, os valores normalizados de cada categoria de impacto (EE, DCO, FFO e CA) são agregados de modo a formar um único valor para “emissões atmosféricas”. Esta agregação é feita por meio de um esquema de ponderação que considera fatores de opinião pública (sociais) e científicos (de relevância).

Para a Análise de Ecoeficiência, os fatores de relevância indicam o grau de importância de cada categoria ou classe ambiental em relação ao país de origem do estudo. Desta forma, as pequenas emissões, que são insignificantes em relação à emissão total no local de estudo, possuem um peso menor do que aquelas mais representativas. O fator de relevância determina a contribuição do produto ou processo em estudo com relação às emissões totais do país. Desta forma, quanto maior o fator de relevância, maior será a importância desta classe ambiental para o sistema de produto estudado.

Os fatores de relevância (pesos) são calculados a partir da relevância de cada categoria ou classe de impacto. Assim sendo, de acordo com a metodologia utilizada pela ferramenta, a relevância é calculada de acordo com a equação a seguir:

$$\left[\text{RELEVÂNCIA} \right]_{\text{categoria de impacto ambiental}} = \left[\frac{\text{emissão mais significativa das alternativas em estudo (em módulo)}}{\text{emissão total no local de estudo}} \right]_{\text{categoria de impacto ambiental}}$$

De posse de cada relevância, calcula-se o peso de cada uma com relação ao total. Estes “pesos” são os chamados “fatores de relevância”, de acordo com a Tabela 4 a seguir :

	RELEVÂNCIA	PESO (%)
Efeito Estufa	X	$A=X/(X+Y+Z+W)$
Destruição da Camada de ozônio	Y	$B=Y/(X+Y+Z+W)$
Formação Fotoquímica de ozônio	Z	$C=Z/(X+Y+Z+W)$
Acidificação (Chuva ácida)	W	$D=W/(X+Y+Z+W)$
TOTAL	$(X+Y+Z+W)$	$(A+B+C+D)=100\%$

Tabela 4: cálculo dos fatores de relevância

Segundo Saling (2002), os fatores de opinião pública (chamados de “fatores sociais”) são expressos em % e exemplificados na Figura 5. Estes fatores são baseados em opiniões de especialistas e representam o grau de importância que a sociedade atribui para cada classe de impacto.

Figura 5: exemplificação da ponderação dos fatores de opinião
Adaptado de Saling (2002)

Entretanto, o autor relata que outros grupos de pesquisa podem desenvolver seus próprios pontos de vista, por meio de questionários próprios, tendo como ponto de partida o esquema específico de ponderação da BASF, podendo inclusive chegar a diferentes planos de ponderação com considerações plausíveis. A ferramenta de Análise de Ecoeficiência da BASF pode testar estes diferentes esquemas de ponderação na forma de estudos de sensibilidade e subsequentemente deduzir a extensão da influência da mudança do esquema de ponderação no resultado final (SALING, 2002).

De posse de cada fator de opinião (fator social), e com o peso do fator de relevância anteriormente calculado, calcula-se o fator de ponderação total por meio da média geométrica dos dois, de acordo com a exemplificação da Tabela 5 a seguir:

	FATOR DE RELEVÂNCIA (%)	FATOR DE OPINIÃO (%)	MÉDIA GEOMÉTRICA	FATOR DE PONDERAÇÃO TOTAL (%)
Efeito Estufa	A	E	$I = \sqrt{A \cdot E}$	$I / (I + J + K + L)$
Destruição da Camada de ozônio	B	F	$J = \sqrt{B \cdot F}$	$J / (I + J + K + L)$
Formação Fotoquímica de ozônio	C	G	$K = \sqrt{C \cdot G}$	$K / (I + J + K + L)$
Acidificação (Chuva ácida)	D	H	$L = \sqrt{D \cdot H}$	$L / (I + J + K + L)$
TOTAL			$(I + J + K + L)$	100%

Tabela 5: Fator de ponderação para as categorias de emissões para o ar

A utilização da média geométrica permite amenizar casos onde a distância de valores seja muito grande dentro do sistema de ponderação.

Estes “fatores de ponderação totais” são utilizados posteriormente, por meio de uma média ponderada com os valores normalizados previamente calculados, para se chegar a um único valor normalizado para cada alternativa, de emissões atmosféricas.

▪ Emissões para a água (efluentes líquidos)

Segundo Saling (2002), atualmente, não existe documentado um método específico de comparação para o cálculo dos impactos potenciais oriundos de emissões para a água, como existe disponível no caso das emissões para o ar. Para os aspectos levantados no inventário de efluentes líquidos como: DQO (demanda química de oxigênio), DBO (demanda bioquímica de oxigênio), nitrogênio total, metais pesados, entre outros, é utilizado o método do volume crítico ou limite crítico para a descarga em corpos hídricos superficiais. Estes limites são calculados de acordo com o *Regulation on requirements for the discharge of wastewater into surface waters* (Abwasserverordnung – AbwV) de 27 de março de 1997 e geralmente são baseados na relevância de se emitir determinada substância no ambiente. Quanto maior o dano causado pela substância, menor será o seu limite. Quanto menor o limite de uma emissão, maior será o fator usado para expressar seu impacto, como mostrado na Tabela 6 a seguir.

O volume crítico é a quantidade de água descontaminada necessária para diluir aritmeticamente a respectiva emissão até o limite estipulado. Este volume crítico é calculado para cada poluente e para cada alternativa. Os volumes críticos são então somados, para se encontrar o total comparativo para a classe de efluentes líquidos e posteriormente são normalizados. Este procedimento torna possível agregar os diferentes tipos de emissões de maneira quantitativa e qualitativa.

Poluentes	Limite	Fator (1/limite)
DQO	75 mg/l	0,013
DBO	15 mg/l	0,067
N-total	18 mg/l	0,056
NH ₄ ⁺	10 mg/l	0,1
P-total	1 mg/l	1
AOX	1 mg/l	1
Metais pesados	1 mg/l	1
HC	2 mg/l	0,5
SO ₄ ²⁻	1000 mg/l	0,001
Cl ⁻	1000 mg/l	0,001

Tabela 6: Fatores de ponderação para o volume crítico
Fonte : Saling (2002)

▪ Emissões para o solo (resíduos sólidos)

Os impactos potenciais provenientes da geração de resíduos sólidos, apresentados como resultado no inventário na forma de aspectos, são calculados com base no custo médio de disposição final destes resíduos (SALING 2002).

Segundo a metodologia utilizada pela ferramenta, os resíduos são agrupados nas seguintes categorias (com seus respectivos pesos): construção civil (0,04), resíduo de mineração (0,2), resíduo municipal (1) e resíduo industrial (5). Estes pesos são calculados de acordo com o custo médio de descarte dos diferentes tipos de resíduos na Europa. Uma nova ponderação, a nível regional, seria possível à medida em que os custos e volumes de descarte fossem conhecidos, fato esse que não se enquadra na atual realidade brasileira.

Efetua-se então o produto entre a quantidade de cada resíduo com seu respectivo peso e, após a somatória de cada alternativa é feita a normalização.

○ *Agregação dos aspectos contidos em “rejeitos”*

Figura 6: em destaque, a agregação dos aspectos de rejeitos
Fonte: adaptado de Saling (2002)

Como podemos observar na Figura 6, os valores normalizados de emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos são agregados de modo a formar um único valor normalizado de cada alternativa para a categoria “rejeitos”. Esta agregação é feita utilizando-se o mesmo procedimento descrito anteriormente na agregação das categorias de impacto (EE, DCO, FFO e CA) de “emissões atmosféricas”.

Entretanto, para o cálculo da relevância de cada categoria (emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos) utiliza-se a equação:

$$\left[\begin{array}{c} \text{RELEVÂNCIA} \\ \text{categoria de} \\ \text{impacto} \\ \text{ambiental} \end{array} \right] = \left[\frac{\sum (\text{fatores de relevância}) \times (\text{fatores de opinião}) + \text{máx. fator de relevância}}{2} \right]_{\text{categoria de impacto ambiental}}$$

1.2.2.1.2.3 Consumo de materiais

Saling (2002), descreve que para a determinação deste impacto, as massas de materiais (recursos) necessárias para o processo correspondente são determinadas e registradas no inventário. Os materiais individuais são ponderados de acordo com suas reservas calculadas estatisticamente pelo *US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries* entre outras fontes. Estas fontes estimam por quanto tempo uma determinada reserva de material ainda continuará a existir ao se assumir que se mantenham os padrões atuais de consumo.

Segundo a metodologia da ferramenta desenvolvida pela BASF, a avaliação de materiais, em termos de seus respectivos anos de reserva, gera fatores de ponderação através da equação:

$$\text{Fator de ponderação} = \frac{1000}{\text{reserva_mundial}} * \sqrt{\frac{\text{reserva_mundial}}{\text{duração_reserva_mundial}}}$$

Estes fatores podem ser observados na Tabela 7 a seguir:

Matéria-prima	Duração reserva mundial (anos)	Reserva mundial (milhões de toneladas)	Fator
Carvão	162	4,87E+05	0,11
Petróleo	46	1,65E+05	0,36
Gás natural	62	1,12E+05	0,38
Enxofre	40	1,40E+03	4,23
Fósforo	77	5,40E+03	1,55
Urânio	37	2,3	108
Calcário	500	1,80E+07	0,01
Potássio	336	1,80E+07	0,01
Biomassa	10000	1E+13	3,16 E-06

Tabela 7: Fator de ponderação consumo de recursos naturais

Uma matéria prima é considerada escassa quanto menor for sua reserva com maior taxa de consumo, sendo assim, maior será o fator para a Análise de Ecoeficiência. Efetua-se o produto entre a quantidade utilizada de cada matéria-prima com seu respectivo fator e, após a somatória de cada alternativa é feita a normalização (SALING 2002).

1.2.2.1.2.4 Potencial de Toxicidade

A maioria dos estudos sobre avaliação do ciclo de vida não inclui a análise potencial de toxicidade. Mas na intenção de se chegar a uma análise mais abrangente sobre produtos e processos, Saling (2002) acredita que especificamente este critério constitui um importante fator para uma avaliação da sustentabilidade. Em seu trabalho, ele utiliza a classificação e a rotulagem estabelecidas pelo German Chemicals Act, onde cada símbolo de perigo é relacionado com fatores aritméticos que são determinados em uma escala logarítmica. Esta escala é de acordo com a escala definida para a classificação sobre valores relevantes como LD₅₀. Atualmente, a ferramenta de Análise de Ecoeficiência utiliza um novo conceito para se encontrar melhores diferenciações toxicológicas dos compostos. A abordagem comparativa, para o cálculo do potencial de toxicidade, é feita diretamente a partir das "Frases R". Estas frases são relacionadas com uma pontuação pré-definida. As chamadas "Frases R" são 68 frases indicadoras dos riscos relacionados às substâncias químicas, estabelecidas pela União Européia no anexo III da Diretiva 67/548/CEE, consolidada e republicada na Directiva 2001/59/CE (EUR-Lex-32001L0059-EN, 2006). A pontuação adotada para a Análise de Ecoeficiência corresponde em se designar um valor de 0 a 1000 para cada um dos seis grupos nos quais as 68 frases são divididas, sendo que o maior valor está relacionado ao grupo que contém as frases indicativas das substâncias mais tóxicas, como pode ser observado na Tabela 8 a seguir. Notar que esta pontuação refere-se apenas ao uso da substância em questão, sendo que, ao se considerar todas as etapas de sua fabricação, a pontuação aumenta à medida em que são contabilizados os pontos relativos à pré-cadeia.

Grupos	Frases	Pontuação
0	R 1, R 2, R 3, R 4, R 5, R 6, R 7, R 8, R 9, R 10, R 11, R 12, R 19, R 30, R 44, R 50, R 51, R 52, R 53, R 54, R 55, R 56, R 57, R 58, R 59, R 14/15, R 15/29, R 50/53, R 51/53, R 52/53,	0
1	R 22, R 36, R 38, R 66, R 67	100
2	R 21, R 22, 34, R 35, R 37, R 41, R 42, R 43, R 65, R 36/37/38	300
3	R 20, R 24, R 25, R 20/21, R 20/22, R 21/22	400
4	R 23, R 27, R 28, R 29, R 31, R 33, R 39, R 48, R 60, R 62, R 63, R 64, R 68, R 20/21/22, R 23/24, R 23/25, R 23/24/25, R 24/25, R 27/28, R 39/23, R 39/24, R 39/25, R 39/23/24, R 39/23/25, R 39/24/25, R 39/27, R 39/28, R 39/27/28, R 68/20, R 68/21, R 68/22, R 68/20/21, R 68/20/22, R 68/21/22, R 68/20/21/22, R 42/43, R 48/20, R 48/21, R 48/22, R 48/20/21, R 48/20/22, R 48/21/22, R 48/20/21/22, R 48/24, R 48/25, R 48/24/25	550
5	R 26, R 32, R 40, R 45, R 46, R 49, R 61, R 26/27, R 26/28, R 26/27/28, R 39/23/24/25, R 39/26, R 39/26/27, R 39/26/28, R 48/23, R 48/23/24, R 48/23/25, R 48/23/24/25, R 50/53, R 51/53, R 52/53	750
6	R 39/26/27/28	1000

Tabela 8: fatores de ponderação para potencial de toxicidade

Para o cálculo da classe de impacto “potencial de toxicidade”, todos os materiais envolvidos no sistema de produto estudado são classificados de acordo com as “Frases R”. Efetua-se o produto entre a quantidade utilizada de cada material com seu respectivo fator de pontuação e, após a somatória de cada alternativa é feita a normalização.

1.2.2.1.2.5 Uso da terra

Esta classe de impacto é determinada, na ferramenta de Análise de Ecoeficiência (AEE), pela transformação e ocupação necessária da área para se produzir uma quantidade definida de determinado produto ou energia ao longo de um ano.

Segundo Nemecek (2004) e Frischknecht (2004), o uso da terra (tanto a ocupação como a transformação) figura por unidade de processo de uma determinada atividade econômica. Para a ocupação da terra, expressa em [m²*ano/unidade (kg ou MJ)], tanto a área como a duração requerida para a produção de uma certa quantidade de produtos e serviços são importantes. A área ocupada é calculada a partir do período de 1 ano do uso da terra e o rendimento por unidade de área, seguindo a equação :

$$\text{Área ocupada} = \frac{\text{Área total (m}^2\text{)}}{\text{Total de produtos extraídos em 1 ano (Kg/ano)}}$$

A ferramenta de Análise de Ecoeficiência (AEE) considera que a área transformada é igual à soma das áreas ocupadas expressa com o sinal negativo. Esta convenção segue a determinação do estudo da ETHZ -Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (GRUPPE ENERGIE-STOFFE-UMWELT ET AL, 1996). O sinal negativo representa que a área foi ocupada, porém foi modificada e os pesos expressam o esforço (gradação de dificuldade) que cada tipo de área teria em retornar à condição original.

. A metodologia subdivide o uso da terra em cinco classificações e atribui um peso para cada classificação, como mostra a Tabela 9 a seguir.

Classificação	Descrição	Peso
0	Área natural (ecossistemas inalterados)	0
I	Área próxima ao estado natural (florestas / reflorestamento)	1,0
II	Área seminatural (pastagens / bioagricultura)	1,5
III	Área de extensão territorial agrícola ou de extração	2,3
IV	Área selada (indústrias, aterros e edificações)	5,1
V	Área tomada por estradas e rodovias	7,6

Tabela 9: Fator de ponderação para o uso da área

Segundo SETAC (1996) apud WENK (1998), Guinée et al (2001) e Voet (2001), a avaliação de impactos sobre o “uso da terra”, em estudos de ACV, possui dimensão espacial e temporal [$m^2 \cdot ano$]. Como a ferramenta de Análise de Ecoeficiência tem sua vertente ambiental alicerçada na técnica de ACV, utiliza igualmente a mesma dimensão para a análise desta classe de impacto e o cálculo da área ocupada é feito de acordo com a equação apresentada anteriormente.

Como já citado, a metodologia adota que as áreas ocupadas apresentam sinal positivo enquanto as transformadas como sendo o somatório de áreas ocupadas com o sinal negativo. Efetua-se então o produto entre a quantidade utilizada de cada tipo de área com seu respectivo peso e, após a somatória de cada alternativa é feita a normalização.

1.2.2.1.2.6 Avaliação Simplificada do Potencial de Riscos

O potencial de riscos reflete a possibilidade de ocorrência de acidentes no sistema de produto considerado para a avaliação do ciclo de vida, onde a probabilidade de ocorrência e o nível de dano que poderá ser causado (severidade) são estimados de acordo com dados estatísticos fornecidos de fontes primárias ou secundárias (SALING, 2002).

O cálculo da classe “potencial de risco” consiste em se efetuar o produto entre a ocorrência de cada tipo de risco com sua respectiva severidade e, após a somatória de cada

alternativa, é feita a normalização (considerando-se inclusive o grau de importância em cada fase do ciclo de vida, em %, totalizando 100%).

1.2.2.1.3 Impressão Ecológica

A ferramenta de Análise de Ecoeficiência da BASF aborda apenas informações comparativas e não valores absolutos. Assim sendo, após a obtenção dos valores normalizados de cada classe de impacto, torna-se possível uma avaliação preliminar com a identificação das classes menos favoráveis (com valor igual a um) e das classes mais favoráveis (com valores proporcionais, menores que um) para cada alternativa, através do gráfico denominado “impressão ecológica” mostrado na Figura 7 a seguir:

Figura 7: Exemplificação de Impressão Ecológica

Fonte: Zanchetta-Urso ; Silva (2005)

1.2.2.1.4 Determinação do Indicador Ambiental

Os valores normalizados das classes ambientais são transformados em um único índice ambiental para cada alternativa por meio de agregação.

- *Agregação das classes ambientais em um único índice*

Figura 8: em destaque, a agregação das classes ambientais em um único índice
Fonte: adaptado de Saling (2002)

Como podemos observar na Figura 8, os valores normalizados das classes: consumo de recursos energéticos, consumo de recursos materiais, uso da terra, rejeitos, potencial de toxicidade e potencial de riscos são agregados de modo a formar um único indicador ambiental para cada alternativa. Esta agregação é feita utilizando-se o mesmo procedimento descrito anteriormente na agregação das categorias de impacto (EE, DCO, FFO e CA) de “emissões atmosféricas”, com a única diferenciação para as classes potencial de toxicidade e potencial de risco, que não possuem o fator de relevância, sendo considerado apenas o fator social.

A título de comparação entre os indicadores ambientais de cada alternativa, é feita uma nova normalização onde a ferramenta adota o valor “1” para a alternativa de maior valor e, de forma relativa, calcula-se o valor normalizado do indicador ambiental para as demais alternativas.

1.2.2.2 Vertente Econômica

A ferramenta de Análise de Ecoeficiência não considera os custos que poderiam ser evitados com possíveis reduções de impactos ambientais, de modo que, as abordagens ambientais e econômicas podem ser feitas separadamente (SALING ET AL, 2002).

1.2.2.2.1 Determinação do Indicador Econômico

A vertente econômica da ferramenta desenvolvida pela BASF considera, para cada alternativa, o total dos custos associados ao ciclo de vida do sistema de produto em questão como sendo o indicador econômico.

Não existe um único método para o cálculo dos custos, que depende do objetivo da análise. Na maioria dos casos, estimam-se os custos através do preço de compra, revenda e depreciação para o consumidor final. Para comparação de processos, estuda-se o custo final do produto utilizando-se métodos de valor presente, depreciação e taxa de retorno (OLIVEIRA, 2006)¹.

A normalização dos custos é feita, entretanto da mesma forma dos indicadores ambientais. A título de comparação entre as alternativas em estudo, se adota o valor “1” para a média aritmética do total de custos e, de forma relativa, calcula-se o valor normalizado para cada alternativa.

1.2.2.3 Matriz de Ecoeficiência

A ferramenta de análise de ecoeficiência aborda apenas informações comparativas e não valores absolutos. Desta forma a BASF desenvolveu um método segundo o qual os parâmetros ecológicos são combinados com parâmetros econômicos e por fim expressos, como um único ponto para cada alternativa, em um sistema de coordenadas denominado “Matriz de Ecoeficiência” e exemplificado na Figura 9, na qual a compreensão e interpretação dos resultados da análise tornam-se claramente compreensíveis (SALING, 2002).

Figura 9: exemplificação da Matriz de Ecoeficiência
Fonte: Zanchetta-Urso; Silva. (2005)

¹ Comunicação pessoal com Sueli Oliveira – Coordenadora da equipe de ecoeficiência da Fundação Espaço-ECO – dezembro de 2006

Para a determinação das coordenadas que compõem a matriz de ecoeficiência, em primeiro lugar, a ferramenta integra as vertentes ambiental e econômica através de uma relação econômico-ambiental. Esta relação consta da raiz quadrada da divisão entre a média aritmética de todas as relevâncias (calculadas durante as agregações das classes de impacto) pela relevância econômica. Esta última é calculada dividindo-se o maior custo entre as alternativas pelo produto interno bruto (PIB) da região onde está sendo aplicado o estudo. Em segundo lugar, dentre os indicadores das diferentes alternativas, é calculada a média aritmética dos indicadores ambientais e a média aritmética dos indicadores econômicos, para em seguida, determinar o desvio de cada indicador em relação às respectivas médias, como exemplificado na Figura 10 a seguir.

Figura 10: Exemplificação de obtenção dos desvios dos índices ambientais
Fonte: Vianna (2006)

Utilizando-se o valor obtido para a relação econômico-ambiental e os desvios calculados, os índices ambientais e econômicos de cada alternativa são novamente ponderados, gerando as coordenadas econômicas e ambientais. Estas coordenadas são utilizadas para determinação do resultado final da análise, ou seja, a Matriz de Ecoeficiência. Desta forma, assegura-se que ambas as vertentes possuam o mesmo peso no resultado final da análise.

Na Figura 9, podemos observar que a alternativa 1 é a mais ecoeficiente, seguida pela alternativa 4. Como as duas alternativas possuem praticamente o mesmo desempenho ambiental, a alternativa 1 se destaca com um melhor desempenho econômico, tornando-a assim mais ecoeficiente. Em compensação, a alternativa 3 é a menos ecoeficiente, pelo seu alto custo e por apresentar alto potencial de impacto ambiental.

1.3 Óleos e Gorduras

1.3.1 Introdução

As gorduras constituem uma das classes de biomoléculas cujas moléculas são estudadas através da Bioquímica, que é um ramo da biologia alicerçado sobre os fundamentos da química orgânica. Estas moléculas, maiores e mais complexas do que as normalmente estudadas pela química orgânica, existem no ambiente de um organismo vivo, porém, segundo Morrison; Boyd (1973), as propriedades físicas e químicas destes compostos dependem da estrutura molecular exatamente da mesma maneira que as propriedades dos outros compostos orgânicos.

As células armazenadoras de gordura dos animais e das plantas são uma das mais importantes reservas alimentares do organismo e as substâncias insolúveis em água que são extraídas destas células, ora por prensagem ora por solventes orgânicos, são os chamados lipídeos.

Quimicamente, as gorduras são ésteres carboxílicos derivados de um único álcool, o glicerol, $\text{HOCH}_2\text{CHOHCH}_2\text{OH}$ e de diferentes ácidos carboxílicos (ácidos graxos de cadeia alquílica longa), e são conhecidas por glicerídeos ou triacilgliceróis.

1.3.2 Ácidos Carboxílicos Graxos

Os ácidos graxos ocorrem na natureza como substâncias livres ou esterificadas. A maior parte encontra-se esterificada com o glicerol, formando os triacilgliceróis e/ou triglicerídeos. Os óleos e gorduras são misturas relativamente complexas de triacilgliceróis. As unidades acila, correspondentes aos ácidos graxos, representam cerca de 95% do peso molecular dos triacilgliceróis. As propriedades físicas, químicas e nutricionais de óleos e gorduras dependem, fundamentalmente, da natureza, do número de átomos de carbono e posição dos grupos acila presentes nas moléculas dos triacilgliceróis (UIEARA, 2005).

Na Tabela 10 podemos observar alguns dos ácidos graxos saturados (livres ou constituintes) dos TAG, mais comuns.

<i>Nome usual</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Nome IUPAC</i>
Ác. butírico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	ác. butanóico
Ác. valérico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	ác. pentanóico
Ác. capróico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	ác. hexanóico
Ác. caprílico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	ác. octanóico
Ác. cáprico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	ác. decanóico
Ác. láurico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	ác. dodecanóico
Ác. mirístico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	ác. tetradecanóico
Ác. palmítico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	ác. hexadecanóico
Ác. esteárico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	ác. octadecanóico
Ác. Araquídico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	ác. eicosanóico
Ác. linocérico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	ác. tetracosanóico

Tabela 10: Ácidos Graxos Saturados mais comuns

Na Tabela 11 podemos observar alguns dos ácidos graxos insaturados (livres ou constituintes) dos TAG, mais comuns.

<i>Nome usual</i>	<i>Fórmula</i>
Ác. palmitoleico ($\text{C}_{16}:1$)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Ác. oleico ($\text{C}_{18}:1$)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Ác. linoleico ($\text{C}_{18}:2$)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Ác. linolênico: ($\text{C}_{18}:3$)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Ác. araquidônico: ($\text{C}_{20}:4$)	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$

Tabela 11: Ácidos Graxos Insaturados mais comuns

1.4 Óleos e Gorduras Vegetais

1.4.1 Introdução

Óleos e gorduras vegetais são formados por moléculas de triglicerídeos (TAG) resultantes da condensação de uma molécula de glicerol com três moléculas de ácidos graxos.

Os ácidos graxos mais comumente encontrados nos óleos e gorduras vegetais apresentam cadeias de 16 e 18 átomos de carbono. Essas cadeias podem ser saturadas ou insaturadas.

Tanto a composição química como o grau de insaturação dos óleos vegetais varia conforme a espécie oleaginosa. Assinala-se, a propósito, que alguns frutos, especialmente os de palmáceas como no caso do dendê, podem fornecer dois tipos diferentes de óleo.

1.4.2 Composição dos Triglicerídeos

No início do século XX, evidências qualitativas foram obtidas com a intenção de mostrar que os óleos e gorduras vegetais eram constituídos mais comumente por triglicerídeos compostos do que por triglicerídeos simples. Na Tabela 12 podem ser observados os principais ácidos graxos constituintes dos óleos vegetais objetos deste estudo, em suas respectivas proporções médias.

Ácidos Graxos	Denominação Comum	Peso Molecular	SOJA (%)	PALMA (%)
Merístico C14 H28 O2	C 14:0	228.36		1
Palmítico C16 H32 O2	C 16:0	256.42	11	46
Estearico C18 H36 O2	C 18:0	284.47	4	4
Oleico C18 H34 O2	C 18:1	282.45	25	37
Linoleico C18 H32 O2	C 18:2	280.44	50	10
Araquídico C20 H40 O2	C 20:0	312.52	0.4	0.4
Linolênico C18 H30 O2	C 18:3	278.42	8	0.3

Tabela 12- Composição média dos ácidos graxos nos óleos de soja e palma
Fonte : ROMANO (1982).

De acordo com Mattil (1964), quando os três ácidos graxos são os mesmos, o produto é um triglicerídeo simples, quando possui dois ou três ácidos graxos diferentes, é um triglicerídeo composto. Quando o triglicerídeo contém apenas 2 ácidos graxos diferentes, ele possui quatro formas isoméricas, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11: forma isomérica de Triglicerídeo composto contendo dois ácidos graxos diferentes
 Fonte: Mattil (1964)

1.4.3 Propriedades Físico-Químicas dos Óleos Vegetais

Existe uma estreita correlação entre a estrutura química do óleo vegetal e algumas de suas propriedades físico-químicas. Os óleos do tipo saturado em geral são sólidos à temperatura ambiente e se constituem sobretudo de glicerídeos derivados do ácido láurico. Já os óleos polinsaturados são formados predominantemente de glicerídeos do ácido linoleico e do ácido linolênico. De acordo com a classificação feita por Brasil (1985), o óleo vegetal proveniente da polpa do fruto de dendê é um óleo do tipo insaturado por possuir cerca de 55% de ácidos graxos insaturados em sua composição, enquanto que o óleo de soja é classificado do tipo polinsaturado por possuir mais de 85% de ácidos graxos insaturados em sua composição.

1.4.4 Produção Brasileira de Óleos Vegetais

Como podemos observar na Tabela 13 a seguir, a produção brasileira de óleos vegetais atingiu em 2004 a ordem de 6 milhões de toneladas, onde os óleos de soja e palma representam um valor superior a 90%.

Tipo de óleo	2002 (1000 ton)	2003 (1000 ton)	2004 (1000 ton)	2004 (%)
Soja	4937,0	4387,0	5571,0	89,2
Algodão	195,7	217,0	268,4	4,3
Palma (dendê)	118,0	129,9	140,0	2,2
Girassol	55,7	62,1	74,6	1,2
Milho	45,9	55,0	63,6	1,0
Mamona	40,1	39,7	60,8	1,0
Colza (canola)	16,9	20,4	22,8	0,4
Amendoim	28,1	21,8	21,8	0,3
Palmiste	13,3	14,5	15,8	0,3
total	5450,7	4947,4	6238,8	

Tabela 13: Produção Brasileira de Óleos Vegetais
Fonte: Oilworld Annual (2005) apud Delvechio (2006)

1.5 Óleos Vegetais para fins Carburantes

1.5.1 Introdução

Os óleos vegetais têm sido apontados como provável alternativa ao óleo diesel desde o início do século passado, por possuírem características físico-químicas próximas ou passíveis de adequação ao motor diesel. Eles podem ser utilizados nos motores diesel com ou sem processamento. O craqueamento (térmico ou catalítico) e a transesterificação são processos que visam a adequação do combustível ao motor.

1.5.2 Combustíveis Líquidos a partir de Óleos Vegetais

Os óleos vegetais podem ser utilizados para fins carburantes de diversas formas: de maneira natural, puros ou misturados com óleo diesel e aditivos ou ainda, de maneira processada, como o produto da transesterificação ou craqueamento térmico ou catalítico. A borra proveniente do refino de óleos vegetais contém Ácidos Graxos Livres (AGL) que também podem ser esterificados para a obtenção do biocombustível.

1.5.2.1 Óleo Vegetal Natural

1.5.2.1.1 Puro

Os óleos vegetais “in natura” apresentam melhores resultados quando utilizados em motores de injeção indireta, pois os motores de injeção direta são mais exigentes quanto à qualidade do combustível (LEONE, 1982 apud SALAMA, 1982).

Nos motores de injeção indireta, a combustão se processa em duas etapas distintas através da divisão da Câmara em duas partes: a câmara principal e a pré-câmara de combustão onde o combustível é injetado. Este tipo de motor permite o uso de óleos vegetais “in natura” em volumes de até 100%, necessitando de poucas modificações, como a regulagem da bomba injetora para adequação do índice de viscosidade do óleo. Entretanto, os motores pré-câmara são menos econômicos do que o de injeção direta, devido à natureza do processo de combustão. Além disso, as perdas por calor na pré-câmara são elevadas, tornando o motor menos eficiente do que outros tipos de motores.

1.5.2.1.2 Misturado

Os motores de injeção direta são mais sensíveis quanto à qualidade do combustível empregado, pois a maioria utiliza bicos injetores de furos múltiplos, onde os problemas de entupimento e formação de depósitos de carbono são mais comuns.

O depósito de carbono surge devido aos hidrocarbonetos insaturados contidos nos óleos vegetais (e ausentes no óleo diesel) isto é, devido à presença de duplas ou triplas ligações entre os carbonos da cadeia. Estes problemas trazem como consequência a perda da potência do motor, o aumento gradativo do consumo de combustível e a interrupção do funcionamento da máquina ou engripamento (quando as peças dos anéis dos pistões são coladas por excesso de carbono). A utilização de óleos vegetais neste tipo de motor deve ser de no máximo 20% em mistura com o diesel, pois acima deste limite a viscosidade ultrapassa o valor especificado para o óleo diesel, sendo necessárias modificações no motor (AGUIAR, 1980 apud SALAMA 1982).

1.5.2.1.2.1 Óleo Vegetal misturado com Óleo Diesel

Misturas binárias de óleos vegetais e óleo diesel foram testados exaustivamente, em diversas proporções, com diferentes tipos de óleo, concluindo-se que a maioria dos óleos vegetais são miscíveis ao óleo diesel em qualquer proporção à temperatura ambiente de aproximadamente 26 °C (com exceção do óleo de dendê), porém o percentual de adição da maioria dos óleos deve ser de no máximo 20% devido à viscosidade dos óleos vegetais. Devido ao elevado ponto de névoa apresentado na mistura de diesel com 20% de óleo de soja (à 11°C) deve-se evitar o uso desta mistura em regiões frias (BARRETO, 1982 apud SALAMA 1982).

1.5.2.1.2.2 Óleo Vegetal misturado com Óleo Diesel e Etanol

Misturas ternárias de óleos vegetais, óleo diesel e etanol também foram analisados com a intenção de reduzir a viscosidade e o resíduo de carbono das misturas binárias. Dos ensaios obtidos verificou-se que a substituição de óleo diesel por óleo vegetal e etanol anidro pode ser de até 40%(BARRETO, 1982 apud SALAMA 1982).

1.5.2.1.2.3 Etanol misturado ao Óleo Diesel

Segundo estudo da UNICAMP (2004), é possível produzir, num primeiro momento, uma mistura com cerca de 10% de álcool com diesel, porém, para essa mistura se tornar homogênea sem prejudicar o desempenho do motor, seria necessária uma formulação extremamente precisa com a adição de aditivos. A princípio, qualquer planta oleaginosa, como a soja ou a mamona, pode servir de matriz para a obtenção destes aditivos.

1.5.2.2 Óleo Vegetal Processado

1.5.2.2.1 Craqueamento Térmico

O craqueamento térmico das moléculas dos óleos vegetais é capaz de produzir misturas de hidrocarbonetos semelhantes às frações de petróleo. Este processo compreende na hidrólise ácida do óleo vegetal bruto para a extração da glicerina, seguida da saponificação dos ácidos graxos e posterior craqueamento térmico do sabão, resultando em um “petróleo vegetal” com frações equivalentes a 60% de diesel, 20% de gasolina, 15% de leves e 5% de pesados (MME, 1980).

1.5.2.2.2 Craqueamento Catalítico

O craqueamento das moléculas de óleos vegetais visando à obtenção de hidrocarbonetos próximos aos do óleo tipo diesel também pode ser feito utilizando-se catalisadores. Dentre os vários tipos de catalisadores que podem ser empregados, podemos citar os constituídos à base de Ni/SiO₂. O processo de craqueamento catalítico pode ser feito a partir do óleo bruto ou pré-hidrogenado sendo que este último, apesar de apresentar menores rendimentos, permite a obtenção de quantidades razoáveis de hidrocarbonetos próximos da gasolina e do óleo diesel mineral (ANJOS, 1981).

1.5.2.2.3 Esterificação de Ácidos Graxos Livres

De acordo com Aranda (2005), o biodiesel é um éster metílico ou etílico que pode ser obtido tanto do triglicerídeo através da reação de transesterificação com o álcool, tendo como subproduto a glicerina, como também pode ser obtido a partir dos ácidos graxos livres contidos nas borras ácidas provenientes dos processos de extração e refino de óleos vegetais através da reação de esterificação com o álcool, sem a geração de um subproduto. Este processo de obtenção de biodiesel a partir do resíduo (borra) oriundo da unidade de refino de óleos vegetais é patenteado pela UFRJ com direito exclusivo de utilização da Agropalma.

1.5.2.2.4 Transesterificação

Os óleos vegetais, quando transformados em ésteres etílicos ou metílicos através da reação de transesterificação, possuem características físico-químicas mais próximas às do óleo diesel do que as do óleo “in natura”. Além disso, o éster formado, também denominado biodiesel, possui características mais independentes da espécie vegetal utilizada. Os ésteres podem ser utilizados em motores diesel de injeção direta ou indireta.

O processo de transesterificação de óleos vegetais via rota etílica ou rota metílica resulta em diversos benefícios em relação ao respectivo óleo vegetal: reduz a densidade e a viscosidade, enquadrando-se dentro da especificação do óleo diesel; diminui o ponto de fulgor e o ponto de névoa; reduz o resíduo de carbono a valores menores que os do diesel; dá origem a produtos com menor peso molecular, embora seja mantida a estrutura original dos ácidos graxos e aumenta o número de cetano (tornando-se maior ou igual ao diesel).

O processo de transesterificação consiste basicamente em introduzir uma carga de óleo vegetal em um reator, dotado de agitador e com sistema de aquecimento indireto, onde os triglicerídeos são submetidos ao ataque pelo álcool em excesso na presença de catalisadores ácidos ou básicos. A reação, apresentada de forma esquemática na Figura 12, se completa de 1 a 3 minutos na temperatura de 40-45⁰C, seguindo-se imediatamente a destilação do álcool não consumido.

Figura 12: representação da reação de transesterificação etílica

O produto da reação, basicamente constituído de uma mistura de ésteres, glicerina, catalisador e sabão, apresenta-se em duas fases distintas que são separadas no próprio reator através de uma válvula de descarga. A fase superior desta mistura representa os ésteres, enquanto a camada inferior é formada essencialmente de glicerina e que pode ser separada por decantação simples. No entanto, antes da filtração, a mistura de ésteres deve ser lavada com água quente de modo a eliminar traços de catalisador, de sabão ou de glicerina residual.

1.5.2.2.4.1 Fatores que influenciam a reação

Dentre os fatores que mais influenciam no rendimento de uma reação de transesterificação, podem ser citados a temperatura; o tempo de reação; a umidade e a acidez livre presente no óleo vegetal; a concentração de álcool e a escolha do catalisador. A presença de umidade no meio da reação de transesterificação tem uma influência negativa no seu desenvolvimento, proporcionando menor eficiência da conversão em ésteres. Por esta razão é necessário o emprego de álcool anidro assim como óleos vegetais com baixos teores de umidade.

Da mesma forma, para que elevados rendimentos sejam obtidos na reação de transesterificação dos triglicerídeos, na presença de catalisadores básicos, os óleos vegetais empregados devem ser neutros ou possuir baixa acidez, pois a presença de ácidos graxos livres neutraliza a ação catalítica. Além disto, fica mais difícil a separação posterior dos sabões formados na reação, que conduzem quase sempre a perdas no rendimento da mistura

de ésteres. Neste aspecto, a catálise ácida, apesar de ser mais lenta, oferece uma alternativa para a produção de ésteres a partir de óleos vegetais de acidez elevada (BRASIL, 1985).

1.6 Extração de Óleos Vegetais

1.6.1 Introdução

A extração de óleos vegetais, até o final da segunda década do século XX, era feita exclusivamente pelo uso de prensas. Este procedimento sempre garantiu a extração de óleos de boa qualidade porém, cerca de 5% do óleo era perdido na forma de resíduo junto com a torta, afetando inclusive a qualidade da mesma. Com o início da extração por solvente, o processo foi otimizado com a perda de óleo no resíduo inferior a 1%. Cada oleaginosa possui um teor de óleo diferente e para aquelas com altos teores ($> 20\%$) normalmente usa-se primeiramente executar a prensagem das sementes para posteriormente submetê-las à extração por solvente. Para as oleaginosas com baixos teores de óleo ($< 20\%$) a extração é feita diretamente por solvente, sem a prensagem inicial dos sólidos (REZENDE, 1998).

O processamento de sementes oleaginosas geralmente envolve uma combinação da prensagem e a extração por solvente. As sementes são normalmente prensadas até o teor de óleo residual atingir cerca de 20%, então, a torta é levada ao processo de extração por solvente para a redução do óleo na torta a teores menores de 1%. No caso das oleaginosas com teor de óleo inferior a 20% como, por exemplo, a soja, não ocorre a prensagem (ULLMANN'S, 1987).

O processo de obtenção de óleos vegetais se inicia com a etapa de preparação da oleaginosa. O manuseio de sementes e frutas oleaginosas durante o processo de preparação tem uma influência decisiva no rendimento e na qualidade do óleo.

As reações químicas envolvidas na atividade respiratória dos grãos e sementes são controladas pelas enzimas. O aumento da umidade e da temperatura acelera esta atividade biológica e quanto maior for a taxa respiratória dos grãos, mais rápida será a deterioração da matéria-prima armazenada. A troca de umidade entre o grão e o ar que o envolve tende para um ponto de equilíbrio. Este ponto de equilíbrio é denominado de “equilíbrio higroscópico”. Para minimizar os efeitos causados pela atividade respiratória, os grãos e sementes oleaginosas devem ter suas umidades controladas através da etapa de secagem, de modo a não permitir que o teor crítico de umidade seja ultrapassado. Este controle deve ser feito antes do armazenamento. O teor crítico de umidade está relacionado com o equilíbrio higroscópico a

75% da umidade relativa e varia entre 6 e 13%, dependendo do teor proteico e de carboidratos (MORETTO ; FETT,1989).

Dentre os processos de extração de óleos vegetais podemos citar o processo mecânico, o processo químico e uma combinação dos dois processos.

1.6.2 Processo Mecânico

O sistema mecânico consiste na aplicação de pressão mecânica sobre a matéria prima, até fluir o óleo, portanto, o equipamento é um grande consumidor de energia e necessita de constante manutenção. Algumas sementes oleaginosas contêm alto teor de óleo necessitando utilizar uma pré-extração. A prensagem mecânica pode ser a frio ou a quente (ISHIKAWA, 1982).

1.6.3 Processo Químico

O sistema químico consiste na extração de óleo através da utilização de substâncias auxiliaadoras como os solventes orgânicos, fluidos supercríticos ou enzimas.

1.6.3.1 Extração com Fluido Supercrítico

Os fluidos supercríticos são também conhecidos na literatura como gases densos. A densidade de um fluido supercrítico é maior que a dos gases e muito próxima dos líquidos e existe uma relação direta entre o aumento da densidade de um fluido supercrítico com o aumento do seu poder de solubilização (CARRILHO, 1990).

Queiroz (1992) realizou experimentos com a finalidade de avaliar a utilização do pentano como fluido supercrítico e da mistura dióxido de carbono e pentano como mistura de fluidos supercríticos para a extração de diferentes óleos vegetais, comparando os resultados com o processo convencional de extração com solventes orgânicos. Para a caracterização dos óleos extraídos pelos dois processos (processo convencional de extração com solventes orgânicos e processo de extração com fluido supercrítico), o autor efetuou análises cromatográficas da composição dos ésteres metílicos obtidos através da reação de transesterificação dos glicerídeos com metanol. Os resultados destas análises foram semelhantes, portanto, podemos admitir que, para a fabricação do biodiesel, em termos de composição final do éster, é indiferente a utilização de fluido supercrítico ou solventes orgânicos para a extração de óleos vegetais.

1.6.3.2 Extração por Solventes Orgânicos

A extração de óleos vegetais com solventes orgânicos é um eficiente método para a obtenção de óleos vegetais provenientes de materiais oleaginosos e possui a vantagem de proporcionar alto rendimento na extração de sementes com baixo teor de óleo. A principal propriedade de um solvente para extração de oleaginosas é a de solubilizar os triglicerídeos.

A dissolução e a difusão são os dois processos que ocorrem durante uma extração com solventes orgânicos, sendo que o primeiro ocorre rapidamente e o segundo de forma mais demorada, pois depende que a mistura de óleo e solvente seja difundida através da parede celular semipermeável do grão ou da semente oleaginosa em questão.

O óleo vegetal contido no material a ser extraído apresenta-se em duas formas: na forma de uma camada ao redor das partículas das sementes trituradas, que é obtido por um processo de simples dissolução e nas células intactas, que é removido, do interior destas, por difusão (QUEIROZ, 1992).

Os solventes mais usados são os hidrocarbonetos leves do petróleo, principalmente o hexano, que vem acompanhado de pequena parcela de outros hidrocarbonetos. Para a escolha do solvente ideal a ser utilizada em um processo de extração de óleos vegetais, alguma exigência básica devem ser observadas. O solvente deve dissolver com facilidade o óleo sem agir sobre outros componentes; não deve ser miscível com a água e deve possuir uma faixa estreita de temperatura de ebulição com baixo calor latente de ebulição para facilitar sua recuperação. O grau de volatilização e inflamabilidade também devem ser observados.

1.7 Biodiesel

1.7.1 Introdução

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 pode ser classificado como qualquer combustível alternativo de natureza renovável que possa oferecer vantagens sócio-ambientais ao ser empregado na substituição total ou parcial do diesel de petróleo, em motores do ciclo Diesel. Esta definição, bastante ampla, inclui diversas opções tecnológicas de se utilizar óleos vegetais para fins carburantes, como citado anteriormente no item 5.4 desta revisão bibliográfica.

De acordo com Del Vecchio (2006)², a tendência tecnológica atual é a produção de biodiesel com óleos vegetais através de processo de transesterificação utilizando a rota metílica ou etílica e catalisadores homogêneos.

O processo de transesterificação metílica é mais dominado tecnologicamente, porém o Brasil, valendo-se da experiência do Pró-álcool e de acordo com sua vocação para a obtenção do etanol, definiu a rota etílica como sendo a rota brasileira para a obtenção do biodiesel.

A unidade industrial para a obtenção do biodiesel, utilizando-se o processo de transesterificação de óleos vegetais, pode partir das seguintes matérias primas:

a) óleo bruto - planta de produção de biodiesel com unidades de tratamento do óleo antes da unidade de transesterificação.

b) oleaginosa - planta de produção de biodiesel com unidades de extração e tratamento do óleo antes da unidade de transesterificação.

c) óleo degomado – planta de produção de biodiesel com unidades de neutralização e secagem do óleo antes da unidade de transesterificação.

c) óleo dentro das especificações exigidas - planta de produção de biodiesel apenas com a unidade de reação de transesterificação.

1.7.2 Especificações do Biodiesel

Segundo o CERBIO (2004), a especificação do biodiesel destina-se a garantir a sua qualidade e adequação ao uso. O biodiesel de óleos vegetais deverá ser avaliado para cada oleaginosa e cada uso, porque características físico-químicas podem ser diversas de um óleo para outro. A especificação brasileira é similar à européia e à americana, com alguma flexibilização para atender às características de matérias-primas nacionais. Esta especificação editada em portaria pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP) é considerada adequada para evitar alguns problemas, inclusive observados na Europa.

A especificação européia determina expressamente o uso de metanol para produção de biodiesel. A especificação brasileira, como a americana, não restringe o uso de álcool etílico. O ponto essencial é que a mistura de biodiesel com diesel atenda a especificação do diesel, principalmente quanto às exigências do sistema de injeção do motor, do sistema de filtragem e de exaustão. Os valores adotados pela ANP resultaram de um amplo processo de consulta, com fabricantes de motores e sistemas de injeção, produtores de biodiesel e diesel,

² Comunicação pessoal por email do Sr. Ernesto Del Vecchio - assessor da Diretoria da DEDINI S/A Industrias de Base - fornecedora de tecnologia para a produção de biodiesel – Maio/2006

universidades e centros de pesquisa. Embora os limites propostos possam ser reavaliados, é importante que determinadas características sejam efetivamente medidas, como é o caso da estabilidade à oxidação. O biodiesel pode ser aditivado com compostos antioxidantes naturais ou artificiais, que reduzem sua taxa de degradação e mitigam os efeitos do processo de oxidação.

1.7.3 Propriedades Físicas e Químicas do Biodiesel

- Viscosidade e Densidade: tais propriedades exercem grande influência na circulação e injeção do combustível. As propriedades fluidodinâmicas do biodiesel, independentemente de sua origem, assemelham-se as do óleo diesel.
- Lubricidade: medida do poder de lubrificação de uma substância, em função de várias de suas propriedades físicas, destacando a viscosidade e a tensão superficial. Os motores a óleo diesel exigem que o combustível tenha propriedades de lubrificação, especialmente, em razão do funcionamento da bomba, exigindo que o líquido escoe e lubrifique adequadamente as suas peças em movimento.
- Ponto de Fulgor: é a menor temperatura na qual o biodiesel, ao ser aquecido pela aplicação de uma chama sob condições controladas, gera uma quantidade de vapores que se inflamam. Tal parâmetro, relacionado à inflamabilidade do produto, é um indicativo dos procedimentos de segurança a serem tomados durante o uso, transporte, armazenamento e manuseio do biodiesel. O ponto de fulgor do biodiesel, se completamente isento de metanol ou etanol, é superior à temperatura ambiente, significando que o combustível não é inflamável nas condições normais onde ele é transportado, manuseado e armazenado. A ANP estabelece um valor mínimo de 100° C para o biodiesel nacional.
- Água e sedimentos: visa controlar a presença de contaminantes sólidos e água. Os sólidos podem reduzir a vida útil dos filtros dos veículos e prejudicar o funcionamento adequado dos motores. A presença de água em excesso pode contribuir para a elevação da acidez do biocombustível, podendo torna-lo corrosivo. A ANP estabelece um valor máximo de 0,050% em volume para o teor de água e sedimentos contidos no biodiesel.
- Viscosidade Cinemática: expressa a resistência oferecida pelo biodiesel ao escoamento. Seu controle visa garantir um funcionamento adequado dos

sistemas de injeção e bombas de combustível, além de preservar as características de lubricidade do biodiesel. A ANP sugere que o valor da viscosidade seja anotado, sem estabelecer um valor máximo ou mínimo.

- Corrosividade ao cobre: trata-se da avaliação do caráter corrosivo do biodiesel, ou seja, indica o grau de corrosividade do produto em relação às peças metálicas confeccionadas em ligas de cobre que se encontram presentes nos sistemas de combustível dos veículos e equipamentos, além das instalações de armazenamento.
- Cinzas Sulfatadas: expressam os resíduos inorgânicos, não combustíveis, resultantes após a queima de uma amostra do biodiesel. As cinzas são basicamente constituídas de sais inorgânicos (óxidos metálicos de sódio ou potássio no caso do biodiesel) que são formados após a combustão do produto e se apresentam como abrasivos. A presença de sódio e potássio no biodiesel indica resíduos do catalisador utilizado durante a reação de transesterificação e que não foram removidos na sua totalidade no processo de purificação do biodiesel. Teores de cinzas acima das especificadas pela ANP prejudicam os pistões, anéis, bombas injetoras e injetores (as cinzas podem obstruir os bicos injetores), turbocompressores, câmara de combustão, etc.
- Número de Cetano: quanto maior for o índice de cetano de um combustível, melhor será a combustão deste em um motor diesel. O índice de cetano médio do biodiesel é 60, enquanto para o óleo diesel mineral a cetanagem situa-se entre 48 a 52, bastante menor, sendo esta a razão pelo qual o biodiesel queima muito melhor num motor diesel que o próprio óleo diesel mineral.
- Poder Calorífico: o poder calorífico do biodiesel é muito próximo do poder calorífico do óleo diesel mineral. A diferença média em favor do óleo diesel do petróleo situa-se na ordem de 5%.
- Ponto de Névoa e de Fluidez: o ponto de névoa é a temperatura em que o líquido, por refrigeração, começa a ficar turvo, e o ponto de fluidez é a temperatura em que o líquido não mais escoar livremente. Tanto o ponto de fluidez como o ponto de névoa do biodiesel varia segundo a matéria prima que lhe deu origem, e ainda, a o álcool utilizado na reação de transesterificação.

- Poder de solvência: o biodiesel, sendo constituído por uma mistura de ésteres de ácidos carboxílicos, solubiliza um grupo muito grande de substâncias orgânicas, incluindo-se as resinas que compõem as tintas (CERBIO,2004).

1.7.4 Oleaginosas para Biodiesel

O Brasil é um país rico na diversidade de oleaginosas devida à sua enorme extensão territorial, com excelentes condições climáticas, como se podem notar alguns exemplos na Tabela 14:

	REGIÕES BRASILEIRAS	TEOR DE ÓLEO(%)	PRODUTIVIDADE (Kg de óleo/ha)
Andiroba	N	28	2800
Maracujá	SE,CO,NE	10	160
Buriti	N	20	5000
Pinhão manso	SE,CO,NE	52	2000
Mamona	S,SE,CO,NE	52	890
Gergilim	NE,SE	52	415
Algodão	S,SE,CO,NE	18	280
Girassol	S,SE,CO	40	720
Macaúba	SE,CO,N,NE	18	2600
Nabo forageiro	S,SE,CO	38	230
Pequi	SE,CO,NE	25	3000
Amendoim	SE	44	1800
Canola	S	38	750
Cupuaçu	N	20	1500
Linhaça	S	33	330
Cast. Pará	N	50	2000
Soja	S,SE,CO,N,NE	19	540
Babaçu	N,NE	50	
Dendê	N,NE	22	4000

Tabela 14: oleaginosas para produção de biodiesel.
Fonte: FERTIBOM (2005)

1.7.5 Potencialidades para o Mercado Brasileiro

Como pode ser observado na Figura 13, o consumo de diesel no Brasil é distribuído em 9% para a região norte, 12% para a região centro-oeste, 21% para a região sul, 44% região sudeste e 14% para o nordeste. As potencialidades regionais de cultura das oleaginosas apresenta a soja como sendo apta para todas as regiões, a palma na região norte e nordeste, a

mamona nas regiões centro-oeste e nordeste, o girassol nas regiões sul e sudeste e o algodão nas regiões centro-oeste, sul e sudeste.

Figura 13: Potencialidades regionais de oleaginosas para biodiesel
Adaptado de PNPB (2005)

Observando na Tabela 15 o consumo aparente de diesel no Brasil (produção + importação - exportação), podemos dizer que para um consumo de diesel da ordem de 41 milhões de m³, existe um potencial de consumo de biodiesel em misturas B2 (adição de 2% de biodiesel ao diesel convencional) da ordem de 800 milhões de litros (o que poderia representar 34% das importações) e 2 milhões de litros para a mistura B5 (o que representa 86% das importações brasileiras de diesel).

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
produção	30,780,051	33,077,881	32,990,598	34,152,861	38,252,266	38,396,429
importação	5,800,873	6,585,300	6,369,902	3,818,362	2,694,702	2,371,306
exportação	60,629	73,459	16,350	122,238	64,527	300,953
consumo	36,520,295	39,589,722	39,344,151	37,848,985	40,882,440	40,466,782

Tabela 15: Consumo aparente de diesel no Brasil (ANP, 2006b)

De acordo com MAPA (2004), a ocupação da terra no Brasil é distribuída conforme dados apresentados na Tabela 16, na qual é possível observar a existência de 100 milhões de hectares de terra ainda disponíveis para agricultura.

OCUPAÇÃO	ÁREA (HECTARE)	PORCENTAGEM (%)
FLORESTA AMAZÔNICA	349.082.673	41%
ÁREAS PROTEGIDAS	51.085.269	6%
PASTAGENS	221.369.450	26%
ÁREAS AINDA DISPONÍVEIS PARA AGRICULTURA	102.170.538	12%
CULTURAS ANUAIS	51.085.269	6%
CULTURAS PERENES	17.028.423	2%
FLORESTAS PLANTADAS	8.514.212	1%
CIDADES, LAGOS E ESTRADAS	17.028.423	2%
OUTROS USOS	34.056.846	4%
TOTAL	851.421.103	

Tabela 16: Ocupação de terra no Brasil (MAPA, 2004)

1.8 Soja

1.8.1 Introdução

A soja (*Glycine Max*l) é uma planta herbácea pertencente à família das leguminosas. Sua semente é muito rica em substâncias proteicas e graxas. O grão de soja possui uma casca fina que representa aproximadamente 7% de seu peso. O óleo de soja, contido na proporção de 18 a 20%, é rico em ácidos graxos insaturados, contendo em maior proporção o ácido linoleico (BOCKISCH, 1998).

A soja ocupa em torno de 57% da área de plantio de culturas temporárias no Brasil. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, com 23,8% do total produzido em 2004, perdendo somente para os Estados Unidos que produziu 41,5% da soja mundial no mesmo ano (EMBRAPA, 2006a).

1.8.2 Mercado brasileiro

A soja no Brasil é produzida por mais de 243.000 agricultores dos mais variados portes, atingindo em 2005 a produção de 53 milhões de toneladas de grãos das quais 22 milhões foram exportados e 29 milhões destinadas à indústria esmagadora que trabalha atualmente com 72% da capacidade instalada e é composta por um parque de mais de 50 empresas na qual apenas 12 representam 70%.

Desta forma, em 2005 foram produzidos 5,7 milhões de toneladas de óleo de soja sendo 2,4 para extorção e 3,1 para consumo interno.

O outro produto proveniente da indústria esmagadora é o farelo de soja, que foi produzido 22,9 milhões de toneladas em 2005 sendo 9 milhões para o consumo interno e o restante para exportações como pode ser observado na Figura 14 (NAPPO, 2006)³.

Figura 14: Mercado da soja no Brasil em 2005

1.8.3 Agricultura

O plantio da soja é feito normalmente na primavera sendo que a colheita costuma ocorrer nos meses de verão e início de outono. O ciclo de desenvolvimento da planta leva entre 125 e 160 dias. De uma maneira geral, a sazonalidade do plantio e da colheita da soja no Brasil mostra que 60% da produção é plantada no mês de novembro, enquanto a colheita tem seu pico nos meses de março e abril (COELI, 2004).

³ Comunicação pessoal por email com Sr. Márcio Nappo da ABIOVE (Coordenador de Economia e Estatística) em setembro/2006

De acordo com Ortega (2002), as principais modalidades de produção de soja no Brasil são: Agricultura Ecológica (sistema familiar ecológico tradicional); Agricultura Orgânica (empresa moderna de produção orgânica); Agro-químico (sistema agro-químico convencional no uso de maquinaria e insumos industriais) e Agricultura de Herbicida (sistema de plantio direto com uso de herbicida).

Segundo Vieira (2002), o sistema de manejo de solo de plantio direto é o predominante no cultivo da soja em todo o país.

1.8.3.1 Sistema de Plantio Direto

O sistema de plantio direto fundamenta-se na ausência de preparo do solo e na cobertura permanente do terreno através de cobertura verde ou rotação de culturas como o milho, nabo forrageiro e girassol.

1.8.3.2 Calagem

Para a correção da acidez do solo, adequando-o ao sistema de plantio direto, utiliza-se a aplicação de um corretivo (calcário), na quantidade recomenda para cada tipo de solo em uma operação de calagem que incorpora o calcário na camada arável do solo, ou seja, até 20 cm de profundidade.

Os solos brasileiros são em sua maioria ácidos, seja pela sua própria natureza, seja em decorrência do uso de sistemas de irrigação e de uso contínuo. A maioria das culturas é tolerante à acidez, porém é em ambiente de neutralidade que as plantas adquirem máxima produtividade pela maior fixação de fósforo no solo. Para aproximar o pH do solo de uma faixa de neutralidade recomenda-se a utilização do calcário. A correção diminui a perda de nutrientes por lixiviação e evaporação que, segundo estudos da EMBRAPA, chega a 20% dos nutrientes consumidos como fertilizantes, quando aplicados a solos ácidos (FAVERET, 1997).

A técnica de manejo do solo no sistema de plantio direto, não utiliza as gradações profundas, necessárias à incorporação do calcário para correção da acidez do solo. Porém não dispensa o uso do calcário na superfície, para fornecimento de cálcio e magnésio.

1.8.3.2.1 Calcário (Carbonato de Cálcio)

O carbonato de cálcio é a forma em que o cálcio é geralmente usado na calagem e encontrado na natureza em pedras ou rochas calcárias. Enquanto algumas rochas são carbonato de cálcio quase puro, outras possuem até 45% de carbonato de magnésio originando os chamados calcários dolomíticos (MALAVOLTA, 1967).

Segundo Miranda (2005), doses adequadas de calcário promovem aumentos de produtividade da soja cultivada em sistemas de plantio direto e convencional. No solo com acidez elevada, o calcário incorporado ao solo promove maior produtividade que o não incorporado, em plantio direto, sendo que a aplicação superficial do calcário sem incorporação é eficiente na correção da acidez do solo na camada de 0–5 cm.

Segundo Mello (2003), no sistema de plantio direto, o calcário apresenta reação mais lenta e maior poder residual, o que pode estar associado à não-movimentação do solo, quando comparado ao sistema de plantio convencional. Por esse motivo, o autor levanta a hipótese de que calcários mais reativos, ou seja, aqueles que se apresentam mais finos ou com um grau de moagem maior, corrigiriam, de forma mais eficiente, a acidez dos solos no sistema de plantio direto. O tamanho das partículas condiciona a taxa de reatividade do calcário, uma vez que a velocidade de neutralização depende da área superficial do corretivo em contato com o solo. Assim, quanto mais fino o corretivo, mais rápida a reação do material, desde que o solo esteja úmido.

De fato, Bellingieri (1992) em seus experimentos observou melhores rendimentos de produção de grãos com a utilização de calcário com granulometria mais fina ($< 0,3$ mm).

A granulometria do calcário para a agricultura deve seguir as legislações vigentes, representadas atualmente no Brasil pelas Instruções Normativas do Ministério da Agricultura. Através das frações granulométricas pode-se estimar a reatividade do material corretivo, em função das peneiras usadas, como pode ser observado na Tabela 17 a seguir (IN, 2006).

Fração Granulométrica	Peneira ABNT	Reatividade (%)
> 2,00mm	Retida na peneira nº 10	0
De 0,84 a 2,00 mm	Retida na peneira nº 20	20
De 0,30 a 0,84 mm	Retida na peneira nº 50	60
< 0,30 mm	Passa na peneira nº 50	100

Tabela 17: Reatividade do calcário
Fonte: IN (2006)

A combinação do PN (poder de neutralização) com a reatividade (RE) , permite a estimativa do Poder Relativo de Neutralização total (PRNT), através a equação:

$$\text{PRNT} = \text{PN} \times \text{RE} / 100$$

O calcário para agricultura utilizado no Brasil é rocha calcária moída. Extraí-se a pedra do maciço rochoso via explosivos. Esta pedra com tamanho variável, porém em torno de 70 a 80 cm de diâmetro é britada reduzindo-se seu tamanho para 20 a 25 cm. Em sequência passa por um rebritador do qual sai com uma dimensão em torno de 5 a 7 cm. Em seguida vai para um moinho onde sai com a granulometria de lei após passar por uma peneira. A britagem, moagem e peneiramento são movimentados por motores elétricos (BECKER, 2006)⁴. A energia requerida para extração e cominuição do calcário dolomítico depende do tipo de rocha (metamórfica ou sedimentar); do PRNT desejado e da reatividade necessária para atingir o PRNT. Quanto maior o PN do calcário, menor será a necessidade de fragmentação e moagem para atingir um determinado PRNT (FARJADO, 2006)⁵.

1.8.3.3 Nutrientes

O consumo de nutrientes é determinado pela diagnose foliar, que consiste em analisar quimicamente as folhas e interpretar os resultados de acordo com Tabelas pré-elaboradas sobre as concentrações deficientes, suficientes ou excessivas. O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura da soja. Estima-se que para produzir 1000 kg de grãos são necessários 90kg de N. A soja obtém a maior parte do nitrogênio que necessita através da fixação simbiótica que ocorre com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, e por esta razão é feita a inoculação das sementes com inoculantes que contenham estas bactérias na

⁴ Comunicação pessoal por email do Sr. Fernando Carlos Becker, Diretor Executivo do SINDICALC (Sindicato das Indústrias de Calcário) em 15 de setembro de 2006

⁵ Comunicação pessoal por email do Sr. Celso Fajardo, Diretor do Grupo J. Demito (produtor de calcário) em 14 de setembro de 2006

devida proporção recomendada de número de bactérias/semente. A adubação fosfatada e potássica são feitas a título de adubação corretiva do solo (EMBRAPA, 2004).

1.8.3.4 Pragas e Doenças

Durante todo o ciclo da cultura da soja, a mesma está sujeita ao ataque de diferentes tipos de insetos (ANEXO A), plantas daninhas e doenças (ANEXO B) que comprometem o rendimento de produtividade. Desta forma, torna-se necessária a utilização de defensivos agrícolas (pesticidas) de diversas classes químicas. Os pesticidas são divididos em diferentes classes, dentre as quais se podem citar: herbicidas, fungicidas, acaricidas, algicidas, larvicidas e inseticidas. Suas funções básicas na agricultura incluem a elevação da produção com aumento da produtividade.

Segundo o IEA (2006), em termos de quantidade física, foram vendidas no Brasil 485.969 toneladas de defensivos agrícolas em 2005 como produto comercial, o que corresponde a 232.232 toneladas de princípio ativo. Esta quantidade totalizou um montante de US\$4,244 bilhões onde os herbicidas respondem por 40,9%, os fungicidas por 25,7%, os inseticidas por 27,8%, ficando o restante atribuído a outros. A cultura da soja respondeu por 52,2% do valor das vendas de herbicidas e 32,4% do valor das vendas de fungicidas. Os inseticidas destinaram-se principalmente à soja, algodão, milho, cana-de-açúcar e café, com esse conjunto de culturas respondendo por 71,4% do valor total.

O controle das doenças através de resistência genética é a forma mais eficaz e econômica, entretanto não funciona para todos os tipos de doenças, sendo necessário o monitoramento químico. O ANEXO C apresenta os fungicidas registrados para o controle de doenças, aprovados na Reunião de Pesquisa da Soja na Região Central do Brasil (EMBRAPA, 2005).

Embora os insetos que atacam a cultura da soja tenham suas populações reduzidas por predadores, parasitóides e doenças, quando atingem populações elevadas são capazes de causar perdas significativas no rendimento da cultura. Mesmo com a necessidade de controle, a aplicação preventiva não é indicada por causar grave problema ambiental, além de elevar os custos da lavoura. Desta forma, o controle deve ser feito com base no nível de ataque, no número e tamanho dos insetos e do estágio de desenvolvimento da soja. Os produtos indicados para o controle das pragas da soja, encontram-se no ANEXO D (EMBRAPA, 2005).

As plantas daninhas constituem um grande problema para a cultura da soja, pois competem pela luz solar, pela água e pelos nutrientes, podendo até dificultar a operação de

colheita, comprometendo rendimento e qualidade dos grãos. O método mais utilizado para controlar estas invasoras é o químico, isto é, o uso de herbicidas. Para a escolha do produto mais adequado, é essencial o reconhecimento prévio das invasoras predominantes. O ANEXO E apresenta a eficiência de alguns herbicidas e o ANEXO F apresenta as alternativas para o controle químico de plantas daninhas da cultura da soja em solos de Cerrados, aprovados pela Comissão de Plantas Daninhas da Região Central do Brasil (EMBRAPA, 2004).

1.8.3.5 Irrigação

A irrigação da cultura da soja não é uma prática comum no Brasil, uma vez que não é economicamente viável. A soja é uma planta bastante rústica e dificilmente a estiagem consegue afetar tanto que comprometa a produção de tal forma que valha a pena gastar valores altos com projetos de irrigação. Eventualmente a irrigação de soja é usada no Centro Oeste do País, durante o período da entre-safra, objetivando a produção de sementes que serão utilizadas imediatamente após a colheita (EMBRAPA, 2006)⁶.

A necessidade total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm de água por ciclo, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo (EMBRAPA, 2005).

1.9 Palma

1.9.1 Introdução

O dendê é o fruto de uma palmeira de origem africana (*Elaeis guineensis*) que chegou ao Brasil no século XVI e se adaptou de início no litoral do sul da Bahia. É uma cultura perene podendo atingir rendimentos de até 25 toneladas de cachos /ha dentro de um ciclo produtivo de 25 a 30 anos como pode ser observado na Tabela 15. Esta palmeira apresenta melhor desenvolvimento em regiões tropicais, com clima quente e úmido, precipitação elevada e bem distribuída ao longo do ano, por esta razão é cultivada na região geográfica que se estende a 10° ao sul e ao norte da linha do equador. O fruto (dendê) produz dois tipos de óleo: óleo de dendê ou de palma (palm oil, como é conhecido no mercado internacional), extraído da parte externa do fruto, o mesocarpo; e óleo de palmiste (palm kernel oil), extraído da semente, ou da amêndoa que se encontra na parte central do fruto. Do total de cachos de frutos frescos (CFF) beneficiados, aproximadamente 22% em peso correspondem ao cacho

⁶ Comunicação pessoal por email da **Embrapa Soja** -Serviço de Atendimento ao Cidadão - SAC em setembro de 2006

vazio (após o debulhamento); 20% óleo de palma, 2,5% óleo de palmiste; 3,5% torta de palmiste e o restante em fibras de prensagem, cascas e efluentes líquidos (CREPALDI, 2006)⁷.

A maior área plantada desta palmácea no Brasil está concentrada na região do Estado do Pará, com aproximadamente 55 mil hectares de dendezeiros que produzem 93% do total nacional. O consumo interno de óleo de palma no Brasil é estimado em 350 mil toneladas/ano, suprido em aproximadamente 50% por importações da Malásia, Indonésia e Colômbia. A Malásia e a Indonésia lideram o ranking mundial de produção de óleo de palma com participação no mercado de 47% e 38% respectivamente. Apenas estes dois países juntos possuem uma área plantada de 6,5 milhões de hectares (AGRIANUAL, 2006).

O óleo de palma (ou dendê) ocupa hoje o 2º lugar em produção mundial de óleos e ácidos graxos, devendo ultrapassar a soja ainda no início deste século (EMBRAPA, 2006b).

1.9.2 Mercado brasileiro

Como pode ser observada na Figura 15, a produção de CFF atingiu a ordem de 773 mil toneladas em 2005. Esta produção deve-se ao cultivo pelos próprios extratores junto com um programa de agricultura familiar coordenado por cooperativas locais. A indústria processadora opera a plena capacidade e é composta por um parque de aproximadamente 15 empresas na qual apenas 1 (Grupo Agropalma) representa cerca de 70%. O consumo interno de óleo de palma é da ordem de 350 mil toneladas, que é suprido quase que 50% por importações oriundas da Malásia e Indonésia (AGRIANUAL, 2006).

⁷ Comunicação pessoal com Sr. Luis Crepaldi, em ocasião de visita ao Grupo Agropalma em fevereiro de 2006

Figura 15: Mercado brasileiro de óleo de palma em 2005
Fonte: AGRIANUAL (2006)

1.9.3 Agricultura

Em linhas gerais, as exigências mais importantes para a agricultura do dendezeiro são: chuvas (em torno de 2.000mm/ano); insolação com 2.000 horas de luz distribuídas ao longo do ano; temperatura média entre 24 e 28°C; média mensal da umidade relativa de 75 a 90%; terrenos planos com declividade inferior a 7% e solos com ph entre 4 e 6, profundos, bem drenados e sem compactação até 1,50m de profundidade (EMBRAPA,2006b).

A palmeira do óleo de palma produz cachos de frutos maduros durante todo o ano, mas existem períodos de alta e baixa produção. Cada cacho pesa aproximadamente de 10 a 20kg e contém mais que 1500 frutos (CREPALDI, 2006)⁸.

⁸ Comunicação pessoal com Sr. Luis Crepaldi, em ocasião de visita ao Grupo Agropalma em fevereiro de 2006

A Tabela 18 mostra a produtividade esperada durante o ciclo de vida da palma (dendezeiro) para uma densidade de 143 plantas/hectare (considerando o espaçamento do triângulo equilátero de 9x9x9m), para um módulo ideal de 500 hectares na região referencial do Estado do Pará com Latossolo.

ANO	PRODUTIVIDADE t/ha de CFF (Cachos de Frutos Frescos)
3	7,2
4	14,4
5	18,0
6	21,6
7 ao 9	25,2
10 ao 20	22,0
21	20,0
22 ao 23	15,0
24	12,0
25	8,0
TOTAL	448,8

Tabela 18: Produtividade do dendezeiro
Fonte: AGRIANUAL (2006)

1.10 Extração de óleos vegetais para Biodiesel

1.10.1 Introdução

O processo de obtenção do óleo vegetal para produção de Biodiesel não difere do processo convencional de extração para fins alimentícios. Entretanto, para a obtenção do biodiesel, pode-se dispensar algumas etapas de refino do óleo vegetal. (FREITAS, 2005)⁹

Normalmente, a etapa de refino do óleo bruto compreende em: degomagem (hidratação), neutralização (desacidificação), branqueamento (clarificação) e desodorização. No entanto, de acordo com Ishikawa (1982), no caso de transformação de óleo vegetal para fins combustíveis, o refino pode ser interrompido após a neutralização, ou seja, após a degomagem, e a eliminação de acidez livre e secagem, o óleo se presta para qualquer transformação. Desta forma, as operações de clarificação e desodorização podem ser dispensadas para um óleo vegetal destinado à produção de biodiesel.

As características dos óleos vegetais, que mais influenciam no processo de obtenção do biodiesel, são a acidez e a umidade. Outra característica a ser ressaltada é o índice de

⁹ Comunicação pessoal com a Professora Doutora Suely Pereira Freitas (EQ/UFRJ) durante visita à UFRJ em outubro de 2005

saturação da cadeia de ácidos graxos. Quanto mais saturado o óleo, mais estável o biodiesel final (MARQUES, 2005)¹⁰.

Segundo Barthus (1999), as duplas ligações no carbono, presentes no triglicerídeo, são centros reativos nos quais ocorre a oxidação. A oxidação lipídica é um fenômeno espontâneo, inevitável e se apresenta como um processo complexo.

Dependendo da matéria-prima, o biodiesel pode conter mais ou menos ácidos graxos insaturados em sua composição, os quais são susceptíveis a reações de oxidação aceleradas pela exposição ao oxigênio e altas temperaturas, condições que são pertinentes ao funcionamento do motor. A decomposição térmica também pode resultar em compostos poliméricos, que são prejudiciais ao funcionamento do motor. Portanto, há a necessidade de se determinar a composição em ésteres de ácidos graxos no biodiesel para poder se estudar sua estabilidade (FERRARI, OLIVEIRA E SCABIO, 2005).

Del Vecchio (2006) apresenta, como mostrado na Tabela 19, algumas especificações requeridas para os óleos vegetais de modo a se obter um melhor rendimento na obtenção de biodiesel em uma planta que utiliza tecnologia da Dedini.

ESPECIFICAÇÃO	UNIDADE	LIMITE
Ácido graxo livre	%	0,1 máx
Umidade	%	0,1 máx
Impurezas	%	0,1 máx
Fósforo	Ppm	20 máx
Insaponificáveis	%	1 máx
Ceras	ppm	1000 máx

Tabela 19: Especificação de óleos vegetais para a produção de biodiesel

1.10.2 Extração de óleo de soja

Na Figura 16 podemos observar as fases necessárias de extração do óleo de soja que será destinado para a produção de biodiesel separada em 3 etapas: 1- Preparação; 2- Extração e 3-Refino.

¹⁰ Comunicação pessoal com Sr. Luiz Guilherme Marques,- Pesquisador do IVIG - Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais da Coppe/UFRJ –durante visita à planta piloto de biodiesel em outubro/2005.

Figura 16: Etapas produtivas do óleo de soja para obtenção do biodiesel

1 - Preparação, 2 –Extração e 3 - Refino.

Na fase de preparação, a soja, recebida em grãos, é classificada de acordo com seu tamanho, umidade e estado (grãos avariados). Logo após a pesagem ela passa por etapas de pré-limpeza, secagem e armazenamento, onde a seguir é feita uma re-pesagem para o controle de entrada da matéria-prima e o controle da eficiência da produção. O grão então é quebrado para proporcionar um tamanho ideal para que possa ser laminado. Durante a quebra, os grãos tem a polpa desprendida das cascas que são separadas em separadores de cascas. A casca então é adicionada ao farelo da soja, enquanto a polpa segue para o cozinhador. Após o cozimento, a polpa da soja é laminada para obter o formato ideal para a extração de óleo.

A etapa de obtenção do óleo se inicia logo após o cozimento e compreende em extração por solvente. Ao passar pelo extrator por solvente, a micela (solvente + óleo) é direcionada ao evaporador para a separação do óleo extraído e do vapor do solvente, enquanto que os sólidos que saem do extrator vão para um dessolventizador para separar o vapor do solvente da torta de soja. As correntes, vapor de solvente proveniente do evaporador e vapor de solvente oriundo do dessolventizador, são condensadas e posteriormente separadas em duas correntes: água (efluente) e solvente (reciclo).

A torta restante é aproveitada em indústrias de ração animal. O óleo extraído da micela, denominado óleo bruto, é filtrado e centrifugado, gerando uma borra que poderá ser adicionada à borra proveniente do refino (degomagem, neutralização e secagem).

1.10.3 Extração do óleo de palma

O óleo de palma é extraído da polpa do fruto do dendê denominado mesocarpo. Na polpa do dendê, pode ocorrer muito facilmente uma hidrólise enzimática, uma vez que o óleo se encontra disperso na célula do tecido úmido. Por esta razão, na etapa de preparação da oleaginosa, os cachos não devem ser armazenados, pois a atividade enzimática se inicia logo em seguida que o cacho é cortado da palmeira. Para desativar as enzimas, os cachos, inteiros, passam por um tratamento térmico, em esterilizadores.

A Figura 17 nos mostra as fases necessárias de extração do óleo de palma que será destinado para a produção de biodiesel separada em 3 etapas: 1- Preparação; 2- Extração e 3- Refino.

Figura 17: Etapas produtivas do óleo de palma para obtenção do biodiesel
1 - Preparação, 2 - Extração e 3 - Refino

Na etapa de preparação, somente após a desativação enzimática é que o fruto (dendê) pode ser separado do cacho e direcionado ao digestor, onde a polpa vai amolecer para facilitar a obtenção do óleo por prensagem. Desta forma, para o dendê, a etapa de secagem não é necessária na preparação, como para a maioria das outras oleaginosas. A fase de preparação se inicia com o recebimento dos cachos de fruto fresco (CFF) que, logo após serem pesados, são despejados em uma moega que irá dosar os cachos em vagões destinados ao esterilizador. O esterilizador tem por finalidade desativar as enzimas que proporcionam um acréscimo de acidez no óleo, além de facilitar a ruptura da célula oleífera para a extração. Ao saírem do esterilizador, os cachos passam em um debulhador para a separação do fruto do cacho. Os cachos vazios são retirados do processo para servirem de adubo. Os frutos são então direcionados ao digestor que é provido de aquecimento com vapor indireto e braços agitadores. A função principal desta etapa é romper o mesocarpo, quebrando as células oleosas, para facilitar a extração de óleo pela prensa. O tempo de digestão é de 30 minutos a uma temperatura de 90 a 100 °C.

Da prensa são extraídos o óleo cru e uma torta contendo fibras e nozes. As fibras, misturadas com as nozes, passam por uma desfibradora para que ocorra a separação final entre a fibra e a noz. A fibra resultante do desfibrador pode ser utilizada como combustível na caldeira ou como adubo orgânico. A noz é direcionada ao processo de extração do óleo de palmiste, que não será citado neste estudo por não ser considerada matéria prima para biodiesel devido seu alto valor comercial. A extração do óleo de palmiste gera uma torta com propriedades nutricionais que pode ser utilizada na indústria de ração animal.

O óleo cru, proveniente da prensa, contém cerca de 53% de óleo, 7% de sólidos e 40% de fase aquosa. Este é então peneirado e passa por um ciclone de areia antes de ir para um tanque denominado de clarificador, que por decantação separa o óleo limpo da borra. Esta borra, por sua vez também contém óleo, água e impurezas que são separados em um decantador. O efluente líquido é direcionado ao fat pit (onde é novamente decantado), a borra retorna para as peneiras e o óleo limpo ainda passa por um processo de centrifugação e secagem antes de ser armazenado como óleo bruto que será destinado à refinaria.

A principal função do refino do óleo de palma para a obtenção de biodiesel é a redução da acidez do óleo bruto de 3% à 0,03%. Esta redução de acidez é feita pela retirada dos ácidos graxos livres presentes no óleo através das operações de refino, a saber: Degomagem, Branqueamento e Desodorização. A etapa de refino posterior, denominada Cristalização Fracionada do óleo de palma não é necessária para a produção de biodiesel e sim para a produção de produtos destinados para fins alimentícios. O refino do óleo de palma

é feito fisicamente, onde a reação de neutralização é substituída pela destilação dos ácidos graxos livres. O óleo de palma bruto é primeiramente pré-tratado com ácido cítrico (natural) e terra natural, com o objetivo de remover os fosfolipídeos, metais e glicerídeos oxidados. Os ácidos graxos livres são removidos por destilação durante a desodorização (CREPALDI, 2006)¹¹.

RESULTADOS

1.11 Estudos de ACV

Para a Análise de Ecoeficiência dos óleos vegetais oriundos da palma e soja, são efetuados dois estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), um para cada óleo, com a identificação dos aspectos ambientais associados às entradas e saídas de matéria e energia em determinados elos da cadeia produtiva definidos pela fronteira do sistema de produto.

O sistema de produto de óleos vegetais visando a produção de biodiesel, abrange os seguintes sub-sistemas: Agricultura da Oleaginosa; Transporte da Oleaginosa até a Usina de Extração do Óleo Vegetal e Extração do óleo propriamente dito. Assim sendo, a abordagem dos dois estudos de ACV presentes neste trabalho serão do tipo “from the cradle to the gate”, ou seja, a expressão “do berço ao portão” significa que serão abordados os aspectos ambientais desde a extração dos recursos naturais para a produção de cada oleaginosa até o portão de saída da usina extratora do óleo vegetal bruto.

Como já citado anteriormente, optou-se por considerar o óleo bruto por se admitir a hipótese de que a usina de produção de biodiesel tenha, acoplada à planta, uma unidade de pré-tratamento do óleo vegetal. Desta forma, a Figura 18 indica as duas possíveis rotas do óleo vegetal bruto para a obtenção de biodiesel, assim como a fronteira que delimita os fluxos das entradas e saídas de energia e material do sistema de produto estudado.

¹¹ Comunicação pessoal com Sr. Luiz Crepaldi em ocasião de visita ao Grupo Agropalma em fevereiro de 2005

Figura 18 : Sistema de produto para a Avaliação do Ciclo de Vida de óleos vegetais visando a produção de biodiesel

Considerando-se que a tendência tecnológica para a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais seja através de processo de transesterificação utilizando a rota metálica ou etílica e catalisadores homogêneos, este trabalho adota a rota etílica com o emprego de catalisador básico.

A escolha desta rota deve-se ao fato do Brasil ser auto-suficiente na produção de etanol além de que este álcool é proveniente de fonte renovável de matéria-prima (cana de açúcar), assim como os óleos vegetais, reforçando desta maneira que o biodiesel seria um combustível proveniente 100% de fontes renováveis.

A escolha do emprego de catalisador básico deve-se ao fato que, em condições ótimas da reação de transesterificação com etanol (etanólise), a eficiência do processo é consideravelmente maior do que aquela observada com a presença de catalisador ácido, como citado na revisão bibliográfica do capítulo cinco deste trabalho.

1.11.1 ACV do Óleo de Soja

1.11.1.1 Objetivo

O objetivo da elaboração do estudo de ACV do óleo vegetal proveniente da soja será a fundamentação da vertente ambiental para a aplicação da técnica de Análise de Ecoeficiência, ferramenta esta desenvolvida pela BASF.

1.11.1.2 Escopo

O escopo deste estudo de ACV aborda a definição da função do produto, da unidade funcional, do fluxo de referência, do sistema de produto e do critério de alocação.

1.11.1.2.1 Definição da Função do Produto

Para a elaboração do estudo de ACV do óleo de soja, estabeleceu-se como função do citado óleo, a fabricação de biodiesel, via rota etílica com o emprego de catalisador básico.

Notar que em todo estudo de ACV que vise a comparação com outro produto, os dois produtos devem necessariamente possuir a mesma função.

1.11.1.2.2 Definição da Unidade Funcional

A unidade funcional do produto “óleo de soja” será biodiesel capaz de gerar 40 GJ de energia.

1.11.1.2.3 Definição do Fluxo de Referência

O fluxo de referência é a base comum de comparação dentro de cada estudo de ACV. Ele é determinado através do desempenho do produto ao cumprir função.

Segundo o Tecpar (2006), o poder calorífico do biodiesel etílico do óleo de soja é 9536 kcal/kg, portanto serão necessários 1001,9 kg de biodiesel para a geração de 40 GJ de energia.

Para a definição do fluxo de referência, adotou-se a hipótese de se obter um rendimento em quantidades estequiométricas para a reação de transesterificação do óleo de soja. De acordo com a composição de triglicerídeos do óleo de soja apresentada na revisão bibliográfica, calculou-se o peso molecular médio do óleo e, pela relação estequiométrica da reação, se chegou à seguinte relação: 862,82 kg de óleo, reagindo com 138 kg de álcool

resultam em 907,82 kg de biodiesel e 93 kg de glicerina. Portanto, para a obtenção de 1001,9 kg de biodiesel, seriam necessários 952,20 kg de óleo de soja.

Entretanto, para uma melhor exemplificação gráfica da reação (Figura 16), foi adotada neste estudo uma molécula de triglicerídeo contendo os ácidos graxos de maior ocorrência no óleo de soja (linoleico e oléico). A adoção do peso molecular desta molécula de triglicerídeo em detrimento à adoção do peso molecular médio do óleo, não afeta o resultado final da análise, uma vez que o peso molecular médio do óleo é em função da faixa de variação da composição média dos ácidos graxos contidos no mesmo. Deste modo, a adoção de uma molécula contendo os ácidos graxos de maior ocorrência, aproxima-se igualmente da realidade. Assim sendo, de acordo com as quantidades estequiométricas da reação, chegou-se na seguinte relação: 881 kg de óleo de soja, reagindo com 138 kg de álcool resultam em 926 kg de biodiesel e 93 kg de glicerina. Portanto, a Figura 19 apresenta que o fluxo de referência deste estudo baseia-se no fato de que são necessários 953,18 kg de óleo de soja para a obtenção de 1001,9 kg de biodiesel. Assim sendo, todos os cálculos da análise deste inventário serão convertidos para a produção de 953,18 kg de óleo de soja.

Figura 19 : Desempenho do óleo de soja para a produção de biodiesel capaz de gerar 40GJ de energia (reação de transesterificação etílica).

1.11.1.2.4 Definição do Sistema de Produto

A título de criação de um modelo representativo do sistema de produto foram adotadas três fronteiras: temporal, geográfica e tecnológica. Como fronteira temporal, considerou-se os dados de entrada no sistema de produto e produção dos respectivos óleos, referentes ao ano de 2005, enquanto a fronteira temporal para os dados de saída (emissões) abrange um período de dez anos por se tratar, na grande maioria, de fatores de emissão oriundos de fontes secundárias (estudos publicados nos últimos dez anos). Como fronteira geográfica, adotou-se a região central do território brasileiro por representar mais de 50% da produção de soja no país e como fronteira tecnológica o sistema de plantio direto para a agricultura e o sistema de extração do óleo bruto através da utilização do solvente hexano e caldeiras de biomassa (cavacos) para a geração de energia térmica e elétrica.

O sistema de produto para a Avaliação do Ciclo de Vida do Óleo de Soja é apresentado na Figura 20 a seguir:

Figura 20 : Sistema de produto para a Avaliação do Ciclo de Vida do óleo de soja bruto

De forma global, os subsistemas que constam no sistema de produto são apresentados na Figura 21 a seguir.

Figura 21: Subsistemas do sistema de produto do óleo de soja bruto

1.11.1.2.4.1 Subsistema Agrícola (SSA) da Soja

A descrição do subsistema agrícola da soja consiste na identificação dos fluxos ambientais associados à produção dos grãos de soja, matéria prima do óleo que será utilizado para a produção de biodiesel.

Embora Ortega (2002) tenha concluído em seu trabalho que, para se alcançar a sustentabilidade, a melhor opção para o Brasil seria um sistema agrícola baseado em pequenas propriedades familiares de cultivo ecológico-orgânico, este estudo considera o sistema de plantio direto por representar a atual realidade brasileira em termos de sistema predominante de manejo do solo.

De acordo com a revisão bibliográfica deste estudo, a cultura da soja com plantio direto normalmente é rotacionada com outros tipos de cultura como, por exemplo, o milho. Entretanto, este estudo de avaliação do ciclo de vida da soja será direcionado para a

quantificação das correntes de entrada e saída de materiais e energia apenas para o ciclo da soja, sendo que os fluxos relacionados à cultura rotacional não serão considerados.

Serão considerados os aspectos ambientais associados à produção de diesel, fertilizante e calcário, sendo excluídos os aspectos associados à produção de sementes, defensivos e bens de capital, como máquinas e equipamentos utilizados para a agricultura da soja. As sementes e defensivos, embora tenham suas quantidades consideradas na entrada, tiveram suas cargas ambientais de produção excluídas por se tratar de fluxos inferiores a 5% em massa com relação a massa total de entrada no sistema. A Figura 22 a seguir mostra as etapas envolvidas no subsistema agrícola da soja como uma série de operações necessárias do plantio à colheita.

Figura 22: Subsistema Agrícola de Cultivo da Soja

1.11.1.2.4.2 Subsistema de Transporte dos Grãos

A descrição do subsistema “Transporte de Grãos de soja”, mostrado na Figura 23, consiste na identificação dos fluxos associados ao transporte dos grãos da área de plantio até a usina extratora, ou seja, o consumo de diesel com as respectivas emissões atmosféricas. Da mesma forma, serão considerados os aspectos ambientais para a produção do diesel consumido nesta operação.

Figura 23: Sistema de transporte dos grãos de soja

1.11.1.2.4.3 Subsistema: Extração do Óleo Bruto

A descrição do subsistema “Extração do Óleo Bruto”, como mostrado na Figura 24, consiste na identificação dos fluxos e unidades de processo associados a produção do óleo de soja bruto.

Figura 24: Sistema de extração do óleo de soja bruto

Serão considerados os aspectos associados à produção de hexano, energia elétrica e vapor para a geração de energia térmica e elétrica.

1.11.1.2.5 Definição do Critério de Alocação

O sistema de extração do óleo de soja compreende na obtenção de dois produtos de valor comercial para o mercado: óleo bruto de soja e torta (farelo), na proporção mássica de 19% e 77% respectivamente.

Como, de acordo com Del Vecchio (2006), a matéria prima oleaginosa representa cerca de 80% da composição final do custo de produção do biodiesel, para a análise do inventário, onde há necessidade de se ter uma devida alocação dos aspectos ambientais associados ao sistema de produto em estudo, será adotado o critério de valoração econômica de acordo com o preço praticado no mercado interno em 2005.

1.11.1.3 Análise do Inventário

O inventário da cada unidade de processo foi feito inicialmente para uma unidade mássica conveniente para o produto analisado no inventário (uma tonelada de grãos e uma tonelada de óleo). Posteriormente, na etapa de tratamento dos dados, os mesmos foram convertidos ao fluxo de referência.

1.11.1.3.1 Coleta de dados

Para a coleta de dados primários do inventário do ciclo de vida do óleo de soja, foram enviados questionários para empresas que possuem desde a agricultura até a extração do óleo. Os questionários são de acordo com o modelo exibido na revisão bibliográfica, considerando as respectivas unidades de processo para cada estágio do ciclo de vida, de acordo com a Tabela 20.

ESTÁGIO DO CICLO DE VIDA	UNIDADE DE PROCESSO
Obtenção da matéria-prima	Produção de sementes
	Transporte
Agricultura da soja	Tratamento das sementes (inoculação)
	Produção dos grãos
	Transporte interno
	Operações mecanizadas
	Armazenamento dos grãos
	Transporte até a usina extratora
	Geração de vapor
Extração do óleo bruto	Geração de energia elétrica
	Preparação dos grãos
	Extração do óleo

Tabela 20: abordagem dos questionários para coleta de dados sobre o ciclo de vida do óleo de soja

Entretanto, como a maioria das empresas contactadas tratam os dados com confidencialidade, não houve resposta aos formulários enviados. Desta forma, adotou-se dados secundários para a agricultura da soja e os dados primários levantados foram através de contato pessoal (telefone e email) com as usinas extratoras localizadas na região central do país.

1.11.1.3.2 Inventário do subsistema agrícola da soja

O inventário de entradas do subsistema agrícola para a produção de 1 tonelada de grãos de soja é baseado em informações fornecidas pelo AGRIANUAL(2006) e é apresentado na Tabela 21. A entrada de CO₂ no sistema, compreende ao CO₂ absorvido da atmosfera (seqüestro de carbono) pela biomassa, e foi calculado a partir da matéria seca da soja. Segundo Scopel et al (2005), o cultivo de soja permite restituir ao solo 4 a 5 t de matéria seca.ha-1.ano-1. Adotando 4,6 t ha-1 de matéria seca (PADUA ET AL,2006) com 50% de carbono , temos um seqüestro de 2,3 t de carbono por hectare o que corresponde a 8433 kg de CO₂/ha. Como para a produção de 1 tonelada de soja são necessários 0,347 hectares, temos uma absorção de 2928 kg de CO₂. Segundo Nemecek (2004), para a cultura da soja, a taxa de fixação de CO₂ corresponde a 1,60 kg de CO₂/ kg de matéria seca. Desta forma, a absorção de CO₂ seria de 2556 kg, considerando-se a mesma quantidade de matéria seca. Entretanto, optou-se por considerar o maior valor de CO₂ absorvido, por caracterizar um melhor desempenho em termos ambientais.

A entrada de água corresponde às necessidades hídricas da cultura da soja, em torno de 600mm/ciclo (EMBRAPA, 2005).

	unidade	Produção de 1 tonelada de grãos de soja
Entradas		
sementes	kg	2,08E+01
inoculante	l	5,90E-01
CO2	kg	2,93E+03
calcário	kg	2,78E+02
Inseticidas	kg	2,78E-01
Fungicidas	kg	6,94E-02
herbicidas	kg	9,16E-01
N	kg	2,78E+00
P2O5	kg	2,78E+01
K2O	kg	2,78E+01
Água	kg	2,08E+06

Tabela 21: inventário das entradas necessárias para a produção de 1 tonelada de grãos de soja

Segundo dados estatísticos do AGRIANUAL (2006), para uma produtividade de 2880 kg de grãos de soja por hectare na região do Mato Grosso, utiliza-se 400 kg/ha da formulação NPK(02-20-20). Desta forma, são necessários 138,89 kg de NPK para a produção de 1 t de grãos de soja, nas seguintes proporções: 2,778 kg de N; 27,78 kg de P₂O₅ e 27,78 kg de K₂O.

As principais emissões resultantes de aplicações de fertilizantes inorgânicos são as perdas de nitrato via lixiviação, liberação de amônia, lançamento de gases do efeito estufa e de óxido nitroso (NEMECEK,2004).

Admitindo-se que a fonte do nutriente N seja a Uréia e sabendo-se que 2,14 kg de uréia fornecem 1 kg de N como nutriente (SILVA, RIBEIRO e KULAY, 2006), temos que, considerando a estequiometria da reação de decomposição da uréia ($(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{NH}_3 + \text{CO}_2$), para cada kg de N ,são emitidos 1,57 kg de CO₂ , o que vai de encontro com o fator utilizado por Nemecek(2005) de 1,6 kg de CO₂/kg de N.

De acordo com Nemecek et al (2004), o amônio (NH₄⁺) contido no fertilizante pode ser facilmente convertido em amônia (NH₃) e emitidos para o ar com um fator de 15% sobre a quantidade de N utilizado, tendo como fonte a uréia. Da mesma forma Lewis, Newbold e Tzilivakis (1999) sugerem que este fator fique entre 10,4 e 20,7%.

Segundo IPCC.(1996), para cada kg de N empregado, são emitidos 0,0125 kg de N₂O e de acordo com Nemecek et al (2004) as emissões de NO_x são estimadas a partir das emissões de N₂O pela seguinte fórmula: NO_x = N₂O*0,21.

O potencial de lixiviação de nitrato para águas subterrâneas é função do potencial de mineralização do nitrogênio no solo, da quantidade de Nitrogênio absorvido pela planta da quantidade de nitrogênio aplicada como fertilizante e do potencial de lixiviação por perdas, devido a aplicação do fertilizante em cada cultura (NEECEK, 2004). Oliveira (2000) ainda acrescenta que as propriedades do solo como: carga elétrica, quantidade de matéria orgânica e profundidade analisada também influenciam o processo de lixiviação de nitrato.

No caso da soja, a Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN) é a principal fonte de N e se dá com a inoculação das sementes com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*. A fixação biológica de nitrogênio pode, dependendo de sua eficiência, fornecer todo o N que a soja necessita (EMBRAPA, 2005).

Teoricamente, todos os nutrientes que não foram absorvidos pelas plantas, constituem resíduos no ambiente, na forma de emissões atmosféricas, efluentes líquidos ou resíduos sólidos.

Segundo a Embrapa (2005), a soja necessita de 83kg de N para produzir 1 tonelada de grãos. Adotando-se uma eficiência de 98% para a fixação biológica de nitrogênio, a cultura da soja seria capaz de produzir 81,3 kg de nitrogênio. Como para este trabalho houve a entrada de 2,78 kg de N para a produção de 1 tonelada de soja, o restante (1,12 kg de N) foi considerado como o potencial de lixiviação de nitrato. Esta perda potencial de N por lixiviação (na forma de nitratos (NO_3^-)) é classificada no inventário como compostos de nitrogênio que saem em efluentes líquidos.

Da mesma forma, o nutriente P_2O_5 que não foi absorvido pela planta é considerado como potencial de lixiviação de fosfatos. Segundo a Embrapa (2005), a soja necessita de 15,4 kg de P_2O_5 para produzir 1 tonelada de grãos. Considerando a entrada de 27,8 kg deste nutriente, o saldo (12,4 kg) seria o potencial de fosfato a ser perdido por lixiviação se não fossem as ervas daninhas. De acordo com Procópio et al (2005), existe uma competição natural pelo fósforo entre a cultura agrícola da soja e as plantas daninhas, sendo que esta última pode acumular concentrações acima da necessária para o seu desenvolvimento. Além disso, segundo a Embrapa (2004b), o fósforo é sujeito a forte adsorção química (do tipo covalente) às partículas do solo. Desse modo, praticamente não sofre lixiviação, sendo quase nula a possibilidade de que venha a atingir o lençol freático mediante tal processo. De acordo com Resende (2007)¹², as perdas de P por erosão do solo são muito mais expressivas que as perdas por lixiviação, portanto adota-se uma perda de 10% sobre o total de fósforo aplicado

¹² Comunicação pessoal por email do Sr. Álvaro Vilela Resende, pesquisador da EMBRAPA, em janeiro/2007

como um rejeito potencial de se atingir os corpos d'água, classificados no inventário como efluentes líquidos.

Como a capacidade de absorção de K pela cultura da soja é maior do que o valor aplicado do fertilizante, este nutriente não foi considerado como rejeito.

A utilização de pesticidas faz parte da agricultura da soja para o combate de pragas e doenças como citado na revisão bibliográfica, entretanto estes agrotóxicos podem causar impacto ao meio ambiente, por exemplo, pela contaminação de corpos d'água e efeitos negativos à biodiversidade.

Segundo Lewis, Newbold e Tzilivakis (1999) para se fazer um inventário de emissões provenientes da aplicação de pesticidas, em primeiro lugar é necessário determinar a divisão entre o que é emitido para o ar, o que atinge a cultura e o que vai para o solo. Esta divisão depende das características do pesticida juntamente com as condições do meio em que está sendo aplicado, portanto os autores apresentam uma heurística sobre o destino dos pesticidas:

- Da quantidade de pesticidas aplicados, 46 a 80% permanecem entre o solo e a cultura enquanto 20 a 54% é volatilizado.
- Da quantidade de pesticida que permanece entre solo e cultura, 2 a 50% atingem a plantação (dependendo do tamanho das folhas e cobertura) e 50 a 98% vão para o solo.
- Da quantidade de pesticida que atinge a plantação, 12 a 46% são volatilizados das folhas e 54 a 88% são direcionados para outras rotas (absorção pela planta ou drenagem para o solo)
- Da quantidade de pesticida direcionado para outras rotas, aproximadamente 20% é absorvido pela planta enquanto que 80% é levado por drenagem, podendo atingir corpos hídricos.
- Da quantidade de pesticida que atinge o solo diretamente, 5% é levado por drenagem e 5 % é levado pela erosão.
- Caso o pesticida seja rapidamente incorporado ao solo, ainda existe uma volatilização da ordem de 5%, caso contrário a volatilização pode variar de 5 a 44%.

Como a cultura da soja pode utilizar uma vasta quantidade de defensivos agrícolas (ANEXOS A,B,C,D,E e F) este estudo adotará a heurística sugerida por Lewis, Newbold e Tzilivakis (1999) nas proporções exibidas na Figura 25.

Figura 25: Destino dos defensivos agrícolas após a aplicação

Os defensivos agrícolas são classificados de acordo com a sua destinação específica de uso: inseticidas usados no controle de insetos-pragas (incluindo os formicidas); acaricidas, no controle de ácaros; fungicidas, no controle de doenças fúngicas; herbicidas, no combate às ervas daninhas (também denominadas de ervas ou plantas concorrentes ou invasoras, inços, mato ou flora infestante) e "outros", englobando antibrotantes, reguladores de crescimento, óleo mineral e espalhantes adesivos (FERREIRA, NOGUEIRA e BARBOSA, 2001).

Para a escolha dos defensivos a serem considerados por este trabalho e conseqüente calculo das respectivas quantidades de ingredientes ativos, considerou-se as pragas e doenças que mais afetam a cultura da soja sob cultivo direto.

Segundo Fidelis et al (2003), no sistema de plantio direto a cultura da soja é atacada pelas seguintes pragas: lagarta-da-soja, persevejo marrom, percevejo verde, percevejo pequeno e lagarta-do-cartucho-do-milho sendo o coro-da-soja e o tamanduá-da-soja as principais pragas de solo. Dentre as doenças da cultura da soja no plantio direto, as que apresentam maior grau de importância são: cancro-da-haste, podridão-branca-da-haste, podridão-radicular-de-fusarium, nematóides e doenças de final de ciclo. Segundo a EMBRAPA (2005), a ferrugem deve ser acrescentada a esta lista, pois a expansão de áreas

irrigadas nos Cerrados tem possibilitado o cultivo da soja no inverno, favorecendo a sobrevivência dos fungos causadores desta doença.

De acordo com o AGRIANUAL (2006), para a produção de 2880 kg de soja em 1 hectare, são utilizados 1,6 litros de inseticidas (incluindo os formicidas); 1,2 litros de fungicidas e 5,5 litros de herbicidas.

Desta forma, de acordo com as indicações de inseticidas, fungicidas e herbicidas apresentadas nos ANEXOS A,B,C,D,E,e F, este trabalho considera os defensivos agrícolas apresentados na Tabela 22:

pragas/doenças	classe do defensivo	nome comercial	dose comercial kg ou l / h a	nome técnico	concentração g i.a./kg ou l	dose tecnica g i.a./ h a
lagarta-da-soja	inseticida	Dipterex 500 SC	1,6	Triclorfom	500	800
ferrugem	fungicida	Folicur 200CE	0,5	Tebucunazone	200	100
doença de final de ciclo	fungicida	Impact 125 SC	0,8	Flutriafol	125	100
plantas daninhas	herbicida	Laço	5,5	Alachlor	480	2640
Total de defensivos			8,4			3640
g i.a. gramas de ingrediente ativo						

Tabela 22: Defensivos agrícolas considerados neste estudo para a cultura da soja

Segundo a ANVISA(2006) os ingredientes ativos dos defensivos considerados pertencem a diferentes grupos químicos de acordo com a Tabela 23 a seguir:

Ingrediente ativo	Nome Químico (IUPAC)	Grupo Químico
Triclorfom	dimethyl 2,2,2-trichloro-1-hydroxyethylphosphonate	organofosforado
Tebucunazol	(RS)-1-p-chlorophenyl-4,4-dimethyl-3-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)pentan-3-ol	triazol
Flutriafol	(RS)-2,4'-difluoro-alpha-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl) benzhydryl alcohol	triazol
Alachlor	2-chloro-2',6'-diethyl-N-methoxymethylacetanilide	cloroacetanilida

Tabela 23: Ingredientes ativos dos defensivos considerados para o cultivo da soja

Para a elaboração do inventário que abrange o fluxo de entrada de defensivos e suas emissões, são considerados os grupos químicos a qual cada um pertence com as quantidades dos respectivos ingredientes ativos. Desta forma, de acordo com a dosagem técnica de gramas de ingredientes ativos por hectare apresentada na Tabela 22 e sabendo-se que para a produção de 1 tonelada de grãos de soja são necessários 0,347 hectares, o consumo de defensivos agrícolas, em termos de ingredientes ativos, para a produção de 1 tonelada de soja é apresentado na Tabela 24 a seguir.

Ingrediente ativo	Grupo Químico	dose técnica g i.a./ h a	dose técnica kg i.a./ h a	consumo de defensivos (kg) para a produção de 1 t de soja
Triclorfom	organofosforado	800	0,80	0,2776
Tebucunazol	triazol	100	0,10	0,0347
Flutriafol	triazol	100	0,10	0,0347
Alachlor	cloroacetanilida	2640	2,64	0,9161

Tabela 24: Consumo de defensivos agrícolas para a produção de 1 t de soja

Considerando-se, portanto as porcentagens de emissões apresentadas na Figura 22 foi possível a elaboração do inventário contendo os fluxos de entradas e saídas de defensivos agrícolas para a produção de 1 tonelada de soja, na qual as emissões para o solo abrangem o que o solo absorveu mais o que foi levado por erosão, enquanto as emissões líquidas abrangem tudo o que foi drenado. A diferença, entretanto entre a entrada e a saída é justificada na absorção pela planta.

De acordo com AGRIANUAL(2006), em 2005 foram utilizados 60 kg de sementes e 1,7 litros de inoculante para a produção de 2880 kg de grãos de soja em 1 hectare, portanto para a produção de 1 tonelada de soja, necessita-se de 20,83 kg de sementes e 0,59 litros de inoculante .Desta forma, o inventário parcial do subsistema agrícola para a produção de 1 tonelada de soja é apresentado na Tabela 25 a seguir.

	unidade	Produção de 1 tonelada de grãos de soja	Utilização de 138,89 kg de NPK2-20-20	Utilização de defensivos agrícolas	Total parcial do subsistema agrícola
Entradas					
sementes	kg	2,08E+01			2,08E+01
inoculante	l	5,90E-01			5,90E-01
CO ₂	kg	2,93E+03			2,93E+03
calcário	kg	2,78E+02			2,78E+02
organofosforado	kg			2,78E-01	2,78E-01
triazol	kg			6,94E-02	6,94E-02
cloroacetanilida	kg			9,16E-01	9,16E-01
N	kg		2,78E+00		2,78E+00
P ₂ O ₅	kg		2,78E+01		2,78E+01
K ₂ O	kg		2,78E+01		2,78E+01
Água	kg	2,08E+06			2,08E+06
Saídas					
Efluentes líquidos					
Compostos de Nitrogênio	kg		1,12E+00		1,12E+00
P ₂ O ₅	kg		2,78E+00		2,78E+00
organofosforado	kg			5,25E-02	5,25E-02
triazol	kg			1,31E-02	1,31E-02
cloroacetanilida	kg			1,73E-01	1,73E-01
Emissões Atmosféricas					
CO ₂	kg		4,36E+00		4,36E+00
NH ₃	kg		4,17E-01		4,17E-01
N ₂ O	kg		3,47E-02		3,47E-02
Nox	kg		7,29E-03		7,29E-03
organofosforado	kg			1,13E-01	1,13E-01
triazol	kg			2,83E-02	2,83E-02
cloroacetanilida	kg			3,74E-01	3,74E-01
Resíduos sólidos					
organofosforado	kg			1,00E-01	1,00E-01
triazol	kg			2,51E-02	2,51E-02
cloroacetanilida	kg			3,31E-01	3,31E-01

Tabela 25: Inventário parcial do subsistema agrícola para a produção de 1 tonelada de soja

Para a realização do inventário do subsistema agrícola da soja, serão considerados os aspectos associados a produção de diesel, produção de fertilizantes, o transporte dos fertilizantes, a produção de calcário, o transporte do calcário e as operações mecanizadas. De acordo com o escopo desta ACV, este estudo não considera os aspectos associados à produção dos defensivos agrícolas (pesticidas) e sementes, sendo considerados apenas os fluxos de entrada no sistema de produto.

1.11.1.3.2.1 Inventário do óleo diesel

Este inventário será utilizado igualmente para a realização da Avaliação do Ciclo de Vida do óleo de palma.

Segundo a ANP (2006a), o Brasil produziu 94.796.734 m³ de petróleo em 2005, sendo 87,43% extraídos no mar e 12,57% extraídos em terra. No mesmo ano, foram importados 22.014.536 m³ e exportados 15.928.979 m³ de petróleo (ANP, 2006b). Também em 2005, de acordo com a ANP (2006c), o volume total de petróleo refinado nas refinarias nacionais foi de 98.824.753 m³.

Considerando que a densidade do petróleo seja 874 kg/m³ (BEM, 2005), temos que em 2005, 86.372.834.122 kg de petróleo foram refinados nas refinarias nacionais para a produção de 82.424.181.565 kg de derivados, na qual a produção de óleo diesel corresponde à 32.253.000.337 kg (ANP,2006b e ANP,2006c). Assim sendo, podemos concluir que foram necessários 2,68 kg de petróleo para a produção de 1 kg de óleo diesel.

A partir da base de dados do software GABI 4 (2004) , foi possível identificar um inventário do petróleo consumido no Brasil, que inclui os aspectos sobre as atividades de extração em terra e mar assim como atividades de extração do petróleo importado, como se pode observar na coluna (1) da Tabela 26. Segundo este inventário para cada 1 t de petróleo, cerca de 0,083 t são perdidos no transporte até a refinaria. Desta forma, para a produção de 1 kg de óleo diesel é necessária a extração de 2,92 kg de petróleo, o que corresponde ao refino de 2,68 kg do mesmo. Assim sendo, os aspectos associados à extração, são exibidos na coluna (2) da Tabela 26.

		(1)	(2)
	unid.	Produção de 1 kg de petróleo nacional e importado	Produção de 2,68 kg de petróleo nacional e importado
Entradas			
Petróleo	kg	1,09E+00	2,92E+00
Carvão	kg	4,66E-05	1,25E-04
Gás Natural	kg	4,24E-02	1,14E-01
Energia	MJ	3,24E-04	8,69E-04
Combustíveis renováveis	kg	3,24E-04	8,69E-04
Urânio natural	kg	1,14E-08	3,05E-08
Água	kg	2,25E-01	6,02E-01
Saídas			
Energia	MJ	9,29E-04	2,49E-03
Efluentes líquidos			
DBO	kg	3,34E-05	8,96E-05
DQO	kg	2,06E-04	5,52E-04
Metais pesados não especificados	kg	4,63E-09	1,24E-08
Hidrocarbonetos	kg	1,94E-06	5,21E-06
Efluentes líquidos não especificados	kg	3,23E-08	8,65E-08
Água residual	kg	3,13E-06	8,38E-06
Óleo não especificado	kg	8,26E-06	2,21E-05
Sólidos suspensos totais	kg	1,06E-04	2,85E-04
Emissões atmosféricas			
CO ₂	kg	1,63E-01	4,36E-01
CO	kg	3,23E-04	8,65E-04
Vapor de água	kg	2,30E-04	6,16E-04
CH ₄	kg	2,58E-03	6,93E-03
Material particulado	kg	1,21E-04	3,25E-04
Resíduos sólidos			
Resíduos não especificados	kg	3,48E-10	9,33E-10

Tabela 26: Inventário do petróleo para a produção de 1 kg de óleo diesel

Fonte : (1) GABI4 (2004)

Segundo a ANP(2006b) e ANP(2006c), 22,28% do petróleo refinado no Brasil é importado. Desta forma, para se produzir 1 kg de óleo diesel, podemos admitir que entre na refinaria 0,597 kg de petróleo importado (22,28% de 2,68 kg de petróleo que entram na refinaria para a produção de 1 kg de óleo diesel).

O petróleo importado é transportado para o Brasil por petroleiros da PETROBRAS, que trabalha com navios de capacidade entre 70.000 e 100.000 t (BORGES, 2004). Para a obtenção dos aspectos ambientais relacionados a essa atividade de transporte foi utilizada a base de dados *Tanker I* - IDEMAT 2001 do SimaPro (PRÉ-CONSULTANTS, 2006), desenvolvida pela *Delft University of Technology*, como pode ser observado na coluna (1) da Tabela 27. Esta base de dados se refere ao transporte em navios de médio porte, com capacidade de 88.750 t e considera como entrada desta unidade de processo óleo combustível pesado e óleo diesel. Como a obtenção dos aspectos destes dois combustíveis ainda não foi

possível, pois dependem da consolidação do inventário do petróleo importado, os mesmos foram obtidos do mesmo banco de dados *IDEMAT 2001*, como podem ser observados nas colunas (2) e (3) da Tabela 27 a seguir. Conseqüentemente, as colunas (4) e (5) da mesma Tabela apresentam os aspectos associados à produção da quantidade necessária dos citados combustíveis para o transporte de petróleo importado.

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	unid.	Transporte de 1tkm de petróleo importado	produção de 1 kg de diesel	produção de 1 kg de óleo combustível pesado	produção de 0,00063 kg de diesel	produção de 0,00735 kg de óleo combustível pesado
Entradas						
oleo combustivel	kg	0,00735				
diesel	kg	0,00063				
Petroleo	kg		1,03E+00	1,01E+00	6,50E-04	7,45E-03
Cas Natural	kg		6,19E-02		3,90E-05	
Carvão	kg		5,10E-03		3,21E-06	
Água	kg		2,10E-01		1,32E-04	
Energia (não esp.)	MJ			3,78E-01		2,78E-03
Saídas						
Efluentes Líquidos						
DQO	kg		1,00E-05		6,30E-09	
DBO	kg		5,00E-06		3,15E-09	
Hidrogenio	kg		3,00E-05		1,89E-08	
Nitrogenio	kg		1,00E-06		6,30E-10	
Ions Metalicos	kg		5,00E-06		3,15E-09	
Cloretos	kg		1,00E-05		6,30E-09	
CxHy	kg		2,00E-05		1,26E-08	
óleos não especificados	kg			5,90E-06		4,34E-08
Emissões Atmosféricas						
SO2	kg	3,70E-04				
CO2	kg	2,32E-02	2,84E-01		1,79E-04	
CO	kg	7,00E-05	8,00E-05		5,04E-08	
Nox	kg	4,40E-04	2,90E-03		1,83E-06	
CxHy	kg	4,00E-05	2,90E-03		1,83E-06	
Sox	kg		1,80E-03		1,13E-06	
HCl	kg		5,00E-06		3,15E-09	
Metais não especificados	kg		1,00E-06		6,30E-10	
Material Particulado	kg		3,40E-04		2,14E-07	
COV	kg			1,76E-04		1,29E-06
Resíduos Sólidos						
Residuo inerte	kg		2,20E-03		1,39E-06	
Residuo graxo	kg			1,40E-02		1,03E-04

Tabela 27: Inventário dos aspectos associados ao transporte de petróleo importado

Fonte: PRÉ-CONSULTANTS, 2006

Assim sendo, o inventário consolidado para o transporte de petróleo importado é apresentado na coluna (1) da Tabela 28. Assumindo-se que a distância média percorrida pelo navio seja de 13.000 km (BORGES,2004), A coluna (2) da mesma Tabela apresenta o inventário do transporte de 1 kg de petróleo por 13.000km e a coluna (3) apresenta o

inventário do transporte de petróleo importado necessário para a produção nacional de 1 kg de óleo diesel.

		(1)	(2)	(3)
	unid.	Transporte de 1tkm de petróleo importado	Transporte de 1 kg de petróleo por 13.000km	Transporte de 0.597 kg de petróleo importado
Entradas				
Petroleo	kg	8,10E-03	1,05E-01	6,29E-02
Gas Natural	kg	3,90E-05	5,07E-04	3,02E-04
Carvão	kg	3,21E-06	4,18E-05	2,49E-05
Água	kg	1,32E-04	1,72E-03	1,03E-03
Energia (não esp.)	MJ	2,78E-03	3,61E-02	2,16E-02
Saídas				
Efluentes Líquidos				
DQO	kg	6,30E-09	8,19E-08	4,89E-08
DBO	kg	3,15E-09	4,10E-08	2,44E-08
Hidrogenio	kg	1,89E-08	2,46E-07	1,47E-07
Nitrogenio	kg	6,30E-10	8,19E-09	4,89E-09
Ions Metalicos	kg	3,15E-09	4,10E-08	2,44E-08
Cl-	kg	6,30E-09	8,19E-08	4,89E-08
Hidrocarbonetos	kg	1,26E-08	1,64E-07	9,78E-08
óleos não especificados	kg	4,34E-08	5,64E-07	3,37E-07
Emissões Atmosféricas				
CO2	kg	2,33E-02	3,03E-01	1,81E-01
CO	kg	7,01E-05	9,11E-04	5,44E-04
Nox	kg	4,42E-04	5,74E-03	3,43E-03
CxHy	kg	4,18E-05	5,44E-04	3,25E-04
Sox	kg	3,71E-04	4,82E-03	2,88E-03
HCl	kg	3,15E-09	4,10E-08	2,44E-08
Metais não especificados	kg	6,30E-10	8,19E-09	4,89E-09
Material Particulado	kg	2,14E-07	2,78E-06	1,66E-06
COV	kg	1,29E-06	1,68E-05	1,00E-05
Resíduos Sólidos				
Residuo inerte	kg	1,39E-06	1,80E-05	1,08E-05
Residuo graxo	kg	1,03E-04	1,34E-03	7,99E-04

Tabela 28: Inventário do transporte de petróleo importado

Os aspectos ambientais associados ao refino de 1 kg de petróleo no Brasil foram obtidos a partir do inventário apresentado por Vianna (2006) e podem ser observados na Tabela 29 , coluna (1). Assim sendo, a coluna (2) exhibe os aspectos associados ao refino de 2,68 kg de petróleo (quantidade necessária de petróleo nacional e importado para a produção de 1 kg de óleo diesel).

		(1)	(2)
	unid.	Refino de 1 kg de petróleo nacional e importado	Refino de 2,68 kg de petróleo nacional e importado
Entradas			
Petróleo refinado no Brasil	kg	1,00E+00	2,68E+00
Energia elétrica	MJ	1,13E-01	3,02E-01
Saídas			
Efluentes Líquidos			
Na	kg	1,63E-05	4,37E-05
Cl ⁻	kg	2,43E-05	6,52E-05
Óleo não especificado	kg	7,11E-06	1,91E-05
Emissões Atmosféricas			
CO ₂	kg	8,31E-03	2,23E-02
CH ₄	kg	3,80E-05	1,02E-04
NO _x	kg	5,84E-06	1,57E-05
CO	kg	2,64E-05	7,06E-05
COVNM	kg	9,56E-04	2,56E-03
Material particulado	kg	1,02E-05	2,72E-05
SO _x	kg	4,88E-06	1,31E-05
Metil carptano	kg	1,00E-08	2,68E-08
Hidrocarbonetos	kg	1,99E-08	5,34E-08
H ₂ S	kg	2,09E-07	5,61E-07

Tabela 29: Inventário da etapa de refino do petróleo

Fonte: (1) Vianna (2006)

Uma vez que para o refino de 2,68 kg de petróleo é necessário 0,302 MJ de energia elétrica, este estudo adota o inventário para a geração de 1 MJ de energia elétrica no Brasil apresentado por Coltro; Garcia e Queiroz (2003), na qual os aspectos associados podem ser observados na coluna (1) da Tabela 30. Assim sendo, a coluna (2) exhibe os aspectos associados à geração de 0,302 MJ de energia elétrica.

		(1)	(2)
	unid.	geração de 1 MJ de energia elétrica	geração de 0,302 MJ de energia elétrica
Entradas			
Energia não especificada	MJ	1,58E+00	4,78E-01
Reservas Bióticas	kg	4,87E-03	1,47E-03
Carvão	kg	1,28E-02	3,88E-03
Gás natural	kg	7,60E-04	2,29E-04
Petróleo	kg	1,21E-03	3,65E-04
Água	kg	1,16E-01	3,51E-02
Materiais secundários	kg	9,00E-04	2,72E-04
Urânio	kg	1,80E-07	5,44E-08
Saídas			
Emissões Atmosféricas			
CH4	kg	5,48E-05	1,65E-05
CO	kg	1,49E-04	4,51E-05
CO2	kg	1,78E-02	5,38E-03
Vapor de água	kg	2,30E-04	6,96E-05
Hidrocarbonetos	kg	7,50E-07	2,26E-07
Metais	kg	1,00E-11	3,02E-12
NH3	kg	6,00E-12	1,81E-12
COVNM	kg	7,28E-06	2,20E-06
NOx	kg	5,75E-04	1,74E-04
N2O	kg	1,10E-05	3,32E-06
Material particulado	kg	6,72E-05	2,03E-05
SOx	kg	1,16E-04	3,51E-05
Radioatividade para o ar	kBq	9,77E-03	2,95E-03
Effluentes líquidos			
Ácidas	kg	1,70E-10	5,13E-11
DBO	kg	7,00E-08	2,11E-08
DQO	kg	1,30E-07	3,93E-08
Cl-	kg	6,00E-11	1,81E-11
Metais pesados não especificados	kg	1,80E-10	5,44E-11
Hidrocarbonetos	kg	3,00E-08	9,06E-09
Metais	kg	1,00E-08	3,02E-09
Compostos de nitrogênio	kg	4,50E-09	1,36E-09
Óleos e graxas	kg	1,40E-07	4,23E-08
Compostos de enxofre	kg	4,50E-10	1,36E-10
Sólidos dissolvidos totais	kg	5,00E-08	1,51E-08
Sólidos suspensos totais	kg	1,00E-07	3,02E-08
Radioatividade para a água	kBq	1,51E-02	4,55E-03
Resíduos Sólidos			
Resíduos no solo	dm3	1,34E-02	4,04E-03
Resíduos processuais	kg	1,07E-02	3,23E-03

Tabela 30: Inventário da geração de energia elétrica no Brasil

Fonte: (1) Coltro; Garcia e Queiroz (2003)

A partir dos inventários de extração do petróleo nacional e importado, transporte do petróleo importado, refino do petróleo e energia elétrica necessária para o refino, a consolidação do inventário para o refino de 2,68 kg de petróleo é exibido na Tabela31 a seguir.

	unid.	Produção de 2,68 kg de petróleo nacional e importado	Transporte de 0.597 kg de petróleo importado	Refino de 2,68 kg de petróleo nacional e importado	geração de 0,302 MJ de energia elétrica	TOTAL DO REFINO
Entradas						
Petróleo	kg	2,92E+00	6,29E-02		3,65E-04	2,99E+00
Carvão	kg	1,25E-04	2,49E-05		3,88E-03	4,03E-03
Gás Natural	kg	1,14E-01	3,02E-04		2,29E-04	1,14E-01
Energia	MJ	8,69E-04	2,16E-02		4,78E-01	5,01E-01
Combustíveis renováveis	kg	8,69E-04				8,69E-04
Água	kg	6,02E-01	1,03E-03		3,51E-02	6,38E-01
Reservas Bióticas	kg				1,47E-03	1,47E-03
Materiais secundários	kg				2,72E-04	2,72E-04
Urânio	kg	3,05E-08			5,44E-08	8,49E-08
Saídas						
Energia	MJ	2,49E-03				2,49E-03
Efluentes líquidos						
DBO	kg	8,96E-05	2,44E-08		2,11E-08	8,97E-05
DQO	kg	5,52E-04	4,89E-08		3,93E-08	5,52E-04
Metais pesados não especificados	kg	1,24E-08			5,44E-11	1,25E-08
Hidrocarbonetos	kg	5,21E-06	9,78E-08		9,06E-09	5,31E-06
Efluentes líquidos não especificados	kg	8,65E-08				8,65E-08
Água residual	kg	8,38E-06				8,38E-06
Óleo não especificado	kg	2,21E-05	3,37E-07	1,91E-05		4,15E-05
Sólidos suspensos totais	kg	2,85E-04			3,02E-08	2,85E-04
Cl-	kg		4,89E-08	6,52E-05	1,81E-11	6,52E-05
Íons metálicos	kg		2,44E-08			2,44E-08
Sólidos dissolvidos totais	kg				1,51E-08	1,51E-08
Na	kg			4,37E-05		4,37E-05
Ácidos	kg				5,13E-11	5,13E-11
Metais	kg				3,02E-09	3,02E-09
Compostos de nitrogênio	kg		4,89E-09		1,36E-09	6,25E-09
Óleos e graxas	kg				4,23E-08	4,23E-08
Compostos de enxofre	kg				1,36E-10	1,36E-10
Radioatividade para a água	kBq				4,55E-03	4,55E-03
Emissões atmosféricas						
CO2	kg	4,36E-01	1,81E-01	2,23E-02	5,38E-03	6,45E-01
CO	kg	8,65E-04	5,44E-04	7,06E-05	4,51E-05	1,52E-03
Vapor de água	kg	6,16E-04			6,96E-05	6,85E-04
CH4	kg	6,93E-03		1,02E-04	1,65E-05	7,04E-03
Material particulado	kg	3,25E-04	1,66E-06	2,72E-05	2,03E-05	3,74E-04
Aldeídos	kg					0,00E+00
COVNM	kg		1,00E-05	2,56E-03	2,20E-06	2,57E-03
CxHy	kg		3,25E-04	5,34E-08	2,26E-07	3,25E-04
Metais	kg		4,89E-09		3,02E-12	4,89E-09
N2O	kg				3,32E-06	3,32E-06
NH3	kg				1,81E-12	1,81E-12
Nox	kg		3,43E-03	1,57E-05	1,74E-04	3,62E-03
Sox	kg		2,88E-03	1,31E-05	3,51E-05	2,93E-03
Metil carptano	kg			2,68E-08		2,68E-08
HCl	kg		2,44E-08			2,44E-08
H2S	kg			5,61E-07		5,61E-07
Radioatividade para o ar	kBq				2,95E-03	2,95E-03
Resíduos sólidos						
Resíduos não especificados	kg	9,33E-10				9,33E-10
Resíduos inertes	kg		1,08E-05			1,08E-05
Resíduos sólidos oleosos	kg		7,99E-04			7,99E-04
Resíduos no solo	dm3				4,04E-03	4,04E-03
Resíduos processuais	kg				3,23E-03	3,23E-03

Tabela 31: Inventário consolidado do refino de 2,68 kg de petróleo

Sabemos que, para a produção de 1 kg de óleo diesel, é necessário o refino de 2,68 kg de petróleo, porém, o óleo diesel não é o único produto oriundo do refino do petróleo. Além dele, são produzidos outros derivados, na qual os aspectos associados ao refino devem ser devidamente alocados.

Na Tabela 32 podemos observar a produção total dos derivados de petróleo em 2005, na qual, seguindo o critério de alocação de aspectos a partir do valor energético, podemos considerar que 39,06% dos aspectos ambientais provenientes do refino do petróleo podem ser atribuídos à produção de óleo diesel.

2005	PRODUÇÃO DE DERIVADOS (m3)	MASSA ESPECÍFICA (kg/m3)	PRODUÇÃO DE DERIVADOS (kg)	PODER CALORÍFICO (kcal/kg)	VALOR ENERGÉTICO (kcal)	FATOR DE ALOCAÇÃO (%)
Asfalto	1.419.621	1040	1,48E+09	9790	1,45E+13	1,73%
Coque	2.394.882	1041	2,49E+09	8390	2,09E+13	2,51%
Gasolina Automotiva	19.102.335	740	1,41E+10	10400	1,47E+14	17,63%
Gasolina Aviação	70.199	720	5,05E+07	10600	5,36E+11	0,06%
GLP	8.841.638	550	4,86E+09	11100	5,40E+13	6,47%
Lubrificante	731.639	880	6,44E+08	10120	6,52E+12	0,78%
Nafta	8.498.006	720	6,12E+09	10630	6,50E+13	7,80%
Óleo Combustível	15.075.499	1000	1,51E+10	9590	1,45E+14	17,34%
Óleo Diesel	38.396.429	840	3,23E+10	10100	3,26E+14	39,06%
Parafina	140.457	864	1,21E+08	10800	1,31E+12	0,16%
Querosene de aviação	4.118.072	790	3,25E+09	10400	3,38E+13	4,06%
Querosene Iluminante	50.107	790	3,96E+07	10400	4,12E+11	0,05%
Solvente	716.743	740	5,30E+08	10550	5,60E+12	0,67%
Outros	1.567.528	874	1,37E+09	10180	1,39E+13	1,67%
TOTAL	101.123.155		8,24E+10		8,34E+14	

Tabela 32: Fatores de alocação para os derivados de petróleo

Fontes : Produção de Derivados (ANP , 2006d);Massa Específica e Poder Calorífico (BEN, 2005)

Desta forma, para a obtenção do inventário consolidado da produção de 1 kg de óleo diesel, é necessário multiplicar o total consolidado do refino pelo fator de alocação (39,06%) como mostra a Tabela 33 a seguir.

	unid.	TOTAL DO REFINO de 2,68 kg de petróleo	Produção de 1 kg de óleo diesel
Entradas			
Petróleo	kg	2,99E+00	1,17E+00
Carvão	kg	4,03E-03	1,57E-03
Gás Natural	kg	1,14E-01	4,46E-02
Energia	MJ	5,01E-01	1,96E-01
Combustíveis renováveis	kg	8,69E-04	3,40E-04
Água	kg	6,38E-01	2,49E-01
Reservas Bióticas	kg	1,47E-03	5,74E-04
Materiais secundários	kg	2,72E-04	1,06E-04
Urânio	kg	8,49E-08	3,32E-08
Saídas			
Energia	MJ	2,49E-03	9,73E-04
Efluentes líquidos			
DBO	kg	8,97E-05	3,50E-05
DQO	kg	5,52E-04	2,16E-04
Metais pesados não especificados	kg	1,25E-08	4,87E-09
Hidrocarbonetos	kg	5,31E-06	2,08E-06
Efluentes líquidos não especificados	kg	8,65E-08	3,38E-08
Água residual	kg	8,38E-06	3,27E-06
Óleo não especificado	kg	4,15E-05	1,62E-05
Sólidos suspensos totais	kg	2,85E-04	1,11E-04
Cl-	kg	6,52E-05	2,55E-05
Íons metálicos	kg	2,44E-08	9,55E-09
Sólidos dissolvidos totais	kg	1,51E-08	5,90E-09
Na	kg	4,37E-05	1,71E-05
Ácidos	kg	5,13E-11	2,01E-11
Metais	kg	3,02E-09	1,18E-09
Compostos de nitrogênio	kg	6,25E-09	2,44E-09
Óleos e graxas	kg	4,23E-08	1,65E-08
Compostos de enxofre	kg	1,36E-10	5,31E-11
Radioatividade para a água	kBq	4,55E-03	1,78E-03
Emissões atmosféricas			
CO ₂	kg	6,45E-01	2,52E-01
CO	kg	1,52E-03	5,95E-04
Vapor de água	kg	6,85E-04	2,68E-04
CH ₄	kg	7,04E-03	2,75E-03
Material particulado	kg	3,74E-04	1,46E-04
COVNM	kg	2,57E-03	1,01E-03
Hidrocarbonetos	kg	3,25E-04	1,27E-04
Metais	kg	4,89E-09	1,91E-09
N ₂ O	kg	3,32E-06	1,30E-06
NH ₃	kg	1,81E-12	7,08E-13
Nox	kg	3,62E-03	1,41E-03
Sox	kg	2,93E-03	1,14E-03
Metil carptano	kg	2,68E-08	1,05E-08
HCl	kg	2,44E-08	9,55E-09
H ₂ S	kg	5,61E-07	2,19E-07
Radioatividade para o ar	kBq	2,95E-03	1,15E-03
Resíduos sólidos			
Resíduos não especificados	kg	9,33E-10	3,64E-10
Resíduos não inertes	kg	1,08E-05	4,20E-06
Resíduos sólidos oleosos	kg	7,99E-04	3,12E-04
Resíduos no solo	dm ³	4,04E-03	1,58E-03
Resíduos processuais	kg	3,23E-03	1,26E-03

Tabela 33: Inventário para a produção de 1 kg de óleo diesel

1.11.1.3.2.2 Inventário dos fertilizantes

Segundo a EMBRAPA (2004a), a soja obtém a maior parte do nitrogênio que necessita através da fixação simbiótica que ocorre com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* que são inoculadas à semente. Tanto a adubação fosfatada como potássica são feitas de forma corretiva com base nos resultados da análise do solo. A adubação fosfatada pode ser feita de forma corretiva total ou corretiva gradual. Na forma de adubação corretiva total, a correção é feita de uma só vez, com posterior manutenção do nível de fertilidade atingido enquanto a correção gradual é feita através de aplicações anuais no sulco de semeadura. Os valores indicados podem ser observados na Tabela 34 a seguir.

Teor de argila no solo (%)	ADUBAÇÃO FOSFATADA (kg de P_2O_5 / ha)			
	Corretiva total		Corretiva gradual	
	P muito baixo	P baixo	P muito baixo	P baixo
>60	240	120	100	90
40 a 60	180	90	90	80
20 a 40	120	60	80	70
<20	100	50	70	60

Tabela 34: Indicações de adubação fosfatada
Fonte: Sousa&Lobato (1996) apud EMBRAPA(2004a)

De acordo com a EMBRAPA (2004a), a adubação corretiva com potássio deve ser feita em solos com teor de argila maior que 20%, pois em solos com textura arenosa (<20% de argila) ocorrem acentuadas perdas por lixiviação. Desta forma, a adubação indicada pode variar de 50 a 100 kg de K_2O /ha.

Para a análise do inventário dos fertilizantes utilizados no sistema agrícola da soja na região dos Cerrados, será considerado um solo com 40% de argila e baixo teor de fósforo, sendo a adubação feita de forma corretiva gradual com a fórmula NPK na proporção de 02-20-20.

Como já citado anteriormente, são necessários 138,89 kg de NPK para a produção de 1 t de grãos de soja, nas seguintes proporções: 2,778 kg de N; 27,78 kg de P_2O_5 e 27,78 kg de K_2O .

Admitindo-se que a fonte de nutrientes seja a uréia, o superfosfato simples (SSP) e o cloreto de potássio (KCl) respectivamente para a formulação NPK(02-20-20), os inventários de aspectos para a produção de 1 tonelada de N, 1 tonelada de P_2O_5 e 1 tonelada de K_2O são apresentados nas colunas (1),(2) e (3) da Tabela 35 (SILVA,RIBEIRO e KULAY,2006). Assim sendo, os aspectos para a obtenção da formulação utilizada são apresentados nas colunas subsequentes.

	(1)	(2)	(3)	NPK 2-20-20 para 1 t de soja			
	1 t	1 t	1 t	2,78	27,78	27,78	
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	kg de N	kg de P ₂ O ₅	kg de K ₂ O	TOTAL
Recursos energéticos (GJ)							
Elettricidade	3,64E+01	4,12E+00		1,01E-01	1,14E-01		2,15E-01
Gás Natural	9,63E+00		3,76E+00	2,68E-02		1,04E-01	1,31E-01
Vapor	1,03E+01			2,87E-02			2,87E-02
Combustível fóssil		1,64E+00			4,56E-02		4,56E-02
Óleo diesel			5,43E+00			1,51E-01	1,51E-01
Recursos materiais (kg)							
Petróleo	4,12E+02			1,14E+00			1,14E+00
Gás Natural	9,96E+02			2,77E+00			2,77E+00
Ar	2,01E+01			5,59E-02			5,59E-02
Água	7,54E+01	5,30E+04	1,65E+03	2,09E-01	1,47E+03	4,58E+01	1,52E+03
Rocha fosfática bruta		2,55E+04			7,07E+02		7,07E+02
Enxofre elementar		7,16E+02			1,99E+01		1,99E+01
Rocha potássica (silvinita)			1,89E+03			5,25E+01	5,25E+01
Materiais auxiliares			1,01E+01			2,81E-01	2,81E-01
Emissões atmosféricas (kg)							
Material particulado	2,62E+00	2,00E-01	2,06E+00	7,28E-03	5,56E-03	5,71E-02	6,99E-02
CO	1,64E-01	1,10E-01	1,95E+00	4,56E-04	3,06E-03	5,42E-02	5,77E-02
CO ₂	2,25E+03	2,10E+02	9,14E+02	6,26E+00	5,85E+00	2,54E+01	3,75E+01
SO _x	6,01E-01	2,94E+00	3,49E+00	1,67E-03	8,17E-02	9,69E-02	1,80E-01
NO _x	1,56E+00	3,12E+00	4,57E+00	4,34E-03	8,67E-02	1,27E-01	2,18E-01
C _x H _y	1,10E-04	3,40E-01	1,04E+00	3,06E-07	9,44E-03	2,89E-02	3,83E-02
CH ₄	9,24E-01		1,45E+00	2,57E-03		4,03E-02	4,28E-02
H ₂ S	6,29E-04			1,75E-06			1,75E-06
HF		6,00E-02			1,67E-03		1,67E-03
Efluentes líquidos (kg)							
Compostos de nitrogênio	4,80E-01		6,00E-04	1,33E-03		1,67E-05	1,35E-03
Compostos de enxofre	9,90E-05		1,25E+01	2,75E-07		3,47E-01	3,47E-01
Compostos orgânicos totais	1,91E-04			5,31E-07			5,31E-07
Sólidos dissolvidos		4,23E+04			1,18E+03		1,18E+03
Fosfato		1,09E+01			3,04E-01		3,04E-01
DBO			2,00E-02			5,56E-04	5,56E-04
DQO			1,00E-02			2,78E-04	2,78E-04
Na ⁺			7,36E+01			2,04E+00	2,04E+00
K ⁺			1,61E+00			4,47E-02	4,47E-02
Clorretos (Cl ⁻)			1,26E+02			3,50E+00	3,50E+00
Ca ²⁺			2,09E+00			5,81E-02	5,81E-02
Mg ²⁺			1,21E+01			3,36E-01	3,36E-01
Resíduos sólidos (kg)							
Enxofre	1,21E-05			3,36E-08			3,36E-08
Catalisador usado	2,50E-01	5,00E+01		6,94E-04	1,39E+00		1,39E+00
Resíduo da mineração			4,58E+03			1,27E+02	1,27E+02
Magnetita		4,18E+03			1,16E+02		1,16E+02
Lama		3,69E+03			1,03E+02		1,03E+02
Resíduo não apatítico		1,26E+04			3,51E+02		3,51E+02
Emissões não materiais (GJ)							
Vapor	1,76E+00			4,89E-03			

Tabela 35: Aspectos associados à produção dos fertilizantes para a produção de 1 t soja

Fonte: colunas (1), (2) e (3) – Silva, Ribeiro e Kulay (2006)

De posse dos aspectos associados à produção de 1 kg de diesel e 1 GJ de energia elétrica apresentados anteriormente, foi possível consolidar o inventário referente a produção de fertilizantes para a produção de 1 tonelada de soja. Para isso, de acordo com a Tabela 35, foram abrangidos os aspectos associados para a produção de 0,215 GJ de energia elétrica e 0,151 GJ de óleo diesel, na qual considerando o poder calorífico do óleo diesel de 10100 kcal/kg, corresponde a 3,57 kg para a produção da referida formulação de fertilizantes. O inventário total, portanto é apresentado na Tabela 37 a seguir. Os aspectos associados à queima de diesel como combustível são exibidos na Tabela 36.

Vale ressaltar que os motores diesel destinados ao acionamento de máquinas estacionárias como geradores, realizam igualmente o processo de combustão, que é uma reação química de oxidação que se processa em altas temperaturas. Nos motores em geral, o processo de combustão oxida uma parcela dos componentes que são admitidos no interior do cilindro. O combustível, principalmente os derivados de petróleo, é, na realidade uma mistura de hidrocarbonetos que contém também outros materiais, tais como enxofre, vanádio, sódio, potássio, etc. Por outro lado o ar, utilizado como comburente, é uma mistura de gases diversos. O oxigênio contido no ar é o que realmente interessa ao processo de combustão. Os demais gases, como o nitrogênio, ao se combinarem com alguns outros componentes do combustível, podem produzir compostos indesejáveis, os quais são lançados na atmosfera, misturando-se ao ar que respiramos. As organizações internacionais, como a EPA, nos Estados Unidos e CONAMA, do Brasil, vêm estabelecendo padrões para controle dos níveis de emissões desses poluentes. Os motores diesel produzidos atualmente necessitam atender a limites estabelecidos em normas internacionais, a fim de obrigar os fabricantes a desenvolverem motores capazes de produzirem potência com o máximo aproveitamento do combustível e o mínimo de emissões. As emissões destes motores dependem, entretanto de vários fatores: qualidade do diesel utilizado, potência, temperatura, eficiência e atividade (quantidade de energia consumida ou distância percorrida). Comercialmente, a composição do diesel varia muito, devido a diferentes origens do petróleo utilizado como matéria-prima e diferentes processos de refino (BRAUN; APPEL; e SCHMAL, 2004).

Frente à dificuldade em se obter informações sobre todas essas variáveis para a composição dos inventários onde há queima de diesel (tanto para geração de força motriz como para geração de energia) e levando-se em conta que o objeto deste estudo é comparativo, optou-se em considerar uma fonte única de informação para os aspectos relativos à queima do diesel em geradores de energia e equipamentos agrícolas, como mostrado a seguir.

	Emissões kg/kg de diesel queimado
CxHy	3,59E-03
CO	1,35E-02
NOx	3,76E-02
Mat. Particulado	1,73E-03
SO ₂	5,07E-03
CH ₄	1,78E-04
N ₂ O	8,03E-05
CO ₂	3,19E+00

Tabela 36: Fatores de emissão para a queima de 1kg de diesel

Fonte: Sheehan et al (1998) considerando o poder calorífico do diesel igual a 10100 kcal/kg

	unid.	Produção de 3,57 kg de óleo diesel	Queima de 3,57 kg de óleo diesel	Produção de 0,251 GJ de energia elétrica	Produção NPK 2-20- 20 para 1 t de soja	Total NPK 2-20-20 para 1 t de soja
Entradas						
Petróleo	kg	4,16E+00		2,61E-01	1,14E+00	5,57E+00
Carvão	kg	5,61E-03		2,77E+00		2,77E+00
Gás Natural	kg	1,59E-01		1,64E-01	2,77E+00	3,09E+00
Energia não especificada	MJ	6,98E-01		3,41E+02		3,42E+02
Vapor	GJ				2,87E-02	2,87E-02
Combustíveis renováveis	kg	1,21E-03				1,21E-03
Combustível fóssil	GJ				4,56E-02	4,56E-02
Ar	kg				5,59E-02	5,59E-02
Água	kg	8,89E-01		2,51E+01	1,52E+03	1,54E+03
Rocha fosfática bruta	kg				7,07E+02	7,07E+02
Enxofre elementar	kg				1,99E+01	1,99E+01
Rocha potássica (silvinita)	kg				5,25E+01	5,25E+01
Reservas Bióticas	kg	2,05E-03		1,05E+00		1,05E+00
Materiais secundários	kg	3,79E-04		1,94E-01	2,81E-01	4,75E-01
Urânio	kg	1,18E-07		3,88E-05		3,89E-05

continua

continuação

	unid.	Produção de 3,57 kg de óleo diesel	Queima de 3,57 kg de óleo diesel	Produção de 0,251 GJ de energia elétrica	Produção NPK 2-20- 20 para 1 t de soja	Total NPK 2-20-20 para 1 t de soja
Saídas						
Energia	MJ	3,47E-03				3,47E-03
Vapor	GJ				4,89E-03	4,89E-03
Efluentes líquidos						
DBO	kg	1,25E-04		1,51E-05	5,56E-04	6,96E-04
DQO	kg	7,70E-04		2,80E-05	2,78E-04	1,08E-03
Metais pesados não especificados	kg	1,74E-08		3,88E-08		5,61E-08
Hidrocarbonetos	kg	7,40E-06		6,46E-06		1,39E-05
Efluentes líquidos não especificados	kg	1,20E-07				1,20E-07
Água residual	kg	1,17E-05				1,17E-05
Óleo não especificado	kg	5,79E-05				5,79E-05
Sólidos suspensos totais	kg	3,97E-04		2,15E-05		4,18E-04
Cl ⁻	kg	9,09E-05		1,29E-08	3,50E+00	3,50E+00
Íons metálicos	kg	3,41E-08				3,41E-08
Sólidos dissolvidos totais	kg	2,10E-08		1,08E-05	1,18E+03	1,18E+03
Fosfato	kg				3,04E-01	3,04E-01
Na ⁺	kg	6,09E-05			2,04E+00	2,04E+00
K ⁺	kg				4,47E-02	4,47E-02
Ca ²⁺	kg				5,81E-02	5,81E-02
Mg ²⁺	kg				3,36E-01	3,36E-01
Ácidas	kg	7,15E-11		3,66E-08		3,67E-08
Metais	kg	4,21E-09		2,15E-06		2,16E-06
Compostos de nitrogênio	kg	8,71E-09		9,70E-07	1,35E-03	1,35E-03
Óleos e graxas	kg	5,89E-08		3,02E-05		3,02E-05
Compostos de enxofre	kg	1,89E-10		9,70E-08	3,47E-01	3,47E-01
Compostos orgânicos totais	kg				5,31E-07	5,31E-07
Radioatividade para a água	kBq	6,34E-03		3,24E+00		3,25E+00
Emissões atmosféricas						
CO ₂	kg	8,98E-01	1,14E+01	3,84E+00	3,75E+01	5,36E+01
CO	kg	2,12E-03	4,83E-02	3,22E-02	5,77E-02	1,40E-01
Vapor de água	kg	9,55E-04		3,84E+00		3,84E+00
CH ₄	kg	9,82E-03	6,34E-04	1,18E-02	4,28E-02	6,51E-02
Material particulado	kg	5,21E-04	6,18E-03	1,45E-02	6,99E-02	9,11E-02
COVNM	kg	3,59E-03		1,57E-03		5,16E-03
Hidrocarbonetos (CxHy)	kg	4,53E-04	1,28E-02	1,62E-04	3,83E-02	5,18E-02
Metais	kg	6,82E-09		2,15E-09		8,97E-09
N ₂ O	kg	4,62E-06	2,87E-04	2,37E-03		2,66E-03
NH ₃	kg	2,52E-12		1,29E-09		1,30E-09
Nox	kg	5,04E-03	1,34E-01	1,24E-01	2,18E-01	4,81E-01
Sox	kg	4,08E-03	1,81E-02	2,51E-02	1,80E-01	2,28E-01
Metil carptano	kg	3,73E-08				3,73E-08
HCl	kg	3,41E-08				3,41E-08
H ₂ S	kg	7,82E-07			1,75E-06	2,53E-06
FH	kg				1,67E-03	1,67E-03
Radioatividade para o ar	kBq	4,11E-03		2,10E+00		2,11E+00
Resíduos sólidos						
Resíduos não especificados	kg	1,30E-09				1,30E-09
Resíduos não inertes	kg	1,50E-05				1,50E-05
Resíduos sólidos oleosos	kg	1,11E-03				1,11E-03
Resíduos no solo	dm ³	5,63E-03		2,88E+00		2,89E+00
Resíduos processuais	kg	4,50E-03		2,31E+00		2,31E+00
Enxofre	kg				3,36E-08	3,36E-08
Catalisador usado	kg				1,39E+00	1,39E+00
Resíduo da mineração	kg				1,27E+02	1,27E+02
Magnetita	kg				1,16E+02	1,16E+02
Lama	kg				1,03E+02	1,03E+02
Resíduo não apatítico	kg				3,51E+02	3,51E+02

Tabela 37: Inventário dos fertilizantes utilizados para a produção de 1 t de soja

1.11.1.3.2.2.1 Inventário do transporte de fertilizante

Segundo a ANDA (2006), o setor de fertilizantes no Brasil é composto de um parque com 114 empresas distribuídas nos Estados brasileiros de acordo com a Figura 26.

Figura 26 : Distribuição geográfica das empresas fabricantes de fertilizantes no Brasil
Fonte: ANDA(2006)

Para o cálculo da distância percorrida entre a fabricação de fertilizantes e a agricultura da soja, foram observados os dez maiores municípios produtores de soja do país, de acordo com a Tabela 38:

MUNICIPIO	UF	área colhida (ha)	produção (t)	participação sobre a produção total do Brasil
Sorriso	MT	578356	1804669	3,5%
Sapezal	MT	376577	1166679	2,3%
Campo Novo dos Parecis	MT	343301	1071099	2,1%
Nova Mutum	MT	333780	1068156	2,1%
Diamantino	MT	300000	918000	1,8%
Lucas do Rio Verde	MT	221906	744436	1,4%
São Desidério	BA	269485	743779	1,4%
Rio Verde	GO	265000	715500	1,4%
Primavera do Leste	MT	277389	684558	1,3%
Campos de Julio	MT	214915	627767	1,2%

Tabela 38: Dez maiores municípios produtores de soja no Brasil
Fonte: IBGE (2006) – REFERENCIAR NO FINAL

Como se pode observar na Tabela anterior, dos dez municípios que possuem maior produção de soja do país, oito estão localizados no Estado do Mato-Grosso com a produção de 8,08 milhões de toneladas o que representa 46% da produção deste Estado.

Admitindo-se que o N seja produzido em Camaçari-BA; que o P seja produzido em Araxá-MG e que o K seja produzido em Rosário do Catete-SE, admite-se também que estes nutrientes sejam destinados ao misturador NPK localizado em Rondonópolis-MT (BUNGE, 2004) para a posterir distribuição da formulação para os municípios plantadores de soja no Estado do Mato-Grosso, como mostra a Figura 27.

Figura 27: Logística adotada para o transporte de fertilizantes (agricultura da soja em Mato-Grosso)

As distâncias percorridas entre os fornecedores de nutrientes e o misturador da formulação NPK são apresentadas na Tabela 39.

km	Rondonópolis-MT
Camaçari-BA	2213
Araxá-MG	1036
Rosário do Catete-SE	2157

Tabela 39: distâncias percorridas entre os fornecedores de nutrientes e formulador NPK

As distâncias percorridas entre o misturador NPK e os municípios considerados são apresentadas na Tabela 40, sendo considerada, portanto a distância média percorrida de 470 km.

km	Rondonópolis-MT
Sorriso	498
Sapezal	732
Campo Novo dos Parecis	527
Nova Mutum	380
Diamantino	346
Lucas do Rio Verde	447
Primavera do Leste	117
Campos de Júlio	704

Tabela 40: distâncias percorridas entre o formulador NPK e os municípios com agricultura de soja no Mato-Grosso-MT

Para a elaboração do inventário de aspectos, considerou-se tanto para o transporte dos nutrientes como para o transporte da formulação, os aspectos contidos na base de dados Truck 28t ETH (ETH UNIT) do SimaPro 7.0 pelo fato dos motores nacionais seguirem padrões internacionais de emissão, como dito anteriormente. Esta base de dados disponibiliza os

aspectos das emissões provenientes da queima do diesel em função do peso transportado e da distância percorrida, ou seja, pela atividade de se transportar 1 tonelada por 1 quilometro, como apresentado na coluna (1) da Tabela 41 (PRÉ-CONSULTANTS, 2006).

Como dito anteriormente, para a produção de 1 tonelada de soja, são necessários 2,78 kg de N, 27,8 kg de P e 27,8 kg de K. Desta forma, de acordo com as distâncias apresentadas, os inventários para transporte destes nutrientes são exibidos nas colunas (2),(3) e (4) respectivamente da Tabela 41. Da mesma forma, a coluna (5) apresenta os aspectos totais para o transporte dos nutrientes necessários para a produção de 1 tonelada de soja.

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	unid.	Transporte de 1tkm de Nutrientes	Transporte de 2,78 kg de N por 2213 km	Transporte de 27,78 kg de P por 1036 km	Transporte de 27,78 kg de K por 2157 km	TOTAL Transporte de Nutrientes
Entradas						
Diesel	kg	4,30E-02	2,64E-01	1,24E+00	2,58E+00	4,08E+00
Saídas						
Emissões Atmosféricas						
Sox	kg	1,12E-04	6,88E-04	3,22E-03	6,71E-03	1,06E-02
Nox	kg	1,72E-03	1,06E-02	4,95E-02	1,03E-01	1,63E-01
CO2	kg	1,35E-01	8,30E-01	3,89E+00	8,09E+00	1,28E+01
CO	kg	3,74E-04	2,30E-03	1,08E-02	2,24E-02	3,55E-02
N2O	kg	1,89E-05	1,16E-04	5,44E-04	1,13E-03	1,79E-03
COVNM	kg	1,85E-04	1,14E-03	5,32E-03	1,11E-02	1,75E-02
CH4	kg	5,59E-06	3,44E-05	1,61E-04	3,35E-04	5,30E-04
Mat. Particulado	kg	9,46E-05	5,82E-04	2,72E-03	5,67E-03	8,97E-03

Tabela41: Inventário do transporte de nutrientes até o misturador NPK

Agregando-se os aspectos associados à produção de 4,08 kg de diesel, tem-se o inventário consolidado do transporte de nutrientes apresentado na Tabela 42.

	unid.	Produção de 4,08 kg de óleo diesel	TOTAL Transporte de Nutrientes	TOTAL Transporte de Nutrientes
Entradas				
Petróleo	kg	4,76E+00		4,76E+00
Carvão	kg	6,42E-03		6,42E-03
Gás Natural	kg	1,82E-01		1,82E-01
Energia não especificada	MJ	7,98E-01		7,98E-01
Combustíveis renováveis	kg	1,38E-03		1,38E-03
Água	kg	1,02E+00		1,02E+00
Reservas Bióticas	kg	2,34E-03		2,34E-03
Materiais secundários	kg	4,33E-04		4,33E-04
Urânio	kg	1,35E-07		1,35E-07

continua

continuação

	unid.	Produção de 4,08 kg de óleo diesel	TOTAL Transporte de Nutrientes	TOTAL Transporte de Nutrientes
Saídas				
Energia	MJ	3,97E-03		3,97E-03
Efluentes líquidos				
DBO	kg	1,43E-04		1,43E-04
DQO	kg	8,80E-04		8,80E-04
Metais pesados não especificados	kg	1,98E-08		1,98E-08
Hidrocarbonetos	kg	8,46E-06		8,46E-06
Efluentes líquidos não especificados	kg	1,38E-07		1,38E-07
Água residual	kg	1,33E-05		1,33E-05
Óleo não especificado	kg	6,62E-05		6,62E-05
Sólidos suspensos totais	kg	4,54E-04		4,54E-04
Cl-	kg	1,04E-04		1,04E-04
Ions metálicos	kg	3,89E-08		3,89E-08
Sólidos dissolvidos totais	kg	2,41E-08		2,41E-08
Na	kg	6,97E-05		6,97E-05
Ácidas	kg	8,18E-11		8,18E-11
Metais	kg	4,81E-09		4,81E-09
Compostos de nitrogênio	kg	9,95E-09		9,95E-09
Óleos e graxas	kg	6,73E-08		6,73E-08
Compostos de enxofre	kg	2,16E-10		2,16E-10
Radioatividade para a água	kBq	7,24E-03		7,24E-03
Emissões atmosféricas				
CO2	kg	1,03E+00	1,28E+01	1,38E+01
CO	kg	2,43E-03	3,55E-02	3,79E-02
Vapor de água	kg	1,09E-03		1,09E-03
CH4	kg	1,12E-02	5,30E-04	1,18E-02
Material particulado	kg	5,95E-04	8,97E-03	9,57E-03
COVNM	kg	4,10E-03	1,75E-02	2,16E-02
Hidrocarbonetos	kg	5,18E-04		5,18E-04
Metais	kg	7,79E-09		7,79E-09
N2O	kg	5,29E-06	1,79E-03	1,80E-03
NH3	kg	2,89E-12		2,89E-12
Nox	kg	5,76E-03	1,63E-01	1,69E-01
Sox	kg	4,67E-03	1,06E-02	1,53E-02
Metil carptano	kg	4,27E-08		4,27E-08
HCl	kg	3,89E-08		3,89E-08
H2S	kg	8,94E-07		8,94E-07
Radioatividade para o ar	kBq	4,70E-03		4,70E-03
Resíduos sólidos				
Resíduos não especificados	kg	1,49E-09		1,49E-09
Resíduos não inertes	kg	1,71E-05		1,71E-05
Resíduos sólidos oleosos	kg	1,27E-03		1,27E-03
Resíduos no solo	dm3	6,43E-03		6,43E-03
Resíduos processuais	kg	5,15E-03		5,15E-03

Tabela 42: Inventário consolidado de transporte dos nutrientes necessários para a produção de 1 tonelada de soja

Segundo dados estatísticos publicados no Agrianual (2006), para se produzir 2880 kg de soja na região do Mato-Grosso, são necessários 400 kg da formulação NPK 2-20-20. Portanto, são necessários 138,89 Kg desta formulação para a produção de 1 t de soja. A coluna (2) da Tabela 43 exibe o inventário para transporte de 138,89 kg de NPK por uma distância média percorrida de 470 km, que corresponde à distância entre um misturador localizado em Rondonópolis e a média das distâncias entre os municípios que mais produzem soja no Mato-Grosso, como mostrado anteriormente. A fonte de dados da coluna (1) é a mesma da Tabela 41.

		(1)	(2)
	unid.	Transporte de 1tkm de NPK	Transporte de 138,89 kg de NPK por 470 km
Entradas			
Diesel	kg	4,30E-02	2,81E+00
Saídas			
Emissões Atmosféricas			
Sox	kg	1,12E-04	7,31E-03
Nox	kg	1,72E-03	1,12E-01
CO2	kg	1,35E-01	8,81E+00
CO	kg	3,74E-04	2,44E-02
N2O	kg	1,89E-05	1,23E-03
COVNM	kg	1,85E-04	1,21E-02
CH4	kg	5,59E-06	3,65E-04
Mat. Particulado	kg	9,46E-05	6,18E-03

Tabela 43: Inventário do Transporte da formulação NPK necessária para a produção de 1 tonelada de soja

Após agregar os aspectos associados à produção de 2,81 kg de diesel, o inventário consolidado do transporte de 138,90 kg da formulação NPK necessária para a produção de 1 tonelada de soja é apresentado na Tabela 44.

	unid.	Produção de 2,81 kg de óleo diesel	Transporte de 138,89 kg de NPK por 470 km	TOTAL Transporte de NPK
Entradas				
Petróleo	kg	3,28E+00		3,28E+00
Carvão	kg	4,42E-03		4,42E-03
Gás Natural	kg	1,25E-01		1,25E-01
Energia não especificada	MJ	5,49E-01		5,49E-01
Combustíveis renováveis	kg	9,53E-04		9,53E-04
Água	kg	7,00E-01		7,00E-01
Reservas Bióticas	kg	1,61E-03		1,61E-03
Materiais secundários	kg	2,98E-04		2,98E-04
Urânio	kg	9,31E-08		9,31E-08

continua

continuação

	unid.	Produção de 2,81 kg de óleo diesel	Transporte de 138,89 kg de NPK por 470 km	TOTAL Transporte de NPK
Saídas				
Energia	MJ	2,73E-03		2,73E-03
Efluentes líquidos				
DBO	kg	9,83E-05		9,83E-05
DQO	kg	6,06E-04		6,06E-04
Metais pesados não especificados	kg	1,37E-08		1,37E-08
Hidrocarbonetos	kg	5,83E-06		5,83E-06
Efluentes líquidos não especificados	kg	9,48E-08		9,48E-08
Água residual	kg	9,18E-06		9,18E-06
Óleo não especificado	kg	4,55E-05		4,55E-05
Sólidos suspensos totais	kg	3,12E-04		3,12E-04
Cl-	kg	7,15E-05		7,15E-05
Ions metálicos	kg	2,68E-08		2,68E-08
Sólidos dissolvidos totais	kg	1,66E-08		1,66E-08
Na	kg	4,80E-05		4,80E-05
Ácidas	kg	5,63E-11		5,63E-11
Metais	kg	3,31E-09		3,31E-09
Compostos de nitrogênio	kg	6,85E-09		6,85E-09
Óleos e graxas	kg	4,64E-08		4,64E-08
Compostos de enxofre	kg	1,49E-10		1,49E-10
Radioatividade para a água	kBq	4,99E-03		4,99E-03
Emissões atmosféricas				
CO2	kg	7,07E-01	8,81E+00	9,52E+00
CO	kg	1,67E-03	2,44E-02	2,61E-02
Vapor de água	kg	7,51E-04		7,51E-04
CH4	kg	7,72E-03	3,65E-04	8,09E-03
Material particulado	kg	4,10E-04	6,18E-03	6,59E-03
COVNM	kg	2,82E-03	1,21E-02	1,49E-02
Hidrocarbonetos	kg	3,56E-04		3,56E-04
Metais	kg	5,36E-09		5,36E-09
N2O	kg	3,64E-06	1,23E-03	1,24E-03
NH3	kg	1,99E-12		1,99E-12
Nox	kg	3,97E-03	1,12E-01	1,16E-01
Sox	kg	3,21E-03	7,31E-03	1,05E-02
Metil carptano	kg	2,94E-08		2,94E-08
HCl	kg	2,68E-08		2,68E-08
H2S	kg	6,16E-07		6,16E-07
Radioatividade para o ar	kBq	3,23E-03		3,23E-03
Resíduos sólidos				
Resíduos não especificados	kg	1,02E-09		1,02E-09
Resíduos não inertes	kg	1,18E-05		1,18E-05
Resíduos sólidos oleosos	kg	8,76E-04		8,76E-04
Resíduos no solo	dm3	4,43E-03		4,43E-03
Resíduos processuais	kg	3,54E-03		3,54E-03

Tabela 44: Inventário consolidado de transporte da formulação NPK necessária para a produção de 1 t de soja

A soma dos inventários consolidados para transporte de nutrientes (coluna 1) e transporte da formulação NPK (coluna 2), fornece o inventário total de transporte de fertilizantes para o cultivo de 1 tonelada de soja, exibidos na coluna (3) da Tabela 45:

		(1)	(2)	(3)
	unid.	TOTAL Transporte de Nutrientes	TOTAL Transporte de NPK	TOTAL Transporte de Fertilizantes
Entradas				
Petróleo	kg	4,76E+00	3,28E+00	8,04E+00
Carvão	kg	6,42E-03	4,42E-03	1,08E-02
Gás Natural	kg	1,82E-01	1,25E-01	3,07E-01
Energia não especificada	MJ	7,98E-01	5,49E-01	1,35E+00
Combustíveis renováveis	kg	1,38E-03	9,53E-04	2,34E-03
Água	kg	1,02E+00	7,00E-01	1,72E+00
Reservas Bióticas	kg	2,34E-03	1,61E-03	3,96E-03
Materiais secundários	kg	4,33E-04	2,98E-04	7,31E-04
Urânio	kg	1,35E-07	9,31E-08	2,28E-07
Saídas				
Energia	MJ	3,97E-03	2,73E-03	6,70E-03
Efluentes líquidos				
DBO	kg	1,43E-04	9,83E-05	2,41E-04
DQO	kg	8,80E-04	6,06E-04	1,49E-03
Metais pesados não especificados	kg	1,98E-08	1,37E-08	3,35E-08
Hidrocarbonetos	kg	8,46E-06	5,83E-06	1,43E-05
Efluentes líquidos não especificado	kg	1,38E-07	9,48E-08	2,33E-07
Água residual	kg	1,33E-05	9,18E-06	2,25E-05
Óleo não especificado	kg	6,62E-05	4,55E-05	1,12E-04
Sólidos suspensos totais	kg	4,54E-04	3,12E-04	7,66E-04
Cl-	kg	1,04E-04	7,15E-05	1,75E-04
Íons metálicos	kg	3,89E-08	2,68E-08	6,58E-08
Sólidos dissolvidos totais	kg	2,41E-08	1,66E-08	4,06E-08
Na	kg	6,97E-05	4,80E-05	1,18E-04
Ácidas	kg	8,18E-11	5,63E-11	1,38E-10
Metais	kg	4,81E-09	3,31E-09	8,12E-09
Compostos de nitrogênio	kg	9,95E-09	6,85E-09	1,68E-08
Óleos e graxas	kg	6,73E-08	4,64E-08	1,14E-07
Compostos de enxofre	kg	2,16E-10	1,49E-10	3,65E-10
Radioatividade para a água	kBq	7,24E-03	4,99E-03	1,22E-02

continua

continuação

	unid.	TOTAL Transporte de Nutrientes	TOTAL Transporte de NPK	TOTAL Transporte de Fertilizantes
Emissões atmosféricas				
CO ₂	kg	1,38E+01	9,52E+00	2,34E+01
CO	kg	3,79E-02	2,61E-02	6,40E-02
Vapor de água	kg	1,09E-03	7,51E-04	1,84E-03
CH ₄	kg	1,18E-02	8,09E-03	1,98E-02
Material particulado	kg	9,57E-03	6,59E-03	1,62E-02
COVNM	kg	2,16E-02	1,49E-02	3,65E-02
Hidrocarbonetos	kg	5,18E-04	3,56E-04	8,74E-04
Metais	kg	7,79E-09	5,36E-09	1,32E-08
N ₂ O	kg	1,80E-03	1,24E-03	3,04E-03
NH ₃	kg	2,89E-12	1,99E-12	4,87E-12
Nox	kg	1,69E-01	1,16E-01	2,85E-01
Sox	kg	1,53E-02	1,05E-02	2,58E-02
Metil carptano	kg	4,27E-08	2,94E-08	7,21E-08
HCl	kg	3,89E-08	2,68E-08	6,58E-08
H ₂ S	kg	8,94E-07	6,16E-07	1,51E-06
Radioatividade para o ar	kBq	4,70E-03	3,23E-03	7,93E-03
Resíduos sólidos				
Resíduos não especificados	kg	1,49E-09	1,02E-09	2,51E-09
Resíduos não inertes	kg	1,71E-05	1,18E-05	2,89E-05
Resíduos sólidos oleosos	kg	1,27E-03	8,76E-04	2,15E-03
Resíduos no solo	dm ³	6,43E-03	4,43E-03	1,09E-02
Resíduos processuais	kg	5,15E-03	3,54E-03	8,69E-03

Tabela 45: Inventário do transporte de fertilizantes necessários para o cultivo de 1 tonelada de soja

1.11.1.3.2.3 Inventário das operações mecanizadas

O manejo do solo da cultura da soja no sistema de plantio direto possui um número de operações agrícolas menor do que o sistema de plantio convencional. Como este estudo adota o sistema de plantio direto, a primeira operação a ser realizada é a dessecagem da cobertura verde. A próxima operação é a calagem do solo, seguida pela semeadura da soja. Após o plantio, as operações seguintes realizadas incluem uma aplicação de inseticida, uma de fungicida e duas para a ferrugem da soja. A próxima operação é a da colheita e por fim, a última operação realizada é de semeadura de cobertura verde (MELLO et al, 2005).

Mello et al (2005), após o cálculo do consumo de diesel (em litros/hora), calculou o mesmo consumo em litros/hectare para tornar possível a comparação com a quantidade de óleo de soja extraída em um hectare. Este cálculo foi feito por intermédio da determinação em cada operação da Capacidade de Campo Efetiva, que expressa em quantos hectares cada

máquina é capaz de trabalhar no período de uma hora segundo padrão ASAE EP4 96.2. O resultado é apresentado na Tabela 46 a seguir.

	OPERAÇÃO	EQUIPAMENTO	CONSUMO DE DIESEL (L/ha)	CONSUMO DE DIESEL (kg/ha)
(1)	Dessecagem da cobertura verde	Trator + pulverizador com vazão de 100 L/min	0,58	0,487
(2)	Calagem	Trator + distribuidor de calcário	2,36	1,979
(3)	semeadura da soja	Trator + semeadora com 13 linhas	8,67	7,283
(4)	aplicação de inseticida	Trator + pulverizador com vazão de 100 L/min	0,58	0,487
(5)	aplicação de fungicida	Trator + pulverizador com vazão de 100 L/min	0,58	0,487
(6)	aplicação de defensivo a ferrugem	Trator + pulverizador com vazão de 100 L/min	0,58	0,487
(7)	colheita	Colhedora + plataforma de corte de 5,8m	29,0	24,36
(8)	semeadura da cobertura verde	Trator + semeadora com 19 linhas	7,91	6,644

Tabela 46: Consumo de diesel em kg/ha para cada operação mecanizada do cultivo de soja

Fonte: Mello et al

Como este estudo adota a produtividade média de 2880 kg de grãos de soja por hectare, para a produção de 1 tonelada de grãos de soja são necessários 0,347 hectares. Desta forma, o consumo de diesel para a produção de 1 tonelada de grãos é apresentado na Tabela 47 a seguir.

	OPERAÇÃO	EQUIPAMENTO	CONSUMO DE DIESEL (kg)
(1)	Dessecagem da cobertura verde	Trator + pulverizador com vazão de 100 L/min	0,169
(2)	Calagem	Trator + distribuidor de calcário	0,687
(3)	semeadura da soja	Trator + semeadora com 13 linhas	2,529
(4)	aplicação de inseticida	Trator + pulverizador com vazão de 100 L/min	0,169
(5)	aplicação de fungicida	Trator + pulverizador com vazão de 100 L/min	0,169
(6)	aplicação de defensivo a ferrugem	Trator + pulverizador com vazão de 100 L/min	0,169
(7)	colheita	Colhedora + plataforma de corte de 5,8m	8,458
(8)	semeadura da cobertura verde	Trator + semeadora com 19 linhas	2,307

Tabela 47: Consumo de diesel para a produção de 1 tonelada de soja

De posse dos fatores de emissão para a queima de 1 kg de diesel (apresentados na Tabela 36), juntamente com o consumo de diesel necessário para a produção de 1 tonelada de soja calculados anteriormente, foi possível a elaboração do inventário das operações mecanizadas, apresentado na coluna que representa o total da Tabela 48, onde foi considerado duas aplicações de defensivo a ferrugem (operação (6)), como definido anteriormente.

Inventário para a produção de 1 t de soja	unidade	OPERAÇÕES								TOTAL
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	
Entradas										
Diesel	kg	0,169	0,687	2,529	0,169	0,169	0,338	8,458	2,307	1,48E+01
Emissões Atmosféricas										
CxHy	kg	6,08E-04	2,47E-03	9,09E-03	6,08E-04	6,08E-04	1,22E-03	3,04E-02	8,29E-03	5,33E-02
CO	kg	2,29E-03	9,30E-03	3,42E-02	2,29E-03	2,29E-03	4,58E-03	1,14E-01	3,12E-02	2,01E-01
NOx	kg	6,37E-03	2,59E-02	9,52E-02	6,37E-03	6,37E-03	1,27E-02	3,18E-01	8,68E-02	5,58E-01
Mat.particulado	kg	2,93E-04	1,19E-03	4,38E-03	2,93E-04	2,93E-04	5,87E-04	1,47E-02	4,00E-03	2,57E-02
SO2	kg	8,58E-04	3,49E-03	1,28E-02	8,58E-04	8,58E-04	1,72E-03	4,29E-02	1,17E-02	7,52E-02
CH4	kg	3,00E-05	1,22E-04	4,49E-04	3,00E-05	3,00E-05	6,01E-05	1,50E-03	4,10E-04	2,63E-03
N2O	kg	1,36E-05	5,52E-05	2,03E-04	1,36E-05	1,36E-05	2,72E-05	6,80E-04	1,85E-04	1,19E-03
CO2	kg	5,40E-01	2,19E+00	8,07E+00	5,40E-01	5,40E-01	1,08E+00	2,70E+01	7,37E+00	4,73E+01

Tabela 48: Emissões atmosféricas das operações mecanizadas para a produção de 1 t de soja

De acordo com os aspectos associados à produção de 1 kg de diesel, apresentados anteriormente e sabendo que para a produção de 1 tonelada de soja são necessários 14,82 kg de diesel, foi possível consolidar o inventário das operações mecanizadas para a produção de 1 tonelada de grãos de soja como mostra a Tabela 49 a seguir.

	unid.	Produção de 14,82 kg de óleo diesel	Queima de 14,82 kg de óleo diesel nas operações mecanizadas	TOTAL
Entradas				
Petróleo	kg	1,73E+01		1,73E+01
Carvão	kg	2,33E-02		2,33E-02
Gás Natural	kg	6,61E-01		6,61E-01
Energia	MJ	2,90E+00		2,90E+00
Combustíveis renováveis	kg	5,03E-03		5,03E-03
Água	kg	3,70E+00		3,70E+00
Reservas Bióticas	kg	8,52E-03		8,52E-03
Materiais secundários	kg	1,57E-03		1,57E-03
Urânio	kg	4,92E-07		4,92E-07
Saídas				
Energia	MJ	1,44E-02		1,44E-02
Efluentes líquidos				
DBO	kg	5,19E-04		5,19E-04
DQO	kg	3,20E-03		3,20E-03
Metais pesados não especificados	kg	7,22E-08		7,22E-08
Hidrocarbonetos	kg	3,08E-05		3,08E-05
Efluentes líquidos não especificados	kg	5,01E-07		5,01E-07
Água residual	kg	4,85E-05		4,85E-05
Óleo não especificado	kg	2,41E-04		2,41E-04
Sólidos suspensos totais	kg	1,65E-03		1,65E-03
Cl-	kg	3,78E-04		3,78E-04
Íons metálicos	kg	1,42E-07		1,42E-07
Sólidos dissolvidos totais	kg	8,74E-08		8,74E-08
Na	kg	2,53E-04		2,53E-04
Ácidas	kg	2,97E-10		2,97E-10
Metais	kg	1,75E-08		1,75E-08
Compostos de nitrogênio	kg	3,62E-08		3,62E-08
Óleos e graxas	kg	2,45E-07		2,45E-07
Compostos de enxofre	kg	7,87E-10		7,87E-10
Radioatividade para a água	kBq	2,63E-02		2,63E-02
Emissões atmosféricas				
CO2	kg	3,73E+00	4,73E+01	5,11E+01
CO	kg	8,83E-03	2,01E-01	2,09E-01
Vapor de água	kg	3,97E-03		3,97E-03
CH4	kg	4,08E-02	2,63E-03	4,34E-02
Material particulado	kg	2,16E-03	2,57E-02	2,79E-02
COVNM	kg	1,49E-02		1,49E-02
Hidrocarbonetos	kg	1,88E-03	5,33E-02	5,52E-02
Metais	kg	2,83E-08		2,83E-08
N2O	kg	1,92E-05	1,19E-03	1,21E-03
NH3	kg	1,05E-11		1,05E-11
NOx	kg	2,10E-02	5,58E-01	5,79E-01
SOx	kg	1,70E-02	7,52E-02	9,22E-02
Metil carptano	kg	1,55E-07		1,55E-07
HCl	kg	1,42E-07		1,42E-07
H2S	kg	3,25E-06		3,25E-06
Radioatividade para o ar	kBq	1,71E-02		1,71E-02
Resíduos sólidos				
Resíduos não especificados	kg	5,40E-09		5,40E-09
Resíduos não inertes	kg	6,23E-05		6,23E-05
Resíduos sólidos oleosos	kg	4,63E-03		4,63E-03
Resíduos no solo	dm3	2,34E-02		2,34E-02
Resíduos processuais	kg	1,87E-02		1,87E-02

Tabela 49: Inventário das operações mecanizadas para a produção de 1 t de soja

1.11.1.3.2.4 Inventário do Calcário

Segundo a Embrapa (2004a), para que a calagem atinja o objetivo de neutralização do solo desejado, o calcário deve apresentar teores de CaO e MgO superiores a 38%, sendo recomendado o uso do calcário dolomítico.

Desta forma, este estudo adota a utilização de calcário dolomítico, proveniente de rocha metamórfica, com PRNT de 90%, ou seja, com alta reatividade (90%) e poder de neutralização igual a 100.

Para atingir esta reatividade, é necessária energia para o desmonte primário da rocha metamórfica proveniente de 200 gramas de explosivo por tonelada desmontada. Este explosivo é composto aproximadamente de 70% de emulsão Ibegel (772cal/g) e 20% de Anfomax (977cal/g). Cerca de 10 % da massa total sofre desmonte secundário com rompedor hidráulico, movido a diesel. O consumo total de diesel (operações de perfuração, desmonte secundário e transporte) é da ordem de 1,45 litros de diesel por tonelada de calcário extraído. A energia elétrica utilizada nos britadores, moedores e peneiras é da ordem de 6,5 kwh/t de calcário PRNT=90% (FARJADO,2006)¹³.

Desta forma, o inventário parcial para a produção de 1 tonelada de calcário (PRNT=90%) é apresentado na Tabela 50 a seguir.

	unid.	desmonte primário	desmonte secundário + operações de perfuração e transporte	britagem, moagem e peneiramento	total para a produção de 1 tonelada de calcário
Entradas					
Energia (explosivos)	MJ	6,16E-01			6,16E-01
Energia elétrica	MJ			2,34E+01	2,34E+01
Rocha Metamórfica	kg	1,00E+03			1,00E+03
diesel	kg		1,22E+00		1,22E+00
Saídas					
Emissões Atmosféricas					
Material particulado	kg	1,61E-01			1,61E-01

Tabela 50: Inventário parcial para a produção de 1 tonelada de calcário

Os aspectos associados a geração de 23,4 MJ (6,5 kwh) de energia necessária para a obtenção de 1 tonelada de calcário são mostrados na coluna (1) da Tabela 51, calculados com base ao inventário do sistema de energia elétrica no Brasil apresentado por Coltro, Garcia e Queiroz (2003). Os aspectos associados a produção de 1,22 kg de diesel são exibidos na coluna (2), calculados com base no inventário para a produção de diesel apresentado

anteriormente. A coluna (3) apresenta as emissões atmosféricas provenientes da queima do diesel utilizado, calculados a partir dos fatores de emissão apresentados na Tabela 36. Assim sendo, a coluna (5) da mesma Tabela apresenta o inventário consolidado para a obtenção de 1 tonelada de calcário. De acordo com os dados estatísticos do AGRIANUAL (2006), para a produção de 2880 kg de grãos de soja, são necessários 800 kg de calcário. Desta forma, a coluna (6) da Tabela 51 representa os aspectos associados para a obtenção do calcário necessário para a produção de 1 tonelada de grãos de soja (277,78 kg).

¹³ Comunicação pessoal por email por email do Sr. Celso Fajardo, Diretor do Grupo J. Demito (produtor de calcário) em 14 de setembro de 2006

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	unid.	Geração de 23,4 MJ de energia elétrica	produção de 1,22 kg de diesel	queima de 1,22 kg de diesel	produção de 1 t de calcário	total para produção de 1 t de calcário	total para produção de 277,78 kg de calcário
Entradas							
Energia	MJ	3,71E+01	2,39E-01		6,16E-01	3,79E+01	1,05E+01
Reservas Bióticas	kg	1,14E-01	7,01E-04			1,15E-01	3,18E-02
Carvão	kg	3,00E-01	1,92E-03			3,02E-01	8,40E-02
Combustíveis renováveis	kg		4,14E-04			4,14E-04	1,15E-04
Gás natural	kg	1,78E-02	5,44E-02			7,22E-02	2,01E-02
Petróleo	kg	2,83E-02	1,42E+00			1,45E+00	4,03E-01
Água	kg	2,72E+00	3,04E-01			3,03E+00	8,41E-01
Materiais secundários	kg	2,11E-02	1,30E-04			2,12E-02	5,89E-03
Rocha Metamórfica	kg				1,00E+03	1,00E+03	2,78E+02
Urânio	kg	4,21E-06	4,04E-08			4,25E-06	1,18E-06
Saídas							
Energia	MJ		1,19E-03			1,19E-03	3,30E-04
Emissões Atmosféricas							
CH4	kg	1,28E-03	3,36E-03	2,17E-04		4,86E-03	1,35E-03
CO	kg	3,50E-03	7,26E-04	1,65E-02		2,07E-02	5,76E-03
CO2	kg	4,17E-01	3,07E-01	3,90E+00		4,62E+00	1,28E+00
Vapor de água	kg	5,39E-03	3,27E-04			5,72E-03	1,59E-03
Hidrocarbonetos	kg	1,76E-05	1,55E-04	4,39E-03		4,56E-03	1,27E-03
Metais	kg	2,34E-10	2,33E-09			2,57E-09	7,13E-10
NH3	kg	1,40E-10	8,63E-13			1,41E-10	3,92E-11
COVNM	kg	1,70E-04	1,23E-03			1,40E-03	3,88E-04
NOx	kg	1,35E-02	1,72E-03	4,59E-02		6,11E-02	1,70E-02
N2O	kg	2,57E-04	1,58E-06	9,80E-05		3,57E-04	9,91E-05
Material particulado	kg	1,57E-03	1,78E-04	2,12E-03	1,61E-01	1,65E-01	4,58E-02
SOx	kg	2,72E-03	1,40E-03	6,19E-03		1,03E-02	2,86E-03
Metil carptano	kg		1,28E-08			1,28E-08	3,55E-09
HCl	kg		1,17E-08			1,17E-08	3,24E-09
H2S	kg		2,68E-07			2,68E-07	7,43E-08
Radioatividade para o ar	kBq	2,29E-01	1,41E-03			2,30E-01	6,39E-02
Efluentes líquidos							
Ácidas	kg	3,98E-09				3,98E-09	1,11E-09
DBO	kg	1,64E-06	4,27E-05			4,44E-05	1,23E-05
DQO	kg	3,04E-06	2,63E-04			2,66E-04	7,40E-05
Cl-	kg	1,40E-09	3,11E-05			3,11E-05	8,64E-06
Metais pesados não especificados	kg	4,21E-09	5,94E-09			1,01E-08	2,82E-09
Hidrocarbonetos	kg	7,02E-07	2,53E-06			3,23E-06	8,98E-07
Efluentes líquidos não especificados	kg		4,12E-08			4,12E-08	1,14E-08
Água residual	kg		3,99E-06			3,99E-06	1,11E-06
Óleo não especificado	kg		1,98E-05			1,98E-05	5,50E-06
Ions metálicos	kg		1,17E-08			1,17E-08	3,24E-09
Metais	kg	2,34E-07	1,44E-09			2,35E-07	6,54E-08
Na	kg		2,08E-05			2,08E-05	5,79E-06
Ácidas	kg		2,45E-11			2,45E-11	6,80E-12
Compostos de nitrogênio	kg	1,05E-07	2,98E-09			1,08E-07	3,01E-08
Óleos e graxas	kg	3,28E-06	2,01E-08			3,30E-06	9,16E-07
Compostos de enxofre	kg	1,05E-08	6,48E-11			1,06E-08	2,94E-09
Sólidos dissolvidos totais	kg	1,17E-06	7,20E-09			1,18E-06	3,27E-07
Sólidos suspensos totais	kg	2,34E-06	1,36E-04			1,38E-04	3,84E-05
Radioatividade para a água	kBq	3,52E-01	2,17E-03			3,55E-01	9,85E-02
Resíduos Sólidos							
Resíduos no solo	dm3	3,13E-01	1,92E-03			3,15E-01	8,74E-02
Resíduos processuais	kg	2,50E-01	1,54E-03			2,52E-01	7,00E-02
Resíduos não especificados	kg		4,44E-10			4,44E-10	1,23E-10
Resíduos não inertes	kg		5,13E-06			5,13E-06	1,42E-06
Resíduos sólidos oleosos	kg		3,81E-04			3,81E-04	1,06E-04

Tabela 51: Inventário do calcário necessário para a produção de 1 tonelada de grãos de soja

1.11.1.3.2.4.1 Inventário do transporte de Calcário

Os municípios produtores de calcário dolomítico no Estado do Mato-Grosso são: Nobres, Cuiabá, Cáceres, Canarana e Tangará (BECKER, 2006)¹⁴. Considerando os municípios que possuem maior produção de soja no MT, as distâncias percorridas pelo calcário são apresentadas na Tabela 52, o que representa uma média de 352 km.

Distância entre os municípios (km)	MATO-GROSSO-MT				
	Nobres	Cuiabá	Cáceres	Canarana	Tangará
Sorriso	285	387	494	439	344
Sapezal	377	457	412	794	261
Campo Novo dos Parecis	237	331	303	763	123
Nova Mutum	111	223	347	468	193
Diamantino	44	149	261	524	127
Lucas do Rio Verde	217	322	428	450	280
Primavera do Leste	277	227	419	359	419
Campos de Julio	370	427	330	889	228

Tabela 52: distâncias percorridas para transporte de calcário

Desta forma, o inventário para transporte de 277,78 kg de calcário por 352 km é apresentado na Tabela 53.

		(1)	(2)
	unid.	Transporte de 1tkm de calcário	Transporte de 277,78 kg de calcário por 352 km
Entradas			
Diesel	kg	4,30E-02	4,21E+00
Saídas			
Emissões Atmosféricas			
Sox	kg	1,12E-04	1,10E-02
Nox	kg	1,72E-03	1,68E-01
CO2	kg	1,35E-01	1,32E+01
CO	kg	3,74E-04	3,66E-02
N2O	kg	1,89E-05	1,85E-03
COVNM	kg	1,85E-04	1,81E-02
CH4	kg	5,59E-06	5,47E-04
Mat. Particulado	kg	9,46E-05	9,26E-03

Tabela 53: Inventário do transporte de calcário necessário para a produção de 1 t de soja

¹⁴ Comunicação pessoal por email do Sr. Fernando Carlos Becker, Diretor Executivo do SINDICALC (Sindicato das Indústrias de Calcário) em 15 de setembro de 2006

Com o agrupamento dos aspectos associados à produção de 4,21 kg de diesel, o inventário consolidado para o transporte de calcário necessário para a produção de 1 t de soja é exibido na Tabela 54.

	unid.	Produção de 4,21 kg de óleo diesel	Transporte de 277,78 kg de calcário por 352 km	TOTAL Transporte de calcário
Entradas				
Petróleo	kg	4,91E+00		4,91E+00
Carvão	kg	6,62E-03		6,62E-03
Gás Natural	kg	1,88E-01		1,88E-01
Energia não especificada	MJ	8,23E-01		8,23E-01
Combustíveis renováveis	kg	1,43E-03		1,43E-03
Água	kg	1,05E+00		1,05E+00
Reservas Bióticas	kg	2,42E-03		2,42E-03
Materiais secundários	kg	4,47E-04		4,47E-04
Urânio	kg	1,40E-07		1,40E-07
Saídas				
Energia	MJ	4,09E-03		4,09E-03
Efluentes líquidos				
DBO	kg	1,47E-04		1,47E-04
DQO	kg	9,08E-04		9,08E-04
Metais pesados não especificados	kg	2,05E-08		2,05E-08
Hidrocarbonetos	kg	8,74E-06		8,74E-06
Efluentes líquidos não especificados	kg	1,42E-07		1,42E-07
Água residual	kg	1,38E-05		1,38E-05
Óleo não especificado	kg	6,83E-05		6,83E-05
Sólidos suspensos totais	kg	4,68E-04		4,68E-04
Cl-	kg	1,07E-04		1,07E-04
Íons metálicos	kg	4,02E-08		4,02E-08
Sólidos dissolvidos totais	kg	2,48E-08		2,48E-08
Na	kg	7,19E-05		7,19E-05
Ácidas	kg	8,44E-11		8,44E-11
Metais	kg	4,97E-09		4,97E-09
Compostos de nitrogênio	kg	1,03E-08		1,03E-08
Óleos e graxas	kg	6,95E-08		6,95E-08
Compostos de enxofre	kg	2,23E-10		2,23E-10
Radioatividade para a água	kBq	7,48E-03		7,48E-03

continua

continuação				
	unid.	Produção de 4,21 kg de óleo diesel	Transporte de 277,78 kg de calcário por 352 km	TOTAL Transporte de calcário
Emissões atmosféricas				
CO2	kg	1,06E+00	1,32E+01	1,43E+01
CO	kg	2,51E-03	3,66E-02	3,91E-02
Vapor de água	kg	1,13E-03		1,13E-03
CH4	kg	1,16E-02	5,47E-04	1,21E-02
Material particulado	kg	6,15E-04	9,26E-03	9,87E-03
COVNM	kg	4,23E-03	1,81E-02	2,23E-02
Hidrocarbonetos	kg	5,34E-04		5,34E-04
Metais	kg	8,04E-09		8,04E-09
N2O	kg	5,46E-06	1,85E-03	1,86E-03
NH3	kg	2,98E-12		2,98E-12
Nox	kg	5,95E-03	1,68E-01	1,74E-01
Sox	kg	4,82E-03	1,10E-02	1,58E-02
Metil carptano	kg	4,41E-08		4,41E-08
HCl	kg	4,02E-08		4,02E-08
H2S	kg	9,23E-07		9,23E-07
Radioatividade para o ar	kBq	4,85E-03		4,85E-03
Resíduos sólidos				
Resíduos não especificados	kg	1,53E-09		1,53E-09
Resíduos não inertes	kg	1,77E-05		1,77E-05
Resíduos sólidos oleosos	kg	1,31E-03		1,31E-03
Resíduos no solo	dm3	6,64E-03		6,64E-03
Resíduos processuais	kg	5,31E-03		5,31E-03

Tabela 54: Inventário consolidado do transporte de calcário necessário para a produção de 1 t de soja

1.11.1.3.2.5 Inventário consolidado do subsistema agrícola sa soja

A soma dos inventários anteriores nos fornece o inventário consolidado do subsistema agrícola, exibidos na Tabela 55.

	unid.	produção de NPK 2-20-20	Transporte de Fertilizantes	Produção de calcário	Transporte de Calcário	Operações meanizadas	Total parcial do subsistem a agrícola	TOTAL para produção de 1 t de soja
Entradas								
Petróleo	kg	5,57E+00	8,04E+00	4,03E-01	4,91E+00	1,73E+01		3,62E+01
Carvão	kg	2,77E+00	1,08E-02	8,40E-02	6,62E-03	2,33E-02		2,90E+00
Gás Natural	kg	3,09E+00	3,07E-01	2,01E-02	1,88E-01	6,61E-01		4,27E+00
Energia não especificada	MJ	3,42E+02	1,35E+00	1,05E+01	8,23E-01	2,90E+00		3,58E+02
Vapor	GJ	2,87E-02						2,87E-02
Combustíveis renováveis	kg	1,21E-03	2,34E-03		1,43E-03	5,03E-03		1,00E-02
Combustível fóssil	GJ	4,56E-02						4,56E-02
Ar	kg	5,59E-02						5,59E-02
Água	kg	1,54E+03	1,72E+00	8,41E-01	1,05E+00	3,70E+00	2,08E+06	2,08E+06
Rocha fosfática bruta	kg	7,07E+02						7,07E+02
Enxofre elementar	kg	1,99E+01						1,99E+01
Rocha potássica (silvinita)	kg	5,25E+01						5,25E+01
Calcário	kg			2,78E+02				2,78E+02
Reservas Bióticas	kg	1,05E+00	3,96E-03	3,18E-02	2,42E-03	8,52E-03		1,10E+00
Materiais secundários	kg	4,75E-01	7,31E-04	5,89E-03	4,47E-04	1,57E-03		4,83E-01
Urânio	kg	3,89E-05	2,28E-07	1,18E-06	1,40E-07	4,92E-07		4,09E-05
sementes	kg						2,08E+01	2,08E+01
inoculante	l						5,90E-01	5,90E-01
CO2	kg						2,93E+03	2,93E+03
organofosforado	kg						2,78E-01	2,78E-01
triazol	kg						6,94E-02	6,94E-02
cloroacetanilida	kg						9,16E-01	9,16E-01
Saídas								
Energia	MJ	3,47E-03	6,70E-03	3,30E-04	4,09E-03	1,44E-02		2,90E-02
Vapor	GJ	4,89E-03						4,89E-03
Efluentes líquidos								
DBO	kg	6,96E-04	2,41E-04	1,23E-05	1,47E-04	5,19E-04		1,62E-03
DQO	kg	1,08E-03	1,49E-03	7,40E-05	9,08E-04	3,20E-03		6,74E-03
Metais pesados não especificado	kg	5,61E-08	3,35E-08	2,82E-09	2,05E-08	7,22E-08		1,85E-07
Hidrocarbonetos	kg	1,39E-05	1,43E-05	8,98E-07	8,74E-06	3,08E-05		6,86E-05
Efluentes líquidos não especificados	kg	1,20E-07	2,33E-07	1,14E-08	1,42E-07	5,01E-07		1,01E-06
Água residual	kg	1,17E-05	2,25E-05	1,11E-06	1,38E-05	4,85E-05		9,76E-05
Óleo não especificado	kg	5,79E-05	1,12E-04	5,50E-06	6,83E-05	2,41E-04		4,84E-04
Sólidos suspensos totais	kg	4,18E-04	7,66E-04	3,84E-05	4,68E-04	1,65E-03		3,34E-03
Cl-	kg	3,50E+00	1,75E-04	8,64E-06	1,07E-04	3,78E-04		3,50E+00
Ions metálicos	kg	3,41E-08	6,58E-08		4,02E-08	1,42E-07		2,82E-07
Sólidos dissolvidos totais	kg	1,18E+03	4,06E-08	3,27E-07	2,48E-08	8,74E-08		1,18E+03
Fosfato	kg	3,04E-01						3,04E-01
Na+	kg	2,04E+00	1,18E-04	5,79E-06	7,19E-05	2,53E-04		2,04E+00
K+	kg	4,47E-02						4,47E-02
Ca2+	kg	5,81E-02						5,81E-02
Mg2+	kg	3,36E-01						3,36E-01
Ácidas	kg	3,67E-08	1,38E-10	1,11E-09	8,44E-11	2,97E-10		3,83E-08
Metais	kg	2,16E-06	8,12E-09	6,54E-08	4,97E-09	1,75E-08		2,25E-06
Compostos de nitrogênio	kg	1,35E-03	1,68E-08	3,01E-08	1,03E-08	3,62E-08	1,12E+00	1,12E+00
Óleos e graxas	kg	3,02E-05	1,14E-07	9,16E-07	6,95E-08	2,45E-07		3,16E-05
Compostos de enxofre	kg	3,47E-01	3,65E-10	2,94E-09	2,23E-10	7,87E-10		3,47E-01
Compostos orgânicos totais	kg	5,31E-07						5,31E-07
Radioatividade para a água	kBq	3,25E+00	1,22E-02	9,85E-02	7,48E-03	2,63E-02		3,40E+00
P2O5	kg						2,78E+00	2,78E+00
organofosforado	kg						5,25E-02	5,25E-02
triazol	kg						1,31E-02	1,31E-02
cloroacetanilida	kg						1,73E-01	1,73E-01

continua

continuação

		produção de NPK 2-20-20	Transporte de Fertilizantes	Produção de calcário	Transporte de Calcário	Operações meanizadas	Total parcial do subsistem a agrícola	TOTAL para produção de 1 t de soja
	unid.							
Emissões atmosféricas								
CO2	kg	5,36E+01	2,34E+01	1,28E+00	1,43E+01	5,11E+01	4,36E+00	1,48E+02
CO	kg	1,40E-01	6,40E-02	5,76E-03	3,91E-02	2,09E-01		4,59E-01
Vapor de água	kg	3,84E+00	1,84E-03	1,59E-03	1,13E-03	3,97E-03		3,85E+00
CH4	kg	6,51E-02	1,98E-02	1,35E-03	1,21E-02	4,34E-02		1,42E-01
Material particulado	kg	9,11E-02	1,62E-02	4,58E-02	9,87E-03	2,79E-02		1,91E-01
COVNM	kg	5,16E-03	3,65E-02	3,88E-04	2,23E-02	1,49E-02		7,93E-02
Hidrocarbonetos (CxHy)	kg	5,18E-02	8,74E-04	1,27E-03	5,34E-04	5,52E-02		1,10E-01
Metais	kg	8,97E-09	1,32E-08	7,13E-10	8,04E-09	2,83E-08		5,92E-08
N2O	kg	2,66E-03	3,04E-03	9,91E-05	1,86E-03	1,21E-03	3,47E-02	4,36E-02
NH3	kg	1,30E-09	4,87E-12	3,92E-11	2,98E-12	1,05E-11	4,17E-01	4,17E-01
Nox	kg	4,81E-01	2,85E-01	1,70E-02	1,74E-01	5,79E-01	7,29E-03	1,54E+00
Sox	kg	2,28E-01	2,58E-02	2,86E-03	1,58E-02	9,22E-02		3,64E-01
Metil carptano	kg	3,73E-08	7,21E-08	3,55E-09	4,41E-08	1,55E-07		3,12E-07
HCl	kg	3,41E-08	6,58E-08	3,24E-09	4,02E-08	1,42E-07		2,85E-07
H2S	kg	2,53E-06	1,51E-06	7,43E-08	9,23E-07	3,25E-06		8,29E-06
FH	kg	1,67E-03						1,67E-03
Radioatividade para o ar	kBq	2,11E+00	7,93E-03	6,39E-02	4,85E-03	1,71E-02		2,20E+00
organofosforado	kg						1,13E-01	1,13E-01
triazol	kg						2,83E-02	2,83E-02
cloroacetanilida	kg						3,74E-01	3,74E-01
Resíduos sólidos								
Resíduos não especificados	kg	1,30E-09	2,51E-09	1,23E-10	1,53E-09	5,40E-09		1,09E-08
Resíduos não inertes	kg	1,50E-05	2,89E-05	1,42E-06	1,77E-05	6,23E-05		1,25E-04
Resíduos sólidos oleosos	kg	1,11E-03	2,15E-03	1,06E-04	1,31E-03	4,63E-03		9,31E-03
Resíduos no solo	dm3	2,89E+00	1,09E-02	8,74E-02	6,64E-03	2,34E-02		3,01E+00
Resíduos processuais	kg	2,31E+00	8,69E-03	7,00E-02	5,31E-03	1,87E-02		2,41E+00
Enxofre	kg	3,36E-08						3,36E-08
Catalisador usado	kg	1,39E+00						1,39E+00
Resíduo da mineração	kg	1,27E+02						1,27E+02
Magnetita	kg	1,16E+02						1,16E+02
Lama	kg	1,03E+02						1,03E+02
Resíduo não apatítico	kg	3,51E+02						3,51E+02
organofosforado	kg						1,00E-01	1,00E-01
triazol	kg						2,51E-02	2,51E-02
cloroacetanilida	kg						3,31E-01	3,31E-01

Tabela 55: Inventário consolidado so SSA da soja para a produção de 1 tonelada de grãos

1.11.1.3.3 Inventário do Subsistema de Transporte

Considerando a safra da soja referente a 2004/2005, de acordo com os dados da CONAB(2006) e ABIOVE (2006) apresentados no ANEXO G e H, sabe-se que a região central do Brasil foi responsável por 56% da produção de soja, possuindo por sua vez 35% da capacidade total de esmagamento do país, como pode ser observado na Tabela 56 a seguir.

REGIÃO/UF	(1)	(%) prod.	(2)	(%) esmag.
	PRODUÇÃO de GRÃOS de SOJA em 2005 (mil toneladas)		CAPACIDADE de ESMAGAMENTO de GRÃOS de SOJA em 2005 (mil toneladas)	
NORTE	1404,80	3%	660,00	1%
RR	56,00			
RO	222,80			
AC	0,00			
AM	8,40		660,00	
AP	0,00			
PA	207,00			
TO	910,60			
NORDESTE	3953,10	8%	2674,32	6%
MA	997,50			
PI	554,40		778,80	
CE	0,00			
RN	0,00			
PB	0,00		132,00	
PE	0,00			
AL	0,00			
SE	0,00			
BA	2401,20		1763,52	
CENTRO-OESTE	28595,30	56%	15656,85	35%
MT	17705,10		6930,00	
MS	3716,40		2737,35	
GO	6985,10		5989,50	
DF	188,70			
SUDESTE	4705,70	9%	7326,00	16%
MG	3021,60		2178,00	
ES	0,00			
RJ	0,00			
SP	1684,10		5148,00	
SUL	12793,10	25%	18925,17	42%
PR	9541,30		10597,95	
SC	630,00		1331,22	
RS	2621,80		6996,00	
TOTAL BRASIL	51452,00		45242,34	

Tabela 56: Produção e capacidade de esmagamento da soja por região do Brasil

Fonte : (1) CONAB(2006) e (2) ABIOVE(2006)

De acordo com a ABIOVE (NAPPO, 2006)¹⁵, as empresas esmagadoras de soja localizadas na região central do Brasil estão situadas nos municípios constantes da Tabela 57 a seguir:

¹⁵ Comunicação pessoal por email do Sr. Márcio Nappo, coordenador de economia e estatística da ABIOVE

	MUNICÍPIO	UF	EMPRESAS	CAPACIDADE de ESMAGAMENTO de GRÃOS de SOJA em 2005
R e g i ã o C e n t r a l	Rondonópolis	MT	Bunge,ADM	15%
	Cuiabá		Encomid, Maggi e Sperafico	
	Alto Araguaia		Coimbra	
	Bataguassú	MS	Soccepar	6%
	Campo Grande		ADM e Bunge	
	Dourados		MGT do Brasil	
	Pontaporã		Sperafico	
	Três Lagoas (ex-Mato Sul)		Cargill	
	Anápolis	GO	Brejeiro e Granol	13%
	Ipameri		Lasa	
	Itumbiara		Caramuru	
	Jataí		Coimbra	
	Luziânia		Bunge	
	Pires do Rio		Olvego	
	Rio Verde		Brejeiro,Cargill, Comigo e Cereal	
	São Simão		Caramuru	

Tabela 57 : Empresas esmagadoras de soja na região central do Brasil
Fonte: NAPPO(2006)¹⁶

Para o cálculo da distância percorrida entre a produção dos grãos de soja e a indústria processadora, foram observados os dez maiores municípios produtores de soja do país, de acordo com a Tabela 38 .

Considerando os municípios produtores de grãos localizados no Estado do Mato Grosso distribuindo a soja para as empresas esmagadoras localizadas no mesmo Estado, temos as distâncias entre municípios apresentadas na Tabela 58 a seguir:

Distância entre os municípios (km)	MATO-GROSSO (MT)		
	Rondonópolis	Cuiabá	Alto Araguaia
Sorriso	498	387	730
Sapezal	732	457	908
Campo Novo dos Parecis	527	331	722
Nova Mutum	380	223	554
Diamantino	346	149	533
Lucas do Rio Verde	447	322	684
Primavera do Leste	117	227	260
Campos de Julio	883	427	883

Tabela 58: Distância entre os maiores municípios produtores de grãos e municípios que possuem unidades de extração de óleo no Mato-Grosso
Fonte: ABCR(2006)

Para a elaboração do inventário da unidade de transporte dos grãos,este estudo adota a distância entre o município de Sorriso (maior produtor de soja do Brasil) e o município de

¹⁶ Comunicação pessoal por email do Sr. Márcio Nappo, coordenador de economia e estatística da ABIOVE

Rondonópolis (498 km) onde está localizada a unidade de extração de óleo de soja da ADM. Segundo a Elétricas (2006), esta multinacional americana, Archer Daniels Midland Company (ADM), vai construir a maior fábrica do mundo para produção de biodiesel à base de soja em Rondonópolis -MT. O empreendimento terá capacidade anual de 180.000 toneladas métricas, com previsão para entrar em operação no final do primeiro semestre de 2007. Notar que a média percorrida, entre os municípios apresentados na Tabela 58 é de 489 km, o que corresponde praticamente à distância adotada (498 km).

Segundo a ABTC (2004), cada caminhão de transporte de soja carrega no máximo 27 toneladas. Portanto, para a obtenção dos aspectos ambientais relacionados à atividade de transporte dos grãos oriundos da lavoura de soja até a usina extratora do óleo, foi utilizada a base de dados Truck 28t ETH (ETH UNIT) do SimaPro 7.0 (PRÉ-CONSULTANTS, 2006). Esta base de dados se refere ao transporte rodoviário em caminhões, com capacidade de 28 t e considera como entrada desta unidade de processo 0,043 kg de óleo diesel para cada tkm transportada, com as respectivas emissões atmosféricas mostradas na coluna (1) da Tabela 59. Consequentemente, a coluna (2) da mesma Tabela, exibe os aspectos associados para o transporte de 1 tonelada de soja por 498 km.

		(1)	(2)
	unid.	Transporte de 1tkm de soja	Transporte de 1 t de soja por 498 km
Entradas			
Diesel	kg	4,30E-02	2,14E+01
Saídas			
Emissões Atmosféricas			
Sox	kg	1,12E-04	5,58E-02
Nox	kg	1,72E-03	8,57E-01
CO2	kg	1,35E-01	6,72E+01
CO	kg	3,74E-04	1,86E-01
N2O	kg	1,89E-05	9,41E-03
COVNM	kg	1,85E-04	9,21E-02
CH4	kg	5,59E-06	2,78E-03
Mat. Particulado	kg	9,46E-05	4,71E-02

Tabela 59: Inventário parcial do transporte de grãos de soja

Ao se incluir os aspectos associados para a produção de 21,4 kg de diesel, o inventário consolidado do subsistema de transporte pode ser observado na Tabela 60.

	unid.	Produção de 21,4 kg de óleo diesel	Transporte de 1 t de soja por 498 km	TOTAL Transporte de 1 t de soja por 498 km
Entradas				
Petróleo	kg	2,50E+01		2,50E+01
Carvão	kg	3,37E-02		3,37E-02
Gás Natural	kg	9,55E-01		9,55E-01
Energia	MJ	4,19E+00		4,19E+00
Combustíveis renováveis	kg	7,27E-03		7,27E-03
Água	kg	5,34E+00		5,34E+00
Reservas Bióticas	kg	1,23E-02		1,23E-02
Materiais secundários	kg	2,27E-03		2,27E-03
Urânio	kg	7,10E-07		7,10E-07
Saídas				
Energia	MJ	2,08E-02		2,08E-02
Efluentes líquidos				
DBO	kg	7,50E-04		7,50E-04
DQO	kg	4,62E-03		4,62E-03
Metais pesados não especificados	kg	1,04E-07		1,04E-07
Hidrocarbonetos	kg	4,44E-05		4,44E-05
Efluentes líquidos não especificados	kg	7,23E-07		7,23E-07
Água residual	kg	7,01E-05		7,01E-05
Óleo não especificado	kg	3,47E-04		3,47E-04
Sólidos suspensos totais	kg	2,38E-03		2,38E-03
Cl-	kg	5,46E-04		5,46E-04
Íons metálicos	kg	2,05E-07		2,05E-07
Sólidos dissolvidos totais	kg	1,26E-07		1,26E-07
Na	kg	3,66E-04		3,66E-04
Ácidas	kg	4,29E-10		4,29E-10
Metais	kg	2,53E-08		2,53E-08
Compostos de nitrogênio	kg	5,23E-08		5,23E-08
Óleos e graxas	kg	3,54E-07		3,54E-07
Compostos de enxofre	kg	1,14E-09		1,14E-09
Radioatividade para a água	kBq	3,80E-02		3,80E-02

continua

continuação

	unid.	Produção de 21,4 kg de óleo diesel	Transporte de 1 t de soja por 498 km	TOTAL Transporte de 1 t de soja por 498 km
Emissões atmosféricas				
CO ₂	kg	5,39E+00	6,72E+01	7,26E+01
CO	kg	1,27E-02	1,86E-01	1,99E-01
Vapor de água	kg	5,73E-03		5,73E-03
CH ₄	kg	5,89E-02	2,78E-03	6,17E-02
Material particulado	kg	3,13E-03	4,71E-02	5,02E-02
COVNM	kg	2,15E-02	9,21E-02	1,14E-01
Hidrocarbonetos	kg	2,72E-03		2,72E-03
Metais	kg	4,09E-08		4,09E-08
N ₂ O	kg	2,78E-05	9,41E-03	9,44E-03
NH ₃	kg	1,52E-11		1,52E-11
Nox	kg	3,03E-02	8,57E-01	8,87E-01
Sox	kg	2,45E-02	5,58E-02	8,03E-02
Metil carptano	kg	2,24E-07		2,24E-07
HCl	kg	2,05E-07		2,05E-07
H ₂ S	kg	4,70E-06		4,70E-06
Radioatividade para o ar	kBq	2,47E-02		2,47E-02
Resíduos sólidos				
Resíduos não especificados	kg	7,80E-09		7,80E-09
Resíduos não inertes	kg	9,00E-05		9,00E-05
Resíduos sólidos oleosos	kg	6,68E-03		6,68E-03
Resíduos no solo	dm ³	3,38E-02		3,38E-02
Resíduos processuais	kg	2,70E-02		2,70E-02

Tabela 60: Inventário consolidado do subsistema de transporte dos grãos de soja

1.11.1.3.4 Inventário do subsistema de extração do óleo de soja

Seguindo a determinação da fronteira tecnológica adotada neste estudo, a extração do óleo de soja (bruto) se dá através do uso de solvente (hexano), com a utilização de caldeira de biomassa (cavacos) para ageração de vapor. Este vapor é utilizado tanto no processo em si (geração de denergia térmica) como na geração de energia elétrica.

São utilizadas 57,6 kwh de energia elétrica por tonelada

de soja processada, sendo cerca de 70% desta energia gerada internamente (caldeiras de biomassa com turbinas de vapor) e 30% adquirida de rede pública de abastecimento. No

processo de extração do óleo bruto de soja, geração de vapor e nos secadores de soja, são utilizados em média 160 kg de cavacos (base seca) e 2 litros de hexano por tonelada de soja esmagada. Utiliza-se em média 720 kg de água para cada tonelada de soja processada, porém, considerando que existe um reciclo de 120 kg de água para cada tonelada de soja, o consumo de água corresponde a 600 kg (SCHSIEPEN,2006.)¹⁷ De acordo com a Petrobrás (2006), a densidade do hexano utilizado em processos de extração de óleos vegetais é de 0,682 kg/l, portanto, considera-se o consumo de hexano na ordem de 1,4 kg (2 litros) por tonelada de soja processada.

Segundo a EPA(1995) existem dois poluentes principais em uma indústria de processamento de soja para a obtenção do óleo : o hexano (COVNM- Composto orgânico volátil, não metano) e particulados provenientes das fases de armazenamento e preparação dos grãos para extração (1kg de particulados por tonelada de soja processada).

De acordo com a metodologia (CORINAIR, 1996 apud MCT,2002b), o fator de emissão que indica a liberação de COV para a atmosfera situa-se numa ampla faixa, que vai de 0,85 a 19 kg COV/t de grão esmagado.

Segundo a EPA (1995) ,como emissão total do hexano, considera-se a quantidade de solvente reposta no processo (consumida). Como o hexano é muito volátil, assume-se que toda a perda do solvente terá como destino a emissão para o ar. As emissões de hexano em uma planta de obtenção do óleo bruto de soja são geradas por:

- Estocagem do hexano (tanques de trabalho). O hexano volatiliza dos tanques de estocagem em condições normais do ambiente.
- Vazamentos ou falhas dos equipamentos (extrator, colunas de extração, dessolventiador, etc). Paradas e inativação de equipamentos são provavelmente a maior fonte de emissão de hexano porque equipamentos selados devem ser abertos para reparos e ajustes, ocorrendo então a emissão do solvente.
- Ventilação principal. Os gases provenientes do extrator e sistemas de colunas de extração, assim como do dessolventizador-tostador são recolhidos por exaustão pela ventilação principal na maioria das plantas. Esta ventilação principal é controlada por escovas de óleo mineral, na qual recupera mais de 95% do hexano nesta ventilação.

¹⁷ Comunicação pessoal por email e telefone com Sr. Clécio Schsiepen, Engenheiro Químico e supervisor de produção de uma indústria processadora de soja situada no Estado do Mato Grosso em outubro e novembro/2005

- Ventilação do secador e resfriador da torta. Esta ventilação é normalmente emitida para a atmosfera, apenas com um ciclone que controla a emissão de particulados. A torta que deixa o dessolventizador-tostador contém hexano residual, na qual em condições normais do ambiente pode se volatilizar. Durante o processo de secagem e resfriamento da torta, o hexano volatiliza e é ventilado para a atmosfera.
- Torta de soja. Como notado anteriormente, a torta de soja, que contém hexano, normalmente volatiliza o solvente assim que deixa o dessolventizador-tostador, permitindo que o solvente seja emitido para a atmosfera. Acredita-se que todo o hexano contido na torta é volatilizado (apesar de não ocorrer necessariamente na planta esta volatilização), exceto para possíveis traços que podem permanecer no óleo residual contido na torta. Uma parte deste hexano será emitida pelo secador e resfriador e o resto será emitido para a atmosfera através das emissões fugitivas.
- Efluente líquido. O vapor proveniente do dessolventizador-tostador e da coluna de destilação da miscela é coletado como efluente. Pequenas quantidades de hexano podem ser detectadas neste efluente. Em condições normais do ambiente, este hexano irá volatilizar deste efluente.

Com os dados coletados, foi possível a visualização de um inventário preliminar para o processamento de 1 tonelada de soja como mostra a Tabela 61:

	unidade	Processamento de 1 tonelada de grãos de soja
Entradas		
Cavacos	kg	1,60E+02
Energia Elétrica	kwh	1,73E+01
Hexano	kg	1,40E+00
Água	kg	6,00E+02
Saídas		
Produtos e subprodutos		
óleo de soja	kg	1,90E+02
Farelo (torta)	kg	7,70E+02
Emissões atmosféricas		
COV	kg	1,40E+00
Mat. Particulado	kg	1,00E+00

Tabela 61: Inventário para processamento de 1 tonelada de soja

Desta forma, adotando-se 19% de teor de óleo contido nos grãos de soja, o inventário preliminar para a produção de 1 tonelada de óleo de soja é exibido na Tabela 62.

	unidade	Produção de 1 tonelada de óleo de soja
Entradas		
grãos de soja	kg	5,26E+03
Cavacos	kg	8,42E+02
Energia Elétrica	MJ	3,28E+02
Hexano	kg	7,37E+00
Água	kg	3,16E+03
Saídas		
subprodutos		
Farelo (torta)	kg	4,05E+03
Emissões atmosféricas		
COV	kg	7,37E+00
Mat. Particulado	kg	5,26E+00

Tabela 62: Inventário parcial para produção de 1 tonelada de óleo de soja

Como o solvente hexano é produzido a partir das frações leves das unidades de destilação atmosférica das refinarias de petróleo, portanto com tecnologia de obtenção uniforme a nível mundial, aliado ao fato do hexano comercial para extração de óleos vegetais ser largamente importado no país, adotou-se os aspectos associados para a produção de hexano de acordo com a base de dados Boustead (1996), que podem ser observados na Tabela 63.

	unid.	Produção de 1 kg de hexano
Entradas		
Carvão	kg	4,84E-04
Gás natural	kg	2,72E-02
Petróleo	kg	1,28E+00
Água	kg	1,32E+00
Saídas		
Emissões Atmosféricas		
CH ₄	kg	1,58E-03
CO	kg	3,27E-04
CO ₂	kg	1,02E+00
Hidrocarbonetos	kg	2,79E-03
NH ₃	kg	2,48E-12
NO _x	kg	5,47E-03
N ₂ O	kg	1,05E-12
Material particulado	kg	2,75E-04
SO _x	kg	1,44E-02
Efluentes líquidos		
DBO	kg	5,74E-05
DQO	kg	6,38E-05
Resíduos Sólidos		
Resíduos processuais	kg	5,75E-03

Tabela 63: Inventário para a produção de 1 kg de hexano
Fonte: Boustead (1996)

A análise elementar de cavacos , base seca, feita por Sena (2005) demonstra que cerca de 49,68% corresponde a carbono. Portanto, considerando uma eficiência de 80% na combustão , temos que na queima de 1 kg de cavacos, 0,397 kg de carbono são convertidos em 1,457 kg de CO₂. Os demais fatores de emissão foram retirados de um estudo comparativo sobre fatores de emissão em caldeiras de vapor para diversos combustíveis feito pela CPRH e GTZ (1988).

	unid.	Emissões para a queima de 1 kg de cavacos
Material particulado	kg	2,79E-02
Sox	kg	2,98E-03
Nox	kg	8,00E-03
CxHy	kg	2,05E-03
CO	kg	2,05E-03
CO ₂	kg	1,46E+00

Tabela 64: Fatores de emissão para queima de cavacos

Com a soma dos inventários parciais anteriores, têm-se o inventário total do subsistema extração de óleo de soja, para a obtenção de 1 tonelada de óleo, como é apresentado na Tabela 65 a seguir.

		Produção de 328 MJ de energia elétrica	Produção de 7,37 kg de hexano	Produção de 1 tonelada de óleo de soja	Queima de 842 kg de cavacos	Inventário total para extração de 1 tonelada de óleo de soja
Entradas						
grãos de soja	kg			5,26E+03		5,26E+03
cavacos	kg			8,42E+02		8,42E+02
Energia	MJ	5,19E+02				5,19E+02
Reservas Bióticas	kg	1,60E+00				1,60E+00
Carvão	kg	4,21E+00	3,57E-03			4,21E+00
Gás natural	kg	2,49E-01	2,00E-01			4,49E-01
Petróleo	kg	3,97E-01	9,43E+00			9,83E+00
Água	kg	3,81E+01	9,72E+00	3,16E+03		3,21E+03
Materiais secundários	kg	2,95E-01				2,95E-01
Urânio	kg	5,90E-05				5,90E-05
Saídas						
subprodutos						
Farelo (torta)	kg			4,05E+03		4,05E+03
Emissões Atmosféricas						
CH ₄	kg	1,80E-02	1,17E-02			2,96E-02
CO	kg	4,90E-02	2,41E-03		1,72E+00	1,77E+00
CO ₂	kg	5,85E+00	7,53E+00		1,23E+03	1,24E+03
Vapor de água	kg	7,55E-02				7,55E-02
Hidrocarbonetos	kg	2,46E-04	2,06E-02		1,72E+00	1,74E+00
Metais	kg	3,28E-09				3,28E-09
NH ₃	kg	1,97E-09	1,83E-11			1,99E-09
COV	kg			7,37E+00		7,37E+00
COVNM	kg	2,39E-03				2,39E-03
NO _x	kg	1,88E-01	4,03E-02		6,74E+00	6,96E+00
N ₂ O	kg	3,60E-03	7,77E-12			3,60E-03
Material particulado	kg	2,20E-02	2,03E-03	5,26E+00	2,35E+01	2,88E+01
SO _x	kg	3,81E-02	1,06E-01		2,51E+00	2,65E+00
Radioatividade para o ar	kBq	3,20E+00				3,20E+00
Efluentes líquidos						
Ácidas	kg	5,57E-08				5,57E-08
DBO	kg	2,29E-05	4,23E-04			4,46E-04
DQO	kg	4,26E-05	4,70E-04			5,13E-04
Cl ⁻	kg	1,97E-08				1,97E-08
Metais pesados não especificados	kg	5,90E-08				5,90E-08
Hidrocarbonetos	kg	9,83E-06				9,83E-06
Metais	kg	3,28E-06				3,28E-06
Compostos de nitrogênio	kg	1,48E-06				1,48E-06
Óleos e graxas	kg	4,59E-05				4,59E-05
Compostos de enxofre	kg	1,48E-07				1,48E-07
Sólidos dissolvidos totais	kg	1,64E-05				1,64E-05
Sólidos suspensos totais	kg	3,28E-05				3,28E-05
Radioatividade para a água	kBq	4,94E+00				4,94E+00
Resíduos Sólidos						
Resíduos no solo	dm ³	4,38E+00				4,38E+00
Resíduos processuais	kg	3,51E+00	4,23E-02			3,55E+00
cinzas	kg				4,38E+00	4,38E+00

Tabela 65: Inventário do SSE da soja para a obtenção de 1 tonelada de óleo bruto de soja

1.11.1.3.5 Inventário Consolidado

A consolidação do inventário, exibida na Tabela 66, para a produção de 1 tonelada de óleo de soja foi feita através da soma dos inventários dos subsistemas: agrícola (SSA), transporte (SST) e extração (SSE), levando-se em consideração que, para a produção de 1 tonelada de óleo de soja, são necessários 5,263 toneladas de grãos.

	unid.	SSA produção de 5,264 t de soja	SST transporte de 5,264 t de soja	SSE extração de 1 t de óleo de soja	TOTAL extração de 1 t de óleo de soja + TORTA
Entradas					
Cavacos	kg			8,42E+02	8,42E+02
Petróleo	kg	1,91E+02	3,74E+00	9,83E+00	2,04E+02
Carvão	kg	1,52E+01	5,04E-03	4,21E+00	1,95E+01
Gás Natural	kg	2,24E+01	1,43E-01	4,49E-01	2,30E+01
Energia não especificada	MJ	1,88E+03	6,27E-01	5,19E+02	2,40E+03
Vapor	GJ	1,51E-01			1,51E-01
Combustíveis renováveis	kg	5,27E-02	1,09E-03		5,38E-02
Combustível fóssil	GJ	2,40E-01			2,40E-01
Ar	kg	2,94E-01			2,94E-01
Água	kg	1,10E+07	7,99E-01	3,21E+03	1,10E+07
Rocha fosfática bruta	kg	3,72E+03			3,72E+03
Enxofre elementar	kg	1,05E+02			1,05E+02
Rocha potássica (silvinita)	kg	2,76E+02			2,76E+02
Calcário	kg	1,46E+03			1,46E+03
Reservas Bióticas	kg	5,78E+00	1,84E-03	1,60E+00	7,38E+00
Materiais secundários	kg	2,54E+00	3,40E-04	2,95E-01	2,84E+00
Urânio	kg	2,15E-04	1,06E-07	5,90E-05	2,75E-04
sementes	kg	1,10E+02			1,10E+02
inoculante	l	3,11E+00			3,11E+00
CO2	kg	1,54E+04			1,54E+04
organofosforado	kg	1,46E+00			1,46E+00
triazol	kg	3,65E-01			3,65E-01
cloroacetanilida	kg	4,82E+00			4,82E+00
Saídas					
Farelo (torta-subproduto)	kg			4,05E+03	4,05E+03
Energia	MJ	1,53E-01	3,12E-03		1,56E-01
Vapor	GJ	2,57E-02			2,57E-02

continua

continuação

	unid.	SSA produção de 5,264 t de soja	SST transporte de 5,264 t de soja	SSE extração de 1 t de óleo de soja	TOTAL extração de 1 t de óleo de soja + TORTA
Efluentes líquidos					
DBO	kg	8,51E-03	1,12E-04	4,46E-04	9,06E-03
DQO	kg	3,55E-02	6,91E-04	5,13E-04	3,67E-02
Metais pesados não especificados	kg	9,74E-07	1,56E-08	5,90E-08	1,05E-06
Hidrocarbonetos	kg	3,61E-04	6,65E-06	9,83E-06	3,77E-04
Efluentes líquidos não especificados	kg	5,30E-06	1,08E-07		5,41E-06
Água residual	kg	5,14E-04	1,05E-05		5,24E-04
Óleo não especificado	kg	2,55E-03	5,20E-05		2,60E-03
Sólidos suspensos totais	kg	1,76E-02	3,56E-04	3,28E-05	1,80E-02
Cl-	kg	1,84E+01	8,16E-05		1,84E+01
Ions metálicos	kg	1,48E-06	3,06E-08		1,51E-06
Sólidos dissolvidos totais	kg	6,19E+03	1,89E-08	1,64E-05	6,19E+03
Fosfato	kg	1,60E+00			1,60E+00
Na+	kg	1,08E+01	5,47E-05		1,08E+01
K+	kg	2,35E-01			2,35E-01
Ca2+	kg	3,06E-01			3,06E-01
Mg2+	kg	1,77E+00			1,77E+00
Ácidas	kg	2,02E-07	6,42E-11		2,02E-07
Metais	kg	1,19E-05	3,78E-09	3,28E-06	1,51E-05
Compostos de nitrogênio	kg	5,89E+00	7,82E-09	1,48E-06	5,89E+00
Óleos e graxas	kg	1,66E-04	5,29E-08	4,59E-05	2,12E-04
Compostos de enxofre	kg	1,83E+00	1,70E-10	1,48E-07	1,83E+00
Compostos orgânicos totais	kg	2,79E-06			2,79E-06
Radioatividade para a água	kBq	1,79E+01	5,69E-03	4,94E+00	2,28E+01
P2O5	kg	1,46E+01			1,46E+01
organofosforado	kg	2,76E-01			2,76E-01
triazol	kg	6,90E-02			6,90E-02
cloroacetanilida	kg	9,11E-01			9,11E-01
Emissões atmosféricas					
CO2	kg	7,79E+02	1,08E+01	1,24E+03	2,03E+03
CO	kg	2,41E+00	1,91E-02	1,77E+00	4,21E+00
Vapor de água	kg	2,03E+01	8,58E-04	7,55E-02	2,03E+01
CH4	kg	7,47E-01	9,16E-03	2,96E-02	7,85E-01
Material particulado	kg	1,00E+00	5,27E-03	2,88E+01	2,98E+01
COV	kg			7,37E+00	7,37E+00
COVNM	kg	4,18E-01	1,27E-02	2,39E-03	4,33E-01
Hidrocarbonetos (CxHy)	kg	5,77E-01	4,07E-04	1,74E+00	2,32E+00
Metais	kg	3,12E-07	6,12E-09	3,28E-09	3,21E-07
N2O	kg	2,29E-01	2,29E-03	3,60E-03	2,35E-01
NH3	kg	2,19E+00	2,27E-12	1,99E-09	2,19E+00
Nox	kg	8,13E+00	1,10E-01	6,96E+00	1,52E+01
Sox	kg	1,92E+00	6,75E-03	2,65E+00	4,57E+00
Metil carptano	kg	1,64E-06	3,35E-08		1,68E-06
HCl	kg	1,50E-06	3,06E-08		1,53E-06
H2S	kg	4,36E-05	7,03E-07		4,43E-05
FH	kg	8,77E-03			8,77E-03
Radioatividade para o ar	kBq	1,16E+01	3,69E-03	3,20E+00	1,48E+01
organofosforado	kg	5,96E-01			5,96E-01
triazol	kg	1,49E-01			1,49E-01
cloroacetanilida	kg	1,97E+00			1,97E+00

continua

continuação

	unid.	SSA produção de 5,264 t de soja	SST transporte de 5,264 t de soja	SSE extração de 1 t de óleo de soja	TOTAL extração de 1 t de óleo de soja + TORTA
Resíduos sólidos					
Resíduos não especificados	kg	5,72E-08	1,17E-09		5,84E-08
Resíduos não inertes	kg	6,60E-04	1,35E-05		6,73E-04
Resíduos sólidos oleosos	kg	4,90E-02	9,99E-04		5,00E-02
Resíduos no solo	dm3	1,59E+01	5,05E-03	4,38E+00	2,03E+01
Resíduos processuais	kg	1,27E+01	4,04E-03	3,55E+00	1,63E+01
Enxofre	kg	1,77E-07			1,77E-07
Catalisador usado	kg	7,31E+00			7,31E+00
Resíduo da mineração	kg	6,70E+02			6,70E+02
Magnetita	kg	6,11E+02			6,11E+02
Lama	kg	5,40E+02			5,40E+02
Resíduo não apatítico	kg	1,85E+03			1,85E+03
organofosforado	kg	5,28E-01			5,28E-01
triazol	kg	1,32E-01			1,32E-01
cloroacetanilida	kg	1,74E+00			1,74E+00
cinzas				4,38E+00	4,38E+00

Tabela 66: Inventário consolidado para a obtenção de 1 tonelada de óleo de soja

1.11.1.4 Tratamento dos Dados

Após a coleta e organização dos dados brutos, a etapa de tratamento dos dados aborda a conversão ao fluxo de referência e posterior aplicação do fator de alocação.

1.11.1.4.1 Conversão ao Fluxo de Referência

De acordo com o escopo deste estudo, são necessários 953,18 kg de óleo de soja para produzir biodiesel capaz de gerar 40 GJ. A partir do inventário consolidado para a produção de 1000 kg de óleo de soja apresentado no item anterior, foi possível o cálculo do inventário convertido ao fluxo de referência e exibido na Tabela 67. O fator de conversão utilizado foi de 0,95318. Notar que o inventário acusa a saída de um subproduto (torta), portanto os aspectos ambientais deverão ser posteriormente submetidos ao fator de alocação, que irá dividir a carga ambiental entre os dois produtos (óleo e torta) a partir de critérios pré-estabelecidos.

	unid.	extração de 1000 kg de óleo de soja + TORTA	extração de 953,18 kg de óleo de soja + TORTA
Entradas			
Cavacos	kg	8,42E+02	8,03E+02
Petróleo	kg	2,04E+02	1,95E+02
Carvão	kg	1,95E+01	1,86E+01
Gás Natural	kg	2,30E+01	2,20E+01
Energia não especificada	MJ	2,40E+03	2,29E+03
Vapor	GJ	1,51E-01	1,44E-01
Combustíveis renováveis	kg	5,38E-02	5,13E-02
Combustível fóssil	GJ	2,40E-01	2,29E-01
Ar	kg	2,94E-01	2,81E-01
Água	kg	1,10E+07	1,05E+07
Rocha fosfática bruta	kg	3,72E+03	3,55E+03
Enxofre elementar	kg	1,05E+02	9,97E+01
Rocha potássica (silvinita)	kg	2,76E+02	2,63E+02
Calcário	kg	1,46E+03	1,39E+03
Reservas Bióticas	kg	7,38E+00	7,03E+00
Materiais secundários	kg	2,84E+00	2,71E+00
Urânio	kg	2,75E-04	2,62E-04
sementes	kg	1,10E+02	1,05E+02
inoculante	l	3,11E+00	2,96E+00
CO2	kg	1,54E+04	1,47E+04
organofosforado	kg	1,46E+00	1,39E+00
triazol	kg	3,65E-01	3,48E-01
cloroacetanilida	kg	4,82E+00	4,60E+00
Saídas			
Farelo (torta-subproduto)	kg	4,05E+03	3,86E+03
Energia	MJ	1,56E-01	1,49E-01
Vapor	GJ	2,57E-02	2,45E-02
Efluentes líquidos			
DBO	kg	9,06E-03	8,64E-03
DQO	kg	3,67E-02	3,50E-02
Metais pesados não especificados	kg	1,05E-06	1,00E-06
Hidrocarbonetos	kg	3,77E-04	3,60E-04
Efluentes líquidos não especificados	kg	5,41E-06	5,16E-06
Água residual	kg	5,24E-04	5,00E-04
Óleo não especificado	kg	2,60E-03	2,48E-03
Sólidos suspensos totais	kg	1,80E-02	1,71E-02
Cl-	kg	1,84E+01	1,76E+01
Ions metálicos	kg	1,51E-06	1,44E-06
Sólidos dissolvidos totais	kg	6,19E+03	5,90E+03
Fosfato	kg	1,60E+00	1,52E+00
Na+	kg	1,08E+01	1,03E+01
K+	kg	2,35E-01	2,24E-01
Ca2+	kg	3,06E-01	2,91E-01
Mg2+	kg	1,77E+00	1,69E+00
Acidas	kg	2,02E-07	1,92E-07
Metais	kg	1,51E-05	1,44E-05
Compostos de nitrogênio	kg	5,89E+00	5,62E+00
Óleos e graxas	kg	2,12E-04	2,02E-04
Compostos de enxofre	kg	1,83E+00	1,74E+00
Compostos orgânicos totais	kg	2,79E-06	2,66E-06
Radioatividade para a água	kBq	2,28E+01	2,17E+01
P2O5	kg	1,46E+01	1,39E+01
organofosforado	kg	2,76E-01	2,63E-01
triazol	kg	6,90E-02	6,58E-02
cloroacetanilida	kg	9,11E-01	8,69E-01

continua

continuação			
	unid.	extração de 1000 kg de óleo de soja + TORTA	extração de 953,18 kg de óleo de soja + TORTA
Emissões atmosféricas			
CO2	kg	2,03E+03	1,94E+03
CO	kg	4,21E+00	4,01E+00
Vapor de água	kg	2,03E+01	1,94E+01
CH4	kg	7,85E-01	7,49E-01
Material particulado	kg	2,98E+01	2,84E+01
COV	kg	7,37E+00	7,02E+00
COVNM	kg	4,33E-01	4,12E-01
Hidrocarbonetos (CxHy)	kg	2,32E+00	2,21E+00
Metais	kg	3,21E-07	3,06E-07
N2O	kg	2,35E-01	2,24E-01
NH3	kg	2,19E+00	2,09E+00
Nox	kg	1,52E+01	1,45E+01
Sox	kg	4,57E+00	4,36E+00
Metil carptano	kg	1,68E-06	1,60E-06
HCl	kg	1,53E-06	1,46E-06
H2S	kg	4,43E-05	4,23E-05
FH	kg	8,77E-03	8,36E-03
Radioatividade para o ar	kBq	1,48E+01	1,41E+01
organofosforado	kg	5,96E-01	5,68E-01
triazol	kg	1,49E-01	1,42E-01
cloroacetanilida	kg	1,97E+00	1,87E+00
Resíduos sólidos			
Resíduos não especificados	kg	5,84E-08	5,56E-08
Resíduos não inertes	kg	6,73E-04	6,42E-04
Resíduos sólidos oleosos	kg	5,00E-02	4,76E-02
Resíduos no solo	dm3	2,03E+01	1,93E+01
Resíduos processuais	kg	1,63E+01	1,55E+01
Enxofre	kg	1,77E-07	1,69E-07
Catalisador usado	kg	7,31E+00	6,96E+00
Resíduo da mineração	kg	6,70E+02	6,38E+02
Magnetita	kg	6,11E+02	5,82E+02
Lama	kg	5,40E+02	5,15E+02
Resíduo não apatítico	kg	1,85E+03	1,76E+03
organofosforado	kg	5,28E-01	5,03E-01
triazol	kg	1,32E-01	1,26E-01
cloroacetanilida	kg	1,74E+00	1,66E+00
cinzas	kg	4,38E+00	4,17E+00

Tabela 67: Inventário do óleo de soja convertido ao fluxo de referência

1.11.1.4.2 Aplicação do fator de alocação

De acordo com o critério de alocação estabelecido no escopo deste estudo, os preços fornecidos pela ABIOVE (2006) são: óleo de soja a R\$ 1.172,00/tonelada e torta a R\$ 470,41/tonelada. Deste modo, os fatores de alocação para o processamento de 5005 kg de soja são mostrados da Tabela 68 a seguir:

Processamento de 5017 kg de soja	(%) massa	produção (t)	preço R\$/t	valor econômico R\$	FATOR DE ALOCAÇÃO
óleo de soja	19%	0,953	1172,00	1117,13	38%
torta	77%	3,863	470,41	1817,15	62%

Tabela 68: Fatores de Alocação do Sistema de Produto do Óleo de Soja

Portanto, a torta de soja é responsável por 62% da carga ambiental do sistema de produto, enquanto o óleo de soja é responsável por 38%. Desta forma, o inventário total para a produção de óleo de soja que irá produzir biodiesel capaz de gerar 40GJ de energia é apresentado na Tabela 69.

	unid.	extração de 953,18 kg de óleo de soja + TORTA	FATORES DE ALOCAÇÃO	
			62%	38%
			produção de 3862,89 kg de torta de soja	produção de 953,18 kg de óleo de soja
Entradas				
Cavacos	kg	8,03E+02	4,98E+02	3,05E+02
Petróleo	kg	1,95E+02	1,21E+02	7,40E+01
Carvão	kg	1,86E+01	1,15E+01	7,05E+00
Gás Natural	kg	2,20E+01	1,36E+01	8,35E+00
Energia não especificada	MJ	2,29E+03	1,42E+03	8,70E+02
Vapor	GJ	1,44E-01	8,92E-02	5,46E-02
Combustíveis renováveis	kg	5,13E-02	3,18E-02	1,95E-02
Combustível fóssil	GJ	2,29E-01	1,42E-01	8,68E-02
Ar	kg	2,81E-01	1,74E-01	1,07E-01
Água	kg	1,05E+07	6,49E+06	3,98E+06
Rocha fosfática bruta	kg	3,55E+03	2,20E+03	1,35E+03
Enxofre elementar	kg	9,97E+01	6,18E+01	3,79E+01
Rocha potássica (silvinita)	kg	2,63E+02	1,63E+02	1,00E+02
Calcário	kg	1,39E+03	8,64E+02	5,30E+02
Reservas Bióticas	kg	7,03E+00	4,36E+00	2,67E+00
Materiais secundários	kg	2,71E+00	1,68E+00	1,03E+00
Urânio	kg	2,62E-04	1,62E-04	9,95E-05
sementes	kg	1,05E+02	6,48E+01	3,97E+01
inoculante	l	2,96E+00	1,84E+00	1,13E+00
CO2	kg	1,47E+04	9,11E+03	5,58E+03
organofosforado	kg	1,39E+00	8,63E-01	5,29E-01
triazol	kg	3,48E-01	2,16E-01	1,32E-01
cloroacetanilida	kg	4,60E+00	2,85E+00	1,75E+00
Saídas				
Energia	MJ	1,49E-01	9,21E-02	5,64E-02
Vapor	GJ	2,45E-02	1,52E-02	9,32E-03

continua

continuação

	unid.	extração de 953,18 kg de óleo de soja + TORTA	FATORES DE ALOCAÇÃO	
			62%	38%
			produção de 3862,89 kg de torta de soja	produção de 953,18 kg de óleo de soja
Efluentes líquidos				
DBO	kg	8,64E-03	5,36E-03	3,28E-03
DQO	kg	3,50E-02	2,17E-02	1,33E-02
Metais pesados não especificados	kg	1,00E-06	6,20E-07	3,80E-07
Hidrocarbonetos	kg	3,60E-04	2,23E-04	1,37E-04
Efluentes líquidos não especificados	kg	5,16E-06	3,20E-06	1,96E-06
Água residual	kg	5,00E-04	3,10E-04	1,90E-04
Óleo não especificado	kg	2,48E-03	1,54E-03	9,41E-04
Sólidos suspensos totais	kg	1,71E-02	1,06E-02	6,51E-03
Cl-	kg	1,76E+01	1,09E+01	6,67E+00
Ions metálicos	kg	1,44E-06	8,94E-07	5,48E-07
Sólidos dissolvidos totais	kg	5,90E+03	3,66E+03	2,24E+03
Fosfato	kg	1,52E+00	9,44E-01	5,79E-01
Na+	kg	1,03E+01	6,36E+00	3,90E+00
K+	kg	2,24E-01	1,39E-01	8,53E-02
Ca2+	kg	2,91E-01	1,81E-01	1,11E-01
Mg2+	kg	1,69E+00	1,05E+00	6,41E-01
Ácidas	kg	1,92E-07	1,19E-07	7,31E-08
Metais	kg	1,44E-05	8,95E-06	5,49E-06
Compostos de nitrogênio	kg	5,62E+00	3,48E+00	2,13E+00
Óleos e graxas	kg	2,02E-04	1,25E-04	7,68E-05
Compostos de enxofre	kg	1,74E+00	1,08E+00	6,62E-01
Compostos orgânicos totais	kg	2,66E-06	1,65E-06	1,01E-06
Radioatividade para a água	kBq	2,17E+01	1,35E+01	8,26E+00
P2O5	kg	1,39E+01	8,64E+00	5,30E+00
organofosforado	kg	2,63E-01	1,63E-01	1,00E-01
triazol	kg	6,58E-02	4,08E-02	2,50E-02
cloroacetanilida	kg	8,69E-01	5,39E-01	3,30E-01
Emissões atmosféricas				
CO2	kg	1,94E+03	1,20E+03	7,35E+02
CO	kg	4,01E+00	2,49E+00	1,52E+00
Vapor de água	kg	1,94E+01	1,20E+01	7,37E+00
CH4	kg	7,49E-01	4,64E-01	2,84E-01
Material particulado	kg	2,84E+01	1,76E+01	1,08E+01
COV	kg	7,02E+00	4,35E+00	2,67E+00
COVNM	kg	4,12E-01	2,56E-01	1,57E-01
Hidrocarbonetos (CxHy)	kg	2,21E+00	1,37E+00	8,41E-01
Metais	kg	3,06E-07	1,90E-07	1,16E-07
N2O	kg	2,24E-01	1,39E-01	8,52E-02
NH3	kg	2,09E+00	1,30E+00	7,94E-01
Nox	kg	1,45E+01	8,98E+00	5,51E+00
Sox	kg	4,36E+00	2,70E+00	1,66E+00
Metil carptano	kg	1,60E-06	9,91E-07	6,07E-07
HCl	kg	1,46E-06	9,04E-07	5,54E-07
H2S	kg	4,23E-05	2,62E-05	1,61E-05
FH	kg	8,36E-03	5,18E-03	3,18E-03
Radioatividade para o ar	kBq	1,41E+01	8,75E+00	5,36E+00
organofosforado	kg	5,68E-01	3,52E-01	2,16E-01
triazol	kg	1,42E-01	8,80E-02	5,40E-02
cloroacetanilida	kg	1,87E+00	1,16E+00	7,12E-01

continua

continuação				
	unid.	extração de 953,18 kg de óleo de soja + TORTA	FATORES DE ALOCAÇÃO	
			62%	38%
			produção de 3862,89 kg de torta de soja	produção de 953,18 kg de óleo de soja
Resíduos sólidos				
Resíduos não especificados	kg	5,56E-08	3,45E-08	2,11E-08
Resíduos não inertes	kg	6,42E-04	3,98E-04	2,44E-04
Resíduos sólidos oleosos	kg	4,76E-02	2,95E-02	1,81E-02
Resíduos no solo	dm3	1,93E+01	1,20E+01	7,34E+00
Resíduos processuais	kg	1,55E+01	9,60E+00	5,89E+00
Enxofre	kg	1,69E-07	1,05E-07	6,41E-08
Catalisador usado	kg	6,96E+00	4,32E+00	2,65E+00
Resíduo da mineração	kg	6,38E+02	3,96E+02	2,43E+02
Magnetita	kg	5,82E+02	3,61E+02	2,21E+02
Lama	kg	5,15E+02	3,19E+02	1,96E+02
Resíduo não apatítico	kg	1,76E+03	1,09E+03	6,69E+02
organofosforado	kg	5,03E-01	3,12E-01	1,91E-01
triazol	kg	1,26E-01	7,80E-02	4,78E-02
cloroacetanilida	kg	1,66E+00	1,03E+00	6,31E-01
cinzas	kg	4,17E+00	2,59E+00	1,59E+00

Tabela 69: Inventário do óleo de soja para a produção de biodiesel capaz de gerar 40GJ de energia

1.11.2 ACV do Óleo de Palma

1.11.2.1 Objetivo

O objetivo da elaboração do estudo de ICV do óleo vegetal proveniente da polpa do fruto de dendê, será a fundamentação da vertente ambiental para a aplicação da técnica de Análise de Ecoeficiência, ferramenta esta desenvolvida pela BASF.

1.11.2.2 Escopo

O escopo deste estudo de ICV aborda a definição da função do produto, da unidade funcional, do fluxo de referência, do sistema de produto e do critério de alocação.

1.11.2.2.1 Definição da Função do Produto

Para a elaboração do estudo de ICV do óleo de palma (polpa do fruto do dendê) estabeleceu-se como função do citado óleo, produzir biodiesel, via rota etílica com o emprego de catalisador básico.

1.11.2.2.2 Definição da Unidade Funcional

A unidade funcional do produto “óleo de palma” será biodiesel capaz de gerar 40 GJ de energia.

1.11.2.2.3 Definição do Fluxo de Referência

Segundo Costa Neto et al (2000) o poder calorífico do biodiesel etílico do óleo de palma é 9530 kcal/kg, portanto serão necessários 1002,5 kg de biodiesel para a geração de 40GJ de energia.

Para a definição do fluxo de referência, como no caso do óleo de soja, adotou-se a hipótese de se obter um rendimento em quantidades estequiométricas para a reação de transesterificação do óleo de palma via rota etílica, desconsiderando-se a quantidade empregada de catalisador. De acordo com a composição de triglicerídeos do óleo de palma apresentada na revisão bibliográfica, calculou-se o peso molecular médio do óleo e, pela relação estequiométrica da reação, se chegou à seguinte relação: 837,25 kg de óleo, reagindo com 138 kg de álcool resulta em 882,25 kg de biodiesel e 93 kg de glicerina. Portanto, para a obtenção de 1002,5 kg de biodiesel, seriam necessários 951,37 kg de óleo de palma.

Entretanto, para uma melhor exemplificação gráfica da reação (Figura 25), foi adotada neste estudo uma molécula de triglicerídeo contendo os ácidos graxos de maior ocorrência no óleo de palma (palmítico e oléico). A adoção do peso molecular desta molécula de triglicerídeo em detrimento à adoção do peso molecular médio do óleo, não afeta o resultado final da análise, uma vez que o peso molecular médio do óleo é em função da faixa de variação da composição média dos ácidos graxos contidos no mesmo. Deste modo, a adoção de uma molécula contendo os ácidos graxos de maior ocorrência, aproxima-se igualmente da realidade. Assim sendo, de acordo com as quantidades estequiométricas da reação, chegou-se na seguinte relação: 833 kg de óleo de palma, reagindo com 138 kg de álcool resulta em 878 kg de biodiesel e 93 kg de glicerina. Portanto, a Figura 28 apresenta que o fluxo de referência deste estudo baseia-se no fato de que são necessários 951,12 kg de óleo de palma para a obtenção de 1002,5 kg de biodiesel. Assim sendo, todos os cálculos da análise deste inventário serão convertidos para a produção de 951,12 kg de óleo de palma.

Figura 28: Desempenho do óleo de palma para a produção de biodiesel capaz de gerar 40GJ de energia (reação de transesterificação etílica)

1.11.2.2.4 Definição do Sistema de Produto

A palmeira oleaginosa (*Elaeis guineensis*) é cultivada na região geográfica que se estende a 10° ao sul e ao norte da linha do equador. Assim sendo, para a criação de um modelo representativo do sistema de produto, adotou-se como fronteira geográfica, o Estado do Pará localizado no território brasileiro, onde está situado o Grupo Agropalma, responsável por mais de 70% da produção brasileira de óleo de palma; como fronteira temporal, a coleta de dados dentro de uma faixa dos últimos 12 anos e como fronteira tecnológica o sistema de extração do óleo bruto contendo esterilizadores que comportam a própria caixa de coleta dos cachos.

O sistema de produto para a Avaliação do Ciclo de Vida do Óleo de Palma é apresentado na Figura 29 a seguir:

Figura 29: Sistema de produto para a Avaliação do Ciclo de Vida do Óleo de Palma Bruto

Desta forma, o sistema de produto para avaliação do ciclo de vida do óleo de palma é composto de três subsistemas: subsistema agrícola (SSA), subsistema de transporte (SST) e subsistema de extração do óleo (SSE) como mostra a Figura 30.

Figura 30: Subsistemas do sistema de produção do óleo de palma bruto

1.11.2.2.4.1 Subsistema Agrícola (SSA) do Dendê

A descrição do subsistema “Agricultura do Dendeeiro” consiste na identificação dos fluxos e unidades de processo associados à produção dos Cachos de Frutos Frescos (CFF) que serão utilizados para a obtenção do óleo palma que por sua vez servirá de matéria prima para a produção de biodiesel.

O Sistema Agrícola da Palma se inicia com a aquisição das sementes pré-germinadas. Estas sementes são classificadas, plantadas e tratadas em pré-viveiros por um período mínimo de 90 dias. A fronteira que delimita o sistema de produto considera o fluxo de entrada das sementes, porém são excluídos os aspectos envolvidos para a sua produção por se tratar de um fluxo inferior a 5% em massa com relação ao fluxo total de entrada. O mesmo raciocínio é seguido para o fluxo de entrada de defensivos agrícolas. Serão considerados os aspectos associados à produção de fertilizantes e diesel utilizado.

A Figura 31 a seguir mostra as etapas envolvidas no sistema agrícola do dendeeiro como sendo a produção de mudas, plantação definitiva e colheita.

Figura 31: Sistema Agrícola de cultivo do dendzezeiro

De acordo com a Agropalma (2006), a etapa de produção de mudas consiste na classificação das sementes pré-germinadas seguida do respectivo plantio e tratamento em pré-viveiros denominados de “berçários”. Após um período mínimo de 90 dias no berçário, as mudas são transferidas para os viveiros, permanecendo por um período de 12 a 15 meses.

Em seguida, o dendzezeiro, com aproximadamente 1 metro de altura, é levado ao campo para ser plantado em seu lugar definitivo, por onde permanecerá por aproximadamente 25 anos. Considera-se “ano zero” o ano em que foi efetuado o plantio definitivo e somente a partir do “ano três” o início da colheita. Grande parte do óleo é sintetizado nas últimas duas semanas do processo de amadurecimento e um correto julgamento do amadurecimento é essencial para assegurar uma boa produção. O amadurecimento excessivo leva a biodegradação, empobrecendo a qualidade final do óleo. O ótimo amadurecimento é julgado de acordo com a proporção de perdas de frutos - ao redor de 5 a 10 unidades.

A colheita dos CFF é feita a cada 10 dias na mesma planta de forma manual, com ajuda de ferramentas de corte (sacho e foice). Para plantas novas e menores é utilizado o sachó e para plantas maiores e mais velhas, a foice. Os cachos são cortados e deixados ao chão. Em seguida se inicia a operação de “carreamento” na qual os cachos são recolhidos, também de forma manual, e transferidos para um compartimento puxado por um trator que os levará até a “caixa de recolhimento” mais próxima. O fluxo de diesel consumido na operação de carreamento será considerado como entrada no sistema assim como os aspectos associados à sua produção, porém serão desconsiderados os fluxos e aspectos associados à produção de

bens de capital (equipamentos, tratores e ferramentas) por existir a necessidade de estabelecimento de fronteiras que limitem um estudo de ACV de modo a não torna-lo infinitamente grande, como explicado na revisão bibliográfica da metodologia de trabalho.

1.11.2.4.2 Subsistema de Transporte (SST) dos Cachos de Frutos Frescos

A descrição do subsistema “Transporte de CFF” , mostrado na Figura 32, consiste na identificação dos fluxos associados ao transporte da “caixa de recolhimento” da área de plantio até a usina extratora.

Figura 32: Sistema de Transporte de CFF

1.11.2.4.3 Subsistema de Extração (SSE) do Óleo Bruto

A descrição do subsistema “Extração do Óleo Bruto” , como mostrado na Figura 33, consiste na identificação dos fluxos associados a produção do óleo de palma (óleo de dendê).

Figura 33: Sistema de Extração do óleo bruto de palma

1.11.2.2.5 Definição do Critério de Alocação

O sistema de extração do óleo de palma consiste na obtenção de três produtos de valor comercial para o mercado: óleo de palma bruto, óleo de palmiste e a torta de palmiste, na proporção mássica de 20%, 2,5% e 3,5% respectivamente.

De forma similar ao óleo de soja, o critério de alocação dos aspectos ambientais associados ao sistema de produto em estudo será o de valoração econômica.

1.11.2.3 Análise do Inventário

O inventário da cada unidade de processo contida no sistema de produto será feito inicialmente para uma unidade mássica conveniente do produto analisado no inventário. Posteriormente, na etapa de tratamento dos dados os mesmos serão convertidos ao fluxo de referência.

1.11.2.3.1 Coleta de dados

Alguns dados primários do inventário do ciclo de vida do óleo de palma, foram coletados no Grupo Agropalma, em ocasião de visita. Este grupo, localizado no Estado do Pará, possui desde a agricultura até a extração do óleo. Na mesma ocasião, foram entregues questionários com a finalidade de completar e formalizar a aquisição dos dados. Os questionários são de acordo com o modelo exibido na revisão bibliográfica, considerando as respectivas unidades de processo para cada estágio do ciclo de vida, de acordo com a Tabela 70.

ESTÁGIO DO CICLO DE VIDA	UNIDADE DE PROCESSO
Obtenção da matéria-prima	Produção de sementes pré-germinadas
	Transporte
Agricultura da palma	Pré-viveiro (obtenção das mudas)
	Viveiro (obtenção das mudas)
	Transporte interno
	Produção dos Cachos de Frutos Frescos (CFF)
	Manutenção de estradas e parcelas
	Colheita e transporte até a usina extratora
	Geração de vapor
Extração do óleo bruto	Geração de energia elétrica
	Extração do óleo bruto de palma

Tabela 70: abordagem dos questionários para coleta de dados sobre o ciclo de vida do óleo de palma

Entretanto, não houve resposta aos questionários, portanto os dados utilizados foram os obtidos em ocasião da visita ao Grupo Agropalma.

1.11.2.3.2 Inventário do Subsistema Agrícola (SSA) da palma

O inventário de entradas do subsistema agrícola para a produção de 1 tonelada de cachos de frutos frescos (CFF) é apresentado da Tabela 71.

	unidade	Produção de 1 tonelada de CFF
Entradas		
sementes	unid.	9,36E+00
CO ₂	kg	5,06E+02
Inseticidas	kg	1,18E-04
herbicidas	kg	2,31E-01
N	kg	8,28E+00
P ₂ O ₅	kg	8,28E+00
K ₂ O	kg	8,28E+00
Água	kg	1,25E+06

Tabela 71: Inventário de entradas do subsistema agrícola da palma

As entradas de sementes e fertilizantes são baseadas em informações estatísticas do Agrianual (2006), considerando uma produtividade média anual de 16 toneladas de CFF por hectare; a entrada de água corresponde às necessidades hídricas da cultura da palma, em torno de 2000 mm/ano (EMBRAPA, 2006b); a entrada de sementes de *Pueraria phaseoloides* corresponde ao valor de 2 kg/hectare (CARVALHO, 2001); a entrada de defensivos agrícolas corresponde a dados primários (AGROPALMA, 2006)¹⁸ e a entrada de CO₂ no sistema corresponde ao CO₂ absorvido da atmosfera pela biomassa, calculado a partir da quantidade de matéria seca da cultura da palma, como mostra a Tabela 72.

¹⁸ Comunicação pessoal com funcionários da empresa durante visita ao Grupo Agropalma em fevereiro/2006

ano	MATERIA SECA t/há	CARBONO t/há	CARBONO t /0,06238há	t CO2	kg de CO2 para produzir 1 t de CFF
2	4,55	1,82	0,11	0,416303	416,30
3	9,69	3,88	0,24	0,886588	886,59
4	20,86	8,34	0,52	1,908588	1908,59
5	32,69	13,08	0,82	2,990975	2990,98
6	52,40	20,96	1,31	4,794344	4794,34
7	70,21	28,08	1,75	6,423872	6423,87
8	90,20	36,08	2,25	8,252859	8252,86
9	91,77	36,71	2,29	8,396507	8396,51
10	95,70	38,28	2,39	8,756082	8756,08
11	99,64	39,86	2,49	9,116573	9116,57
12	103,57	41,43	2,58	9,476149	9476,15
13	107,50	43,00	2,68	9,835725	9835,72
14	111,43	44,57	2,78	10,1953	10195,30
15	115,36	46,14	2,88	10,55488	10554,88
16	119,30	47,72	2,98	10,91537	10915,37
17	123,23	49,29	3,07	11,27494	11274,94
18	127,16	50,86	3,17	11,63452	11634,52
19	131,09	52,44	3,27	11,99409	11994,09
20	135,03	54,01	3,37	12,35459	12354,59
21	138,96	55,58	3,47	12,71416	12714,16
22	142,89	57,16	3,57	13,07374	13073,74
23	146,82	58,73	3,66	13,43331	13433,31
24	150,75	60,30	3,76	13,79289	13792,89
25	154,69	61,88	3,86	14,15338	14153,38

Tabela 72: Matéria seca do dendezeiro nas condições de Moju-PA
Fonte: Silva et al(2000)

De acordo com dados estatísticos do Agrianual (2006), durante todo o ciclo de vida do dendezeiro (25 anos) são produzidos 448,8 toneladas de CFF em 1 hectare e a Tabela anterior nos mostra que neste ciclo de vida são acumulados 61,88 toneladas de carbono. Portanto, para a produção de 1 tonelada de CFF são acumulados aproximadamente 138 kg de carbono, o que corresponde a uma absorção de 506 kg de CO₂. O sequestro de carbono pela Pueraria phaseoloides não foi considerado pelo fato da mesma ser uma leguminosa com baixo mecanismo fotossintético (FRANKE;FURTADO,2001).

Os fatores de emissão para as aplicações de defensivos agrícolas seguem o mesmo modelo adotado para a soja. Para as emissões de N e P₂O₅, se seguiu um modelo específico para a cultura da palma (SCHMIDT, 2004).

Segundo Sinimboo (2006)¹⁹, o uso de defensivos agrícolas pode comprometer a saúde do agente polinizador, responsável pela produção dos cachos de frutos frescos. Por esta razão, preferem fazer o controle biológico de pragas e doenças, optando apenas em último caso pelos defensivos acefato, carbaryl e glifosato, considerados neste estudo como a média utilizada pela empresa, e mostrados na Tabela 73. A mesma Tabela apresenta os ingredientes ativos dos defensivos considerados, que pertencem a diferentes grupos químicos (ANVISA, 2006).

Ingrediente ativo	Nome Químico (IUPAC)	Grupo Químico	consumo de defensivos (kg) para a produção de 1 t de CFF
Glifosato	N-(phosphonomethyl)glycine	Glicina substituída	1,18E-04
Acefato	O,S-dimethyl acetylphosphoramidothioate	Organofosforado	5,76E-01
Carbaryl	1-naphthyl methylcarbamate	metilcarbamato de naftila	2,31E-01

Tabela 73: Consumo de defensivos agrícolas para a produção de 1 t de CFF

Desta forma, o inventário parcial do subsistema agrícola para produção de 1 tonelada de CFF é apresentado na Tabela 74.

¹⁹ Comunicação pessoal com Sr. Eduardo Sinimboo – Divisão Agrícola -durante visita ao Grupo Agopalma em fev/2006

		Produção de 1 tonelada de CFF	Utilização de 48,73 kg de NPK 17-17-17	Utilização de defensivos agrícolas	Total parcial do subsistema agrícola
Entradas					
sementes	unid.	9,36E+00			9,36E+00
CO ₂	kg	5,06E+02			5,06E+02
Organofosforado	kg			1,18E-04	1,18E-04
Glicina substituída	kg			5,76E-01	5,76E-01
metilcarbamato de naftila	kg			2,31E-01	2,31E-01
N	kg		8,28E+00		8,28E+00
P ₂ O ₅	kg		8,28E+00		8,28E+00
KCl	kg		8,28E+00		8,28E+00
Água	kg	1,25E+06			1,25E+06
Saídas					
Efluentes líquidos					
Compostos de Nitrogênio	kg		8,28E-01		8,28E-01
P ₂ O ₅	kg		8,28E-01		8,28E-01
Organofosforado	kg			2,23E-05	2,23E-05
Glicina substituída	kg			1,09E-01	1,09E-01
metilcarbamato de naftila	kg			4,36E-02	4,36E-02
Emissões Atmosféricas					
CO ₂	kg		1,30E+01		1,30E+01
NH ₃	kg		1,24E+00		1,24E+00
N ₂ O	kg		1,04E-01		1,04E-01
Nox	kg		2,17E-02		2,17E-02
Organofosforado	kg			4,81E-05	4,81E-05
Glicina substituída	kg			2,35E-01	2,35E-01
metilcarbamato de naftila	kg			9,41E-02	9,41E-02
Resíduos sólidos					
Organofosforado	kg			4,26E-05	4,26E-05
Glicina substituída	kg			2,08E-01	2,08E-01
metilcarbamato de naftila	kg			8,33E-02	8,33E-02

Tabela 74: Inventário parcial do subsistema agrícola para a produção de 1 tonelada de CFF

Para a realização do inventário do subsistema agrícola da palma, serão considerados os aspectos associados a produção de diesel, produção de fertilizantes, o transporte dos fertilizantes, e a operações mecanizada de carreamento . De acordo com o escopo desta ACV, este estudo não considera os aspectos associados à produção dos defensivos agrícolas (pesticidas) e sementes, sendo considerados apenas os fluxos de entrada no sistema de produto.

1.11.2.3.2.1 Inventário do óleo diesel

Vide ACV do óleo de soja

1.11.2.3.2.2 Inventário dos Fertilizantes

Segundo dados estatísticos do AGRIANUAL(2006), durante todo o ciclo de vida do dendezeiro (28 anos), em um hectare são produzidos um total de 448.800 kg de Cachos de Frutos Frescos (CFF) com a utilização de 21.870 kg de fertilizante NPK (17-17-17). Desta forma, são necessários 48,73 kg de NPK para a produção de 1000 kg de CFF, nas seguintes proporções: 8,28kg de N; 8,28 kg de P_2O_5 e 8,28 kg de K_2O .

De acordo com a EMBRAPA (2006b) as fontes de nutrientes para a cultura da palma são uréia, superfosfato triplo (TSP) e cloreto de potássio (KCl) respectivamente para a formulação NPK(17-17-17). Os inventários de aspectos para a produção de 1 tonelada de N e 1 tonelada de K_2O são apresentados nas colunas (1) e (3) da Tabela 75 (SILVA,RIBEIRO e KULAY,2006). O inventário de aspectos para a produção de 1 tonelada de P_2O_5 é apresentado na coluna (2) da mesma Tabela (KULAY,2004). Assim sendo, o inventário para a obtenção da formulação utilizada na produção de 1 t de CFF é apresentado nas colunas subsequentes.

	(1) 1 t N	(2) 1 t P ₂ O ₅	(3) 1 t K ₂ O	NPK 17-17-17 para a produção de 1 t de CFF			
				8,28 kg de N	8,28 kg de P ₂ O ₅	8,28 kg de K ₂ O	TOTAL
Recursos energéticos (GJ)							
Eleticidade	3,64E+01	1,08E+00		3,01E-01	8,95E-03		3,10E-01
Gás Natural	9,63E+00	1,53E+00	3,76E+00	7,98E-02	1,27E-02	3,11E-02	1,24E-01
Vapor	1,03E+01			8,55E-02			8,55E-02
Óleo diesel			5,43E+00			4,50E-02	4,50E-02
Recursos materiais (kg)							
Petróleo	4,12E+02	2,90E+01		3,41E+00	2,41E-01		3,65E+00
Gás Natural	9,96E+02			8,25E+00			8,25E+00
Ar	2,01E+01	8,83E+03		1,67E-01	7,32E+01		7,33E+01
Água	7,54E+01	3,65E+05	1,65E+03	6,25E-01	3,02E+03	1,37E+01	3,04E+03
Rocha fosfática bruta		2,19E+04			1,81E+02		1,81E+02
Enxofre elementar		7,25E+02			6,01E+00		6,01E+00
Rocha potássica (silvinita)			1,89E+03			1,57E+01	1,57E+01
Materiais auxiliares			1,01E+01			8,37E-02	8,37E-02
Emissões atmosféricas (kg)							
Material particulado	2,62E+00	1,27E+02	2,06E+00	2,17E-02	1,06E+00	1,70E-02	1,09E+00
CO	1,64E-01	2,78E-01	1,95E+00	1,36E-03	2,31E-03	1,62E-02	1,98E-02
CO ₂	2,25E+03	1,18E+03	9,14E+02	1,87E+01	9,76E+00	7,57E+00	3,60E+01
SO _x	6,01E-01	6,46E+00	3,49E+00	4,98E-03	5,35E-02	2,89E-02	8,74E-02
NO _x	1,56E+00	2,42E-01	4,57E+00	1,29E-02	2,01E-03	3,79E-02	5,28E-02
C _x H _y	1,10E-04	3,96E-02	1,04E+00	9,11E-07	3,28E-04	8,62E-03	8,94E-03
CH ₄	9,24E-01	4,51E-01	1,45E+00	7,65E-03	3,74E-03	1,20E-02	2,34E-02
H ₂ S	6,29E-04	6,55E-04		5,21E-06	5,43E-06		1,06E-05
HF		1,25E-03			1,03E-05		1,03E-05
N ₂ O		2,28E-03			1,89E-05		1,89E-05
Fluoretos		3,91E-01			3,24E-03		3,24E-03
Efluentes líquidos (kg)							
Alumínio (Al 3+)		3,48E-03			2,88E-05		2,88E-05
Compostos de nitrogênio	4,80E-01		6,00E-04	3,98E-03		4,97E-06	3,98E-03
Compostos de enxofre	9,90E-05	2,47E-01	1,25E+01	8,20E-07	2,05E-03	1,04E-01	1,06E-01
Compostos orgânicos totais	1,91E-04			1,58E-06			1,58E-06
Sólidos dissolvidos		1,34E-02			1,11E-04		1,11E-04
Fosfato		4,22E+00			3,50E-02		3,50E-02
DBO		5,93E-03	2,00E-02		4,91E-05	1,66E-04	2,15E-04
DQO		5,69E-01	1,00E-02		4,71E-03	8,28E-05	4,80E-03
Na+			7,36E+01			6,10E-01	6,10E-01
K+			1,61E+00			1,33E-02	1,33E-02
Cloratos (Cl-)		1,18E+00	1,26E+02		9,74E-03	1,04E+00	1,05E+00
Ca ²⁺		1,81E-01	2,09E+00		1,50E-03	1,73E-02	1,88E-02
Ferro (Fe ²⁺ , Fe ³⁺)		2,78E-02			2,31E-04		2,31E-04
Mg ²⁺		2,83E-02	1,21E+01		2,35E-04	1,00E-01	1,00E-01
Resíduos sólidos (kg)							
Enxofre	1,21E-05	1,40E-03		1,00E-07	1,16E-05		1,17E-05
Catalisador usado	2,50E-01	1,26E+02		2,07E-03	1,04E+00		1,05E+00
Resíduo da mineração			4,58E+03			3,79E+01	3,79E+01
Magnetita		2,78E+03			2,31E+01		2,31E+01
Lama		2,93E+03			2,43E+01		2,43E+01
Resíduo não apatítico		9,36E+03			7,76E+01		7,76E+01
Ferro (Fe)		1,79E+00			1,48E-02		1,48E-02
Pentóxido de fósforo(P ₂ O ₅)		1,80E+01			1,49E-01		1,49E-01
Borra de enxofre		1,65E+01			1,36E-01		1,36E-01
Sulfato de cálcio (CaSO ₄)		3,74E+03			3,10E+01		3,10E+01
Silica (SiO ₂)		3,82E+01			3,16E-01		3,16E-01
Fluor (F)		3,67E+01			3,04E-01		3,04E-01
Emissões não materiais (GJ)							
Vapor	1,76E+00			1,46E-02			1,46E-02

Tabela 75: Aspectos associados à produção de fertilizantes para a produção de 1 tonelada de CFF

Fonte: colunas (1) e (2) – Silva, Ribeiro e Kulay (2006)

Coluna (3) – Kulay(2004)

Com os aspectos associados à produção de 1 kg de diesel e 1 GJ de energia elétrica apresentados no estudo de ACV do óleo de soja deste documento, foi possível consolidar o inventário referente a produção de fertilizantes para a produção de 1 tonelada de CFF. Para

isso, de acordo com a Tabela 75, foram abrangidos os aspectos associados para a produção de 0,310 GJ de energia elétrica e 0,045 GJ de óleo diesel, na qual considerando o poder calorífico do óleo diesel de 10100 kcal/kg, corresponde a 1,06 kg para a produção da referida formulação de fertilizantes. O inventário total, portanto é apresentado na Tabela 76 a seguir.

	unid.	Produção de 1,06 kg de óleo diesel	Queima de 1,06 kg de óleo diesel	Produção de 0,310 GJ de energia elétrica	Produção NPK 17-17-17 para 1 t de CFF	Total NPK 17-17-17 para 1 t de CFF
Entradas						
Petróleo	kg	1,24E+00		3,75E-01	3,65E+00	5,27E+00
Carvão	kg	1,67E-03		3,98E+00		3,98E+00
Gás Natural	kg	4,74E-02		2,36E-01	8,25E+00	8,53E+00
Vapor	GJ				8,55E-02	8,55E-02
Ar	kg				7,33E+01	7,33E+01
Energia não especificada	MJ	2,08E-01		4,91E+02		4,91E+02
Combustíveis renováveis	kg	3,61E-04				3,61E-04
Água	kg	2,65E-01		3,61E+01	3,04E+03	3,07E+03
Rocha fosfática bruta	kg				1,81E+02	1,81E+02
Enxofre elementar	kg				6,01E+00	6,01E+00
Rocha potássica (silvinita)	kg				1,57E+01	1,57E+01
Reservas Bióticas	kg	6,11E-04		1,51E+00		1,51E+00
Materiais secundários	kg	1,13E-04		2,79E-01	8,37E-02	3,63E-01
Urânio	kg	3,53E-08		5,58E-05		5,59E-05
Saídas						
Energia	MJ	1,03E-03				1,03E-03
Vapor	GJ				1,46E-02	1,46E-02

continua

continuação

	unid.	Produção de 1,06 kg de óleo diesel	Queima de 1,06 kg de óleo diesel	Produção de 0,310 GJ de energia elétrica	Produção NPK 17-17-17 para 1 t de CFF	Total NPK 17-17-17 para 1 t de CFF
Efluentes líquidos						
DBO	kg	3,73E-05		2,17E-05	2,15E-04	2,74E-04
DQO	kg	2,30E-04		4,03E-05	4,80E-03	5,07E-03
Metais pesados não especificados	kg	5,18E-09		5,58E-08		6,10E-08
Hidrocarbonetos	kg	2,21E-06		9,30E-06		1,15E-05
Efluentes líquidos não especificados	kg	3,59E-08				3,59E-08
Água residual	kg	3,48E-06				3,48E-06
Óleo não especificado	kg	1,73E-05				1,73E-05
Sólidos suspensos totais	kg	1,18E-04		3,10E-05		1,49E-04
Fosfatos	kg				3,50E-02	3,50E-02
Na+	kg				6,10E-01	6,10E-01
K+	kg				1,33E-02	1,33E-02
Cl-	kg	2,71E-05		1,86E-08	1,05E+00	1,05E+00
Ca2+	kg				1,88E-02	1,88E-02
Ferro (Fe2+, Fe3+)	kg				2,31E-04	2,31E-04
Mg2+	kg				1,00E-01	1,00E-01
Íons metálicos	kg	1,02E-08				1,02E-08
Sólidos dissolvidos totais	kg	6,27E-09		1,55E-05	1,11E-04	1,26E-04
Na	kg	1,82E-05				1,82E-05
Ácidas	kg	2,13E-11		5,27E-08		5,27E-08
Metais	kg	1,25E-09		3,10E-06		3,10E-06
Alumínio (Al 3+)	kg				2,88E-05	2,88E-05
Compostos de nitrogênio	kg	2,60E-09			3,98E-03	3,98E-03
Óleos e graxas	kg	1,76E-08		1,40E-06		1,41E-06
Compostos de enxofre	kg	5,65E-11		4,34E-05	1,06E-01	1,06E-01
Compostos orgânicos totais	kg				1,58E-06	1,58E-06
Radioatividade para a água	kBq	1,89E-03		4,67E+00		4,67E+00
Emissões atmosféricas						
CO2	kg	2,68E-01	3,40E+00	5,53E+00	3,60E+01	4,52E+01
CO	kg	6,33E-04	1,44E-02	4,63E-02	1,98E-02	8,12E-02
Vapor de água	kg	2,85E-04		5,53E+00		5,53E+00
CH4	kg	2,93E-03	1,89E-04	1,70E-02	2,34E-02	4,35E-02
Material particulado	kg	1,55E-04	1,84E-03	2,09E-02	1,09E+00	1,12E+00
COVNM	kg	1,07E-03		2,26E-03		3,33E-03
Hidrocarbonetos (CxHy)	kg	1,35E-04	3,82E-03	2,33E-04	8,94E-03	1,31E-02
Metais	kg	2,03E-09		3,10E-09		5,13E-09
N2O	kg	1,38E-06	8,55E-05	3,41E-03	1,89E-05	3,51E-03
NH3	kg	7,53E-13		1,86E-09		1,86E-09
Nox	kg	1,50E-03	4,00E-02	1,78E-01	5,28E-02	2,73E-01
Sox	kg	1,22E-03	5,40E-03	3,61E-02	8,74E-02	1,30E-01
Metil carptano	kg	1,11E-08				1,11E-08
HCl	kg	1,02E-08				1,02E-08
H2S	kg	2,33E-07			1,06E-05	1,09E-05
HF	kg				1,03E-05	1,03E-05
Fluoretos	kg				3,24E-03	3,24E-03
Radioatividade para o ar	kBq	1,23E-03		3,03E+00		3,03E+00

continua

continuação

	unid.	Produção de 1,06 kg de óleo diesel	Queima de 1,06 kg de óleo diesel	Produção de 0,310 GJ de energia elétrica	Produção NPK 17-17-17 para 1 t de CFF	Total NPK 17-17-17 para 1 t de CFF
Resíduos sólidos						
Resíduos não especificados	kg	3,88E-10				3,88E-10
Resíduos não inertes	kg	4,47E-06				4,47E-06
Resíduos sólidos oleosos	kg	3,32E-04				3,32E-04
Resíduos no solo	dm ³	1,68E-03		4,15E+00		4,15E+00
Resíduos processuais	kg	1,34E-03		3,32E+00		3,32E+00
Enxofre	kg				1,17E-05	1,17E-05
Catalisador usado	kg				1,05E+00	1,05E+00
Resíduo da mineração	kg				3,79E+01	3,79E+01
Magnetita	kg				2,31E+01	2,31E+01
Lama	kg				2,43E+01	2,43E+01
Resíduo não apatítico	kg				7,76E+01	7,76E+01
Ferro (Fe)	kg				1,48E-02	1,48E-02
Pentóxido de fósforo(P ₂ O ₅)	kg				1,49E-01	1,49E-01
Borra de enxofre	kg				1,36E-01	1,36E-01
Sulfato de cálcio (CaSO ₄)	kg				3,10E+01	3,10E+01
Silica (SiO ₂)	kg				3,16E-01	3,16E-01
Fluor (F)	kg				3,04E-01	3,04E-01

Tabela 76: Inventário dos fertilizantes utilizados para a produção de 1 t de CFF

1.11.2.3.2.2.1 Inventário do transporte de fertilizantes

Para o cálculo da distância percorrida entre a fabricação de fertilizantes e a agricultura da palma, foram considerados os municípios de Tailândia, Moju e Acará do Estado do Pará, onde está concentrada mais de 70% da produção (SANTOS;ÁVILA,2006).

Admitindo-se que o N seja produzido em Camaçari-BA; que o P (tendo como fonte de nutrientes o TSP) seja produzido em Uberaba-MG e que o K seja produzido em Rosário do Catete-SE, admite-se também que estes nutrientes sejam destinados ao misturador NPK localizado em Barcarena-PA (BUNGE,2004) para a posterior distribuição da formulação para os municípios plantadores de palma, como mostra a Figura 34.

Figura 34: Logística de transporte de fertilizantes para a agricultura da palma no Pará

As distâncias percorridas entre os fornecedores de nutrientes e o misturador da formulação NPK são apresentadas na Tabela 77.

km	Barcarena - PA
Camaçari-BA	1999
Uberaba-MG	2413
Rosário do Catete-SE	1740

Tabela 77: distâncias percorridas entre os fornecedores de nutrientes e formulador NPK

As distâncias percorridas entre o misturador NPK e os municípios considerados são apresentadas na Tabela 78, sendo considerada, portanto a distância média percorrida de 105 km.

km	Barcarena - PA
Tailandia	177
Moju	53
Acará	83

Tabela 78: distâncias percorridas entre o formulador NPK e os municípios com agricultura de palma no Pará

Para a elaboração do inventário de aspectos, considerou-se tanto para o transporte dos nutrientes como para o transporte da formulação, os aspectos contidos na base de dados Truck 28t ETH (ETH UNIT) do SimaPro 7.0 como apresentado na coluna (1) da Tabela 79 (PRÉ-CONSULTANTS, 2006).

Como dito anteriormente, para a produção de 1 tonelada de CFF, são necessários 8,28 kg de N, 8,28 kg de P e 8,28 kg de K. Desta forma, de acordo com as distâncias apresentadas, os inventários para transporte destes nutrientes são exibidos nas colunas (2),(3) e (4)

respectivamente da Tabela 79. Da mesma forma, a coluna (5) apresenta os aspectos totais para o transporte dos nutrientes necessários para a produção de 1 tonelada de soja.

		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	unid.	Transporte de 1tkm de Nutrientes	Transporte de 8,28 kg de N por 1999 km	Transporte de 8,28 kg de P por 2413 km	Transporte de 8,28 kg de K por 1740 km	TOTAL Transporte de Nutrientes
Entradas						
Diesel	kg	4,30E-02	7,12E-01	8,60E-01	6,20E-01	2,19E+00
Saídas						
Emissões Atmosféricas						
Sox	kg	1,12E-04	1,85E-03	2,24E-03	1,61E-03	5,71E-03
Nox	kg	1,72E-03	2,85E-02	3,44E-02	2,48E-02	8,77E-02
CO2	kg	1,35E-01	2,24E+00	2,70E+00	1,95E+00	6,88E+00
CO	kg	3,74E-04	6,19E-03	7,48E-03	5,39E-03	1,91E-02
N2O	kg	1,89E-05	3,13E-04	3,78E-04	2,72E-04	9,63E-04
COVNM	kg	1,85E-04	3,06E-03	3,70E-03	2,67E-03	9,43E-03
CH4	kg	5,59E-06	9,26E-05	1,12E-04	8,06E-05	2,85E-04
Mat. Particulado	kg	9,46E-05	1,57E-03	1,89E-03	1,36E-03	4,82E-03

Tabela 79: Inventário do transporte de nutrientes da palma até o misturador NPK

Agregando-se os aspectos associados à produção de 2,19 kg de diesel, tem-se o inventário consolidado do transporte de nutrientes apresentado na Tabela 80.

	unid.	Produção de 2,19 kg de óleo diesel	TOTAL Transporte de Nutrientes	TOTAL Transporte de Nutrientes
Entradas				
Petróleo	kg	2,56E+00		2,56E+00
Carvão	kg	3,45E-03		3,45E-03
Gás Natural	kg	9,77E-02		9,77E-02
Energia	MJ	4,29E-01		4,29E-01
Combustíveis renováveis	kg	7,44E-04		7,44E-04
Água	kg	5,46E-01		5,46E-01
Reservas Bióticas	kg	1,26E-03		1,26E-03
Materiais secundários	kg	2,33E-04		2,33E-04
Urânio	kg	7,27E-08		7,27E-08
Saídas				
Energia	MJ	2,13E-03		2,13E-03

continua

continuação

	unid.	Produção de 2,19 kg de óleo diesel	TOTAL Transporte de Nutrientes	TOTAL Transporte de Nutrientes
Efluentes líquidos				
DBO	kg	7,68E-05		7,68E-05
DQO	kg	4,73E-04		4,73E-04
Metais pesados não especificados	kg	1,07E-08		1,07E-08
Hidrocarbonetos	kg	4,55E-06		4,55E-06
Efluentes líquidos não especificados	kg	7,40E-08		7,40E-08
Água residual	kg	7,17E-06		7,17E-06
Óleo não especificado	kg	3,56E-05		3,56E-05
Sólidos suspensos totais	kg	2,44E-04		2,44E-04
Cl-	kg	5,58E-05		5,58E-05
Ions metálicos	kg	2,09E-08		2,09E-08
Sólidos dissolvidos totais	kg	1,29E-08		1,29E-08
Na	kg	3,74E-05		3,74E-05
Ácidas	kg	4,39E-11		4,39E-11
Metais	kg	2,58E-09		2,58E-09
Compostos de nitrogênio	kg	5,35E-09		5,35E-09
Óleos e graxas	kg	3,62E-08		3,62E-08
Compostos de enxofre	kg	1,16E-10		1,16E-10
Radioatividade para a água	kBq	3,89E-03		3,89E-03
Emissões atmosféricas				
CO ₂	kg	5,52E-01	6,88E+00	7,43E+00
CO	kg	1,30E-03	1,91E-02	2,04E-02
Vapor de água	kg	5,87E-04		5,87E-04
CH ₄	kg	6,03E-03	2,85E-04	6,32E-03
Material particulado	kg	3,20E-04	4,82E-03	5,14E-03
COVNM	kg	2,20E-03	9,43E-03	1,16E-02
Hidrocarbonetos	kg	2,78E-04		2,78E-04
Metais	kg	4,19E-09		4,19E-09
N ₂ O	kg	2,84E-06	9,63E-04	9,66E-04
NH ₃	kg	1,55E-12		1,55E-12
Nox	kg	3,10E-03	8,77E-02	9,08E-02
Sox	kg	2,51E-03	5,71E-03	8,22E-03
Metil carptano	kg	2,29E-08		2,29E-08
HCl	kg	2,09E-08		2,09E-08
H ₂ S	kg	4,81E-07		4,81E-07
Radioatividade para o ar	kBq	2,53E-03		2,53E-03
Resíduos sólidos				
Resíduos não especificados	kg	7,98E-10		7,98E-10
Resíduos não inertes	kg	9,21E-06		9,21E-06
Resíduos sólidos oleosos	kg	6,84E-04		6,84E-04
Resíduos no solo	dm ³	3,46E-03		3,46E-03
Resíduos processuais	kg	2,77E-03		2,77E-03

Tabela 80: Inventário consolidado de transporte dos nutrientes necessários para a produção de 1 tonelada de CFF

Segundo o Agrianual (2006), durante todo o ciclo de vida da palma, para se produzir 448,8 t de CFF em um hectare na região do Pará, são necessários 21.870 kg de fertilizante NPK (17-17-17). Portanto, utiliza-se 48,73 kg de NPK para a produção de 1000 kg de CFF. A coluna (2) da Tabela 81 exibe o inventário para transporte de 48,73 kg de NPK por uma distância média percorrida de 105 km, que corresponde à distância entre um misturador localizado em Barcarena-PA e a média das distâncias entre os municípios que mais produzem dendê no Pará, como mostrado anteriormente.

		(1)	(2)
	unid.	Transporte de 1tkm de NPK	Transporte de 48,73 kg de NPK por 105km
Entradas			
Diesel	kg	4,30E-02	2,20E-01
Saídas			
Emissões Atmosféricas			
Sox	kg	1,12E-04	5,73E-04
Nox	kg	1,72E-03	8,80E-03
CO2	kg	1,35E-01	6,91E-01
CO	kg	3,74E-04	1,91E-03
N2O	kg	1,89E-05	9,67E-05
COVM	kg	1,85E-04	9,47E-04
CH4	kg	5,59E-06	2,86E-05
Mat. Particulado	kg	9,46E-05	4,84E-04

Tabela 81: Inventário do Transporte da formulação NPK necessária para a produção de 1 t de CFF

Após agregar os aspectos associados à produção de 0,22 kg de diesel, o inventário consolidado do transporte de 48,73 kg da formulação NPK necessária para a produção de 1 tonelada de CFF é apresentado na Tabela 82.

	unid.	Produção de 0,22 kg de óleo diesel	Transporte de 48,73 kg de NPK por 105km	TOTAL Transporte de NPK
Entradas				
Petróleo	kg	2,57E-01		2,57E-01
Carvão	kg	3,46E-04		3,46E-04
Gás Natural	kg	9,81E-03		9,81E-03
Energia	MJ	4,30E-02		4,30E-02
Combustíveis renováveis	kg	7,47E-05		7,47E-05
Água	kg	5,49E-02		5,49E-02
Reservas Bióticas	kg	1,26E-04		1,26E-04
Materiais secundários	kg	2,34E-05		2,34E-05
Urânio	kg	7,29E-09		7,29E-09
Saídas				
Energia	MJ	2,14E-04		2,14E-04

continua

continuação

	unid.	Produção de 0,22 kg de óleo diesel	Transporte de 48,73 kg de NPK por 105km	TOTAL Transporte de NPK
Efluentes líquidos				
DBO	kg	7,71E-06		7,71E-06
DQO	kg	4,75E-05		4,75E-05
Metais pesados não especificados	kg	1,07E-09		1,07E-09
Hidrocarbonetos	kg	4,57E-07		4,57E-07
Efluentes líquidos não especificados	kg	7,43E-09		7,43E-09
Água residual	kg	7,20E-07		7,20E-07
Óleo não especificado	kg	3,57E-06		3,57E-06
Sólidos suspensos totais	kg	2,45E-05		2,45E-05
Cl-	kg	5,61E-06		5,61E-06
Ions metálicos	kg	2,10E-09		2,10E-09
Sólidos dissolvidos totais	kg	1,30E-09		1,30E-09
Na	kg	3,76E-06		3,76E-06
Ácidas	kg	4,41E-12		4,41E-12
Metais	kg	2,60E-10		2,60E-10
Compostos de nitrogênio	kg	5,37E-10		5,37E-10
Óleos e graxas	kg	3,63E-09		3,63E-09
Compostos de enxofre	kg	1,17E-11		1,17E-11
Radioatividade para a água	kBq	3,91E-04		3,91E-04
Emissões atmosféricas				
CO ₂	kg	5,54E-02	6,91E-01	7,46E-01
CO	kg	1,31E-04	1,91E-03	2,04E-03
Vapor de água	kg	5,89E-05		5,89E-05
CH ₄	kg	6,05E-04	2,86E-05	6,34E-04
Material particulado	kg	3,21E-05	4,84E-04	5,16E-04
COVNM	kg	2,21E-04	9,47E-04	1,17E-03
Hidrocarbonetos	kg	2,79E-05		2,79E-05
Metais	kg	4,21E-10		4,21E-10
N ₂ O	kg	2,85E-07	9,67E-05	9,70E-05
NH ₃	kg	1,56E-13		1,56E-13
Nox	kg	3,11E-04	8,80E-03	9,11E-03
Sox	kg	2,52E-04	5,73E-04	8,25E-04
Metil carptano	kg	2,30E-09		2,30E-09
HCl	kg	2,10E-09		2,10E-09
H ₂ S	kg	4,82E-08		4,82E-08
Radioatividade para o ar	kBq	2,54E-04		2,54E-04
Resíduos sólidos				
Resíduos não especificados	kg	8,02E-11		8,02E-11
Resíduos não inertes	kg	9,25E-07		9,25E-07
Resíduos sólidos oleosos	kg	6,86E-05		6,86E-05
Resíduos no solo	dm ³	3,47E-04		3,47E-04
Resíduos processuais	kg	2,78E-04		2,78E-04

Tabela 82: Inventário consolidado de transporte da formulação NPK necessária para a produção de 1 t de CFF

A soma dos inventários consolidados para transporte de nutrientes (coluna 1) e transporte da formulação NPK (coluna 2) fornece o inventário total de transporte de fertilizantes para o cultivo de 1 tonelada de CFF no Pará, exibidos na coluna (3) da Tabela 83:

		(1)	(2)	(3)
	unid.	TOTAL Transporte de Nutrientes	TOTAL Transporte de NPK	TOTAL Transporte de Fertilizantes
Entradas				
Petróleo	kg	2,56E+00	2,57E-01	2,81E+00
Carvão	kg	3,45E-03	3,46E-04	3,79E-03
Gás Natural	kg	9,77E-02	9,81E-03	1,08E-01
Energia	MJ	4,29E-01	4,30E-02	4,72E-01
Combustíveis renováveis	kg	7,44E-04	7,47E-05	8,19E-04
Água	kg	5,46E-01	5,49E-02	6,01E-01
Reservas Bióticas	kg	1,26E-03	1,26E-04	1,39E-03
Materiais secundários	kg	2,33E-04	2,34E-05	2,56E-04
Urânio	kg	7,27E-08	7,29E-09	7,99E-08
Saídas				
Energia	MJ	2,13E-03	2,14E-04	2,35E-03
Efluentes líquidos				
DBO	kg	7,68E-05	7,71E-06	8,45E-05
DQO	kg	4,73E-04	4,75E-05	5,20E-04
Metais pesados não especificados	kg	1,07E-08	1,07E-09	1,17E-08
Hidrocarbonetos	kg	4,55E-06	4,57E-07	5,00E-06
Efluentes líquidos não especificados	kg	7,40E-08	7,43E-09	8,15E-08
Água residual	kg	7,17E-06	7,20E-07	7,89E-06
Óleo não especificado	kg	3,56E-05	3,57E-06	3,91E-05
Sólidos suspensos totais	kg	2,44E-04	2,45E-05	2,68E-04
Cl-	kg	5,58E-05	5,61E-06	6,15E-05
Íons metálicos	kg	2,09E-08	2,10E-09	2,30E-08
Sólidos dissolvidos totais	kg	1,29E-08	1,30E-09	1,42E-08
Na	kg	3,74E-05	3,76E-06	4,12E-05
Ácidas	kg	4,39E-11	4,41E-12	4,84E-11
Metais	kg	2,58E-09	2,60E-10	2,84E-09
Compostos de nitrogênio	kg	5,35E-09	5,37E-10	5,89E-09
Óleos e graxas	kg	3,62E-08	3,63E-09	3,98E-08
Compostos de enxofre	kg	1,16E-10	1,17E-11	1,28E-10
Radioatividade para a água	kBq	3,89E-03	3,91E-04	4,28E-03

continua

continuação

	unid.	TOTAL Transporte de Nutrientes	TOTAL Transporte de NPK	TOTAL Transporte de Fertilizantes
Emissões atmosféricas				
CO ₂	kg	7,43E+00	7,46E-01	8,18E+00
CO	kg	2,04E-02	2,04E-03	2,24E-02
Vapor de água	kg	5,87E-04	5,89E-05	6,46E-04
CH ₄	kg	6,32E-03	6,34E-04	6,95E-03
Material particulado	kg	5,14E-03	5,16E-04	5,66E-03
COVNM	kg	1,16E-02	1,17E-03	1,28E-02
Hidrocarbonetos	kg	2,78E-04	2,79E-05	3,06E-04
Metais	kg	4,19E-09	4,21E-10	4,61E-09
N ₂ O	kg	9,66E-04	9,70E-05	1,06E-03
NH ₃	kg	1,55E-12	1,56E-13	1,71E-12
Nox	kg	9,08E-02	9,11E-03	9,99E-02
Sox	kg	8,22E-03	8,25E-04	9,04E-03
Metil carptano	kg	2,29E-08	2,30E-09	2,52E-08
HCl	kg	2,09E-08	2,10E-09	2,30E-08
H ₂ S	kg	4,81E-07	4,82E-08	5,29E-07
Radioatividade para o ar	kBq	2,53E-03	2,54E-04	2,78E-03
Resíduos sólidos				
Resíduos não especificados	kg	7,98E-10	8,02E-11	8,79E-10
Resíduos não inertes	kg	9,21E-06	9,25E-07	1,01E-05
Resíduos sólidos oleosos	kg	6,84E-04	6,86E-05	7,52E-04
Resíduos no solo	dm ³	3,46E-03	3,47E-04	3,80E-03
Resíduos processuais	kg	2,77E-03	2,78E-04	3,04E-03

Tabela 83: Inventário do transporte de fertilizantes necessários para o cultivo de 1 tonelada de CFF

1.11.2.3.2.3 Inventário das operações mecanizadas

A única operação mecanizada no cultivo da palma é a operação de carregamento que ocorre na colheita dos cachos. Esta operação é feita por tratores da Agrale modelo 4230 que carregam em média 18 toneladas em 8 horas de trabalho (AGROPALMA, 2006)²⁰. Considerando-se uma produtividade média de 16 toneladas de CFF por hectare, podemos concluir que a operação de carregamento em 1 hectare é feita em 7 horas. Segundo Kozoroski (2006)²¹, este modelo de trator da Agrale consome em média 3 litros de diesel por hora, portanto considera-se então que para a produção de 1 tonelada de CFF (0,0625 hectares), são necessários 1,10 kg de diesel (massa específica do diesel = 840 kg/m³) na operação de carregamento.

²⁰ Comunicação pessoal durante visita ao grupo Agropalma em fevereiro/2006²¹ Comunicação pessoal por email do Sr. Lizandro Kozoroski da Agrale em novembro/2006

Com os mesmos fatores de emissão para a queima de 1 kg de diesel apresentados na ACV do óleo de soja deste estudo e de acordo com os aspectos associados à produção de 1 kg de diesel, apresentados anteriormente, foi possível consolidar o inventário da operação de carregamento para a produção de 1 tonelada de CFF, sabendo que são necessários 1,10 kg de diesel como mostra a Tabela 84 a seguir.

	unid.	Produção de 1,10 kg de óleo diesel	Queima de 1,10 kg de óleo diesel na operação de carregamento	TOTAL
Entradas				
Petróleo	kg	1,29E+00		1,29E+00
Carvão	kg	1,73E-03		1,73E-03
Gás Natural	kg	4,92E-02		4,92E-02
Energia	MJ	2,16E-01		2,16E-01
Combustíveis renováveis	kg	3,74E-04		3,74E-04
Água	kg	2,75E-01		2,75E-01
Reservas Bióticas	kg	6,33E-04		6,33E-04
Materiais secundários	kg	1,17E-04		1,17E-04
Urânio	kg	3,66E-08		3,66E-08
Saídas				
Energia	MJ	1,07E-03		1,07E-03
Efluentes líquidos				
DBO	kg	3,86E-05		3,86E-05
DQO	kg	2,38E-04		2,38E-04
Metais pesados não especificados	kg	5,37E-09		5,37E-09
Hidrocarbonetos	kg	2,29E-06		2,29E-06
Efluentes líquidos não especificados	kg	3,72E-08		3,72E-08
Água residual	kg	3,61E-06		3,61E-06
Óleo não especificado	kg	1,79E-05		1,79E-05
Sólidos suspensos totais	kg	1,23E-04		1,23E-04
Cl-	kg	2,81E-05		2,81E-05
Íons metálicos	kg	1,05E-08		1,05E-08
Sólidos dissolvidos totais	kg	6,50E-09		6,50E-09
Na	kg	1,88E-05		1,88E-05
Ácidas	kg	2,21E-11		2,21E-11
Metais	kg	1,30E-09		1,30E-09
Compostos de nitrogênio	kg	2,69E-09		2,69E-09
Óleos e graxas	kg	1,82E-08		1,82E-08
Compostos de enxofre	kg	5,85E-11		5,85E-11
Radioatividade para a água	kBq	1,96E-03		1,96E-03

continua

continuação

	unid.	Produção de 1,10 kg de óleo diesel	Queima de 1,10 kg de óleo diesel na operação de carregamento	TOTAL
Emissões atmosféricas				
CO ₂	kg	2,78E-01	3,52E+00	3,80E+00
CO	kg	6,56E-04	1,49E-02	1,56E-02
Vapor de água	kg	2,95E-04		2,95E-04
CH ₄	kg	3,03E-03	1,96E-04	3,23E-03
Material particulado	kg	1,61E-04	1,91E-03	2,07E-03
COVNM	kg	1,11E-03	0,00E+00	1,11E-03
Hidrocarbonetos	kg	1,40E-04	3,96E-03	4,10E-03
Metais	kg	2,11E-09		2,11E-09
N ₂ O	kg	1,43E-06	8,86E-05	9,00E-05
NH ₃	kg	7,80E-13		7,80E-13
NO _x	kg	1,56E-03	4,15E-02	4,31E-02
SO _x	kg	1,26E-03	5,59E-03	6,86E-03
Metil carptano	kg	1,15E-08		1,15E-08
HCl	kg	1,05E-08		1,05E-08
H ₂ S	kg	2,42E-07		2,42E-07
Radioatividade para o ar	kBq	1,27E-03		1,27E-03
Resíduos sólidos				
Resíduos não especificados	kg	4,02E-10		4,02E-10
Resíduos não inertes	kg	4,63E-06		4,63E-06
Resíduos sólidos oleosos	kg	3,44E-04		3,44E-04
Resíduos no solo	dm ³	1,74E-03		1,74E-03
Resíduos processuais	kg	1,39E-03		1,39E-03

Tabela 84: Inventário da operação de carregamento para a produção de 1 tonelada de CFF

1.11.2.3.2.4 Inventário consolidado do subsistema agrícola da palma

A soma dos inventários anteriores nos fornece o inventário consolidado do subsistema agrícola, exibidos na Tabela 85.

	unid.	produção de NPK 17-17-17	Transporte de Fertilizantes	Operações meanizadas	Total parcial do subsistema agrícola	TOTAL para produção de 1 t de CFF
Entradas						
Petróleo	kg	5,27E+00	2,81E+00	1,29E+00		9,37E+00
Carvão	kg	3,98E+00	3,79E-03	1,73E-03		3,99E+00
Gás Natural	kg	8,53E+00	1,08E-01	4,92E-02		8,69E+00
Energia não especificada	MJ	4,91E+02	4,72E-01	2,16E-01		4,92E+02
Vapor	GJ	8,55E-02				8,55E-02
Combustíveis renováveis	kg	3,61E-04	8,19E-04	3,74E-04		1,55E-03
Ar	kg	7,33E+01				7,33E+01
Água	kg	3,07E+03	6,01E-01	2,75E-01	1,25E+06	1,25E+06
Rocha fosfática bruta	kg	1,81E+02				1,81E+02
Enxofre elementar	kg	6,01E+00				6,01E+00
Rocha potássica (silvinita)	kg	1,57E+01				1,57E+01
Reservas Bióticas	kg	1,51E+00	1,39E-03	6,33E-04		1,51E+00
Materiais secundários	kg	3,63E-01	2,56E-04	1,17E-04		3,63E-01
Urânio	kg	5,59E-05	7,99E-08	3,66E-08		5,60E-05
CO2	kg				5,06E+02	5,06E+02
Organofosforado	kg				1,18E-04	1,18E-04
Glicina substituída	kg				5,76E-01	5,76E-01
metilcarbamato de naftila	kg				2,31E-01	2,31E-01
Saídas						
Energia	MJ	1,03E-03	2,35E-03	1,07E-03		4,45E-03
Vapor	GJ	1,46E-02				1,46E-02
Efluentes líquidos						
DBO	kg	2,74E-04	8,45E-05	3,86E-05		3,97E-04
DQO	kg	5,07E-03	5,20E-04	2,38E-04		5,82E-03
Metais pesados não especificados	kg	6,10E-08	1,17E-08	5,37E-09		7,81E-08
Hidrocarbonetos	kg	1,15E-05	5,00E-06	2,29E-06		1,88E-05
Efluentes líquidos não especificados	kg	3,59E-08	8,15E-08	3,72E-08		1,55E-07
Água residual	kg	3,48E-06	7,89E-06	3,61E-06		1,50E-05
Óleo não especificado	kg	1,73E-05	3,91E-05	1,79E-05		7,43E-05
Sólidos suspensos totais	kg	1,49E-04	2,68E-04	1,23E-04		5,40E-04
Cl-	kg	1,05E+00	6,15E-05	2,81E-05		1,05E+00
Íons metálicos	kg	1,02E-08	2,30E-08	1,05E-08		4,37E-08
Sólidos dissolvidos totais	kg	1,26E-04	1,42E-08	6,50E-09		1,26E-04
Fosfato	kg	3,50E-02				3,50E-02
Na+	kg	6,10E-01	4,12E-05	1,88E-05		6,10E-01
K+	kg	1,33E-02				1,33E-02
Ca2+	kg	1,88E-02				1,88E-02
Ferro (Fe2+, Fe3+)	kg	2,31E-04				2,31E-04
Mg2+	kg	1,00E-01				1,00E-01
Ácidas	kg	5,27E-08	4,84E-11	2,21E-11		5,28E-08
Metais	kg	3,10E-06	2,84E-09	1,30E-09		3,11E-06
Compostos de nitrogênio	kg	3,98E-03	5,89E-09	2,69E-09	8,28E-01	8,32E-01
Óleos e graxas	kg	1,41E-06	3,98E-08	1,82E-08		1,47E-06
Compostos de enxofre	kg	1,06E-01	1,28E-10	5,85E-11		1,06E-01
Compostos orgânicos totais	kg	1,58E-06				1,58E-06
Radioatividade para a água	kBq	4,67E+00	4,28E-03	1,96E-03		4,68E+00
P2O5	kg				8,28E-01	8,28E-01
Organofosforado	kg				2,23E-05	2,23E-05
Glicina substituída	kg				1,09E-01	1,09E-01
metilcarbamato de naftila	kg				4,36E-02	4,36E-02

continua

continuação

	unid.	produção de NPK 17-17-17	Transporte de Fertilizantes	Operações meanizadas	Total parcial do subsistema agrícola	TOTAL para produção de 1 t de CFF
Emissões atmosféricas						
CO2	kg	4,52E+01	8,18E+00	3,80E+00	1,30E+01	7,02E+01
CO	kg	8,12E-02	2,24E-02	1,56E-02		1,19E-01
Vapor de água	kg	5,53E+00	6,46E-04	2,95E-04		5,53E+00
CH4	kg	4,35E-02	6,95E-03	3,23E-03		5,37E-02
Material particulado	kg	1,12E+00	5,66E-03	2,07E-03		1,13E+00
COVNM	kg	3,33E-03	1,28E-02	1,11E-03		1,72E-02
Hidrocarbonetos (CxHy)	kg	1,31E-02	3,06E-04	4,10E-03		1,75E-02
Metais	kg	5,13E-09	4,61E-09	2,11E-09		1,19E-08
N2O	kg	3,51E-03	1,06E-03	9,00E-05	1,04E-01	1,08E-01
NH3	kg	1,86E-09	1,71E-12	7,80E-13	1,24E+00	1,24E+00
Nox	kg	2,73E-01	9,99E-02	4,31E-02	2,17E-02	4,37E-01
Sox	kg	1,30E-01	9,04E-03	6,86E-03		1,46E-01
Metil carptano	kg	1,11E-08	2,52E-08	1,15E-08		4,79E-08
HCl	kg	1,02E-08	2,30E-08	1,05E-08		4,37E-08
H2S	kg	1,09E-05	5,29E-07	2,42E-07		1,16E-05
HF	kg	1,03E-05				1,03E-05
Fluoretos	kg	3,24E-03				3,24E-03
Radioatividade para o ar	kBq	3,03E+00	2,78E-03	1,27E-03		3,04E+00
Organofosforado	kg				4,81E-05	4,81E-05
Glicina substituída	kg				2,35E-01	2,35E-01
metilcarbamato de naftila	kg				9,41E-02	9,41E-02
Resíduos sólidos						
Resíduos não especificados	kg	3,88E-10	8,79E-10	4,02E-10		1,67E-09
Resíduos não inertes	kg	4,47E-06	1,01E-05	4,63E-06		1,92E-05
Resíduos sólidos oleosos	kg	3,32E-04	7,52E-04	3,44E-04		1,43E-03
Resíduos no solo	dm3	4,15E+00	3,80E-03	1,74E-03		4,15E+00
Resíduos processuais	kg	3,32E+00	3,04E-03	1,39E-03		3,32E+00
Enxofre	kg	1,17E-05				1,17E-05
Catalisador usado	kg	1,05E+00				1,05E+00
Resíduo da mineração	kg	3,79E+01				3,79E+01
Magnetita	kg	2,31E+01				2,31E+01
Lama	kg	2,43E+01				2,43E+01
Resíduo não apatítico	kg	7,76E+01				7,76E+01
Organofosforado	kg				4,26E-05	4,26E-05
Glicina substituída	kg				2,08E-01	2,08E-01
metilcarbamato de naftila	kg				8,33E-02	8,33E-02
Ferro (Fe)	kg	1,48E-02				1,48E-02
Pentóxido de fósforo(P2O5)	kg	1,49E-01				1,49E-01
Borra de enxofre	kg	1,36E-01				1,36E-01
Sulfato de calcio (CaSO4)	kg	3,10E+01				3,10E+01
Silica (SiO2)	kg	3,16E-01				3,16E-01
Fluor (F)	kg	3,04E-01				3,04E-01

Tabela 85: Inventário consolidado do subsistema agrícola da palma

1.11.2.3.3 Inventário do Subsistema de Transporte

Para análise do subsistema de transporte dos cachos de frutos frescos da lavoura até a usina de extração, foram considerados os dados pertinentes ao Grupo Agropalma. O Grupo Agropalma é constituído pelas empresas: CRAI Agroindustrial S/A, Agropalma S/A, Companhia Agroindustrial do Pará (Agropar), Amapalma S/A, Companhia Refinadora da Amazônia (CRA) e Companhia Palmares da Amazônia. As quatro indústrias de extração de óleo bruto, Agropalma, CRAI, Palmares e Agropar, estão situadas em área rural localizada nos municípios de Tailândia, Moju e Acará sendo que a distância percorrida entre a lavoura e área industrial é, em média 30 km (CREPALDI,2006)²².

Cada caminhão de transporte de CFF carrega no máximo 9 toneladas. Portanto, para a obtenção dos aspectos ambientais relacionados à atividade de transporte dos cachos oriundos da lavoura de palma até a usina extratora do óleo, foi utilizada a base de dados Pré-Consultants (2006b). Esta base de dados se refere ao transporte rodoviário em caminhões, com capacidade de 13,8 t e considera como entrada desta unidade de processo 0,02 kg de óleo diesel para cada tkm transportada, com as respectivas emissões atmosféricas como mostra a coluna (1) da Tabela 86. Consequentemente, a coluna (2) da mesma Tabela, exhibe os aspectos associados para o transporte de 1 tonelada de CFF por 30 km.

		(1)	(2)
	unid.	Transporte de 1tkm de CFF	Transporte de 1 t de CFF por 30 km
Entradas			
Diesel	kg	2,03E-02	6,09E-01
Saídas			
Emissões Atmosféricas			
Sox	kg	1,96E-05	5,87E-04
Nox	kg	6,70E-04	2,01E-02
CO2	kg	6,35E-02	1,90E+00
CO	kg	1,09E-04	3,26E-03
N2O	kg	1,45E-05	4,35E-04
COVNM	kg	6,01E-05	1,80E-03
CH4	kg	2,17E-06	6,52E-05
Mat. Particulado	kg	3,04E-05	9,13E-04

Tabela 86: Inventário parcial do transporte de CFF

²² Comunicação pessoal com Sr. Luis Carlos Crepaldi – Grupo Agropalma – em ocasião de visita à empresa em fevereiro de 2006

Ao se incluir os aspectos associados para a produção de 0,6 kg de diesel, o inventário consolidado pode ser observado na Tabela 87.

	unid.	Produção de 0,6 kg de óleo diesel	Transporte de 1 t de CFF por 30 km	TOTAL Transporte de 1 t de CFF por 30 km
Entradas				
Petróleo	kg	7,10E-01		7,10E-01
Carvão	kg	9,58E-04		9,58E-04
Gás Natural	kg	2,71E-02		2,71E-02
Energia	MJ	1,19E-01		1,19E-01
Combustíveis renováveis	kg	2,07E-04		2,07E-04
Água	kg	1,52E-01		1,52E-01
Reservas Bióticas	kg	3,50E-04		3,50E-04
Materiais secundários	kg	6,46E-05		6,46E-05
Urânio	kg	2,02E-08		2,02E-08
Saídas				
Energia	MJ	5,92E-04		5,92E-04
Efluentes líquidos				
DBO	kg	2,13E-05		2,13E-05
DQO	kg	1,31E-04		1,31E-04
Metais pesados não especificados	kg	2,96E-09		2,96E-09
Hidrocarbonetos	kg	1,26E-06		1,26E-06
Efluentes líquidos não especificados	kg	2,06E-08		2,06E-08
Água residual	kg	1,99E-06		1,99E-06
Óleo não especificado	kg	9,88E-06		9,88E-06
Sólidos suspensos totais	kg	6,77E-05		6,77E-05
Cl-	kg	1,55E-05		1,55E-05
Ions metálicos	kg	5,81E-09		5,81E-09
Sólidos dissolvidos totais	kg	3,59E-09		3,59E-09
Na	kg	1,04E-05		1,04E-05
Ácidas	kg	1,22E-11		1,22E-11
Metais	kg	7,18E-10		7,18E-10
Compostos de nitrogênio	kg	1,49E-09		1,49E-09
Óleos e graxas	kg	1,01E-08		1,01E-08
Compostos de enxofre	kg	3,23E-11		3,23E-11
Radioatividade para a água	kBq	1,08E-03		1,08E-03

continua

continuação

	unid.	Produção de 0,6 kg de óleo diesel	Transporte de 1 t de CFF por 30 km	TOTAL Transporte de 1 t de CFF por 30 km
Emissões atmosféricas				
CO ₂	kg	1,53E-01	1,90E+00	2,06E+00
CO	kg	3,62E-04	3,26E-03	3,62E-03
Vapor de água	kg	1,63E-04		1,63E-04
CH ₄	kg	1,68E-03	6,52E-05	1,74E-03
Material particulado	kg	8,89E-05	9,13E-04	1,00E-03
COVNM	kg	6,12E-04	1,80E-03	2,42E-03
Hidrocarbonetos	kg	7,73E-05		7,73E-05
Metais	kg	1,16E-09		1,16E-09
N ₂ O	kg	7,89E-07	4,35E-04	4,36E-04
NH ₃	kg	4,31E-13		4,31E-13
Nox	kg	8,60E-04	2,01E-02	2,10E-02
Sox	kg	6,96E-04	5,87E-04	1,28E-03
Metil carptano	kg	6,37E-09		6,37E-09
HCl	kg	5,81E-09		5,81E-09
H ₂ S	kg	1,33E-07		1,33E-07
Radioatividade para o ar	kBq	7,01E-04		7,01E-04
Resíduos sólidos				
Resíduos não especificados	kg	2,22E-10		2,22E-10
Resíduos não inertes	kg	2,56E-06		2,56E-06
Resíduos sólidos oleosos	kg	1,90E-04		1,90E-04
Resíduos no solo	dm ³	9,60E-04		9,60E-04
Resíduos processuais	kg	7,68E-04		7,68E-04

Tabela 87: Inventário consolidado do subsistema de transporte de CFF

1.11.2.3.4 Inventário do subsistema de extração do óleo de palma

O processo de extração do óleo de palma é um processo físico, na qual as entradas se resumem nos cachos de frutos frescos (5000 t de CFF/t de óleo de palma), água (1300 kg de água/ t de óleo de palma) para a geração de vapor que servirá tanto para o processo em si como para a geração de energia elétrica e diesel (3 kg de diesel/t de óleo de palma) que é utilizado em geradores que dão início ao processo. O processo é auto-suficiente em energia, sendo que do total de cachos que entram no sistema, cerca de 16% compreendem em cascas e fibras (30% cascas e 70% fibras) que são destinadas em 75% (600 kg) como combustível das caldeiras que produzem vapor. Parte deste vapor é utilizado no processo (esterilizadores e digestores) e parte é destinado às turbinas para geração de energia (CREPALDI, 2006)²³. O excedente de energia é resultado do fato que a energia total requerida para processar 1 t de

²³ Comunicação pessoal com Sr. Luis Carlos Crepaldi em ocasião de visita ao Grupo Agropalma em fevereiro de 2006

CFF é da ordem de 54 MJ enquanto que a energia gerada ao se processar 1 t de CFF é da ordem de 1101 MJ (RITTNER, 1996).

Os aspectos contidos no efluente líquido (DBO, DQO, matéria graxa, sólidos totais, sólidos em suspensão e sólidos sedimentados) foram obtidos por comunicação pessoal (CAETANO, 2006)²⁴, enquanto as emissões de compostos de nitrogênio no efluente e emissões de vapor na atmosfera foram obtidos de literatura (RITTNER, 1996).

Com os dados coletados, foi possível a visualização de um inventário preliminar para a produção de 1 tonelada de óleo de palma que é exibido na Tabela 88.

	unid.	Produção de 1 t de óleo de palma
Entradas		
CFF	kg	5,00E+03
água	kg	1,30E+03
diesel	kg	3,00E+00
Saídas		
Energia	MJ	5,23E+03
óleo palmiste-subproduto	kg	1,25E+02
torta palmiste-subproduto	kg	1,75E+02
Emissões Atmosféricas		
Vapor de água	kg	5,00E+02
Efluentes Líquidos		
DBO	kg	2,11E+01
DQO	kg	3,18E+01
Sólidos em suspensão	kg	1,45E+01
Sólidos Totais	kg	5,93E+01
Sólidos sedimentares	kg	1,29E+01
Compostos de Nitrogênio	kg	2,50E+00
Matéria Graxa	kg	5,77E+00

Tabela 88: Inventário parcial para produção de 1 tonelada de óleo de palma

²⁴ Comunicação pessoal com Sr. Caetano – Divisão de meio ambiente do Grupo Agropalma, em ocasião de visita à empresa em fevereiro/2006

Segundo Yussof; Hanssen (2005), as emissões atmosféricas (exceto CO₂) oriundas da queima de 600 kg de cascas e fibras são apresentadas na Tabela 89 .

	unid.	Queima de 1 kg de cascas e fibras	Queima de 600 kg de cascas e fibras
Saídas			
Energia	MJ	8,77E+00	5,23E+03
Emissões Atmosféricas			
COVNM	kg	8,38E-05	5,00E-02
CO	kg	9,44E-03	5,63E+00
Material Particulado	kg	2,31E-03	1,38E+00
Nox	kg	1,07E-03	6,40E-01
Sox	kg	3,35E-05	2,00E-02
CO ₂	kg	1,04E+00	6,22E+02

Tabela 89: Emissões da queima de fibras e cascas do dendê

O cálculo de emissão de CO₂ foi estimado pela quantidade de carbono contido nas fibras (45%) e cascas (53%) (TORRES.1990). Dos 600 kg de fibras e cascas queimadas, 177 kg são cascas (94 kg de carbono) e 420 kg são fibras (189 kg de carbono), totalizando 283 kg de carbono. Considerando um rendimento de 60% na queima (RITTNER, 1996), obteve-se 167 kg de carbono queimado, o que corresponde a 622 kg de CO₂ emitido.

Assim sendo, agrupando-se os aspectos referentes à produção de diesel, queima do diesel e queima das cascas, foi possível a elaboração do inventário do subsistema extração de óleo de palma, para a extração de 1 tonelada de óleo , que é apresentado na Tabela 90 a seguir

		Produção de 3 kg de óleo diesel	queima de 3 kg de diesel	Queima de 600 kg de cascas e fibras	Produção de 1 t de óleo de palma	Inventário Total para Produção de 1 t de óleo de palma + óleo de palmiste + torta de palmiste
	unid.					
Entradas						
CFF	kg				5,00E+03	5,00E+03
Petróleo	kg	3,50E+00				3,50E+00
Carvão	kg	4,72E-03				4,72E-03
Gás Natural	kg	1,34E-01				1,34E-01
Energia	MJ	5,87E-01				5,87E-01
Combustíveis renováveis	kg	1,02E-03				1,02E-03
Água	kg	7,48E-01			1,30E+03	1,30E+03
Reservas Bióticas	kg	1,72E-03				1,72E-03
Materiais secundários	kg	3,18E-04				3,18E-04
Urânio	kg	9,95E-08				9,95E-08
Saídas						
Energia	MJ	2,92E-03		5,23E+03		5,23E+03
óleo palmiste-subproduto	kg				1,25E+02	1,25E+02
torta palmiste-subproduto	kg				1,75E+02	1,75E+02
Efluentes líquidos						
DBO	kg	1,05E-04			2,11E+01	2,11E+01
DQO	kg	6,47E-04			3,18E+01	3,18E+01
Metais pesados não especificados	kg	1,46E-08				1,46E-08
Hidrocarbonetos	kg	6,23E-06				6,23E-06
Efluentes líquidos não especificados	kg	1,01E-07				1,01E-07
Água residual	kg	9,82E-06				9,82E-06
Óleo não especificado	kg	4,87E-05				4,87E-05
Sólidos suspensos totais	kg	3,34E-04			1,45E+01	1,45E+01
Cl-	kg	7,65E-05				7,65E-05
Íons metálicos	kg	2,87E-08				2,87E-08
Sólidos dissolvidos totais	kg	1,77E-08			5,93E+01	5,93E+01
Sólidos Sedimentares	kg				1,29E+01	1,29E+01
Na	kg	5,13E-05				5,13E-05
Ácidas	kg	6,02E-11				6,02E-11
Metais	kg	3,54E-09				3,54E-09
Compostos de nitrogênio	kg	7,32E-09			2,50E+00	2,50E+00
Óleos e graxas	kg	4,95E-08			5,77E+00	5,77E+00
Compostos de enxofre	kg	1,59E-10				1,59E-10
Radioatividade para a água	kBq	5,33E-03				5,33E-03

continua

continuação

		Produção de 3 kg de óleo diesel	queima de 3 kg de diesel	Queima de 600 kg de cascas e fibras	Produção de 1 t de óleo de palma	Inventário Total para Produção de 1 t de óleo de palma + óleo de palmiste + torta de palmiste
	unid.					
Emissões atmosféricas						
CO ₂	kg	7,56E-01	9,58E+00	6,22E+02		6,32E+02
CO	kg	1,79E-03	4,06E-02	5,63E+00		5,68E+00
Vapor de água	kg	8,03E-04			5,00E+02	5,00E+02
CH ₄	kg	8,26E-03	5,33E-04			8,79E-03
Material particulado	kg	4,38E-04	5,20E-03	1,38E+00		1,39E+00
COVNM	kg	3,02E-03		5,00E-02		5,30E-02
Hidrocarbonetos	kg	3,81E-04	1,08E-02			1,12E-02
Metais	kg	5,73E-09				5,73E-09
N ₂ O	kg	3,89E-06	2,41E-04			2,45E-04
NH ₃	kg	2,12E-12				2,12E-12
Nox	kg	4,24E-03	1,13E-01	6,40E-01		7,57E-01
Sox	kg	3,43E-03	1,52E-02	2,00E-02		3,87E-02
Metil carptano	kg	3,14E-08				3,14E-08
HCl	kg	2,87E-08				2,87E-08
H ₂ S	kg	6,58E-07				6,58E-07
Radioatividade para o ar	kBq	3,46E-03				3,46E-03
Resíduos sólidos						
Resíduos não especificados	kg	1,09E-09				1,09E-09
Resíduos não inertes	kg	1,26E-05				1,26E-05
Resíduos sólidos oleosos	kg	9,36E-04				9,36E-04
Resíduos no solo	dm ³	4,73E-03				4,73E-03
Resíduos processuais	kg	3,79E-03				3,79E-03

Tabela 90: Inventário do SSE da palma a extração de 1 tonelada de óleo bruto de palma

1.11.2.3.5 Inventário Consolidado

A consolidação do inventário, exibida na Tabela 91, para a produção de 1 tonelada de óleo de palma foi feita através da soma dos inventários dos subsistemas: agrícola (SSA), transporte (SST) e extração (SSE), levando-se em consideração que, para a produção de 1 tonelada de óleo de palma, são necessários 5 toneladas de CFF.

	unid.	SSA produção de 5 t de CFF	SST transporte de 5 t de CFF	SSE extração de 1 t de óleo de palma	TOTAL extração de 1 t de óleo de palma + óleo de palmiste + TORTA
Entradas					
CFF	kg			5,00E+03	5,00E+03
Petróleo	kg	4,68E+01	3,55E+00	3,50E+00	5,39E+01
Carvão	kg	1,99E+01	4,79E-03	4,72E-03	2,00E+01
Gás Natural	kg	4,34E+01	1,36E-01	1,34E-01	4,37E+01
Energia não especificada	MJ	2,46E+03	5,95E-01	5,87E-01	2,46E+03
Vapor	GJ	4,27E-01			4,27E-01
Combustíveis renováveis	kg	7,77E-03	1,03E-03	1,02E-03	9,82E-03
Ar	kg	3,67E+02			3,67E+02
Água	kg	6,25E+06	7,59E-01	1,30E+03	6,25E+06
Rocha fosfática bruta	kg	9,07E+02			9,07E+02
Enxofre elementar	kg	3,00E+01			3,00E+01
Rocha potássica (silvinita)	kg	7,83E+01			7,83E+01
Reservas Bióticas	kg	7,57E+00	1,75E-03	1,72E-03	7,57E+00
Materiais secundários	kg	1,82E+00	3,23E-04	3,18E-04	1,82E+00
Urânio	kg	2,80E-04	1,01E-07	9,95E-08	2,80E-04
CO2	kg	2,53E+03			2,53E+03
Organofosforado	kg	5,90E-04			5,90E-04
Glicina substituída	kg	2,88E+00			2,88E+00
metilcarbamato de naftila	kg	1,15E+00			1,15E+00
Saídas					
Energia	MJ	2,23E-02	2,96E-03	5,23E+03	5,23E+03
Vapor	GJ	7,29E-02			7,29E-02
óleo palmiste-subproduto	kg			1,25E+02	1,25E+02
torta palmiste-subproduto	kg			1,75E+02	1,75E+02
Efluentes líquidos					
DBO	kg	1,98E-03	1,07E-04	2,11E+01	2,11E+01
DQO	kg	2,91E-02	6,57E-04	3,18E+01	3,19E+01
Metais pesados não especificados	kg	3,91E-07	1,48E-08	1,46E-08	4,20E-07
Hidrocarbonetos	kg	9,40E-05	6,32E-06	6,23E-06	1,07E-04
Efluentes líquidos não especificados	kg	7,73E-07	1,03E-07	1,01E-07	9,77E-07
Água residual	kg	7,49E-05	9,96E-06	9,82E-06	9,47E-05
Óleo não especificado	kg	3,71E-04	4,94E-05	4,87E-05	4,69E-04
Sólidos suspensos totais	kg	2,70E-03	3,39E-04	1,45E+01	1,45E+01
Cl-	kg	5,27E+00	7,76E-05	7,65E-05	5,27E+00
Íons metálicos	kg	2,19E-07	2,91E-08	2,87E-08	2,76E-07
Sólidos dissolvidos totais	kg	6,32E-04	1,80E-08	5,93E+01	5,93E+01
Sólidos Sedimentares	kg			1,29E+01	1,29E+01
Fosfato	kg	1,75E-01			1,75E-01
Na+	kg	3,05E+00	5,20E-05	5,13E-05	3,05E+00
K+	kg	6,67E-02			6,67E-02
Ca2+	kg	9,40E-02			9,40E-02
Ferro (Fe2+, Fe3+)	kg	1,15E-03			1,15E-03
Mg2+	kg	5,02E-01			5,02E-01
Ácidas	kg	2,64E-07	6,10E-11	6,02E-11	2,64E-07
Metais	kg	1,55E-05	3,59E-09	3,54E-09	1,55E-05
Compostos de nitrogênio	kg	4,16E+00	7,43E-09	2,50E+00	6,66E+00
Óleos e graxas	kg	7,36E-06	5,03E-08	5,77E+00	5,77E+00
Compostos de enxofre	kg	5,28E-01	1,62E-10	1,59E-10	5,28E-01
Compostos orgânicos totais	kg	7,91E-06			7,91E-06
Radioatividade para a água	kBq	2,34E+01	5,41E-03	5,33E-03	2,34E+01
P2O5	kg	4,14E+00			4,14E+00
Organofosforado	kg	1,12E-04			1,12E-04
Glicina substituída	kg	5,44E-01			5,44E-01
metilcarbamato de naftila	kg	2,18E-01			2,18E-01

continua

continuação

		SSA produção de 5 t de CFF	SST transporte de 5 t de CFF	SSE extração de 1 t de óleo de palma	TOTAL extração de 1 t de óleo de palma + óleo de palmiste + TORTA
	unid.				
Emissões atmosféricas					
CO2	kg	3,51E+02	1,03E+01	6,32E+02	9,93E+02
CO	kg	5,96E-01	1,81E-02	5,68E+00	6,29E+00
Vapor de água	kg	2,77E+01	8,15E-04	5,00E+02	5,28E+02
CH4	kg	2,68E-01	8,70E-03	8,79E-03	2,86E-01
Material particulado	kg	5,63E+00	5,01E-03	1,39E+00	7,02E+00
COVNM	kg	8,62E-02	1,21E-02	5,30E-02	1,51E-01
Hidrocarbonetos (CxHy)	kg	8,77E-02	3,86E-04	1,12E-02	9,93E-02
Metais	kg	5,93E-08	5,82E-09	5,73E-09	7,08E-08
N2O	kg	5,41E-01	2,18E-03	2,45E-04	5,44E-01
NH3	kg	6,21E+00	2,15E-12	2,12E-12	6,21E+00
Nox	kg	2,19E+00	1,05E-01	7,57E-01	3,05E+00
Sox	kg	7,30E-01	6,42E-03	3,87E-02	7,75E-01
Metil carptano	kg	2,40E-07	3,19E-08	3,14E-08	3,03E-07
HCl	kg	2,19E-07	2,91E-08	2,87E-08	2,76E-07
H2S	kg	5,82E-05	6,67E-07	6,58E-07	5,95E-05
HF	kg	5,17E-05			5,17E-05
Fluoretos	kg	1,62E-02			1,62E-02
Radioatividade para o ar	kBq	1,52E+01	3,51E-03	3,46E-03	1,52E+01
Organofosforado	kg	2,41E-04			2,41E-04
Glicina substituída	kg	1,17E+00			1,17E+00
metilcarbamato de naftila	kg	4,70E-01			4,70E-01
Resíduos sólidos					
Resíduos não especificados	kg	8,34E-09	1,11E-09	1,09E-09	1,05E-08
Resíduos não inertes	kg	9,62E-05	1,28E-05	1,26E-05	1,22E-04
Resíduos sólidos oleosos	kg	7,14E-03	9,49E-04	9,36E-04	9,03E-03
Resíduos no solo	dm3	2,08E+01	4,80E-03	4,73E-03	2,08E+01
Resíduos processuais	kg	1,66E+01	3,84E-03	3,79E-03	1,66E+01
Enxofre	kg	5,84E-05			5,84E-05
Catalisador usado	kg	5,23E+00			5,23E+00
Resíduo da mineração	kg	1,90E+02			1,90E+02
Magnetita	kg	1,15E+02			1,15E+02
Lama	kg	1,21E+02			1,21E+02
Resíduo não apatítico	kg	3,88E+02			3,88E+02
Organofosforado	kg	2,13E-04			2,13E-04
Glicina substituída	kg	1,04E+00			1,04E+00
metilcarbamato de naftila	kg	4,17E-01			4,17E-01
Ferro (Fe)	kg	7,40E-02			7,40E-02
Pentóxido de fósforo(P2O5)	kg	7,45E-01			7,45E-01
Borra de enxofre	kg	6,82E-01			6,82E-01
Sulfato de calcio (CaSO4)	kg	1,55E+02			1,55E+02
Silica (SiO2)	kg	1,58E+00			1,58E+00
Fluor (F)	kg	1,52E+00			1,52E+00

Tabela 91: Inventário consolidado para a produção de 1 t de óleo de palma

1.11.2.4 Tratamento dos Dados

Após a coleta e organização dos dados brutos, a etapa de tratamento dos dados aborda a conversão ao fluxo de referência e posterior aplicação do fator de alocação.

1.11.2.4.1 Conversão ao Fluxo de Referência

De acordo com o escopo deste estudo, são necessários 951,37 kg de óleo de palma para produzir biodiesel capaz de gerar 40 GJ. A partir do inventário consolidado para a produção de 1000 kg de óleo de palma apresentado no item anterior, foi possível o cálculo do inventário convertido ao fluxo de referência e exibido na Tabela 92. O fator de conversão utilizado foi de 0,9137. Notar que o inventário acusa a saída de dois subprodutos (torta e óleo de palmiste), portanto os aspectos ambientais deverão ser posteriormente submetidos ao fator de alocação, que irá dividir a carga ambiental entre os três produtos (óleo de palma, óleo de palmiste e torta de palmiste) a partir de critérios pré-estabelecidos.

	unid.	TOTAL extração de 1 t de óleo de palma + óleo de palmiste + TORTA	TOTAL extração de 951,37 kg de óleo de palma + óleo de palmiste + TORTA
Entradas			
CFF	kg	5,00E+03	4,76E+03
Petróleo	kg	5,39E+01	5,13E+01
Carvão	kg	2,00E+01	1,90E+01
Gás Natural	kg	4,37E+01	4,16E+01
Energia não especificada	MJ	2,46E+03	2,34E+03
Vapor	GJ	4,27E-01	4,07E-01
Combustíveis renováveis	kg	9,82E-03	9,35E-03
Ar	kg	3,67E+02	3,49E+02
Água	kg	6,25E+06	5,95E+06
Rocha fosfática bruta	kg	9,07E+02	8,63E+02
Enxofre elementar	kg	3,00E+01	2,86E+01
Rocha potássica (silvinita)	kg	7,83E+01	7,45E+01
Reservas Bióticas	kg	7,57E+00	7,20E+00
Materiais secundários	kg	1,82E+00	1,73E+00
Urânio	kg	2,80E-04	2,66E-04
CO2	kg	2,53E+03	2,40E+03
Organofosforado	kg	5,90E-04	5,61E-04
Glicina substituída	kg	2,88E+00	2,74E+00
metilcarbamato de naftila	kg	1,15E+00	1,10E+00
Saídas			
Energia	MJ	5,23E+03	4,98E+03
Vapor	GJ	7,29E-02	6,94E-02
óleo palmiste-subproduto	kg	1,25E+02	1,19E+02
torta palmiste-subproduto	kg	1,75E+02	1,66E+02

continua

continuação

	unid.	TOTAL extração de 1 t de óleo de palma + óleo de palmiste + TORTA	TOTAL extração de 951,37 kg de óleo de palma + óleo de palmiste + TORTA
Efluentes líquidos			
DBO	kg	2,11E+01	2,00E+01
DQO	kg	3,19E+01	3,03E+01
Metais pesados não especificados	kg	4,20E-07	4,00E-07
Hidrocarbonetos	kg	1,07E-04	1,01E-04
Efluentes líquidos não especificados	kg	9,77E-07	9,30E-07
Água residual	kg	9,47E-05	9,01E-05
Óleo não especificado	kg	4,69E-04	4,47E-04
Sólidos suspensos totais	kg	1,45E+01	1,38E+01
Cl-	kg	5,27E+00	5,01E+00
Ions metálicos	kg	2,76E-07	2,63E-07
Sólidos dissolvidos totais	kg	5,93E+01	5,64E+01
Sólidos Sedimentares	kg	1,29E+01	1,23E+01
Fosfato	kg	1,75E-01	1,66E-01
Na+	kg	3,05E+00	2,90E+00
K+	kg	6,67E-02	6,34E-02
Ca2+	kg	9,40E-02	8,95E-02
Ferro (Fe2+, Fe3+)	kg	1,15E-03	1,10E-03
Mg2+	kg	5,02E-01	4,78E-01
Acidas	kg	2,64E-07	2,51E-07
Metais	kg	1,55E-05	1,48E-05
Compostos de nitrogênio	kg	6,66E+00	6,33E+00
Óleos e graxas	kg	5,77E+00	5,49E+00
Compostos de enxofre	kg	5,28E-01	5,03E-01
Compostos orgânicos totais	kg	7,91E-06	7,53E-06
Radioatividade para a água	kBq	2,34E+01	2,23E+01
P2O5	kg	4,14E+00	3,94E+00
Organofosforado	kg	1,12E-04	1,06E-04
Glicina substituída	kg	5,44E-01	5,18E-01
metilcarbamato de naftila	kg	2,18E-01	2,07E-01
Emissões atmosféricas			
CO2	kg	9,93E+02	9,45E+02
CO	kg	6,29E+00	5,98E+00
Vapor de água	kg	5,28E+02	5,02E+02
CH4	kg	2,86E-01	2,72E-01
Material particulado	kg	7,02E+00	6,68E+00
COVNM	kg	1,51E-01	1,44E-01
Hidrocarbonetos (CxHy)	kg	9,93E-02	9,44E-02
Metais	kg	7,08E-08	6,74E-08
N2O	kg	5,44E-01	5,17E-01
NH3	kg	6,21E+00	5,91E+00
Nox	kg	3,05E+00	2,90E+00
Sox	kg	7,75E-01	7,37E-01
Metil carptano	kg	3,03E-07	2,88E-07
HCl	kg	2,76E-07	2,63E-07
H2S	kg	5,95E-05	5,67E-05
HF	kg	5,17E-05	4,92E-05
Fluoretos	kg	1,62E-02	1,54E-02
Radioatividade para o ar	kBq	1,52E+01	1,44E+01
Organofosforado	kg	2,41E-04	2,29E-04
Glicina substituída	kg	1,17E+00	1,12E+00
metilcarbamato de naftila	kg	4,70E-01	4,47E-01

continua

continuação

	unid.	TOTAL extração de 1 t de óleo de palma + óleo de palmiste + TORTA	TOTAL extração de 951,37 kg de óleo de palma + óleo de palmiste + TORTA
Resíduos sólidos			
Resíduos não especificados	kg	1,05E-08	1,00E-08
Resíduos não inertes	kg	1,22E-04	1,16E-04
Resíduos sólidos oleosos	kg	9,03E-03	8,59E-03
Resíduos no solo	dm3	2,08E+01	1,98E+01
Resíduos processuais	kg	1,66E+01	1,58E+01
Enxofre	kg	5,84E-05	5,55E-05
Catalisador usado	kg	5,23E+00	4,98E+00
Resíduo da mineração	kg	1,90E+02	1,80E+02
Magnetita	kg	1,15E+02	1,10E+02
Lama	kg	1,21E+02	1,15E+02
Resíduo não apatítico	kg	3,88E+02	3,69E+02
Organofosforado	kg	2,13E-04	2,03E-04
Glicina substituída	kg	1,04E+00	9,90E-01
metilcarbamato de naftila	kg	4,17E-01	3,96E-01
Ferro (Fe)	kg	7,40E-02	7,04E-02
Pentóxido de fósforo(P2O5)	kg	7,45E-01	7,08E-01
Borra de enxofre	kg	6,82E-01	6,49E-01
Sulfato de cálcio (CaSO4)	kg	1,55E+02	1,48E+02
Silica (SiO2)	kg	1,58E+00	1,50E+00
Fluor (F)	kg	1,52E+00	1,45E+00

Tabela 92: Inventário da produção de óleo de palma convertido ao fluxo de referência

1.11.2.4.2 Aplicação do fator de alocação

De acordo com o critério de alocação estabelecido no escopo deste estudo, os preços fornecidos pela Brito²⁵ (2006) são: óleo de palma a R\$ 1.074,15/tonelada, óleo de palmiste a R\$ 1.377,95/tonelada e torta de palmiste a R\$ 200,00/tonelada. Deste modo, os fatores de alocação para o processamento de 4757 kg de CFF (fluxo de referência) são mostrados da Tabela 93 a seguir:

²⁵ Comunicação Pessoal por email com Sr. Marcelo Brito, diretor comercial da Agropalma em fevereiro/2006

Processamento de 4757 kg de CFF	(%) massa	produção (t)	preço R\$/t	valor econômico R\$	FATOR DE ALOCÇÃO
óleo de palma	20,0%	0,951	1074,15	1021,92	84%
óleo de palmiste	2,5%	0,119	1377,95	163,87	13%
torta	3,5%	0,166	200,00	33,30	3%

Tabela 93: Fatores de Alocação do Sistema de Produto do Óleo de Palma

Portanto, a torta de palmiste é responsável por 3% da carga ambiental do sistema de produto; o óleo de palmiste é responsável por 13% enquanto o óleo de palma é responsável por 84%. Desta forma, o inventário total para a fabricação de óleo de palma que irá produzir biodiesel capaz de gerar 40GJ de energia é apresentado na Tabela 94.

		extração de 951,37 kg de óleo de palma + torta + óleo palmiste	FATORES DE ALOCAÇÃO		
			3%	13%	84%
	unid.		produção de 166,49 kg de torta de palmiste	produção de 118,92 kg de óleo de palmiste	produção de 951,37 kg de óleo de palma
Entradas					
Petróleo	kg	4,76E+03	1,30E+02	6,39E+02	3,99E+03
CFF	kg	5,13E+01	1,40E+00	6,89E+00	4,30E+01
Carvão	kg	1,90E+01	5,19E-01	2,55E+00	1,59E+01
Gás Natural	kg	4,16E+01	1,14E+00	5,59E+00	3,49E+01
Energia não especificada	MJ	2,34E+03	6,40E+01	3,15E+02	1,96E+03
Vapor	GJ	4,07E-01	1,11E-02	5,47E-02	3,41E-01
Combustíveis renováveis	kg	9,35E-03	2,55E-04	1,26E-03	7,83E-03
Ar	kg	3,49E+02	9,53E+00	4,69E+01	2,92E+02
Água	kg	5,95E+06	1,63E+05	8,00E+05	4,99E+06
Rocha fosfática bruta	kg	8,63E+02	2,36E+01	1,16E+02	7,23E+02
Enxofre elementar	kg	2,86E+01	7,80E-01	3,84E+00	2,39E+01
Rocha potássica (silvinita)	kg	7,45E+01	2,03E+00	1,00E+01	6,24E+01
Reservas Bióticas	kg	7,20E+00	1,97E-01	9,68E-01	6,04E+00
Materiais secundários	kg	1,73E+00	4,72E-02	2,32E-01	1,45E+00
Urânio	kg	2,66E-04	7,28E-06	3,58E-05	2,23E-04
CO2	kg	2,40E+03	6,57E+01	3,23E+02	2,02E+03
Organofosforado	kg	5,61E-04	1,53E-05	7,55E-05	4,71E-04
Glicina substituída	kg	2,74E+00	7,48E-02	3,68E-01	2,30E+00
metilcarbamato de naftila	kg	1,10E+00	3,00E-02	1,47E-01	9,20E-01
Saídas					
Energia	MJ	4,98E+03	1,36E+02	6,69E+02	4,17E+03
Vapor	GJ	6,94E-02	1,90E-03	9,33E-03	5,82E-02
óleo palmiste-subproduto	kg	1,19E+02			
torta palmiste-subproduto	kg	1,66E+02			

continua

continuação					
	unid.	extração de 951,37 kg de óleo de palma + torta + óleo palmiste	FATORES DE ALOCAÇÃO		
			3%	13%	84%
			produção de 166,49 kg de torta de palmiste	produção de 118,92 kg de óleo de palmiste	produção de 951,37 kg de óleo de palma
Efluentes líquidos					
DBO	kg	2,00E+01	5,47E-01	2,69E+00	1,68E+01
DQO	kg	3,03E+01	8,28E-01	4,07E+00	2,54E+01
Metais pesados não especificados	kg	4,00E-07	1,09E-08	5,37E-08	3,35E-07
Hidrocarbonetos	kg	1,01E-04	2,77E-06	1,36E-05	8,50E-05
Efluentes líquidos não especificados	kg	9,30E-07	2,54E-08	1,25E-07	7,79E-07
Água residual	kg	9,01E-05	2,46E-06	1,21E-05	7,55E-05
Óleo não especificado	kg	4,47E-04	1,22E-05	6,00E-05	3,74E-04
Sólidos suspensos totais	kg	1,38E+01	3,76E-01	1,85E+00	1,15E+01
Cl-	kg	5,01E+00	1,37E-01	6,74E-01	4,20E+00
Íons metálicos	kg	2,63E-07	7,18E-09	3,53E-08	2,20E-07
Sólidos dissolvidos totais	kg	5,64E+01	1,54E+00	7,59E+00	4,73E+01
Fosfato	kg	1,23E+01	3,35E-01	1,65E+00	1,03E+01
Na	kg	1,66E-01	4,55E-03	2,24E-02	1,40E-01
Na+	kg	2,90E+00	7,92E-02	3,90E-01	2,43E+00
K+	kg	6,34E-02	1,73E-03	8,53E-03	5,32E-02
Ca2+	kg	8,95E-02	2,44E-03	1,20E-02	7,50E-02
Ferro (Fe2+, Fe3+)	kg	1,10E-03	3,00E-05	1,47E-04	9,20E-04
Mg2+	kg	4,78E-01	1,31E-02	6,42E-02	4,01E-01
Ácidas	kg	2,51E-07	6,87E-09	3,38E-08	2,11E-07
Metais	kg	1,48E-05	4,04E-07	1,99E-06	1,24E-05
Compostos de nitrogênio	kg	6,33E+00	1,73E-01	8,52E-01	5,31E+00
Óleos e graxas	kg	5,49E+00	1,50E-01	7,37E-01	4,60E+00
Compostos de enxofre	kg	5,03E-01	1,37E-02	6,76E-02	4,21E-01
Compostos orgânicos totais	kBq	7,53E-06	2,06E-07	1,01E-06	6,31E-06
Radioatividade para a água	kg	2,23E+01	6,08E-01	2,99E+00	1,87E+01
P2O5	kg	3,94E+00	1,08E-01	5,30E-01	3,30E+00
Organofosforado	kg	1,06E-04	2,90E-06	1,43E-05	8,89E-05
Glicina substituída	kg	5,18E-01	1,41E-02	6,96E-02	4,34E-01
metilcarbamato de naftila	kg	2,07E-01	5,66E-03	2,79E-02	1,74E-01
Emissões atmosféricas					
CO2	kg	9,45E+02	2,58E+01	1,27E+02	7,92E+02
CO	kg	5,98E+00	1,63E-01	8,04E-01	5,02E+00
Vapor de água	kg	5,02E+02	1,37E+01	6,75E+01	4,21E+02
CH4	kg	2,72E-01	7,43E-03	3,66E-02	2,28E-01
Material particulado	kg	6,68E+00	1,82E-01	8,97E-01	5,60E+00
COVNM	kg	1,44E-01	3,93E-03	1,93E-02	1,21E-01
Hidrocarbonetos (CxHy)	kg	9,44E-02	2,58E-03	1,27E-02	7,92E-02
Metais	kg	6,74E-08	1,84E-09	9,05E-09	5,65E-08
N2O	kg	5,17E-01	1,41E-02	6,95E-02	4,33E-01
NH3	kg	5,91E+00	1,61E-01	7,95E-01	4,95E+00
Nox	kg	2,90E+00	7,92E-02	3,90E-01	2,43E+00
Sox	kg	7,37E-01	2,01E-02	9,91E-02	6,18E-01
Metil carptano	kg	2,88E-07	7,87E-09	3,87E-08	2,42E-07
HCl	kg	2,63E-07	7,18E-09	3,53E-08	2,20E-07
H2S	kg	5,67E-05	1,55E-06	7,62E-06	4,75E-05
HF	kg	4,92E-05	1,34E-06	6,61E-06	4,12E-05
Fluoretos	kBq	1,54E-02	4,21E-04	2,07E-03	1,29E-02
Radioatividade para o ar	kg	1,44E+01	3,95E-01	1,94E+00	1,21E+01
Organofosforado	kg	2,29E-04	6,25E-06	3,08E-05	1,92E-04
Glicina substituída	kg	1,12E+00	3,05E-02	1,50E-01	9,37E-01
metilcarbamato de naftila	kg	4,47E-01	1,22E-02	6,01E-02	3,75E-01

continua

continuação					
	unid.	extração de 951,37 kg de óleo de palma + torta + óleo palmiste	FATORES DE ALOCAÇÃO		
			3%	13%	84%
			produção de 166,49 kg de torta de palmiste	produção de 118,92 kg de óleo de palmiste	produção de 951,37 kg de óleo de palma
Resíduos sólidos					
Resíduos não especificados	kg	1,00E-08	2,74E-10	1,35E-09	8,41E-09
Resíduos não inertes	kg	1,16E-04	3,16E-06	1,55E-05	9,70E-05
Resíduos sólidos oleosos	dm3	8,59E-03	2,35E-04	1,15E-03	7,20E-03
Resíduos no solo	kg	1,98E+01	5,40E-01	2,66E+00	1,66E+01
Resíduos processuais	kg	1,58E+01	4,32E-01	2,13E+00	1,33E+01
Enxofre	kg	5,55E-05	1,52E-06	7,46E-06	4,65E-05
Catalisador usado	kg	4,98E+00	1,36E-01	6,69E-01	4,17E+00
Resíduo da mineração	kg	1,80E+02	4,93E+00	2,43E+01	1,51E+02
Magnetita	kg	1,10E+02	3,00E+00	1,47E+01	9,20E+01
Lama	kg	1,15E+02	3,15E+00	1,55E+01	9,67E+01
Resíduo não apatítico	kg	3,69E+02	1,01E+01	4,96E+01	3,09E+02
Organofosforado	kg	2,03E-04	5,54E-06	2,73E-05	1,70E-04
Glicina substituída	kg	9,90E-01	2,70E-02	1,33E-01	8,30E-01
metilcarbamato de naftila	kg	3,96E-01	1,08E-02	5,33E-02	3,32E-01
Ferro (Fe)	kg	7,04E-02	1,92E-03	9,46E-03	5,90E-02
Pentóxido de fósforo(P2O5)	kg	7,08E-01	1,94E-02	9,52E-02	5,94E-01
Borra de enxofre	kg	6,49E-01	1,77E-02	8,72E-02	5,44E-01
Sulfato de cálcio (CaSO4)	kg	1,48E+02	4,03E+00	1,98E+01	1,24E+02
Silica (SiO2)	kg	1,50E+00	4,11E-02	2,02E-01	1,26E+00
Fluor (F)	kg	1,45E+00	3,95E-02	1,95E-01	1,21E+00

Tabela 94: Inventário do óleo de palma para produzir biodiesel capaz de gerar 40 GJ de energia

1.12 Análise de Ecoeficiência

1.12.1 Vertente Ambiental

De acordo com a revisão bibliográfica, o estudo da vertente ambiental para a Análise de Ecoeficiência, após a elaboração do ICV de cada alternativa, é determinado com base em seis classes: consumo de recursos energéticos, rejeitos (emissões para o ar, água e solo), consumo de recursos materiais, potencial de toxicidade, uso da terra e potencial de riscos.

1.12.1.1 Consumo de recursos energéticos

Para a determinação desta classe de impacto, os recursos naturais utilizados como fontes de energia (Tabela 95) são contabilizados e exibidos na Tabela 96 por seu conteúdo energético. A conversão é feita através dos respectivos valores do poder calorífico: 16,75 MJ/kg para o carvão (MME, 2006); 41,87 MJ/kg para o petróleo (MME, 2006b); 46,92 MJ/kg para o gás natural (CEGAS, 2007) e 18,24 MJ/kg para os cavacos (SILVA, CARDOSO e

SAIKI, 2004). Vale ressaltar que para o cálculo do gás natural como recurso energético, descontou-se a quantidade utilizada deste gás como matéria-prima para a produção de fertilizante nitrogenado. Os outros recursos energéticos identificados no inventário, que não foram citados, são agrupados em “outras fontes de energia” pela ferramenta de AEE.

	unid.	SSA		SST		SSE		TOTAL	
		PALMA	SOJA	PALMA	SOJA	PALMA	SOJA	PALMA	SOJA
Carvão	kg/UF	1,59E+01	5,52E+00	3,83E-03	6,42E-02	3,77E-03	1,53E+00	1,59E+01	7,11E+00
Petróleo	kg/UF	3,74E+01	6,91E+01	2,84E+00	4,76E+01	2,80E+00	3,56E+00	4,31E+01	1,20E+02
Gás Natural	kg/UF	1,76E+00	2,85E+00	1,08E-01	1,82E+00	1,07E-01	1,63E-01	1,97E+00	4,83E+00
Biomassa	kg/UF						3,05E+02		3,05E+02

Tabela 95: Utilização de recursos energéticos (em massa)

	unid.	SSA		SST		SSE		TOTAL	
		PALMA	SOJA	PALMA	SOJA	PALMA	SOJA	PALMA	SOJA
Carvão	MJ/UF	2,67E+02	9,25E+01	6,41E-02	1,08E+00	6,32E-02	2,56E+01	2,67E+02	1,19E+02
Petróleo	MJ/UF	1,57E+03	2,89E+03	1,19E+02	1,99E+03	1,17E+02	1,49E+02	1,80E+03	5,04E+03
Gás Natural	MJ/UF	8,24E+01	1,34E+02	5,09E+00	8,54E+01	5,02E+00	7,64E+00	9,25E+01	2,27E+02
Biomassa	MJ/UF						5,56E+03		5,56E+03
Outras fontes	MJ/UF	2,31E+03	8,24E+02	4,76E-01	7,98E+00	4,72E-01	1,88E+02	2,31E+03	1,02E+03
TOTAL		4226,41	3941,10	124,48	2089,33	122,71	5933,85	4473,60	11964,28

Tabela 96: Utilização de recursos energéticos (em MJ)

Desta forma, a utilização de recursos energéticos total de cada subsistema dos óleos vegetais em estudo, pode ser observada na Tabela 97.

	CONSUMO DE ENERGIA (MJ/UF)	
	PALMA	SOJA
SSA	4.226,41	3.941,10
SST	124,48	2.089,33
SSE	122,71	5.933,85
T O T A L	4.473,60	11.964,28
NORMALIZAÇÃO	0,37	1

Tabela 97: Normalização da categoria “consumo de recursos energéticos”

Seguindo os critérios de normalização anteriormente citados na revisão bibliográfica, o óleo de soja por ser a alternativa menos favorável recebe o valor “1” para ser comparado com o óleo de palma que recebe proporcionalmente o valor 0,37.

1.12.1.2 Emissões (Rejeitos)

Os aspectos contidos nos inventários dos óleos de soja e palma foram adaptados à ferramenta de Análise de Ecoeficiência desenvolvida pela BASF através de fatores de agregação que adequam à ferramenta os aspectos não contabilizados de forma isolada.

1.12.1.2.1 Emissões para o ar

A metodologia de Análise de Ecoeficiência da BASF expressa todos os aspectos relacionados a emissões atmosféricas, quantificados no inventário, na forma de CO₂, SO_x, NO_x, CH₄, COVNM (Compostos Orgânicos Voláteis Não Metano), CFCs (CloroFluorCarbonetos), NH₃, N₂O e HCl através de fatores de agregação apresentados na Tabela 98.

	CO ₂	SO _x	NO _x	CH ₄	COVNM	CFCs	NH ₃	N ₂ O	HCl
CO ₂	1								
sulphur hexafluoride SF ₆	1								
SO _x a SO ₂		1							
H ₂ S		1,88							
H ₂ SO ₄		0,65							
NO _x a NO ₂			1						
CH ₄				1					
hydrocarbons not specified elsewhere					1				
aromatic HC not specified elsewhere					1				
NM VOC					1				
polycyclic hydrocarbons (PAH)					1				
organics					1				
aldehyde (-CHO)					1				
dichloroethane (DCE) C ₂ H ₄ Cl ₂					1				
vinyl chloride monomer (VCM)					1				
methylene chloride CH ₂ Cl ₂					1				
ethylene oxide C ₂ H ₄ O					1				
ethylene C ₂ H ₄					1				
tetrachloroethylene (PER) C ₂ Cl ₄					1				
tetrachloromethane (TCM) CCl ₄					1				
trichlorobenzene (TCB) C ₆ H ₃ Cl ₃					1				
trichloroethane (TCE) C ₂ H ₃ Cl ₃					1				
trichloroethylene (TRI) C ₂ HCl ₃					1				
trichloromethane CHCl ₃					1				
benzene C ₆ H ₆					1				
toluene C ₇ H ₈					1				
xylenes C ₈ H ₁₀					1				
ethylbenzene C ₈ H ₁₀					1				
methyl chloride CH ₃ Cl					1				
methyl bromide CH ₂ Br					1				
methylene bromide CH ₂ Br ₂					1				
bromofluoromethane CHBrF ₂					1				
CFC-11 CCl ₃ F						1			
CFC-12 CCl ₂ F ₂						1			
CFC-13 CClF ₃						1			
CFC-113 CCl ₂ FCCl ₂ F ₂						1			
CFC-114 CClF ₂ CClF ₂						1			
CFC-115 CF ₃ CClF ₂						1			
HCFC-21 CHCl ₂ F						1			
HCFC-22 CHClF ₂						1			
HCFC-123 CF ₃ CHCl ₂						1			
HCFC-124 CF ₃ CHClF						1			
HCFC-141b CH ₃ CCl ₂ F						1			
HCFC-142b CH ₃ CClF ₂						1			
HCFC-225ca CF ₃ CF ₂ CHCl ₂						1			
HCFC-225cb CClF ₂ CF ₂ CHClF						1			
Halon-1211 CBrClF ₂						1			
Halon-1301 CBrF ₃						1			
CFC/HCFC/HFC not specified elsewhere						1			
organo-chlorine not specified elsewhere						1			
perfluorocarbons (PFC) not specified else						1			
trifluoroiodomethane CF ₃ I						1			
hexachlorobenzene (HCB) C ₆ Cl ₆						1			
hexachlorocyclohexane (HCH) C ₆ H ₆ Cl ₆						1			
pentachlorophenol (PCP) C ₆ HCl ₅ O						1			
tetrachloroethylene (PER) C ₂ Cl ₄						1			
tetrachloromethane (TCM) CCl ₄						1			
trichlorobenzene (TCB) C ₆ H ₃ Cl ₃						1			
trichloroethane (TCE) C ₂ H ₃ Cl ₃						1			
trichloroethylene (TRI) C ₂ HCl ₃						1			

Tabela 98: Fatores de agregação para emissões atmosféricas segundo AEE

Os aspectos ambientais identificados e quantificados na análise do inventário dos óleos de soja e palma que não constam na Tabela 98 não são considerados pela ferramenta de Análise de Ecoeficiência da BASF.

Desta forma, a ferramenta considera os seguintes aspectos ambientais relacionados às emissões atmosféricas, apresentados na Tabela 99.

	unid.	SSA		SST		SSE		TOTAL	
		DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA
CO2	mg/UF	-1,74E+09	-5,30E+09	8,22E+06	1,39E+08	5,05E+08	4,49E+08	-1,22E+09	-4,71E+09
SOx	mg/UF	5,83E+05	6,94E+05	5,13E+03	1,53E+05	3,09E+04	9,60E+05	6,20E+05	1,81E+06
NOx	mg/UF	1,75E+06	2,94E+06	8,38E+04	1,69E+06	6,05E+05	2,52E+06	2,43E+06	7,15E+06
CH4	mg/UF	2,15E+05	2,71E+05	6,95E+03	1,18E+05	7,02E+03	1,07E+04	2,29E+05	3,99E+05
COVNM	mg/UF	1,45E+06	1,34E+06	9,97E+03	2,22E+05	5,13E+04	3,30E+06	1,51E+06	4,87E+06
CFCs	mg/UF								
NH3	mg/UF	4,95E+06	7,95E+05					4,95E+06	7,95E+05
N2O	mg/UF	4,32E+05	8,31E+04	1,74E+03	1,80E+04	1,96E+02	1,30E+03	4,33E+05	1,02E+05
HCl	mg/UF	7,53E+01	5,81E+03	2,28E-02	3,89E-01	2,40E-02		7,53E+01	5,81E+03

Tabela 99: Emissões atmosféricas por unidade funcional

Para a determinação das quatro categorias de impacto relacionadas às emissões atmosféricas (EE, DCO, FFO e CA), efetuou-se a somatoria do produto entre as emissões apresentadas na Tabela 99 e seus respectivos fatores de conversão apresentados na revisão bibliográfica (Tabela 03). Os resultados são exibidos na Tabela 100. Notar que como não houve emissões equivalentes em CFCs, a categoria de impacto DCO (destruição da camada de ozônio) foi desconsiderada.

	unid.	SSA		SST		SSE		TOTAL	
		DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA
EE	g CO2-eq/UF	-1,60E+06	-5,27E+06	8,91E+03	1,47E+05	5,05E+05	4,50E+05	-1,09E+06	-4,67E+06
DCO	g CFCs-eq/UF								
FFO	g C2H4-eq/UF	6,06E+02	5,61E+02	4,20E+00	9,30E+01	2,14E+01	1,37E+03	6,32E+02	2,03E+03
CA	g SO2-eq/UF	1,11E+04	4,25E+03	6,38E+01	1,34E+03	4,54E+02	2,73E+03	1,16E+04	8,31E+03

Tabela 100: Potenciais impactos das emissões atmosféricas

A título de comparação entre as duas alternativas, efetuou-se a normalização das categorias de impacto de emissões atmosféricas a partir dos mesmos critérios vistos anteriormente. O resultado da normalização é apresentado na Tabela 101.

	unid.	TOTAL		NORMALIZAÇÃO	
		DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA
EE	g CO ₂ -eq/UF	-1,09E+06	-4,67E+06	1	0,23
DCO	g CFCs- eq/UF				
FFO	g C ₂ H ₄ -eq/UF	6,32E+02	2,03E+03	0,31	1
CA	g SO ₂ -eq/UF	1,16E+04	8,31E+03	1	0,71

Tabela 101: Normalização dos potenciais impactos das emissões atmosféricas

Os valores negativos encontrados para a categoria “efeito estufa” refletem o balanço de CO₂ das duas culturas, onde leva-se em conta a capacidade de absorção de CO₂ pelas mesmas (seqüestro de carbono). Deste modo, é possível notar que a palma contribui 4,3 vezes menos para a absorção de CO₂ do que a soja. Como a palma neste caso é a alternativa menos favorável, lhe é atribuído o valor 1, conseqüentemente, o valor normalizado para a soja é 1 dividido por 4,3 o que corresponde a 0,23.

Os valores normalizados de cada categoria (EE, DCO, FFO e CA) são então agregados de modo a formar um único valor para “emissões atmosféricas”. Conforme explicado na revisão bibliográfica, esta agregação é feita por um esquema de ponderações que considera fatores de opinião pública (denominados fatores sociais pela ferramenta) e fatores científicos (fatores de relevância).

Os fatores de opinião pública, que refletem o grau de importância atribuído a cada categoria de impacto, foram determinados pela equipe de Ecoeficiência da BASF e são baseados na opinião de especialistas por intermédio de questionários. Estes fatores são apresentados na Tabela 102.

Categoria de impacto	Fator de opinião (fator social)
EE	30%
DCO	28%
FFO	19%
CA	23%

Tabela 102: Fatores de opinião das categorias de impacto referentes a emissões atmosféricas

Os fatores de relevância, como comentado na revisão bibliográfica, dependem da emissão total no local de estudo (no caso, o Brasil). Os potenciais impactos ambientais

provenientes das emissões atmosféricas anuais no Brasil foram determinados pela equipe de Ecoeficiência da BASF com base em Earth Trends (2003) e são exibidos na Tabela 103.

	unid.	BRASIL
EE	1000 t CO ₂ -eq/a	1,25E+06
DCO	1000 t CFCs- eq/a	1,39E+01
FFO	1000 t C ₂ H ₄ -eq/a	1,44E+03
CA	1000 t SO ₂ -eq/a	7,47E+03

Tabela 103: impactos ambientais provenientes das emissões atmosféricas anuais no Brasil

De acordo com o método de cálculo apresentado na revisão bibliográfica, calcula-se então a relevância de cada categoria de impacto com seus respectivos pesos (fatores de relevância), como mostra a Tabela 104.

	RELEVÂNCIA	PESO (%)
EE	0,00000037%	55,83%
DCO	0,00000000%	0,00%
FFO	0,00000014%	20,96%
CA	0,00000016%	23,21%
TOTAL	0,00000067%	100,0%

Tabela 104: Fatores de relevância das categorias de impacto referentes as emissões atmosféricas

A ponderação da média geométrica entre os fatores de relevância (R) e fatores de opinião (S), fornece o fator de ponderação total que é apresentado na Tabela 105.

	Fator de relevância - R (%)	Fator de opinião - S (%)	Média Geométrica $\sqrt{R*S}$	Fator de ponderação total (%)
EE	55,83%	30%	41%	49%
DCO		28%	0%	0%
FFO	20,96%	19%	20%	24%
CA	23,21%	23%	23%	28%
TOTAL	100,00%	100%	84%	100%

Tabela 105: Fator de ponderação para as categorias de emissões atmosféricas

Utilizando-se os valores normalizados apresentados na Tabela 101, juntamente com os fatores de ponderação exibidos na Tabela 105, foi possível chegar a um único valor para cada alternativa de emissões atmosféricas, através da média ponderada. A categoria agregada agora

em “emissões atmosféricas” recebe então o mesmo critério de normalização visto anteriormente, como mostra a Tabela 106.

Categorias	Valor Normalizado		Fator de ponderação
	DENDÊ	SOJA	
EE	1	0,23	49%
DCO			0%
FFO	0,31	1	24%
CA	1	0,71	28%
Emissões atmosféricas	0,84	0,55	
NORMALIZAÇÃO	1,00	0,65	

Tabela 106: Normalização da categoria “emissões atmosféricas”

1.12.1.2.2 Efluentes Líquidos (emissões para a água)

A metodologia de Análise de Ecoeficiência da BASF expressa todos os aspectos relacionados a efluentes líquidos quantificados no inventário, na forma de DQO (demanda química de oxigênio), DBO (demanda bioquímica de oxigênio), N-tot, NH₄-N, P-tot, AOX (organohalogenados adsorvíveis), MP (metais pesados), HC, SO₄²⁻ e Cl⁻ através de fatores de conversão apresentados na Tabela 107

	DQO	DBO	N-total	NH4 como N	PO4 como P	AOX	MP	HC	SO4--	Cl-
DBO	1									
DBO		1								
other nitrogen as N			1							
NO3-			0,225806							
CN-			0,538462							
NO2-			0,304348							
ammonium compounds as NH4+				0,777778						
P+compounds as P					1					
Organohalogenados Adsorvíveis (AOX)						1				
Cu+compounds as Cu							1			
Hg+compounds as Hg							1			
Pb+compounds as Pb							1			
Ni+compounds as Ni							1			
Zn+compounds as Zn							1			
Cd+compounds as Cd							1			
Cr+compounds as Cr							1			
metals not specified elsewhere							1			
As+compounds as As							1			
Mn+compounds as Mn							1			
organo-tin as Sn							1			
Ag+compounds as Ag							1			
Au+compounds as Au							1			
Sn+compounds as Sn							1			
Sb+compounds as Sb							1			
Bi+compounds as Bi							1			
Co+compounds as Co							1			
V+compounds as V							1			
organo-chlorine not specified elsewhere								1		
detergent/oil								1		
hydrocarbons not specified elsewhere								1		
phenols								1		
dichloroethane (DCE)								1		
vinyl chloride monomer (VCM)								1		
benzene								1		
toluene								1		
xylenes								1		
ethylbenzene								1		
dichloromethane (DCM)								1		
hexachlorobenzene (HCB)								1		
hexachlorobutadiene (HCBd)								1		
hexachlorocyclohexane (HCH)								1		
brominated dipheyl ether								1		
polycyclic aromatics (PAH)								1		
chloroalkanes (C10-13)								1		
SO4--	1								1	
organo-chlorine not specified elsewhere	1									1
Cl-	1									1
dissolved chlorine	1									1

Tabela 107: Fatores de conversão para efluentes líquidos segundo AEE.

Os aspectos ambientais referentes a efluentes líquidos identificados e quantificados na análise do inventário dos óleos de soja e palma que não constam na Tabela 107 não são considerados pela ferramenta de Análise de Ecoeficiência (AEE) da BASF. Desta forma, os aspectos considerados pela ferramenta são apresentados na Tabela 108.

	unid.	SSA		SST		SSE		TOTAL	
		DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA
DQO	mg/UF	2,33E+04	1,28E+04	5,25E+02	8,81E+03	2,54E+07	1,86E+02	2,54E+07	2,18E+04
DBO	mg/UF	1,59E+03	3,09E+03	8,52E+01	1,43E+03	1,69E+07	1,62E+02	1,69E+07	4,68E+03
N-tot	mg N/UF	7,51E+05	4,82E+05	1,35E-03	2,36E-02	4,51E+05	1,21E-01	1,20E+06	4,82E+05
P-tot	mg P/UF	7,67E+05	1,35E+06					7,67E+05	1,35E+06
MP	mg/UF	1,29E+01	5,19E+00	3,84E-02	6,36E-01	4,00E-02	1,21E+00	1,30E+01	7,03E+00
HC	mg/UF	1,75E+05	2,61E+04	4,46E+01	7,47E+02	4,61E+06	2,02E+01	4,79E+06	2,69E+04
SO4--	mg/UF	4,24E+05	6,62E+05				5,43E-02	4,24E+05	6,62E+05
Cl-	mg/UF	4,20E+06	6,67E+06	6,20E+01	1,04E+03	6,11E+01	7,24E-03	4,20E+06	6,67E+06

Tabela 108: Emissões para a água por unidade funcional

Conforme comentado na revisão bibliográfica, para comparar os efluentes líquidos das duas alternativas em estudo, a ferramenta estima as quantidades de água necessárias para diluir cada ítem contido no efluente, de forma que o limite estabelecido pelo *Regulation on requirements for discharge of wastewater into surface waters* seja cumprido. Estas quantidades de água, denominadas de *volume crítico*, foram calculadas a partir da divisão dos valores apresentados na Tabela anterior pelo limite mostrado na revisão bibliográfica e podem ser observadas na Tabela 109. Como a quantidade da água necessária para diluir as substâncias presentes nos efluentes líquidos provenientes da produção de óleo de palma (dendê) é maior do que a quantidade de água para o óleo de soja, na normalização o óleo de palma adquiriu o valor 1 enquanto que proporcionalmente, o valor correspondente ao óleo de soja foi 0,3.

	LITROS DE ÁGUA							
	SSA		SST		SSE		TOTAL	
	DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA
DQO	3,10E+02	1,71E+02	7,00E+00	1,17E+02	3,39E+05	2,48E+00	3,39E+05	2,91E+02
DBO	1,06E+02	2,06E+02	5,68E+00	9,56E+01	1,12E+06	1,08E+01	1,12E+06	3,12E+02
N-tot	5,77E+04	3,71E+04	1,04E-04	1,81E-03	3,47E+04	9,31E-03	9,24E+04	3,71E+04
P-tot	7,67E+05	1,35E+06					7,67E+05	1,35E+06
HM	1,29E+01	5,19E+00	3,84E-02	6,36E-01	4,00E-02	1,21E+00	1,30E+01	7,03E+00
HC	8,73E+04	1,30E+04	2,23E+01	3,74E+02	2,31E+06	1,01E+01	2,39E+06	1,34E+04
SO4--	4,24E+02	6,62E+02				5,43E-05	4,24E+02	6,62E+02
Cl-	4,20E+03	6,67E+03	6,20E-02	1,04E+00	6,11E-02	7,24E-06	4,20E+03	6,67E+03
TOTAL							4,72E+06	1,40E+06
NORMALIZAÇÃO							1	0,3

Tabela 109: Normalização da categoria “efluentes líquidos”

1.12.1.2.3 Resíduos sólidos

A metodologia de Análise de Ecoeficiência da BASF expressa todos os aspectos relacionados a resíduos sólidos quantificados no inventário forma de resíduos municipais, resíduos industriais, resíduos de construção civil e resíduos de mineração através de fatores de conversão apresentados na Tabela 110.

	resíduo municipal	resíduo industrial	resíduo de construção	resíduo de mineração
Escória & cinzas	1			
Metais	1			
resíduo sólido municipal	1			
resíduo industrial		1		
químicos inertes		1		
químicos regulares		1		
químicos não regulares		1		
resíduos de construção			1	
resíduo de mineração				1
resíduo retornado à mina				1

Tabela 110: Fatores de conversão para resíduos sólidos segundo a AEE

Assim sendo, os resíduos sólidos quantificados nos inventários foram classificados de acordo com a Tabela 111, lembrando que os resíduos provenientes do uso de defensivos agrícolas não são considerados pela ferramenta de Análise de Ecoeficiência pois se caracterizam em emissões que em longo prazo provocarão como impacto a contaminação do solo e esta classe de impacto não está incluída na análise.

	resíduo municipal	resíduo industrial	resíduo de construção	resíduo de mineração
Resíduos não especificados		1		
Resíduos não inertes		1		
Resíduos sólidos oleosos		1		
Resíduos processuais		1		
cinzas	1	1		
Enxofre		1		
Catalisador usado		1		
Resíduo da mineração				1
Lama		1		
Resíduo não apatítico		1		
Magnetita	1			
Ferro (Fe)	1			
Pentóxido de fósforo(P ₂ O ₅)		1		
Borra de enxofre		1		
Sulfato de cálcio (CaSO ₄)		1		
Silica (SiO ₂)		1		
Fluor (F)		1		
Glicina substituída	RESÍDUOS ORIUNDOS DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NÃO CONSIDERADOS			
metilcarbamato de naftila				
organofosforado				
triazol				
cloroacetanilida				

Tabela 111: Classificação dos resíduos sólidos quantificados no inventário

Desta forma, os aspectos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, expressos em termos dos aspectos considerados pela ferramenta de Análise de Ecoeficiência da BASF são apresentados na Tabela 112.

	unid.	SSA		SST		SSE		TOTAL	
		DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA
resíduo municipal	kg/UF	9,23E+01	2,21E+02					9,23E+01	2,21E+02
resíduo industrial	kg/UF	5,49E+02	8,73E+02	3,60E-03	6,65E-02		2,87E+00	5,49E+02	8,76E+02
resíduo de construção	kg/UF								
resíduo de mineração	kg/UF	1,51E+02	2,42E+02					1,51E+02	2,42E+02

Tabela 112: Resíduos sólidos por unidade funcional

Conforme mencionado na revisão bibliográfica, a ferramenta de Análise de Ecoeficiência atribui peso 1 para os resíduos municipais; peso 5 para os resíduos industriais; peso 0,2 para resíduos de construção civil e peso 0,04 para resíduos de mineração. Portanto, o valor total após a devida ponderação da categoria *resíduos sólidos* é exibido na Tabela 113 com a consequente normalização.

	unid.	TOTAL PONDERADO	
		DENDÊ	SOJA
resíduo municipal	kg/UF	9,23E+01	2,21E+02
resíduo industrial	kg/UF	2,75E+03	4,38E+03
resíduo de construção	kg/UF		
resíduo de mineração	kg/UF	6,06E+00	9,68E+00
TOTAL RESÍDUOS SÓLIDOS		2,85E+03	4,61E+03
Normalização		0,62	1

Tabela 113: Normalização da categoria “resíduos sólidos”

1.12.1.2.4 Total da categoria *rejeitos*

A categoria “rejeitos” abrange as emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos. O resumo da normalização dessas três categorias pode ser observado na Tabela 114.

	TOTAL	
	DENDÊ	SOJA
Emissões atmosféricas	1	0,65
Efluentes líquidos	1	0,30
Resíduos sólidos	0,62	1

Tabela 114: Resumo das categorias contidas em “rejeitos”

Para a agregação das emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos na categoria “rejeitos”, utilizou-se o mesmo critério visto para a agregação de EE, DCO, FFO e CA em “emissões atmosféricas”, ou seja, através dos fatores de relevância e fatores de opinião (social).

Os fatores de relevância, como visto anteriormente, dependem da emissão total no local de estudo (Brasil). O volume crítico de água anual para diluir as substâncias emitidas

nos efluentes líquidos no Brasil foram determinados pela equipe de Ecoeficiência da BASF e são exibidos na Tabela 115. A mesma Tabela exibe o valor total de resíduos sólidos gerados anualmente no Brasil, já ponderados para resíduos municipais, industriais, de mineração e de construção civil, determinados pela mesma equipe.

	unid.	BRASIL
Efluentes Líquidos	1000000 t	1,67E+05
Resíduos Sólidos	1000000 t	2,35E+02

Tabela 115: Efluentes líquidos e resíduos sólidos emitidos anualmente no Brasil

De acordo com o método de cálculo apresentado na revisão bibliográfica (página 14), calcula-se então a relevância das categorias *efluentes líquidos* e *resíduos sólidos*, sendo os resultados exibidos na Tabela 116.

	RELEVÂNCIA
Efluentes Líquidos	0,0000028245%
Resíduos Sólidos	0,0000019624%

Tabela 116: Relevância das categorias *efluentes líquidos* e *resíduos sólidos*

A relevância das emissões atmosféricas é calculada, de acordo com a metodologia da ferramenta de Análise de Ecoeficiência da BASF, por uma ponderação entre os fatores de relevância e fatores de opinião das categorias EE, DCO, FFO e CA, somada a maior relevância das quatro categorias, dividido por dois, como pode ser observado na equação a seguir, onde: o fator de opinião é expresso como “S” e a relevância é expressa como “V”.

$$\left[\begin{array}{c} \text{RELEVÂNCIA} \\ \text{emissões} \\ \text{atmosféricas} \end{array} \right] = \frac{\left\{ \left(S \cdot V \right)_{EE} + \left(S \cdot V \right)_{DCO} + \left(S \cdot V \right)_{FFO} + \left(S \cdot V \right)_{CA} \right\} + \left(\text{maior valor de } V \right)}{2}$$

Os valores de S e V, assim como o valor calculado para a relevância de emissões atmosféricas são exibidos na Tabela 117.

Categoria de impacto	Fator de opinião (fator social) - S	RELEVÂNCIA	S * V	maior valor de V	Relevância de Emissões atmosféricas
EE	30%	0,00000037%	0,00000011%	M	(T+M)/2
DCO	28%	0,00000000%	0,00000000%		
FFO	19%	0,00000014%	0,00000003%		
CA	23%	0,00000016%	0,00000004%		
		TOTAL - T	0,00000017%	0,00000037%	0,0000002745%

Tabela 117: Cálculo da relevância da categoria *emissões atmosféricas*

De posse das relevâncias das categorias *efluentes líquidos*, *resíduos sólidos* e *emissões atmosféricas*, foi possível calcular o fator de relevância da cada uma (peso em %) como mostra a Tabela 118.

	RELEVÂNCIA	PESO (%)
Emissões atmosféricas	0,0000002745%	5%
Efluentes Líquidos	0,0000028245%	56%
Resíduos Sólidos	0,0000019624%	39%
TOTAL	0,0000050613%	100%

Tabela 118: Cálculo do fator de relevância das três categorias contidas em *rejeitos*

Os fatores de opinião pública, como dito anteriormente, refletem o grau de importância atribuído pela sociedade a cada categoria de impacto e são apresentados na Tabela 119.

Categoria de impacto	Fator de opinião (fator social)
Emissões atmosféricas	34%
Efluentes Líquidos	38%
Resíduos Sólidos	27%

Tabela 119: Fatores de opinião das categorias de impacto referentes a rejeitos

A ponderação da média geométrica entre os fatores de relevância (R) e os fatores de opinião (S), fornece o fator de ponderação total que é apresentado na Tabela 120.

	Fator de relevância - R (%)	Fator de opinião - S (%)	Média Geométrica $\sqrt{R*S}$	Fator de ponderação total (%)
Emissões atmosféricas	5%	34%	14%	15%
Efluentes Líquidos	56%	38%	46%	50%
Resíduos Sólidos	39%	27%	33%	35%
TOTAL	100,00%	100%	92%	100%

Tabela 120: Fator de ponderação para as categorias de rejeitos

Utilizando-se os valores normalizados apresentados na Tabela 114 (Tabela resumo), juntamente com os fatores de ponderação exibidos na Tabela 120, foi possível chegar a um único valor de rejeitos para cada alternativa, através da média ponderada. A categoria agregada agora em “rejeitos” recebe então o mesmo critério de normalização visto anteriormente, como mostra a Tabela 121.

Categorias	Valor Normalizado		Fator de ponderação
	DENDÊ	SOJA	
Emissões atmosféricas	1	0,65	15%
Efluentes líquidos	1	0,30	50%
Resíduos sólidos	0,62	1	35%
REJEITOS	0,87	0,60	
NORMALIZAÇÃO	1,00	0,69	

Tabela 121: Normalização da categoria “rejeitos”

Cálculo da média ponderada:

$$(\text{REJEITOS})_{\text{dendê}} = (1*0,15 + 1*0,50 + 0,62*0,35)/(0,15+0,50+0,35) = 0,87$$

$$(\text{REJEITOS})_{\text{soja}} = (0,65*0,15 + 0,30*0,50+1*0,35)/(0,15+0,50+0,35) = 0,60$$

1.12.1.3 Consumo de material (recursos naturais)

Os recursos naturais identificados e quantificados nos inventários dos óleos de soja e palma, que serão considerados neste estudo pela ferramenta de Análise de Ecoeficiência são: petróleo, carvão, gás natural, urânio, enxofre, rocha potássica, rocha fosfática, calcário e biomassa como mostra a Tabela 122. Cabe salientar que a ferramenta pode incluir e analisar outros recursos de forma conveniente para cada estudo em questão.

RECURSOS	unid.	SSA		SST		SSE		TOTAL	
		DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA	DENDÊ	SOJA
Carvão	kg/UF	1,59E+01	5,52E+00	3,83E-03	6,42E-02	3,77E-03	1,53E+00	1,59E+01	7,11E+00
Petróleo	kg/UF	3,74E+01	6,91E+01	2,84E+00	4,76E+01	2,80E+00	3,56E+00	4,31E+01	1,20E+02
Gás Natural	kg/UF	3,47E+01	8,13E+00	1,08E-01	1,82E+00	1,07E-01	1,63E-01	3,49E+01	1,01E+01
Enxofre	kg/UF	2,40E+01	3,79E+01					2,40E+01	3,79E+01
Rocha Fosfática	kg/UF	7,23E+02	1,35E+03					7,23E+02	1,35E+03
Uranio	kg/UF	2,24E-04	7,80E-05	8,06E-08	1,35E-06	7,95E-08	2,14E-05	2,24E-04	1,01E-04
Calcário	kg/UF		5,30E+02						5,30E+02
Rocha Potássica	kg/UF	4,95E+01	7,93E+01					4,95E+01	7,93E+01
Biomassa	kg/UF						3,05E+02		3,05E+02

Tabela 122: Recursos naturais por unidade funcional para a produção dos óleos de soja e palma

Conforme o que foi visto na revisão bibliográfica, cada recurso natural utilizado é ponderado de acordo com sua reserva, gerando posteriormente fatores individuais de ponderação através da equação apresentada na revisão bibliográfica, página 18.

As reservas mundiais com seus respectivos anos de duração e fatores de ponderação de cada recurso natural considerado podem ser observados na Tabela 123.

RECURSOS	Reserva mundial (milhões de toneladas)	Duração da reserva mundial (anos)	Fator de ponderação
Carvão	4,87E+05	162,0	1,13E-01
Petróleo	1,72E+05	46,6	3,54E-01
Gás Natural	1,24E+05	65,0	3,52E-01
Enxofre	5,00E+03	84,7	1,54E+00
Rocha Fosfática	5,40E+03	77,0	1,55E+00
Uranio	2,30E+00	37,0	1,08E+02
Calcário	1,80E+07	500,0	1,05E-02
Rocha Potássica	1,80E+07	336,0	1,29E-02
Biomassa	1,00E+13	10000,0	3,16E-06

Tabela 123: Fator de ponderação para a categoria de *utilização de recursos naturais*

Multiplicando-se o total do uso de recursos naturais de cada alternativa pelo seu respectivo fator de ponderação e efetuando-se posteriormente a somatória, obtém-se o valor normalizado de cada alternativa para esta categoria como mostra a Tabela 124.

RECURSOS	TOTAL PONDERADO	
	DENDÊ	SOJA
Carvão	1,80E+00	8,01E-01
Petróleo	1,52E+01	4,25E+01
Gás Natural	1,23E+01	3,56E+00
Enxofre	3,69E+01	5,83E+01
Rocha Fosfática	1,12E+03	2,09E+03
Uranio	2,43E-02	1,09E-02
Calcário		5,59E+00
Rocha Potássica	6,37E-01	1,02E+00
Biomassa		9,65E-04
TOTAL	1,19E+03	2,20E+03
NORMALIZAÇÃO	0,54	1

Tabela 124: Normalização da categoria consumo de material (recursos naturais)

1.12.1.4 Potencial de Toxicidade

Conforme mencionado na revisão bibliográfica, todos os materiais envolvidos no sistema de produto estudado são classificados de acordo com as “frases R” que, de acordo com a metodologia de AEE, são divididos em grupos de 0 a 6 (de não tóxicos a extremamente tóxicos). Cada grupo recebe uma pontuação de acordo com o grau de toxicidade, sendo a pontuação mais elevada (1000 pontos) atribuída a produtos extremamente tóxicos.

A equipe de Ecoeficiência da BASF efetuou estudos de toxicidade de materiais quanto ao seu uso e quanto à sua fabricação, ou seja, considerando as implicações toxicológicas dos produtos utilizados como matéria-prima (pré-cadeia do produto principal).

Com base nestes estudos, foram identificados os produtos considerados no sistema de produto deste estudo, quanto ao seu uso e produção, como consta na Tabela 125.

TOXICIDADE	Frases R	PONTUAÇÃO DE TOXICIDADE			
		unidade	USO	PRODUÇÃO	TOTAL
Diesel	R23/25 R11	kg	550	893	1443
Fertilizante Nitrogenado	R 36/37/38, R44	kg	300	856	1156
Fertilizante Fosfatado	R 34	kg	300	450	750
Fertilizante Potássico	0	kg	0	0	0
Calcário	R 36	kg	100	0	100
solvente (hexano)	R67, R38, R48/20, R62	kg	750	1125	1875

Tabela 125: Pontuação de toxicidade dos produtos considerados nos sistemas de produto

Para um melhor entendimento da Tabela anterior leia-se como exemplo: para a produção de 1 kg de diesel, a toxicidade dos materiais utilizados totaliza 893 pontos, enquanto

a toxicidade para o uso de 1 kg de diesel é de 550 pontos, totalizando um potencial de toxicidade para o diesel de 1443 pontos.

No que diz respeito aos defensivos agrícolas, considerou-se o potencial de toxicidade apenas relativo ao seu uso, uma vez que a produção dos mesmos está fora do escopo deste estudo. Para se atribuir pontuação toxicológica sobre o uso destes produtos, foi considerada a classificação toxicológica utilizada pela ANVISA (2006), onde se estabeleceu uma relação com os grupos considerados pela ferramenta de AEE, como mostra a Tabela 126.

CLASSIFICAÇÃO	CLASSE ANVISA	GRUPO AEE	PONTOS
Extremamente Tóxico	I	6	1000
Altamente tóxico	II	5	750
Medianamente tóxico	III	4	550
Pouco Tóxico	IV	2 e 3	350
Quase atóxico	V	0 e 1	100

Tabela 126: Hipótese adotada para pontuação toxicológica de defensivos agrícolas na AEE

Segundo a ANVISA (2006) os defensivos agrícolas considerados neste estudo possuem classificação toxicológica de acordo com a Tabela 127, a qual exhibe igualmente a pontuação utilizada para a AEE.

Defensivo	Ingrediente ativo	ANVISA		ECOEFIÊNCIA	
		CLASSIFICAÇÃO	CLASSE	GRUPO	PONTOS
inseticida	Triclorfom	altamente tóxico	II	5	750
fungicida	Tebucunazol	pouco tóxico	IV	2 e 3	350
fungicida	Flutriafol	medianamente tóxico	III	4	550
herbicida	Alachlor	medianamente tóxico	III	4	550
herbicida	Glifosato	pouco tóxico	IV	2 e 3	350
inseticida	Acefato	medianamente tóxico	III	4	550
inseticida	Carbaryl	altamente tóxico	II	5	750

Tabela 127: Pontuação toxicológica sobre o uso de defensivos agrícolas

De acordo com os dados levantados na análise do inventário, os fluxos de entrada de diesel, fertilizante nitrogenado, fertilizante fosfatado, fertilizante potássico, calcário, solvente (hexano) e defensivos agrícolas para a produção de 1 kg dos respectivos óleos vegetais são mostrados na Tabela 128.

Produção de 1 kg de óleo vegetal			
FLUXOS	unidade	SOJA	PALMA
Diesel	kg	0,2695	0,0259
Fertilizante - N	kg	0,0146	0,0414
Fertilizante - P	kg	0,1463	0,0414
Fertilizante - K	kg	0,1463	0,0414
Calcário	kg	1,4620	
Solvente (hexano)	kg	0,0074	
Triclorfom	kg	0,0014611	
Tebucunazol	kg	0,0001826	
Flutriafol	kg	0,0001826	
Alachlor	kg	0,0048215	
Acefato	kg		0,00000059
Glifosato	kg		0,00288
Carbaril	kg		0,001153333

Tabela 128: Fluxos considerados para a produção de 1 kg de óleo de soja e 1 kg de óleo de palma

Sabe-se, porém que, de acordo com o escopo deste estudo, são necessários 953,18 kg de óleo de soja para produzir biodiesel capaz de gerar 40 GJ, sendo que este óleo é responsável por 38% da carga ambiental em estudo. Em se tratando do óleo de palma, são necessários 951,37 kg de óleo para produzir a mesma carga energética de biodiesel, sendo que este óleo é responsável por 84% da carga ambiental em estudo. Desta forma, o fluxo de entrada, após a devida adequação ao fluxo de referência e aplicação do fator de alocação é apresentado na Tabela 129.

FLUXOS	unidade	ÓLEO DE SOJA	ÓLEO DE PALMA	PONTUAÇÃO TOXICOLÓGICA
Diesel	kg	9,76E+01	2,07E+01	1443
Fertilizante - N	kg	5,30E+00	3,31E+01	1156
Fertilizante - P	kg	5,30E+01	3,31E+01	750
Fertilizante - K	kg	5,30E+01	3,31E+01	0
Calcário	kg	5,30E+02		100
Solvente (hexano)	kg	2,67E+00		1875
Triclorfom	kg	5,29E-01		750
Tebucunazol	kg	6,62E-02		350
Flutriafol	kg	6,62E-02		550
Alachlor	kg	1,75E+00		550
Acefato	kg		4,71E-04	550
Glifosato	kg		2,30E+00	350
Carbaril	kg		9,22E-01	750

Tabela 129: Consumo materiais para produzir óleo de soja e óleo de palma que serão utilizados para produção de biodiesel capaz de gerar 40 GJ de energia

Multiplicando-se o consumo de materiais de cada alternativa pelo seu respectivo fator de ponderação (pontuação toxicológica) e efetuando-se posteriormente a somatória, obtém-se o valor normalizado de cada alternativa para esta classe de impacto como mostra a Tabela 130.

FLUXOS	Total ponderado	
	ÓLEO DE SOJA	ÓLEO DE PALMA
Diesel	1,41E+05	2,99E+04
Fertilizante - N	6,13E+03	3,82E+04
Fertilizante - P	3,97E+04	2,48E+04
Fertilizante - K	0,00E+00	0,00E+00
Calcário	5,30E+04	
Solvente (hexano)	5,01E+03	
Triclorfom	3,97E+02	
Tebucunazol	2,32E+01	
Flutriafol	3,64E+01	
Alachlor	9,61E+02	
Acefato		2,59E-01
Glifosato		8,06E+02
Carbaril		6,91E+02
TOTAL	2,46E+05	9,44E+04
NORMALIZAÇÃO	1	0,38

Tabela 130: Normalização da categoria “potencial de toxicidade”

1.12.1.5 Uso da Terra

De acordo com o que foi dito na revisão bibliográfica, a ferramenta de Análise de Ecoeficiência determina esta classe de impacto com base no estudo suíço de Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt et al (1996). Este estudo classifica as áreas ocupadas durante o ciclo de vida de diversos produtos e serviços, na qual foi possível identificar alguns dos produtos e serviços considerados nos sistemas de produto deste estudo, como mostra a Tabela 131.

USO DA TERRA	unidade	AREA III [m2*ano]	AREA IV [m2*ano]	AREA V [m2*ano]	Total de área ocupada [m2*ano]	Área Transformada - ÁREA II [m2*ano]
Diesel	kg	0,078	0,010	4,3E-04	0,088	-0,088
Fertilizante - N	kg	0,033	0,005	0,001	0,039	-0,039
Fertilizante - P	kg	0,042	0,003	0,003	0,048	-0,048
Fertilizante - K	kg	0,042	0,003	0,003	0,048	-0,048
Calcário	kg	3,1E-04	0,001	1,1E-06	0,001	-0,001
solvente (hexano)	kg	0,0685	0,0097	0,0004	0,079	-0,079
energia elétrica	GJ	1,282	0,028	0,002	1,313	-1,313
transporte caminhões de 16 t	tkm			0,015	0,015	-0,015
transporte caminhões de 28 t	tkm			0,014	0,014	-0,014
transporte caminhões de 40 t	tkm			0,014	0,014	-0,014

Tabela 131: Uso da terra de produtos e serviços considerados por este estudo
Fonte: Gruppe Energie-Stoffe-Umwelt et al (1996)

Para um perfeito entendimento da Tabela 131 leia-se como exemplo: para a produção de 1 kg de diesel são necessárias 0,078 m²*ano de área III, 0,010 m²*ano de área IV e 4,3E-04 m²*ano de área V; para a produção de 1 GJ de energia elétrica são necessárias 1,282 m²*ano de área III, 0,028 m²*ano de área IV e 0,002 m²*ano de área V; para o transporte de 1 tkm em caminhões de 28 t são necessárias 0,014 m²*ano de área V. A área transformada é igual ao total de área ocupada com o sinal negativo.

Os totais de áreas ocupadas para a produção de 1 kg de óleo de soja e 1 kg de óleo de palma, exibidos na Tabela 132, foram calculados segundo as premissas adotadas para a análise do inventário de cada sistema de produto, cujo método de cálculo é comentado em seguida.

USO DA TERRA	unidade	AREA III [m ² *ano]	AREA IV [m ² *ano]	AREA V [m ² *ano]	Total de área ocupada [m ² *ano]	Área Transformada - ÁREA II [m ² *ano]
óleo de soja	kg	18,274	2,11E-04	0,0377	18,312	-18,312
óleo de palma	kg	3,1192	1,88E-04	2,25E-03	3,122	-3,122

Tabela 132: Áreas ocupadas para a produção de 1 kg de óleo de soja e 1 kg de óleo de palma

○ Uso da terra para produção de óleo de soja

.De acordo com o AGRIANUAL (2006), em um hectare são produzidos anualmente 2.880 kg de grãos de soja. Esta produtividade diz respeito à produtividade média na região central do Brasil, que segundo os dados estatísticos da CONAB (2006) é responsável por mais de 50% da produção brasileira de grãos de soja.

De acordo com a equação apresentada na revisão bibliográfica (p.21), se em um hectare (10000 m²) são produzidos em um ano uma média de 2880 kg de soja, a ocupação da terra correspondente para a produção de 1 tonelada de grãos é expressa em 3472,2 m²*ano. Portanto, para a produção de 1 kg de grãos de soja a área ocupada é de 3,472 m²*ano. Como para a produção de 1 kg de óleo de soja são necessários 5,263 kg de grãos (considerando 19% de óleo contido nos grãos), a área ocupada na agricultura (ÁREA III) corresponde a 18,274 m²*ano.

Segundo a SECOM (2002), um parque industrial de 36 mil m² de área construída, possui capacidade para processar 3000 t/ dia de grãos de soja, o que corresponde a 900000 t/ano (considerando 300 dias/ano). Desta forma, têm-se uma ocupação de 0,04

$\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ para o processamento de 1 t de grãos. Portanto, para o processamento de 5,263 kg de grãos, a área ocupada (ÁREA IV) é de $2,11\text{E-}04 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}$.

Para o cálculo da área ocupada pelo transporte dos grãos de soja provenientes da área agrícola até a usina extratora (ÁREA V), utilizou-se o valor de $0,014 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}$ por tkm de grãos de soja transportados em caminhões de 28 toneladas (Tabela 131). De acordo com o que foi visto no inventário do subsistema transporte de grãos de soja, têm-se o valor de 498 tkm de grãos de soja, portanto para 1 tonelada de soja a área ocupada corresponde a $7,157 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}$. Como para a produção de 1 kg de óleo de soja são necessários 5,263 kg de grãos, a área ocupada no transporte (ÁREA V) corresponde a $0,0377 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}$.

○ Uso da terra para produção de óleo de palma

.De acordo com os dados de produtividade fornecidos pelo AGRIANUAL (2006) mostrados na revisão bibliográfica, este estudo adota que, em um período de um ano, em um hectare são produzidos em média 16.030 kg de CFF. Esta produtividade é a média aritmética estimada dentro de seu ciclo de 28 anos, considerando o ano zero como o ano de plantio e os dois anos anteriores ao ano zero como berçário e pré-viveiro.

De acordo com a equação apresentada na revisão bibliográfica (p.21), se em um hectare são produzidos em um ano uma média de 16.030 kg de CFF, a ocupação da terra correspondente para a produção de 1 tonelada de CFF é expressa em $623,89 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}$. Portanto, para a produção de 1 kg CFF a área ocupada é de $0,6239 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}$. Como para a produção de 1 kg de óleo de palma são necessários 5 kg de CFF (considerando 20% de óleo contido nos CFF), a área ocupada na agricultura (ÁREA III) corresponde a $3,1192 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}$.

Segundo Crepaldi (2006)²⁶, para uma produção média de 110.000 toneladas de óleo de palma, a área ocupada pelas quatro indústrias do Grupo Agropalma é de 20.676 m^2 . Desta forma, têm-se uma ocupação de $1,88\text{E-}04 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}$ para a produção de 1 kg de óleo de palma (ÁREA IV).

Para o cálculo da área ocupada pelo transporte dos CFF provenientes da área agrícola até a usina extratora (ÁREA V), utilizou-se o valor de $0,015 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}$ por tkm de CFF transportados em caminhões de 16 toneladas (Tabela 131). De acordo com o que foi visto no inventário do subsistema transporte de CFF, têm-se o valor de 30 tkm de CFF, portanto para 1 tonelada de CFF a área ocupada corresponde a $0,45 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}$. Como para a produção de 1 kg

²⁶ Comunicação pessoal com Sr. Luis Carlos Crepaldi, diretor técnico da Agropalma, durante visita ao parque industrial de extração de óleo de palma no Estado do Pará.

de óleo de palma são necessários 5 kg de CFF, a área ocupada no transporte (ÁREA V) corresponde a $2,25E-03m^2 \cdot \text{ano}$.

De acordo com os dados levantados na análise do inventário, os fluxos de entrada de diesel, fertilizante - N, fertilizante - P, fertilizante - K, calcário, solvente (hexano), energia elétrica e transporte em caminhões de 28 t para a produção de 1 kg dos respectivos óleos vegetais são mostrados na Tabela 133.

Produção de 1 kg de óleo vegetal			
FLUXOS	unidade	SOJA	PALMA
Diesel	kg	0,2695	0,0259
Fertilizante - N	kg	0,0146	0,0414
Fertilizante - P	kg	0,1463	0,0414
Fertilizante - K	kg	0,1463	0,0414
Calcário	kg	1,4620	
Solvente (hexano)	kg	0,0074	
Energia elétrica	GJ	0,0015	0,00155
Transporte caminhões de 28 t	tkm	1,3580	0,280402

Tabela 133: Fluxos para a produção de 1 kg de óleo de soja e 1 kg de óleo de palma

Cabe ressaltar que para o cálculo do consumo de diesel para a produção de 1 kg de óleo de soja e 1 kg de óleo de palma, foi contabilizado o consumo de diesel para produção de fertilizantes, transporte dos nutrientes até o misturador, transporte da formulação NPK do misturador até a lavoura, operações mecanizadas, produção de calcário, transporte do calcário e transporte dos grãos. Para o cálculo do consumo de diesel para a produção de 1 kg de óleo de palma, foi contabilizado o consumo de diesel para produção de fertilizantes, transporte dos nutrientes até o misturador, transporte da formulação NPK do misturador até a lavoura, operações mecanizadas e transporte dos CFF. O mesmo raciocínio de contabilizar os fluxos no ciclo de vida do sistema de produto considerado foi adotado para o cálculo do consumo de energia elétrica e transporte em caminhões de 28 t.

Agrupando-se os dados das Tabelas 132 e 133, obtém-se a área total para a produção de 1 kg de óleo de soja e 1 kg de óleo de palma e o resultado pode ser observado na Tabela 134.

PRODUÇÃO DE 1 KG DE ÓLEO										
USO DA TERRA	ÁREA III [m2*ano]		ÁREA IV [m2*ano]		ÁREA V [m2*ano]		Total de área ocupada [m2*ano]		Área Transformada - ÁREA II [m2*ano]	
	SOJA	PALMA	SOJA	PALMA	SOJA	PALMA	SOJA	PALMA	SOJA	PALMA
Diesel	2,09E-02	2,01E-03	2,78E-03	2,67E-04	1,16E-04	1,12E-05	2,38E-02	2,29E-03	-2,38E-02	-2,29E-03
Fertilizante - N	4,82E-04	1,36E-03	7,19E-05	2,03E-04	1,13E-05	3,19E-05	5,65E-04	1,60E-03	-5,65E-04	-1,60E-03
Fertilizante - P	6,11E-03	1,73E-03	5,00E-04	1,41E-04	4,80E-04	1,36E-04	7,09E-03	2,00E-03	-7,09E-03	-2,00E-03
Fertilizante - K	6,11E-03	1,73E-03	5,00E-04	1,41E-04	4,80E-04	1,36E-04	7,09E-03	2,00E-03	-7,09E-03	-2,00E-03
Calcário	4,55E-04		7,78E-04		1,59E-06		1,23E-03		-1,23E-03	
Solvente (hexano)	5,05E-04		7,12E-05		2,96E-06		5,79E-04		-5,79E-04	
Energia elétrica	1,91E-03	1,99E-03	4,26E-05	4,42E-05	3,62E-06	3,75E-06	1,96E-03	2,03E-03	-1,96E-03	-2,03E-03
Transporte caminhões de 28 t					1,95E-02	4,03E-03	1,95E-02	4,03E-03	-1,95E-02	-4,03E-03
Óleo de soja	1,83E+01		2,11E-04		3,77E-02		1,83E+01		-1,83E+01	
Óleo de palma		3,12E+00		1,88E-04		2,25E-03		3,12E+00		-3,12E+00
TOTAL	1,83E+01	3,13E+00	4,95E-03	9,85E-04	5,83E-02	6,60E-03	1,84E+01	3,14E+00	-1,84E+01	-3,14E+00

Tabela 134: Área total para a produção de 1 kg de óleo de soja e 1 kg de óleo de palma

Convertendo o total da Tabela anterior ao fluxo de referência e aplicando-se o fator de alocação, tem-se então na Tabela 135 o uso da terra total para a fabricação de óleo vegetal para produzir biodiesel capaz de gerar 40 GJ de energia.

	Óleo de soja	Óleo de palma	PESO
ÁREA II [m2*ano]	-6,66E+03	-2,51E+03	1,50
ÁREA III [m2*ano]	6,63E+03	2,50E+03	2,25
ÁREA IV [m2*ano]	1,79E+00	7,87E-01	5,06
ÁREA V [m2*ano]	2,11E+01	5,27E+00	7,59

Tabela 135: Uso da terra para produzir matérias-primas de biodiesel capaz de gerar 40 GJ de energia

Multiplicando-se o total do uso da terra de cada alternativa pelo seu respectivo fator de ponderação e efetuando-se posteriormente a somatória, obtém-se o valor normalizado de cada alternativa para esta classe de impacto como mostra a Tabela 136.

	TOTAL PONDERADO	
	Óleo de soja	Óleo de palma
ÁREA II [m2*ano]	-9,98E+03	-3,76E+03
ÁREA III [m2*ano]	1,49E+04	5,62E+03
ÁREA IV [m2*ano]	9,07E+00	3,98E+00
ÁREA V [m2*ano]	1,60E+02	4,00E+01
TOTAL	5,11E+03	1,91E+03
NORMALIZAÇÃO	1	0,37

Tabela 136: Normalização da classe de impacto “uso da terra”

1.12.1.6 Avaliação do potencial de riscos

Esta avaliação compreende na avaliação simplificada de riscos de acidentes de trabalho para a produção de óleo de soja e óleo de palma, considerando as etapas de cultivo e extração do óleo.

De acordo com o Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho (2003), a quantidade de acidentes do trabalho registrados, por motivo, segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), no Brasil em 2003 é apresentada na Tabela 137..

CÓDIGO CNAE	Descrição da atividade	2003			
		TÍPICO	TRAJETO	DOENÇAS	TOTAL
24139	Fabricação de Fertilizantes Fosfatados, Nitrogenados e Potássicos	401	25	12	438
1155	Cultivo de Soja	214	14	1	229
15318	Produção de óleos Vegetais em Bruto	391	42	9	442

Tabela 137: Quantidade de acidentes do trabalho registrados em 2003

Por questões de representatividade comparativa entre os dois óleos vegetais, serão considerados apenas os acidentes típicos (decorrentes da característica da atividade profissional desempenhada pelo acidentado), uma vez que o acidente de trajeto é o acidente ocorrido no trajeto entre a residência e o local de trabalho do segurado, e vice-versa; e a doença profissional aquela produzida ou desencadeada pelo exercício do trabalho peculiar a determinado ramo de atividade, dados estes indisponíveis para as duas alternativas.

De acordo com a Agropalma (2006)²⁷, o total de acidentes registrados em seu complexo industrial de 5 empresas no ano de 2005 é apresentado na Tabela 138.

Descrição da atividade	ACIDENTES
Cultivo do dendezeiro	440
Produção de óleo de palma	79
TOTAL	519

Tabela 138: Quantidade de acidentes registrados em 2005

Para o cálculo da ocorrência dos acidentes acima descritos de forma coerente, considerou-se que: a produção de fertilizantes fosfatados, nitrogenados e potássicos em 2003 totalizaram 9353 mil toneladas (ANDA, 20007); a produção de grãos de soja em 2003 foi de 51875 mil toneladas (ABIOVE, 2006); a produção de óleo de soja em 2003 foi de 5349 mil toneladas (ABIOVE, 2006); a produção de CFF pelo Grupo Agropalma em 2005 foi de 550

²⁷ Comunicação pessoal com a equipe de segurança do trabalho do grupo Agropalma, em ocasião de visita ao complexo agroindustrial em fevereiro/2006

mil toneladas e a produção de óleo de palma pelo mesmo Grupo, no mesmo ano foi de 110 mil toneladas. Desta forma, a ocorrência dos acidentes é apresentada na Tabela 139.

	produção (kg)	acidentes	ocorrência (acidentes/kg)
Fertilizantes N, P e K	9353177000	401	4,29E-08
Soja	51875000000	214	4,13E-09
Óleo de soja	5349000000	391	7,31E-08
Cachos de frutos frescos	550000000	440	8,00E-07
Óleo de palma	110000000	79	7,18E-07

Tabela 139: Estimativa da ocorrência de acidentes

Ao transformar as ocorrências de acidentes para o fluxo de referência, após aplicar o fator de alocação, temos a ocorrência por unidade funcional exibida na Tabela 140.

	OCORRÊNCIA (acidentes/UF)	
	SOJA	CFF
Fertilizantes N, P e K	4,77E-06	4,26E-06
Cultivo	7,86E-06	3,20E-03
Extração do óleo	2,65E-05	5,74E-04

Tabela 140: Estimativa da ocorrência de acidentes por unidade funcional

De acordo com o exposto na revisão bibliográfica, fez-se ainda necessário a classificação dos riscos quanto à severidade de suas consequências, pois o potencial de risco avaliado pela ferramenta de AEE considera o produto entre a ocorrência de cada risco com sua respectiva severidade. Esta classificação é feita com atribuição de pesos de 1 a 10 para cada risco, na qual a pontuação aumenta com o aumento da gravidade do acidente.

Segundo dados fornecidos pela equipe de segurança do trabalho do Grupo Agropalma, a severidade dos acidentes identificados para a o cultivo do dendezeiro são apresentados na Tabela 141.

	eventos	severidade
Quedas	24	1
Cortes	34	7
Aerodispersóides nos olhos	68	1
Contato com espinhos do dendê	156	1
Lesões musculares	107	1
Acidentes de Trânsito interno	44	5
outros	7	1
TOTAL	440	

Tabela 141: Severidade dos acidentes no cultivo da palma

De acordo com a Tabela anterior, podemos observar que 82% dos eventos possuem severidade “1”; 10% dos eventos possuem severidade “5” e apenas 8% dos eventos possuem severidade “7”. Desta forma, será adotada uma severidade “2” para o cultivo da palma (média ponderada).

Segundo dados fornecidos pela mesma equipe, a severidade dos acidentes identificados para a extração do óleo de palma são apresentados na Tabela 142.

	eventos	severidade
Quedas	60	1
Lesões musculares	10	1
Queimaduras	9	1
TOTAL	79	

Tabela 142: Severidade dos acidentes na extração do óleo de palma

Neste caso, como em geral os eventos identificados são de baixa gravidade, será adotada uma severidade “1” para a extração do óleo de palma.

Segundo Fabre (2007)²⁸, os principais riscos atribuídos à extração do óleo de soja são: contato do solvente com os olhos, explosão asfíxia, aprisionamento dos membros e queda. Desta forma, como os acidentes normalmente possuem alta gravidade, o grau de severidade é adotado como “9”.

A severidade dos riscos pertinentes à cultura da soja está diretamente ligada ao uso dos equipamentos agrícolas, no caso os tratores. Segundo Debiasi, Schlosser e Wiles (2004), a maior parte dos acidentes com conjuntos tratorizados é causada por atitudes inseguras, por esta razão, foi atribuída uma severidade 4 para o cultivo da soja. Vale ressaltar que, como a ocorrência de acidentes no cultivo da soja é muito baixa (devido ao grande volume de grãos produzidos), o grau de severidade quase não interfere no resultado da análise.

Na ausência de dados específicos para a atribuição da severidade dos acidentes na indústria de fertilizantes adotou-se a severidade média de “5”.

O resumo das severidades adotadas é apresentado na Tabela 143.

	SEVERIDADE	
	SOJA	CFF
Fertilizantes Fosfatados, Nitrogenados e Potássicos	5	5
Cultivo	4	2
Extração do óleo	9	1

Tabela 143: Nível de severidade dos riscos de acidentes

²⁸ Comunicação pessoal com Nilo Fabre Junior, Engenheiro de Segurança do Trabalho da COCAMAR em janeiro/2007

O cálculo do potencial de risco de acidentes de trabalho para as duas alternativas é feito pelo produto entre a ocorrência e a severidade. Após a somatória, é feita a normalização, como pode ser observado na Tabela 144.

	POTENCIAL DE RISCO	
	SOJA	PALMA
Fertilizantes N, P e K	2,39E-05	2,13E-05
Cultivo	3,15E-05	6,39E-03
Extração do óleo	2,38E-04	5,74E-04
TOTAL	2,94E-04	6,99E-03
NORMALIZAÇÃO	0,04	1

Tabela 144: Normalização da classe potencial de riscos de acidentes

1.12.1.7 Impressão Ecológica

Após a obtenção dos valores normalizados de cada classe de impacto (apresentados na Tabela 145), obtém-se o gráfico denominado “impressão ecológica” (exibido na Figura 35), cuja visualização possibilita uma avaliação preliminar com a identificação das classes menos favoráveis para cada alternativa.

	SOJA	PALMA
POTENCIAL DE RISCOS	0,04	1,00
POTENCIAL DE TOXICIDADE	1,00	0,38
USO DA TERRA	1,00	0,37
CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS	1,00	0,54
TOTAL DE REJEITOS	0,67	1,00
CONSUMO DE RECURSOS ENERGÉTICOS	1,00	0,37

Tabela 145: Resumo das classes de impacto normalizadas

Figura 35: Impressão ecológica

Através da impressão ecológica é possível observar que o óleo de soja é a alternativa menos favorável nas classes: consumo de energia, uso da terra, consumo de recursos naturais e potencial de toxicidade. O óleo de palma, por sua vez é menos favorável nas categorias: rejeitos e potencial de riscos.

1.12.1.8 Cálculo do índice ambiental

As classes normalizadas, apresentadas na Tabela 145, são agora agregadas para a formação de um único valor para cada alternativa, denominado de índice ambiental. Esta agregação é feita da mesma forma em que foi feita a agregação das classes contidas em “rejeitos”, ou seja, considerando os fatores de relevância e fatores de opinião pública (social).

Os fatores de opinião pública refletem o grau de importância atribuído a cada classe de impacto, são apresentados na Tabela 146.

Classe de Impacto	Fator de opinião (fator social)
POTENCIAL DE RISCOS	14,31%
POTENCIAL DE TOXICIDADE	18,45%
USO DA TERRA	11,52%
CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS	17,48%
TOTAL DE REJEITOS	19,90%
CONSUMO DE RECURSOS ENERGÉTICOS	18,34%

Tabela 146: fatores de opinião social para as classes de impacto analisadas pela ferramenta de AEE

Os fatores de relevância, como visto anteriormente, dependem do total de consumo e emissões no local de estudo (Brasil). Os valores totais anuais de consumo de recursos materiais, consumo de recursos energéticos e uso da terra, foram determinados pela equipe de Ecoeficiência da BASF tendo como referência o Earth Trends (2003) e são exibidos na Tabela 147.

	unid.	BRASIL
Consumo de recursos materiais	1000000 t	1,21E+02
Consumo de recursos energéticos	PJ	7,42E+03
Uso da terra	1000 km ²	1,34E+04

Tabela 147: Valor total anual de uso da terra, consumo de recursos materiais e energéticos no Brasil

O valor total de consumo de recursos materiais, consumo de recursos energéticos e uso da terra, determinados no contexto deste estudo são exibidos na Tabela 148.

	unid.	SOJA	PALMA
Consumo de recursos materiais	kg/(a*1000t) E 1/2 /UF	2,20E+03	1,19E+03
Consumo de recursos energéticos	MJ/UF	1,20E+04	4,47E+03
Uso da terra	m ² *a/UF	5,11E+03	1,91E+03

Tabela 148: Valor de uso da terra, consumo de recursos materiais e energéticos por unidade funcional

De acordo com o método de cálculo apresentado na revisão bibliográfica (página 14), calcula-se então a relevância de cada categoria de impacto, como mostra a Tabela 149.

	RELEVÂNCIA
Consumo de recursos materiais	0,0000018146%
Consumo de recursos energéticos	0,0000000312%
Uso da terra	0,0000000381%

Tabela 149: Relevância do uso da terra, consumo de recursos materiais e energéticos.

Para o cálculo da relevância da classe “*total de rejeitos*”, a metodologia de AEE considera a média entre a somatória dos produtos dos fatores de relevância (V) e fatores de opinião (S) das classes: emissões atmosféricas (EA), efluentes líquidos (EL) e resíduos sólidos (RS) e a maior relevância das três categorias, como pode ser observado na equação a seguir.

$$\left[\begin{array}{c} \text{RELEVÂNCIA} \\ \text{rejeitos} \end{array} \right] = \frac{\left\{ \left[\begin{array}{c} S \cdot V \\ \text{EA} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} S \cdot V \\ \text{EL} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} S \cdot V \\ \text{RS} \end{array} \right] \right\} + \left[\begin{array}{c} \text{maior valor} \\ \text{de V} \end{array} \right]}{2}$$

Os valores de S e V, assim como o valor calculado para a relevância da classe total de rejeitos são exibidos na Tabela 150.

Categoria de impacto	Fator de opinião (fator social) - S	RELEVÂNCIA - V	S * V	maior valor de V	Relevância de Rejeitos
Emissões atmosféricas (EA)	34%	0,0000002745%	0,00000009%	M	(T+M)/2
Efluentes líquidos (EL)	38%	0,0000028245%	0,00000108%		
Resíduos sólidos (RS)	27%	0,0000019624%	0,00000054%		
TOTAL - T			0,00000171%	0,00000282%	0,0000022677%

Tabela 150: Cálculo da relevância da classe *total de rejeitos*

A ferramenta de AEE da BASF não calcula fator de relevância para as classes potencial de toxicidade e potencial de riscos. Os fatores de opinião (social) são utilizados diretamente como fatores de ponderação.

Desta forma, os fatores de relevância (denominados na tabela como “peso” em %) para as classes consumo de recursos naturais, consumo de recursos energéticos, uso da terra e rejeitos são apresentados na Tabela 151.

	RELEVÂNCIA	PESO (%)
Consumo de recursos materiais	0,0000018146%	42,3%
Consumo de recursos energéticos	0,0000001613%	3,8%
Uso da terra	0,0000000381%	0,9%
Total de rejeitos	0,0000022714%	53,0%
TOTAL	0,0000042854%	100,0%

Tabela 151: Cálculo dos fatores de relevância

Como os fatores de ponderação das classes potencial de toxicidade e potencial de riscos são os próprios fatores de opinião, para o cálculo dos fatores de ponderação das classes consumo de recursos naturais, consumo de recursos energéticos, uso da terra e rejeitos utiliza-se a equação a seguir, sendo os resultados exibidos na Tabela 152.

$$\text{FATOR DE PONDERAÇÃO} = \frac{(\text{Total do fator de opinião}) * (\text{Média geométrica})}{(\text{Total da média geométrica})}$$

	Fator de relevância - R (%)	Fator de opinião - S (%)	Média $\sqrt{R \cdot S}$ Geométrica	Fator de ponderação (%)
Consumo de recursos materiais	42,34%	17,5%	27,2%	25,7%
Consumo de recursos energéticos	3,77%	18,3%	8,3%	7,8%
Uso da terra	0,89%	11,5%	3,2%	3,0%
Total de rejeitos	53,00%	19,9%	32,5%	30,7%
TOTAL		67,2%	71,2%	

Tabela 152: Cálculo dos fatores de ponderação

Desta forma, a Tabela 153 é um resumo contendo as classes de impacto com os respectivos valores normalizados de cada alternativa e os fatores de ponderação que serão utilizados para o cálculo do índice ambiental.

	SOJA	PALMA	Fator de ponderação (%)
POTENCIAL DE RISCOS	0,04	1,00	14,31%
POTENCIAL DE TOXICIDADE	1,00	0,38	18,45%
USO DA TERRA	1,00	0,37	3,02%
CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS	1,00	0,54	25,70%
TOTAL DE REJEITOS	0,67	1,00	30,67%
CONSUMO DE RECURSOS ENERGÉTICOS	1,00	0,37	7,85%

Tabela 153: Fatores de ponderação para o cálculo do índice ambiental

A ponderação é feita pelo produto do valor normalizado de cada alternativa e o respectivo fator de ponderação. O total ponderado de cada alternativa é o índice ambiental. A normalização do índice ambiental, entretanto, é feita pela divisão do total ponderado de cada alternativa pela média, como mostra a Tabela 154.

	PONDERAÇÃO		MÉDIA
	SOJA	PALMA	
POTENCIAL DE RISCOS DE ACIDENTES	0,006	0,143	
POTENCIAL DE TOXICIDADE	0,184	0,071	
USO DA TERRA	0,030	0,011	
CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS	0,257	0,139	
TOTAL DE REJEITOS	0,206	0,307	
CONSUMO DE ENERGIA	0,078	0,029	
TOTAL PONDERADO (índice ambiental)	0,762	0,700	0,731
ÍNDICE AMBIENTAL NORMALIZADO	1,043	0,957	

Tabela 154: Cálculo do índice ambiental

1.12.2 Vertente econômica

Conforme o que foi dito anteriormente na revisão bibliográfica, não existe um único método para a determinação da vertente econômica pela ferramenta de AEE. Este estudo aborda esta vertente através do levantamento dos custos envolvidos para a fabricação de cada óleo vegetal dentro do sistema de produto estudado, sendo este levantamento é denominado de avaliação econômica.

1.12.2.1 Avaliação econômica

- **SSA – Subsistema agrícola**

Segundo informações contidas no AGRIANUAL (2006), o custo de produção médio de CFF, durante toda a vida útil do dendezeiro é de R\$ 160,00/t, enquanto que o custo total de produção de uma saca de 60 kg de grãos de soja, na região de Sorriso-MT é de R\$24,29 (R\$ 0,41/kg). Para o dendê, estão embutidos os custos para a preparação inicial da área; custos das operações manuais; custos dos insumos (sementes, fertilizantes e defensivos) e custos administrativos (escritório, luz, telefone, depreciação, impostos, etc.). Para a soja, estão embutidos os custos das operações mecanizadas, insumos (fertilizantes, calcário, inoculante e defensivos agrícolas), custos administrativos e custos pós-colheita (armazenagem, secagem, pré-limpeza e taxa administrativa).

Para a obtenção de 951,37 kg de óleo de palma, são necessários 4756,85 kg de CFF (considerando 20% de teor de óleo contido nos cachos), portanto o custo agrícola para o fluxo de referência é de R\$ 761,09. Assim, após aplicação do critério de alocação anteriormente adotado (84%), o custo a ser utilizado no SSA do óleo de palma é de R\$ 639,32/UF.

Para a obtenção de 953,18 kg de óleo de soja, são necessários 5016,74 kg de soja (considerando 19% de teor de óleo contido nos grãos), portanto o custo agrícola para o fluxo de referência é de R\$ 2056,86, na qual após aplicação do critério de alocação anteriormente adotado (38%), o custo a ser utilizado no SSA do óleo de soja é de R\$ 781,61/ UF.

- **SST – Subsistema de transporte**

A título de comparação dos custos de transporte das duas oleaginosas, da agricultura até a usina extratora, optou-se por considerar o preço do diesel utilizado nesta operação.

De acordo com os dados do inventário do ciclo de vida do óleo de palma, são necessários $2,03 \times 10^{-2}$ kg de diesel para o transporte de 1 tkm de CFF. Portanto, para o transporte de 4756,85 kg de CFF por 30 km são utilizados 2,90 kg de diesel. Considerando a massa específica do diesel igual a 840 kg/m^3 (BEN, 2005), têm-se uma utilização de 3,45 litros de diesel que, a um preço médio de R\$ 1,99 / litro de diesel comercializado ao consumidor final no Estado do Pará (ANP, 2007), leva ao preço do transporte do fluxo de referência de R\$ 6,86. Após a aplicação do fator de alocação (84%), temos que o custo a ser utilizado no SST do óleo de palma é de R\$ 5,76 /UF.

De acordo com os dados do inventário do ciclo de vida do óleo de soja, são necessários $4,30 \times 10^{-2}$ kg de diesel para o transporte de 1 tkm de grãos. Portanto, para o transporte de 5016,74 kg de soja por 498 km são utilizados 107 kg de diesel. Considerando a massa específica do diesel igual a 840 kg/m^3 (BEN, 2005), têm-se uma utilização de 128 litros de diesel que, a um preço médio de R\$ 2,15 / litro de diesel comercializado ao consumidor final no Estado do Mato Grosso (ANP, 2007), leva ao preço do transporte do fluxo de referência de R\$ 254,50. Após a aplicação do fator de alocação (38%) , temos que o custo a ser utilizado no SST do óleo de soja é o equivalente a R\$ 96,71 /UF.

- **SSE – Subsistema de extração**

De acordo com Furlan et al (2004) e Bilich (2006), o custo de produção de uma tonelada de óleo de palma no Brasil é de aproximadamente US\$ 290,00. Desta forma, temos que a produção de 951,37 kg de óleo de palma acarretaria um custo de US\$ 275,90/UF (já alocado apenas para o óleo de palma). Admitindo-se que a taxa média do dólar para venda em 2005 tenha sido de R\$ 2,43 (INDICADORES, 2007), o custo total para a obtenção do óleo de palma seria de R\$ 670,43/UF. Subtraindo-se o custo agrícola (SSA) e o custo de transporte (SST), tem-se uma estimativa do custo do sistema de extração (SSE) de R\$ 25,30/UF.

Segundo Mandarino e Roessing (2001), o custo de extração de óleo bruto e farelo de soja em uma esmagadora que processa 2000 toneladas de soja por dia e que opera durante 300 dias por ano é de US\$ 8,10 por tonelada de soja processada. Este custo inclui custos com energia elétrica, outros combustíveis, solvente (hexano), mão de obra direta, materiais e despesas com manutenção, depreciação e serviços administrativos. Como para a obtenção de 953,18 kg de óleo de soja, são necessários 5016,74 kg de grãos, o custo convertido ao fluxo de referência é de US\$ 40,63. Após a aplicação do fator de alocação (38%), temos que o custo a ser utilizado no SSE do óleo de soja é o equivalente a US\$ 15,44 /UF. Admitindo-se a taxa

média do dólar para venda em 2005 de R\$ 2,43 (INDICADORES, 2007), o custo (em reais) é de R\$ 37,53/UF.

1.12.2.2 Cálculo do índice econômico

O índice econômico é determinado a partir do valor normalizado da soma de todos os custos envolvidos no sistema de produto, como pode ser observado na Tabela 155.

	CUSTOS (R\$/UF)	
	PALMA	SOJA
SSA	639,32	781,61
SST	5,76	96,71
SSE	25,34	37,52
TOTAL	670,43	915,84
Normalização	0,73	1

Tabela 155: Normalização dos índices econômicos

1.12.3 Matriz de Ecoeficiência

Até o presente momento, o resultado deste estudo se resume na Tabela 156 a seguir.

	PALMA	SOJA	MÉDIA
ÍNDICE AMBIENTAL	0,70	0,76	0,731
ÍNDICE ECONÔMICO	0,73	1,00	0,866
ÍNDICE AMBIENTAL NORMALIZADO PELA MÉDIA	0,96	1,04	
ÍNDICE AMBIENTAL NORMALIZADO PELO MÁXIMO VALOR	0,92	1,00	
ÍNDICE ECONÔMICO NORMALIZADO PELA MÉDIA	0,85	1,15	

Tabela 156: Resumo sobre os índices ambientais e econômicos das duas alternativas

Entretanto, para a definição das coordenadas que servirão de base para a construção da matriz de Ecoeficiência (mostrada na Figura 36), efetua-se uma nova ponderação onde são considerados: a média dos índices de cada alternativa; os desvios dos índices (ambiental e econômico) das respectivas médias; a normalização dos índices feita pela média e pelo máximo valor; todas as relevâncias ambientais estudadas e a relevância dos custos de cada alternativa sobre o PIB do país (como explicado na revisão bibliográfica). Desta forma, as coordenadas finais podem ser observadas na Tabela 157.

	PALMA	SOJA
COORDENADA AMBIENTAL	0,87	1,13
COORDENADA ECONÔMICA	0,95	1,05

Tabela 157: Sistema de coordenadas para a construção da matriz de Ecoeficiência

Figura 36: Matriz de Ecoeficiência

Aconselha-se o leitor, que deseje obter maiores detalhes sobre a obtenção das coordenadas de cada alternativa, entrar em contato com a equipe de Ecoeficiência da BASF através da Fundação Espaço-ECO, pois, como o objetivo deste trabalho era apresentar o resultado da Análise de Ecoeficiência de duas matérias-primas para obtenção de biodiesel através da utilização da ferramenta desenvolvida pela BASF, uma das exigências da companhia em autorizar a utilização da mesma foi preservar sua propriedade intelectual.

Esta ferramenta de Análise de Ecoeficiência foi auditada em 2002 por um instituto internacional independente, o TÜV Anlagentechnik GmbH. A ferramenta possui certificado número OE-ME II/160102 que confere confiabilidade à metodologia para avaliação dos resultados obtidos (TÜV, 2007).

DISCUSSÃO

Na classe de impacto denominada “consumo de energia”, apesar do SSA para cultivo da soja possuir uma grande quantidade de operações mecanizadas, o SSA para o cultivo do dendezeiro possui um consumo de energia 7,2% maior, como mostra a Figura 37. Este incremento de energia deve-se basicamente às energias relativas à produção de fertilizantes nitrogenados. A soja quase não utiliza fertilizante nitrogenado em seu cultivo, enquanto que a palma utiliza uma quantidade 84% superior por unidade funcional.

Figura 37: Comparativo do consumo de energia entre os subsistemas dos óleos de soja e palma

As fontes de energia utilizadas para a composição do SSA das duas alternativas são exibidas na Figura 38, na qual do total de energia empregado, têm-se que para a palma, 6% é proveniente do carvão; 37% do petróleo; 2% do gás natural e 55% de outras fontes de energia enquanto que para a soja, 2% é proveniente do carvão; 73% do petróleo; 3% do gás natural e 21% de outras fontes de energia.

Figura 38: fontes de energia que compõem o subsistema agrícola da palma e soja

Já o SST da soja consome cerca de 17 vezes mais energia do que o SST da palma, como mostra a Figura 39 devido ao fato da indústria de extração do óleo de palma ser localizada nas proximidades da área de cultivo, o que resulta em uma pequena distância percorrida entre a lavoura e a usina extratora. Esta é uma condição essencial para a extração do óleo de palma, uma vez que os CFF devem ser processados em no máximo 48 horas após a colheita para não comprometer a qualidade do óleo extraído. A principal fonte de energia deste subsistema é o petróleo (matéria-prima para o diesel utilizado no transporte).

Figura 39: fontes de energia que compõem o subsistema de transporte de CFF e grãos

O baixo consumo de energia no SSE do óleo de palma é consequência da auto-suficiência energética na usina de extração deste óleo, pois as fibras e cascas provenientes do

fruto da palma (dendê) são queimadas na caldeira para geração de energia, necessitando apenas uma pequena quantidade de óleo diesel, como energia externa, para ocasiões de *start-up*. Por outro lado, a usina de extração do óleo de soja necessita parcialmente da aquisição de energia elétrica da rede pública assim como necessita adquirir o combustível para a caldeira, no caso, cavacos (biomassa). As fontes de energia utilizadas para a composição do SSE das duas alternativas são exibidas na Figura 40, na qual é possível notar a predominância da biomassa para a extração do óleo de soja.

Figura 40: fontes de energia que compõem o subsistema de extração de óleo de soja e palma

A Figura 41 apresenta, de forma comparativa, o total das fontes de energia para a obtenção dos óleos de soja e palma, após a somatória de todos os subsistemas considerados.

Figura 41: fontes de energia para obtenção dos óleos de soja e palma

Vale ressaltar que a palma também utiliza biomassa como fonte de energia, porém, como se trata de uma utilização de resíduos do processo (fibras e cascas do fruto), a entrada desta biomassa não é considerada no sistema.

A classe analisada como “rejeitos” engloba os impactos consequentes dos resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas, que por sua vez, avalia as seguintes categorias de impacto: efeito estufa (EE); destruição da camada de ozônio (DCO), formação fotoquímica de ozônio (FFO) e chuva ácida (CA).

Dentre os potenciais impactos provocados pelas emissões atmosféricas, não houve emissões que caracterizassem a destruição da camada de ozônio, portanto esta categoria foi desconsiderada.

A Figura 42 mostra que o CO₂ é o gás emitido em maior quantidade pelas duas alternativas, com relação aos outros gases.

Figura 42: emissões atmosféricas para a produção dos óleos de soja e palma

No subsistema agrícola adotado para o estudo da palma, 64% das emissões de CO₂ são provenientes da fabricação dos fertilizantes empregados no cultivo, 19% são emitidos devido ao uso destes fertilizantes, 12% por consequência do transporte dos fertilizantes e apenas 5% estão relacionados às operações mecanizadas. No caso do SSA da soja, as emissões de CO₂ estão assim distribuídas: produção de NPK 36%; uso de NPK 3%; transporte de NPK 16%; operações mecanizadas 35%; produção de calcário 1% e transporte de calcário 10%. A comparação das duas alternativas pode ser observada na Figura 43.

Figura 43: origem do CO₂ emitido no subsistema agrícola da soja e palma

Como podemos constatar nas Figuras 42 e 43, o fato da palma utilizar uma quantidade superior de fertilizantes nitrogenados faz com que a emissão de CO₂ no subsistema agrícola (SSA) seja equiparada à da soja, embora as emissões das operações mecanizadas desta cultura sejam maiores.

No SST, a soja apresenta maiores emissões de CO₂ devido à distância percorrida entre a agricultura e a usina extratora ser maior que aquela percorrida pela outra alternativa em estudo.

No SSE, entretanto, a palma é responsável pela maior emissão de CO₂ pelo fato de depender exclusivamente da queima da biomassa para a geração de energia. Neste caso, as fibras e cascas do fruto dendê, que são queimadas, possuem um elevado teor de carbono, teor este superior ao contido nos cavacos utilizados pela indústria de óleo de soja.

Não devemos esquecer que tanto a cultura da soja como a da palma sequestram CO₂ da atmosfera para a realização da fotossíntese. De acordo com o exibido na Figura 44, para a produção de óleo de soja que irá servir de matéria-prima na fabricação de biodiesel capaz de gerar 40GJ de energia, a absorção de CO₂ é maior na agricultura da soja do que na agricultura da palma. Este resultado é consequência do fato de que são necessários 6619 m²*a/UF de área para o cultivo da soja e 2493 m²*a/UF para o cultivo da palma, ou seja, para a obtenção da unidade funcional estudada (com o devido fator de alocação aplicado), a soja necessita de uma área 3 vezes maior, sendo este resultado refletido na absorção de CO₂.

Figura 44: balanço de CO₂ para a produção de óleo de soja e óleo de palma

Portanto, todo o CO₂ gerado pelo ciclo de vida de obtenção dos óleos de soja e palma será absorvido, restando ainda um saldo de CO₂ que poderá ser compensado durante as etapas de produção, distribuição e uso do biodiesel.

Para o cálculo da categoria de impacto “efeito estufa” são consideradas as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O em gramas de CO₂ equivalente. Neste cálculo, o potencial de absorção de CO₂ no SSA, é representado com o sinal negativo. A Figura 45 exibe a contribuição ao efeito estufa quando ocorre a produção dos óleos de soja e palma, considerando os três subsistemas estudados (SSA, SST e SSE), no qual o valor negativo apresentado no SSA representa a capacidade de absorção de CO₂ pelas respectivas culturas e reproduz o potencial que cada alternativa tem em contribuir para a redução deste impacto. Neste subsistema, a soja possui melhor desempenho do que a palma devido sua cultura abranger uma área maior de cultivo, como dito anteriormente, aumentando assim a área foliar necessária para a absorção do CO₂. No SST, entretanto o desempenho do dendê é melhor, por se tratar de um menor percurso entre a agricultura e a usina extratora, o que ocasiona menores emissões atmosféricas. Já no SSE, o desempenho das duas oleaginosas é semelhante.

Figura 45: potencial de contribuição para o efeito estufa

O potencial de contribuição para a formação fotoquímica de ozônio, calculado a partir das emissões de metano e compostos orgânicos voláteis (não metano), é exibido na Figura 46. No SSA o potencial das duas alternativas é semelhante por conta das emissões dos referidos compostos serem bastante próximas, nas duas alternativas. No SST e SSE a soja apresenta

maior potencial de contribuição por razão da distância percorrida e utilização do solvente hexano, respectivamente.

Figura 46: potencial de contribuição para a formação fotoquímica de ozônio

Já o potencial de contribuir com a chuva ácida, cujo cálculo é feito a partir das emissões de SO_x, NO_x, NH₃ e HCl (em gramas de SO₂ equivalente) é apresentado na Figura 47. O dendê, no SSA, contribui para esta categoria com um valor mais representativo do que a soja em virtude da emissão do NH₃ (que possui um maior fator de equivalência) proveniente da aplicação de fertilizantes nitrogenados ser maior. No SST o grau de contribuição da soja é maior também por razão da maior distância percorrida proporcionar maiores níveis de emissões atmosféricas e no SSE o dendê contribui mais pelo fato de ser maior a emissão de NO_x devido à queima das fibras e cascas na caldeira.

Figura 47: potencial de contribuição para a chuva ácida

A agregação das categorias de impacto EE, DCO, FFO e CA em uma única categoria de emissões atmosféricas é feita através de um sistema de ponderações entre a relevância de cada categoria e a opinião de pessoas sobre o grau de importância das mesmas.

Embora o fator de opinião sobre a importância da categoria DCO seja de 28%, esta categoria não é relevante neste estudo pois não existem emissões que poderiam causar a destruição da camada de ozônio. Desta forma, o fator de ponderação total utilizado é distribuído apenas entre as três categorias consideradas: EE (50%), FFO (23%) e CA (27%) como mostra a Figura 48.

Figura 48: obtenção do fator total de ponderação para agregação das categorias de emissões atmosféricas

Como o óleo de palma se apresentou diante da ferramenta como a alternativa menos favorável nas categorias com maior fator de ponderação (EE e CA – Tabela 106), conseqüentemente seu desempenho também foi pior para a classe agregada “emissões atmosféricas”, de acordo com o mestrado na Figura 49.

Figura 49: comparativo entre os valores normalizados da classe “emissões atmosféricas”

Com o foco na comparação dos efluentes líquidos das duas alternativas através da somatória dos volumes de água necessários para a diluição de cada poluente (volume crítico), a alternativa menos favorável é a palma devido aos elevados índices de DBO e DQO contidos no efluente líquido da usina de extração do óleo, como pode ser visto na Figura 50. O fruto da palma (dendê) contém água e, durante o processo de extração do óleo, esta água é retirada por decantação, saindo no efluente líquido junto com a água de lavagem. Desta forma, o efluente possui uma grande quantidade de material graxo impregnado, justificando assim os elevados valores de DBO e DQO.

Figura 50: Comparação do volume crítico para a produção dos óleos de soja e palma

O maior volume crítico atribuído à soja, no subsistema agrícola, é resultante do potencial de fósforo, proveniente da aplicação de fertilizantes fosfatados, atingir os corpos d'água. Do ponto de vista de saúde, o enriquecimento da água em fósforo não traz maiores problemas, já que se trata de um elemento requerido em elevadas quantidades pelos animais em geral. Por outro lado, este enriquecimento pode trazer sérios problemas em termos de desequilíbrio dos ecossistemas aquáticos devido ao processo de eutrofização, que consiste da proliferação exagerada de algas e plantas aquáticas. Como consequência, pode haver redução da penetração de luz em profundidade, alterando o ambiente subaquático. Além disso, a própria respiração e os restos de plantas e algas mortos depositados no fundo provocam a redução na disponibilidade de oxigênio, culminando com a mortandade de peixes e outros organismos. Entretanto, a categoria de impacto “eutrofização” não é considerada na análise dos efluentes líquidos pela ferramenta de AEE da BASF, que buscou englobar todos os possíveis impactos ambientais provocados pelos efluentes líquidos com o cálculo do volume crítico, que permite comparar qual das alternativas é mais favorável.

Embora no caso-base a ferramenta tenha utilizado a legislação cujos limites são estabelecidos pelo *Regulation on requirements for discharge of wastewater into surface waters*, existe a possibilidade da utilização de uma legislação local. Contudo, o resultado comparativo do volume crítico não é afetado pela razão de que, mesmo se o limite fosse inferior, o volume de água necessária para diluição aumentaria proporcionalmente de forma semelhante entre as duas alternativas. Dentro da possibilidade de se avaliar separadamente cada alternativa, no Brasil existem duas legislações que tratam sobre os limites de poluentes

em águas superficiais: a nível federal (Resolução CONAMA 357/2005) e a nível do Estado de São Paulo (Decreto 8468/76). A opção será sempre pela legislação mais restritiva.

Em se tratando dos resíduos sólidos, como pode ser observado na Figura 51, o SSA da soja é o responsável pelo seu desempenho desfavorável devido à maior quantidade de resíduos industriais gerados durante a fabricação dos fertilizantes fosfatados.

Figura 51: Comparação de resíduos sólidos para a produção dos óleos de soja e palma

De forma similar aos efluentes líquidos, o fato da ferramenta considerar pesos de acordo com o custo médio de descarte dos resíduos sólidos na Europa, não interfere no resultado final da análise por ser esta estritamente comparativa.

A agregação das categorias emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos em uma única classe de “rejeitos” é feita através de um sistema de ponderações entre a relevância de cada categoria e a opinião de pessoas sobre o grau de importância das mesmas.

Embora o fator de opinião sobre a importância da categoria “emissões atmosféricas” ser de 34%, esta categoria mostrou ser a menos relevante neste estudo (6%). Por outro lado, a categoria “efluentes líquidos” apresenta uma alta relevância (56%) e alta importância perante a opinião pública (38%) enquanto a categoria “resíduos sólidos” apresenta média relevância (39%) e média importância (27%). Desta forma, a Figura 52 exhibe que os fatores de ponderação total utilizados neste estudo para a agregação das categorias são: 15% (emissões atmosféricas), 50% (efluentes líquidos) e 35% (resíduos sólidos).

Figura 52: obtenção do fator total de ponderação para agregação das categorias de rejeitos

O óleo de palma se apresentou como a alternativa menos favorável nas categorias “emissões atmosféricas” e “efluentes líquidos” (Tabela 121). Seu desempenho também foi menos favorável para a classe agregada “rejeitos”, como mostra a Figura 53.

Figura 53: comparativo entre os valores normalizados da classe “rejeitos”

Em se tratando da classe de impacto “consumo de recursos naturais”, de acordo com o que pode ser observado na Figura 54, o recurso natural de maior relevância neste estudo é a rocha fosfática para a obtenção do fósforo empregado nos fertilizantes fosfatados. Desta maneira, a alternativa mais favorável é a palma por necessitar menor quantidade deste fertilizante.

Figura 54: comparação do uso de recursos naturais

Para a classe “potencial de toxicidade”, de acordo com a pontuação toxicológica adotada neste estudo, o óleo de soja possui maior potencial de toxicidade durante seu ciclo produtivo pois estão sendo contabilizados os potenciais toxicológicos advindos da produção e uso do diesel (que possui alta pontuação de toxicidade) e, como durante todo o ciclo de vida de produção do óleo de soja há um consumo maior de diesel, este óleo é o menos favorável nesta classe de impacto. O segundo item a contribuir com este desempenho foi o uso do calcário. Apesar deste uso ser classificado pelas frases R com baixa pontuação de toxicidade, o grande volume de calcário empregado aumenta sua pontuação. Entretanto, não obstante o solvente hexano ter tido a maior pontuação dos materiais utilizados, a quantidade empregada não o torna significativo nesta categoria, como pode ser observado na Figura 55.

Figura 55: Comparação do potencial de toxicidade

No que diz respeito à classe “potencial de riscos”, como pode ser observado na Figura 56, a alternativa menos favorável é a palma em consequência das operações de colheita serem manuais, com o uso de ferramentas de corte. Além disso, como a ocorrência dos acidentes é calculada com base no número de acidentes registrados por volume de óleo produzido, o fato da produção de óleo de soja ser muito superior o torna a melhor alternativa.

Figura 56: Comparação do potencial de riscos de acidentes

Quanto à classe de impacto “uso da terra”, os subsistemas de extração e de transportes não interferem no resultado final que aponta a palma como sendo a alternativa mais favorável. Como pode ser notado na Figura 57, a agricultura das oleaginosas é o principal fator de contribuição para a análise desta categoria. A produtividade de soja por hectare, em um ano de produção, é inferior à produtividade de CFF por hectare em um mesmo período, por esta razão, a obtenção da quantidade necessária de grãos de soja que irão servir de matéria-prima para a produção de biodiesel capaz de gerar 40 GJ de energia, requer uma área maior de cultivo, mesmo após a aplicação do fator de alocação.

Figura 57: comparação do uso da terra para a obtenção dos óleos de soja e palma

O uso da terra é tratado na ferramenta de AEE da BASF como um aspecto que pode ser quantificado em termos de superfície utilizada (em $m^2 \cdot \text{ano}$), sendo que a ponderação é feita pela dificuldade que determinada área enfrentaria para retornar ao seu estado original. Esta é a razão pela qual, por convenção, a área transformada possui sinal negativo.

Alguns impactos ambientais provenientes do uso da terra não são abordados pela ferramenta devido a dificuldade de quantificação, como a redução da biodiversidade e a degradação do solo. O desmatamento de uma vegetação diversificada para a plantação de uma mono-cultura é uma violação contra a biodiversidade do planeta, porém os indicadores de redução da biodiversidade devem ser retratados quanto aos impactos sobre a fauna e flora, o que torna difícil sua quantificação.

Segundo dados fornecidos pela CONAB (2006), a área ocupada com a agricultura da soja na região central do Brasil teve um acréscimo de 179% nos últimos 10 anos, como pode ser observado na Figura 58.

Figura 58: Evolução do uso da terra para agricultura da soja no Brasil

Entretanto, é na região central do Brasil que estão localizados os “Cerrados”. Segundo o MRE (2007), “Cerrado” é o nome regional dado às savanas brasileiras, e trata-se de uma das principais áreas de ecossistemas tropicais da Terra, sendo um dos centros prioritários para a preservação da biodiversidade do planeta.

Como podemos observar na Figura 59, o Cerrado é o segundo maior bioma do país, sendo superado apenas pela floresta amazônica.

Figura 59: biomas brasileiros (IBAMA, 2007)

Devido à grande adaptabilidade da cultura da soja às condições de clima e solos brasileiros, esta é apta para cultivo em toda extensão territorial do país. Os municípios brasileiros produtores de soja podem ser notados na Figura 60, na qual é possível observar a concentração na região dos Cerrados.

Figura 60: Municípios produtores de soja no Brasil (WWF-Brasil,2003)

Já a palma possui condições favoráveis para o seu plantio na região que se estende a 10 graus acima e abaixo da linha do equador (exatamente na região da floresta amazônica), como mostra a Figura 61.

Figura 61: Áreas propícias para a produção de óleo de palma (AGROPALMA,2006)

Portanto, para uma análise mais minuciosa do impacto sobre o uso da terra para a produção de biodiesel, seria necessária uma avaliação dos impactos causados sobre a qualidade da terra a ser utilizada.

A agregação das classes normalizadas (consumo de energia, consumo de recursos naturais, rejeitos, uso da terra, potencial de toxicidade e potencial de riscos) foi feita através de um sistema de ponderações considerando a relevância de cada classe (com exceção das classes potencial de riscos e de toxicidade) e a opinião de pessoas sobre o grau de importância das mesmas. Embora o fator de opinião sobre a importância da categoria “uso da terra” seja de 11,5%, a ferramenta demonstra que esta classe é a menos relevante deste estudo (0,89%). Por outro lado, a classe “total de rejeitos” apresenta uma alta relevância (53%) e média importância perante a opinião pública (19,9%). Da mesma forma, a classe “consumo de recursos naturais” apresenta alta relevância (42,34%) e média importância (17,7%), enquanto que a classe “consumo de recursos energéticos” apresenta baixa relevância (3,77%) e média importância perante a opinião social (18,3%). As classes “potencial de riscos” e “potencial de toxicidade” apresentam apenas fatores de opinião (importância). Desta forma, a Figura 62

exibe que os fatores de ponderação utilizados neste estudo para a agregação das categorias são: 25,7% (consumo de recursos naturais), 7,8% (consumo de recursos energéticos), 3% (uso da terra), 30,7% (rejeitos), 14,3% (potencial de riscos) e 18,4% (potencial de toxicidade).

Figura 62: obtenção do fator total de ponderação para agregação das classes de impacto e cálculo do indicador ambiental

O óleo de palma se apresentou como a alternativa menos favorável nas classes “rejeitos” e “potencial de riscos” (tabela 153), que possuem em conjunto um peso de aproximadamente 45%. Por esta razão, este óleo apresenta um melhor desempenho ambiental quando comparado ao óleo de soja que representou desempenho menos favorável nas classes “potencial de toxicidade”, “uso da terra”, “consumo de recursos naturais” e “consumo de recursos energéticos” que possuem em conjunto um peso de aproximadamente 55%.

A avaliação econômica efetuada neste estudo demonstra que 95% do custo de produção do óleo de palma é relativo ao subsistema agrícola, enquanto 1% diz respeito ao transporte da oleaginosa até a usina extratora e 4% à extração propriamente dita, enquanto no caso do óleo de soja, 85% refere-se à parte agrícola, 11% ao transporte e 4% à extração, como pode ser visto na Figura 63.

Figura 63: Avaliação econômica comparativa

1.13 Análise crítica do estudo

A Ferramenta de Análise de Ecoeficiência desenvolvida pela BASF foi projetada para abordagens "cradle to grave", portanto, como este estudo aborda um sistema "cradle to gate", algumas limitações foram enfrentadas. O fato de o sistema absorver mais CO₂ do que emitir, ocasionou uma emissão de CO₂ com o sinal negativo e consequentemente, a contribuição para o efeito estufa também negativo (o que significa que a contribuição seria para a redução do efeito estufa e não para o acréscimo do mesmo). Entretanto, para o cálculo da relevância sobre a contribuição ao efeito estufa, a ferramenta considera o maior valor em módulo das duas alternativas (contribuição de redução) sobre o total de contribuição de acréscimo ao efeito no país. Por outro lado, caso a abordagem fosse do "berço ao túmulo", ou seja, considerando as etapas de produção, distribuição e uso do biodiesel de cada óleo vegetal estudado, o balanço de CO₂ não seria negativo e a limitação apresentada passaria a não existir. Todavia, esta limitação não interfere no resultado da análise, pois, como a ferramenta é comparativa, o cálculo é feito a fim de determinar a maior relevância de uma alternativa em relação à outra (tanto para efeitos positivos como para efeitos negativos). Por esta razão, a adoção do maior valor em módulo.

No final da análise, quanto maior o fator de relevância, maior será a importância desta classe ambiental para o sistema de produto estudado. O peso atribuído à classe "uso da terra" foi baixo devido à sua baixa relevância. Esta "baixa relevância" do uso da terra é um conceito

em curto prazo, para a atualidade em que o Brasil se encontra de possuir uma grande área disponível para expansão agrícola. Entretanto, não podemos esquecer que o biodiesel é um projeto de substituição do petrodiesel em longo prazo. A análise talvez seria mais completa, se entrassem conceitos de visão estratégica de longo prazo, com taxas anuais de crescimento esperado nos próximos 10, 20 , 30 ou 100 anos para o cálculo da relevância.

Durante a execução da análise, foi possível observar também que não houve um tratamento específico para o uso de defensivos agrícolas (emissões).

1.13.1 Análise de sensibilidade

Como a ferramenta utiliza fatores subjetivos de ponderação (fatores de opinião), efetuou-se uma análise de sensibilidade para saber o nível de influência dos mesmos no resultado.

Em primeiro lugar estabeleceu-se ponderações máximas e mínimas para as classes de impacto em estudo como mostra a Tabela 158.

	FATORES DE OPINIÃO (IMPORTÂNCIA DAS CLASSES)						
	estudo	cenários máximos e mínimos					
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Consumo de recursos materiais	17,5%	1%	1%	1%	1%	1%	95%
Consumo de recursos energéticos	18,3%	1%	1%	1%	1%	95%	1%
Uso da terra	11,5%	1%	1%	1%	95%	1%	1%
Total de rejeitos	19,9%	1%	1%	95%	1%	1%	1%
Potencial de riscos de acidentes	14,3%	1%	95%	1%	1%	1%	1%
Potencial de toxicidade	18,4%	95%	1%	1%	1%	1%	1%

Tabela 158 : fatores de opinião (máximos e mínimos) para análise de sensibilidade

O resultado desta análise pode ser observado na Tabela 159 a seguir.

Tabela 159: Resultado da análise de sensibilidade para fatores de opinião máximos e mínimos

Como podemos observar na Tabela 159, ao se atribuir valor máximo para as classes em que o óleo de palma se mostrou como a alternativa menos favorável (rejeitos e potencial de riscos de acidentes), houve uma inversão do resultado, ou seja, o óleo de soja passou a ser a alternativa mais ecoeficiente (cenários 2 e 3). Nos outros cenários, na qual se atribuiu valor máximo para as classes em que o óleo de palma se mostrou como a alternativa mais favorável, houve apenas um distanciamento do desempenho ambiental entre as duas alternativas.

Para a determinação do nível de sensibilidade, efetuou-se outras simulações com os fatores de opinião, variando-se gradativamente os valores dos cenários 2 e 3.

Em primeiro lugar, efetuou-se a variação no cenário 2, como mostra a Tabela 160.

	estudo	variações no cenário 2							
		(2.1)	(2.2)	(2.3)	(2.4)	(2.5)	(2.6)	(2.7)	(2.8)
Consumo de recursos materiais	17,5%	2%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%
Consumo de recursos energéticos	18,3%	2%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%
Uso da terra	11,5%	2%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%
Total de rejeitos	19,9%	2%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%
Potencial de riscos de acidentes	14,3%	90%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
Potencial de toxicidade	18,4%	2%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabela 160: Simulação da variação do fator de opinião sobre a classe potencial de riscos

O resultado desta variação pode ser observado na Tabela 161 a seguir.

Tabela 161: Análise de sensibilidade da variação do fator de opinião para a classe potencial de riscos

Em segundo lugar, efetuou-se a variação no cenário 3, como mostra a Tabela 162.

	estudo	variações no cenário 3							
		(3.1)	(3.2)	(3.3)	(3.4)	(3.5)	(3.6)	(3.7)	(3.8)
Consumo de recursos materiais	17,5%	2%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%
Consumo de recursos energéticos	18,3%	2%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%
Uso da terra	11,5%	2%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%
Total de rejeitos	19,9%	90%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
Potencial de riscos de acidentes	14,3%	2%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%
Potencial de toxicidade	18,4%	2%	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabela 162: simulação da variação do fator de opinião sobre a classe rejeitos

O resultado desta variação pode ser observado na Tabela 163.

Tabela 163: Análise de sensibilidade da variação do fator de opinião para a classe rejeitos

Cabe ressaltar que a análise de sensibilidade sobre os fatores de opinião foi feita apenas com a importância atribuída pelo público às classes de impacto analisadas no estudo (consumo de energia, consumo de recursos, uso da terra, rejeitos, toxicidade e riscos) e constam na impressão ecológica. O estudo considera outros fatores de opinião que para a análise de sensibilidade foram mantidos os originais do estudo: importância das categorias de impacto de emissões atmosféricas (EE, DCO, FFO e CA) e importância das categorias de impacto de rejeitos (emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos).

O resultado desta análise de sensibilidade indica que os fatores subjetivos (de opinião) interferem no resultado final, principalmente nas classes onde a distância entre as alternativas, no gráfico de impressão ecológica (Figura 32) é maior.

1.13.2 Avaliação qualitativa da consistência dos dados

Frente a grande dificuldade em se obter dados primários para a composição do inventário do ciclo de vida, pois a maioria das empresas trata esses dados com confidencialidade, este estudo adota em parte dados secundários, como pode ser observado na Tabela 164. Entretanto, o estudo se torna consistente a medida em que as fontes secundárias consultadas são de domínio público, publicadas em anuários, periódicos e artigos publicados em jornais, revistas e sites de âmbito nacional e internacional, o que dá ao leitor a oportunidade de reproduzir este trabalho.

Os resultados de um inventário do ciclo de vida, de forma geral, são bastante sensíveis à determinação dos limites do sistema, a qual é sempre problemática com relação às avaliações. As compensações, os prós e contras das escolhas tecnológicas, no tempo e no espaço se cruzam com a multiplicidade dos limites dos sistemas industriais. O método exige grande detalhamento dos dados, os quais nem sempre estão disponíveis ou padronizados.

De acordo com Steen (2006), o inventário do ciclo de vida de um produto reúne principalmente a compilação de dados, teorias e valores no qual os dados se dividem entre os observados empiricamente e os não observados; as teorias se dividem entre as previstas e as não previstas e os valores se dividem entre os aceitáveis e os não aceitáveis. O grau de incerteza deveria ser, portanto calculado como um desvio em relação a um estudo aceito como referência, desde que observadas as mesmas condições adotadas, estudo este, inexistente até a presente data.

	INVENTÁRIOS	INFORMAÇÃO	FONTE DE INFORMAÇÃO	
			PALMA	SOJA
SSA	produção agrícola	entrada de insumos e produtividade	AGRIANUAL,2006	AGRIANUAL,2006
		sequestro de carbono	calculado com base em Silva et al(2000)	calculado de acordo com Scopel et al(2005),(PADUA ET AL,2006) e Nemecek(2004)
		entrada de água	EMBRAPA,2006b	EMBRAPA,2005
	produção de fertilizante nitrogenado	aspectos da produção do nutriente N no Brasil	Silva, Ribeiro e Kulay,2005	
	produção de fertilizante fosfatado	aspectos da produção do nutriente P no Brasil	TSP - Kulay,2004	SSP - Silva, Ribeiro e Kulay,2005
	produção de fertilizante potássico	aspectos da produção do nutriente K no Brasil	Silva, Ribeiro e Kulay,2005	
	Transporte de fertilizantes	distâncias percorridas	calculado - estimado	calculado - estimado
		aspectos do transporte	banco de dados - SIMAPRO (PRÉ-CONSULTANTS, 2006)	
	uso de fertilizantes	emissões de N	(SCHMIDT,2004)	IPCC.(1996); Lewis ,Newbold e Tzilivakis (1999) e Nemecek et al(2004)
		emissões de P	(SCHMIDT,2004)	comunicação pessoal com EMBRAPA,2007
		emissões de K	(SCHMIDT,2004)	EMBRAPA,2005
		emissões de CO2	Nemecek(2005) e verificado pela estequiometria da reação de decomposição da Uréia	
	uso de defensivos agrícolas	emissões para ar, solo e água	Lewis ,Newbold e Tzilivakis (1999) ;comunicação pessoal com produtor,2006	Lewis ,Newbold e Tzilivakis (1999);Fidelis et al (2003)
		ingrediente ativo	ANVISA(2006)	
	operações mecanizadas	consumo de diesel	comunicação pessoal com produtor,2006	MELLO et al(2005)
		aspectos da queima de diesel	Sheehan et all (1998)	
	produção de calcário	aspectos da produção de calcário		comunicação pessoal com produtor,2006
	Transporte de calcário	distâncias percorridas		calculado - estimado
		aspectos do transporte		banco de dados - SIMAPRO (PRÉ-CONSULTANTS, 2006)
SST	Transporte das oleaginosas	distâncias percorridas	calculado - estimado	calculado - estimado
		aspectos do transporte	banco de dados - SIMAPRO (PRÉ-CONSULTANTS, 2006)	
SSE	Extração do óleo vegetal	aspectos da produção de hexano		banco de dados - BOUSTEAD,1996
		aspectos da queima da biomassa	Yussof; Hanssen (2005)	Sena(2005)
		aspectos da extração do óleo	comunicação pessoal com produtor,2006	comunicação pessoal com produtor,2006
INFORMAÇÕES COMUNS AOS "SS"	produção de diesel	aspectos da extração de petróleo no Brasil	banco de dados - GABI	
		aspectos do transporte de petróleo importado	banco de dados - SIMAPRO (PRÉ-CONSULTANTS, 2006)	
		produção de derivados de petróleo no Brasil ; conteúdo energético / fator de	ANP(2006a,b,c,d)	
		aspectos de refino do petróleo no Brasil para produção de diesel	Vianna,2006	
	produção e distr. de energia elétrica	aspectos da produção e distr. de energia elétrica no Brasil	Coltro; Garcia e Queiroz (2003)	

Tabela 164: Avaliação qualitativa da consistência dos dados

CONCLUSÕES

Este trabalho atingiu o objetivo principal de apresentar, de forma comparativa, o resultado sobre a ecoeficiência de duas potenciais matérias primas para produção de biodiesel, por meio da ferramenta de Análise de Ecoeficiência desenvolvida pela BASF. Contribui-se desta forma para o processo de tomada de decisão sobre a escolha (entre os óleos de soja e palma) de uma matéria-prima mais ecoeficiente.

Com a totalização das energias utilizadas nos subsistemas estudados (agrícola, transporte e extração), podemos observar na Figura 64 que, para a produção de biodiesel capaz de gerar 40 GJ de energia, a opção de se utilizar o óleo de soja como matéria prima demanda para sua obtenção um consumo de energia (proveniente de fontes externas do sistema de produto) aproximadamente três vezes maior do que a opção de se utilizar o óleo de palma.

Figura 64: conclusão sobre o consumo de energia externa para obtenção de óleo de soja e palma

Em se tratando dos impactos ambientais provenientes das emissões atmosféricas, pode-se concluir que a produção de óleo de soja, visando a fabricação de biodiesel capaz de gerar 40 GJ de energia, pode contribuir aproximadamente cinco vezes mais para a redução de gases que causam o efeito estufa, três vezes mais para a formação fotoquímica de ozônio e duas vezes menos para a formação de chuva ácida, quando comparado à produção de óleo de palma para o mesmo fim, como pode ser observado nas Figuras 65, 66 e 67.

Figura 65: Conclusão sobre o potencial de contribuição para a redução do efeito estufa

Figura 66: Conclusão sobre o potencial de contribuição para a formação fotoquímica de ozônio

Figura 67: Conclusão sobre o potencial de contribuição para a formação de chuva ácida

Através da Matriz de Ecoeficiência e da análise de sensibilidade, foi possível observar que, dentro do contexto deste estudo e considerando os fatores de opinião pesquisados pela equipe de Análise de Ecoeficiência da empresa BASF, o óleo de palma é mais ecoeficiente do que o óleo de soja, por apresentar melhor desempenho ambiental bem como econômico. Entretanto, esta equipe de trabalho recomenda estimar o grau de confiança do resultado apresentado. Para tanto, as alternativas devem se diferenciar em no mínimo 10%, ambientalmente ou economicamente. Caso a diferença entre as alternativas seja inferior a 10%, pode-se considerar que as alternativas são igualmente ecoeficientes, como é o caso dos cenários 2.7 e 3.6 da análise de sensibilidade.

Para a obtenção de dados mais precisos, a determinação do grau de confiança sobre o resultado obtido foi feita com a ampliação da escala da Matriz de Ecoeficiência, como mostra a Figura 68. A matriz então foi dividida em uma grade quadriculada, na qual o comprimento do lado de cada quadrado corresponde a 10% do impacto ambiental e custos normalizados.

Comparando-se as distâncias, podemos observar o seguinte: a diferença do desempenho ambiental entre as duas alternativas (distância vertical) é superior a 10%, enquanto a diferença do desempenho econômico (distância horizontal) é praticamente 10%.

Portanto, com um grau de confiança de 90%, é possível se concluir que, dentro do contexto deste estudo, o óleo de palma possui melhor desempenho ambiental e econômico, tornando-o a alternativa mais ecoeficiente.

Figura 68: Determinação da confiança nos resultados obtidos

A título de criação de um segundo cenário, optou-se por considerar a hipótese de que os efluentes líquidos provenientes da indústria de extração do óleo de palma não são lançados nos corpos hídricos e sim, reciclados para a agricultura na forma de irrigação. Desta forma, este efluente passa a ser desconsiderado como uma saída do sistema, mudando assim a posição do óleo de palma na categoria *rejeitos* e tornando-o a alternativa mais favorável inclusive nesta categoria, como mostra a Figura 69.

Figura 69: Impressão ecológica em cenário de reciclagem do efluente líquido da indústria de extração do óleo de palma (utilização do efluente para irrigação)

O efeito do reaproveitamento deste efluente é refletido na Matriz de Ecoeficiência com o distanciamento entre as alternativas quanto ao desempenho ambiental, ou seja, o óleo de palma continua sendo a alternativa mais ecoeficiente com melhor diferencial ambiental sobre o óleo de soja, como pode ser observado na Figura 70.

Figura 70: Matriz de Ecoeficiência em cenário de reciclagem do efluente líquido da indústria de extração do óleo de palma (utilização do efluente para irrigação)

Uma vez que neste segundo cenário o impacto ambiental causado pelas duas alternativas chega a uma diferenciação de aproximadamente 90%, como mostra a Figura 71, aumenta também o grau de confiabilidade sobre o resultado do estudo que aponta o óleo de palma como sendo a alternativa mais ecoeficiente.

Figura 71: Determinação da confiança nos resultados obtidos em cenário de reciclagem do efluente líquido da indústria de extração do óleo de palma (utilização do efluente para irrigação)

SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Como o uso da terra é uma importante categoria de impacto a ser considerada em estudos que abordam a dependência de áreas agricultáveis, pois a área a ser utilizada para plantação é um recurso limitado, a primeira sugestão seria sobre uma avaliação da qualidade da terra que será utilizada para a plantação das oleaginosas e não somente da área superficial. Uma análise ambiental do uso da terra deve ser baseada em dados sobre o impacto de se cultivar determinada cultura em um determinado lugar. Para isso, Mattsoon et al (2000) sugerem indicadores do uso da terra para a agricultura na forma de variáveis quantificáveis como : erosão do solo, efeitos na hidrologia, problemas orgânicos de nutrição do solo, estrutura do solo quanto a seus poros, pH do solo, efeito acumulativo de metais pesados e elevados teores de fósforo e potássio do solo. Da mesma forma, a análise sobre o potencial de perda de biodiversidade é um importante parâmetro a ser considerado, uma vez que os

mesmos possam ser quantificados, pois, como já dito anteriormente, o desmatamento de uma vegetação diversificada para a plantação de mono-cultura é uma violação contra a biodiversidade do planeta. Assim sendo, em se tratando da agricultura de oleaginosas para a produção de biodiesel, estudos que avaliem o impacto sobre “o uso da terra” poderiam avaliar, por exemplo, a “redução do impacto” caso a opção fosse de utilização de terras recuperadas da degradação. Toffoletto, Deschênes e Samson (2005) apontam a metodologia de ACV como uma eficiente ferramenta para administrar solos degradados dentro de uma visão de sustentabilidade e apresentam a comparação de técnicas para remediação de áreas contaminadas.

Partindo do princípio de que uma oleaginosa pode ser mais ecoeficiente do que a outra, dependendo do seu desempenho ambiental e econômico, a segunda sugestão seria a incorporação do conceito de “valoração ambiental” na avaliação econômica. Este conceito, além de abranger a valoração dos recursos naturais utilizados, considera a valoração do impacto, tanto da extração destes recursos como da utilização dos mesmos como matéria-prima, podendo percorrer todo o ciclo de vida. Uma vez que a produção de um determinado produto causa um impacto ambiental, este impacto tem um preço (são as chamadas externalidades) e este preço deve ser pago por toda a cadeia produtiva deste produto, cada um na sua devida proporção, ou seja, o preço das externalidades deve ser incorporado ao preço do produto (é a chamada internalização das externalidades). Mattos et al (2005) mencionam distinções entre economia de recursos naturais, economia ambiental e economia ecológica, evidenciando a diferença entre valor de uso e valor intrínseco. Os mesmos autores também apresentam métodos diretos e indiretos de valoração ambiental. Dentro da classe de impacto “uso da terra”, a valoração econômica de impactos como os causados pela erosão, poderia, por exemplo, seguir sugestões apresentadas por Rodrigues (2005), que se refere aos impactos ambientais de tecnologias de plantio na região dos Cerrados. Quanto a valoração da biodiversidade, o INPA (2007) disponibiliza uma revisão de literatura sobre a valoração econômica da biodiversidade no Brasil.

Outra sugestão seria a inclusão dos efeitos da poluição na saúde humana através de indicadores de poluição atmosférica, poluição das águas e poluição do solo. Individualmente, cada poluente apresenta diferentes efeitos sobre a saúde da população para faixas de concentração distintas, identificadas por estudos epidemiológicos desenvolvidos dentro e fora do país. Em dezembro de 2005, a CETESB publicou no Diário Oficial do Estado de São Paulo, uma lista de valores orientadores contemplando 84 substâncias. Os “Valores Orientadores” são concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a

condição de qualidade do solo e da água (CETESB,2007a). Quanto a qualidade do ar, existem padrões de qualidade que definem legalmente o limite máximo para a concentração de um poluente na atmosfera, de forma que garanta a proteção da saúde e do meio ambiente. Os padrões nacionais foram estabelecidos pelo IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e aprovados pelo CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA 03/90 (CETESB,2007b).

Em se tratando de avaliação de impactos ambientais, a ferramenta utilizada neste estudo não contempla alguns impactos que poderiam ser contemplados em outros estudos ou incluídos posteriormente na própria ferramenta, como por exemplo, o potencial de eutrofização , desertificação e assoreamento .

A título de comparação entre os impactos causados por cada alternativa, em se tratando de produtos que possuem a agricultura em seu ciclo de vida, seria interessante também considerar o impacto causado por unidade de área utilizada para a obtenção da unidade funcional. A título de exemplificação, poderíamos citar que, para a obtenção da unidade funcional deste estudo, a soja contribui mais para a redução do efeito estufa (seqüestrando mais carbono da atmosfera) do que a palma, porém sua contribuição é menor por unidade de área utilizada.

De acordo com o comentado na análise crítica do estudo, sugiro igualmente a incorporação de conceitos de visão estratégica de longo prazo, com taxas anuais de crescimento esperado nos próximos 10, 20 , 30 ou 100 anos (para o cálculo das relevâncias). Desta forma seria possível uma tomada de decisão sobre as atitudes a serem tomadas na atualidade para se alcançar a sustentabilidade no futuro.

Para finalizar, a análise sobre a Ecoeficiência de óleos vegetais para a produção de biodiesel poderá ser mais completa se: incluídas outras oleaginosas de origem (como a mamona, girassol e babaçu) e a abordagem deixar de ser “cradle do gate” e passar a ser “cradle to grave”, ou seja, considerando os aspectos da produção, distribuição e uso do biodiesel. No caso de uma análise sobre a sustentabilidade dos óleos vegetais para a produção de biodiesel, critérios sociais deverão ser incluídos no estudo.

BIBLIOGRAFIA

- ABCR - Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias - **Distância entre municípios** – Disponível em <http://www.abcr.org.br/geode/index.php> . consulta realizada em : setembro/2006
- ABIOVE – Associação Brasileira de Óleos Vegetais – Página da internet consultada em 25-05-2006 <http://www.abiove.com.br>
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. NBR ISO 14040.** Rio de Janeiro, 2001.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Definição de objetivo e escopo e análise de inventário. NBR ISO 14041.** Rio de Janeiro, 2004.
- ABOISSA – Página da internet sobre gorduras vegetais consultada em 27/09/2005
<http://www.aboissa.com.br/gordura/index1.htm>
- ABTC – Associação Brasileira dos Transportadores de Carga – **Menos carga acirra a disputa entre os transportadores.** Publicado no Jornal do Comércio em abril/2004. disponível em http://www.abtc.org.br/print_info.php?codigo=4823 Acesso em 18 /10/ 2006
- AGRIANUAL – **Anuário da Agricultura Brasileira** – Editora FNP – 2006
- AGROPALMA – Apresentação elaborada pelo Grupo de Trabalho da Amazônia - GTAM – **“PALM DIESEL”**- Apresentação cedida durante visita às usinas extratoras de óleo de palma em fevereiro/2006
- ALMEIDA, M.C. **Sustentabilidade de Sistemas Energéticos à base de Biomassa Vegetal: Avaliação de Ciclo de Vida e de Externalidades aplicados aos Produtos da Cana-de-Açúcar.** Tese (Doutorado (em elaboração)). Instituto de Eletrotécnica e Energia - USP. São Paulo, 2006
- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos – **Empresas do Setor** – disponível em: <http://www.anda.org.br/portug/empresas.aspx> Consulta realizada em out/2006
- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos – **Estatísticas do Setor** – disponível em : <http://www.anda.org.br/portug/estatisticas.aspx> Consulta realizada em jan/2007
- ANJOS,J.R.S. – **Degradação catalítica de óleos Vegetais** – Boletim técnico da Petrobrás, 24(2): 139-147 – abril/junho 1981.
- ANP, Agência Nacional de Petróleo -. **Produção Nacional de Petróleo.** Disponível em: http://www.anp.gov.br/doc/dados_estatisticos/Producao_de_Petroleo_m3.xls
Acesso em: agosto/2006a.

ANP, Agência Nacional de Petróleo. **Importações e Exportações** . Disponível em: http://www.anp.gov.br/doc/dados_estatisticos/Importacoes_e_Exportacoes_m3.xls
Acesso em: agosto/2006b.

ANP, Agência Nacional de Petróleo. **Volume de Petróleo Refinado nas Refinarias Nacionais** Disponível em: http://www.anp.gov.br/doc/dados_estatisticos/Processamento_de_Petroleo_m3.xls
Acesso em: agosto/2006c.

ANP, Agência Nacional de Petróleo - **Produção Nacional de Derivados de Petróleo.** Disponível em: http://www.anp.gov.br/doc/dados_estatisticos/Producao_de_Derivados_m3.xls
Acesso em: agosto/2006d.

ANP, Agência Nacional de Petróleo – **Levantamento de preços de combustíveis por Estado.**
Disp.em: http://www.anp.gov.br/i_preco/include/Resumo_Por_Estado_Index.asp
Acesso em: janeiro/2007

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ACIDENTES DO TRABALHO – 2003 – Disponível em : http://www.previdencia.gov.br/pg_secundarias/previdencia_social_13_03-A-1-2-2.asp -
consulta realizada em janeiro/2007

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária – **Sistema de Informações sobre Agrotóxicos.** Disponível em: http://www4.anvisa.gov.br/AGROSIA/asp/frm_dados_ingrediente.asp?iVarAux=1&CodIng=401 - consulta realizada em setembro / 2006

ARANDA,D – Professor Doutor do Depto de Eng. Química – UFRJ - **Biodiesel, Matérias-Primas,Tecnologias e Especificações** - Apresentação FIESP - abril/2005 - consulta realizada em outubro/2005,disponível em http://www.fiesp.com.br/download/palestras/biodiesel_donato.pdf

BARTHUS,R.C. - **Aplicação de Métodos Quimiométricos para análises de Controle da Qualidade de Óleos Vegetais utilizando Espectroscopias no Infravermelho e Raman** - Dissertação de Mestrado - UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.

BASF – Fundação Espaço-ECO – **Metodologias de Ecoeficiência** – Estudo realizado pela TÜV Anlagentechnik em setembro de 2001 – Exclusivo de circulação interna da BASF – consulta realizada em abril/2007

BELLINGIERI, P.A., SOUZA, E.C.A., ALCARDE, J.C. et al. - **Importância da reatividade do calcário sobre a produção e algumas característica da cultura da soja.** Sci. agric. (Piracicaba-SP). [online]. 1992, vol. 49, no.1. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/sa/v49nspe/09.pdf> Consulta realizada em 01-08-2006

BEN, **Balço Energético Nacional**. Elaborado pelo Ministério de Minas e Energia do Brasil. Brasília, 2005

BERGAMINI, S. J.- **Contabilidade e Risco Ambientais** - Seminário de Contabilidade Ambiental realizado no Auditório do BNDES nos dias 5 e 6 de novembro de 1998; Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/revista/rev1105.pdf> ; Acesso em abril/2007

BILICH, F (Professor Titular – Universidade de Brasília) -**Análise da produção de biodiesel utilizando multicritério** - Congresso do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (2006).Disponível, em <http://www.biodiesel.gov.br> Consulta realizada em janeiro/2007.

BOCKISCH,M - **Fats and Oils Handbook** - AOCS PRESS - Edição traduzida e revisada do original trabalho alemão - Nahrungsfette und Ole – 1998

BOUSTEAD Consulting Limited. **Hexane production**. The Boustead Model - Version 5.0.8a. Great Britain, 1996

BRASIL- Ministério da Indústria e do Comércio – Secretaria de Tecnologia Industrial- **Produção de Combustíveis Líquidos a partir de óleos vegetais** – Brasília, STI/CIT, 1985. 364p. (Documentos, 16)

BRAUN, S., APPEL, L. G. e SCHMAL, M. - **A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas à diesel** . Quím. Nova. [online]. 2004, vol. 27, no. 3 , pp. 472-482. Disponível em <http://www.scielo.br>. Consulta realizada em outubro/2006.

BUNGE – Laudo de Avaliação Bunge Brasil S.A. – **Descrição da Bunge Fertilizantes – Unidades de Mistura de NPK e Distribuição** – maio de 2004 – Disponível em: http://www.bunge.com.br/download/fatos/Bunge_Fato_28052004b.pdf

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Ciência e Tecnologia a Serviço do Meio Ambiente.-**Valores orientadores para solo e água subterrânea**. Disponível em : <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/valores.asp> Consulta em janeiro de 2007a .

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Ciência e Tecnologia a Serviço do Meio Ambiente. - **Padrões de Qualidade do ar**. Disponível em : http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/ar_indice_padroes.asp .Consulta em janeiro de 2007b .

COELI,C.C.M. – **Análise da Demanda por Transporte Ferroviário: O Caso do Transporte de Grãos e Farelo de Soja na Ferronorte** – Dissertação para a obtenção do título de Mestre em Administração – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto COPPEAD de Administração – Rio de Janeiro – Junho/2004 disponível em: http://www.coppead.ufrj.br/institucional/pesquisa/dissertacoes/pdf/Carla_Coeli.pdf

COLTRO, L.; GARCIA, E.E.C. ; QUEIROZ, G.C. **Life Cycle Inventory for Electric Energy System in Brazil**. International Journal of Life Cycle Assessment, 8 (5), 2003.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento – **Estatísticas de Produção de Soja** – disponível em <http://www.conab.gov.br/download/safra/SojaSerieHist.xls> Acesso em 25-02-2006

CARRILHO, E. **Cromatografia com fluido supercrítico**. São Carlos, 1990, - Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Física e Química de São Carlos – 1990 – Universidade de São Paulo. appud QUEIROZ, M.E.C.

CARVALHO, A. R. V. de; BALDANI, V. L. D.; REIS, V. M. **O Dendê (Elaeis guineensis Jacq.)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. 25p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 138)

CEGAS - Companhia de gás do Ceará - **O gás natural** - disponível em: <http://www.egas.com.br/gasnatural.asp> . Consulta realizada em jan/2007

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem – **A Rotulagem Ambiental e o Consumidor no Mercado Brasileiro de Embalagens (2005)** – Disponível em: <http://www.cempre.org.br/download/Rotulagem%20Ambiental%20FINAL-2005.pdf>

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem – **Ecoeficiência** – disponível em <http://www.cempre.org.br/ecoefficiencia.php> . Consulta realizada em abr/2007

CERBIO - Centro Brasileiro de Referência em Biocombustíveis.- **As especificações e a qualidade do biodiesel**. DBio, Curitiba, v. 2, n. 7, set. 2004. Disponível em: <http://www.tecpar.br/cerbio> . Acesso em: mar. / 2006.

CHEHEBE, J. R. B.- **Análise do Ciclo de Vida de Produtos** - Ferramenta gerencial da ISO 14.000. Rio de Janeiro: Qualitymark. Ed., 1998.

COELHO, C.C.S.R. - **Complexidade e Sustentabilidade nas Organizações** - Tese apresentada ao programa de pós-graduação em engenharia de produção da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção. - Florianópolis, outubro de 2001

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento – **Série histórica da produção de soja no Brasil** – Disponível em <http://www.conab.gov.br/download/safra/SojaSerieHist.xls>. Acesso em fevereiro/2006

COPELUL – Companhia Petroquímica do Sul – **Controle Ambiental: Indicadores de Ecoeficiência**–Disponível em: http://www.copesul.com.br/site/investidores/2003/rel_desem/portugues/cap05/pagina05.pdf Acesso em abril/2007

COSTA, M.M. - **Princípios de Ecologia Industrial Aplicados à Sustentabilidade Ambiental e aos Sistemas de Produção de Aço** - tese de doutorado ; ciências em planejamento energético. UFRJ; Rio de Janeiro, dezembro de 2002.

COSTA NETO, P. R., ROSSI, L. F. S., ZAGONEL, G. F. *et al.* **Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras**. *Quím. Nova*. [online]. July/Aug. 2000, vol.23, no.4

Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422000000400017&lng=en&nrm=iso . Acesso em 28/09/2005

CPRH e GTZ (Companhia Pernambucana de Meio Ambiente – CPRH e Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit – GTZ) **Roteiro Complementar de Licenciamento e Fiscalização;** Cooperação técnica BRASIL - ALEMANHA, PROJETO CONTROLE AMBIENTAL NO ESTADO DE PERNAMBUCO, 1998.

CRAMER, J.; LOCHEM, H. V. - **The practical use of the ‘eco-efficiency’ concept in industry: The case of Akzo Nobel** – The Journal of Sustainable Product Design 1: 171–180, 2001

CURRAN, M. A. **Environmental life-cycle assessment.** EUA: McGraw-Hill, 1996.

DEBIASI,H; SCHLOSSER,J.F.; WILLES,J.A.**Acidentes de trabalho envolvendo conjuntos tratorizados em propriedades rurais.** Ciência Rural, Santa Maria, v.34,n 3, p779-784, mai-jun,2004

DEL VECCHIO ' E. – **Investimentos em Biodiesel** – Seminário apresentado ao BNDES em março/2006. Consulta realizada em 24-05-2006, documento disponível em: http://www.bndes.gov.br/conhecimento/seminario/Biodiesel_DEDINI.pdf

EARTH TRENDS – The Environmental Information Portal 2003 http://earthtrends.wri.org/country_profiles/index.php?theme=3 .

EMBRAPA- **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2005**– Sistema de Produção 6 – EMBRAPA SOJA – ISSN 1677-8499 – Outubro 2004a –Disponível em www.cnpso.embrapa.br/download/publicacao/central_2005.pdf Acesso em: 15 de jan de 2006.

EMBRAPA - **Implicações potenciais na qualidade das águas subterrâneas das atividades agrícolas.** Boletim de pesquisa de desenvolvimento N 25- Outubro 2004b - Disponível em http://www.cnpma.embrapa.br/download/boletim_25.pdf . Acesso em dezembro de 2006

EMBRAPA- **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2006**– Sistema de Produção 9 – EMBRAPA SOJA – ISSN 1677-8499 – Outubro 2005 – http://www.cnpso.embrapa.br/download/tecnologia_2006.zip Acesso em: 20 de set de 2006.

EMBRAPA – **A Cultura da soja.**Disponível em <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/soja/index.htm> (2006a). Acesso em 10/01/2006

EMBRAPA – **Sistemas de produção Embrapa - Dendê** – disponível em : <http://www.cpa.embrapa.br/portfolio/sistemadeproducao/dende> - (2006b) consulta realizada em abril/2006

ENERGÉTICAS – Notícias do setor de petróleo, eletricidade e energias alternativas - **Mato Grosso terá a maior fábrica de biodiesel do mundo** – Disponível em :

<http://www.power.inf.br/noticia.php?cod=1929&PHPSESSID=2469b6759fb0f99a9cc709ac092bdc08> Consultada em setembro/2006

EPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - **Life-Cycle Assessment: Inventory guidelines and principles**. EPA Report no. EPA/600/R-92/245, USEPA, Office of Research and Development, Washington, D.C. (1993).

EPA U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - **Technology Transfer Network Clearinghouse for Inventories & Emissions Factors** - Emission Factor Documentation for AP-42 Section 9.11.1 -Vegetable Oil Processing. – 1995 Final Report November 1995 disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch09/bgdocs/b9s11-1.pdf>
Consulta realizada em setembro/2006

EUR-Lex-32001L0059-EN. **Directiva 2001/59/CE** .Disponível em:

<http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32001L0059:PT:HTML>
Jornal Oficial nº L 225. Acesso em: 05 de jun de 2006.

FAVERET, P. - **Calcário** - Informe Setorial No 12 : AGROINDÚSTRIA . FINAME; BNDESPAR; BNDES; Área de Operações Industriais 1; Novembro/1997. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/conhecimento/setorial/gsl_12.pdf - consulta realizada em 05/05/06.

FBDS – Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - **Liquid Biofuels for Transportation in Brazil. Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21 st Century** - Study commissioned by the German Technical Cooperation (GTZ). November,2005

FET, A. M. - **Eco-Efficiency reporting exemplified by case studies** - The Norwegian University of Science and Technology (NTNU);Department of Industrial Economics and Technology Management;Presented at NATO's Advanced Research Workshop,Maribor, Slovenia,13.-17.October,2002. Disponível em <http://www.iot.ntnu.no/users/fet/Konferanser/2002-Paper-AMF-Slovenia-2002.pdf>
Consulta realizada em março/2006

FET, A. M.; MICHELSEN, O. - **Industrial ecology study and research program at Norwegian University of Science and Technology** - DOI 10.1007/s10098-003-0212-0; Clean Techn Environ Policy 5 (2003) 95–100

FET, A. M. e SKAAR, C. - **Eco-labeling, Product Category Rules and Certification Procedures Based on ISO 14025 Requirements** - Int J LCA 11 (1) 49 – 54 (2006)

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. **Biodiesel de soja — Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia.** Quím. Nova., São Paulo, v. 28, n. 1, 2005. Disponível em : <http://www.scielo.br>. Acessado em : setembro / 2006.

FERREIRA C. R. R. P. T.; NOGUEIRA S.; BARBOSA M.Z. - **Análise da Utilização de Produtos Fitossanitários na Cultura da Soja, Brasil, 1991-2000** - Biológico, v.63, n.1/2, p.1-6, São Paulo,jan./dez., 2001

FERTIBOM- Fertibom Indústrias Ltda, empresa do setor agro-industrial .Informação exposta e coletada no stand da empresa durante participação na Feisucro - Feira Internacional do Setor Sucroalcooleiro Anhembi. São Paulo-SP, 2005

FIDELIS,R.R; ROCHA,R.N.C.;LEITE,U.T.;TANCREDI,F.D. - **Alguns Aspectos do Plantio Direto para a Cultura da Soja** -Biosci. J.,v.19,n.1. p23-32,Uberlândia, jan/abr 2003

FINKBEINER, M.; HOFFMANN, R.; RUHLAND, K.; LIEBHART, D. E STARK, B. - **Application of Life Cycle Assessment for the Environmental Certificate of the Mercedes-Benz S-Class** - Int J LCA 11 (4) 240 – 246 (2006)

FINNVEDEN, G; MOBERG Å : **Environmental systems analysis tools – An overview.** J Cleaner Prod 13, (2005) 1165–1173

FRANKE,I.L. FURTADO,S.C. - **Sistemas Silvipastoris : fundamentos e aplicabilidade** - Rio Branco: Embrapa Acre,2001. 51p. Embrapa Acre Documentos;74. Disponível em <http://www.cpa fac.embrapa.br/pdf/doc74.pdf> . Acesso em novembro/2006

FREITAS, C.; BREMNER, S. A; GOUVEIA, N. - **Hospital admissions and mortality: association with air pollution in São Paulo, Brazil, 1993 to 1997.** Rev. Saúde Pública. 2004, vol. 38, no. 6 , pp. 751-757.

FRISCHKNECHT, R. et al – **Project "ecoinvent 2000" : Overview and Methodology.** Ecoinvent report No. 1. Dübendorf, June 2004

FURLAN,J.J.;KALTNER,F.J.;ALVES,S.M. E BARCELOS,E. - **A Utilização de Óleo de Palma como Componente do Biodiesel na Amazônia** - Comunicado Técnico 103, ISSN 1517-224,Belém-PA, Dezembro,2004. Disponível em <http://www.cpatu.embrapa.br/online/comunicado/com.tec.103.pdf> ; consulta realizada em janeiro/2007

FWI - Five Winds International - **The Role of Eco-Efficiency: Global Challenges and Opportunities in the 21st Century.** Prepared for The Ecoefficiency Working Group Sustainability Project Policy Research Initiative by Five Winds International. 2001. Disponível em <http://www.fivewinds.com> - consulta realizada em maio/2006

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Produção Agrícola Municipal - Cereais, Leguminosas e Oleaginosas – 2005.** Comunicação Social do Instituto - junho 2006 – Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=635&id_pagina=1 Acesso em outubro 2006

IEA – Instituto de Economia Agrícola - **Defensivos Agrícolas: mantêm-se cenário de declínio nas vendas em 2006 –** Anal.. e Ind. do Agr.. V. (1) n.7 . junho de 2006. Disponível em <http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=6452> consulta realizada em setembro/2006

GAMA, M.L.S. ; PIRES, A. C. - **A Avaliação de Ciclo de Vida nas Políticas Brasileiras: Oportunidades em Indução de Sustentabilidade**- Proceedings of the CILCA2007 – International Conference of Life Cycle Assessment. São Paulo, fevereiro de 2007

GABATHULER, H. - **How Environmental Sciences Entered the Debate on LCA** – Int J LCA 11 • Special Issue 1 (2006) • 127 – 132

GUINÉE, J.B. et al – **Life Cycle Assessment, An operational guide to ISO standards**- Centre of Environmental Science, Leiden University (CML), Leiden, May 2001

GRUPPE ENERGIE-STOFFE-UMWELT et al.: **Ökoinventare von Energiesystemen, Bundesamt für Energie-wirtschaft (Schweiz)**, ENET, 1996.

HUNKELER, D. - **Societal Life Cycle Assessment Methodology and Case Study** – Int J LCA 11 (6) 2006 371-382

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – **Ecosystemas brasileiros** - Disponível em : <http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/> - consulta realizada em janeiro/2007

IEA – Instituto de Economia Agrícola - **Defensivos Agrícolas: mantêm-se cenário de declínio nas vendas em 2006** – Anal. e Ind. do Agr. V. (1) n.7 . junho de 2006. Disponível em <http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=6452> consulta realizada em setembro/2006

IN – **Instrução Normativa SDA/ Nº 35**, de 4 de julho de 2006. Publicada no D. O. U. de 12 de julho de 2006

INDICADORES – **Cotação do dólar nos últimos 5 anos** – disponível em: <http://www.acinh.com.br/cotacao.html> . consulta realizada em janeiro/2007

INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - **Valoração Econômica da Biodiversidade no Brasil: Revisão da Literatura**. Disponível em <http://www.inpa.gov.br/cpca/charles/rtf/valoracao.rtf>. consulta realizada em janeiro/2007

IPCC - **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories** -Revised 1996

Workbook (Volume 2) - Agriculture

ISHIKAWA, T - **Processo Industrial de Extração de Óleos Vegetais** -Anais do VI simpósio anual da ACIESP (Academia de Ciências do Estado de São Paulo) volume II - ÓLEOS VEGETAIS: DIESEL ALTERNATIVO – 1982

KLÖPPFER, W. - **Life Cycle Assessment as Part of Sustainability Assessment for Chemicals** - ESPR - Environ Sci & Pollut Res. 12 (3) 173-177 (2005a)

KLÖPPFER, W. - **Life Cycle Assessment in the Mirror of Int J LCA** – Int J LCA 10 (6) 379 – 380 (2005b)

KOBAYASHI, H. - **Strategic evolution of eco-products: a product life cycle planning methodology**; DOI 10.1007/s00163-005-0001-3; Research in Engineering Design (2005) 16: 1–16

KORTELAINEEN,M. E KUOSMANEN, T. - **Eco-efficiency analysis of consumer durables using absolute shadow prices**; DOI 10.1007/s11123-007-0046-6; J Prod Anal Springer Science+Business Media, LLC 2007

KULAY,L.A. - **Uso da Análise de Ciclo de Vida Para a Comparação do Desempenho Ambiental das Rotas Úmida e Térmica de Produção de Fertilizantes Fosfatados** - Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia. São Paulo,2004

LEI 11.097. **Lei que dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira.** 13 de janeiro de 2005. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/blei200511097.pdf> Acesso em: 03/05/2006.

LEMONS, H. M. e BARROS, R. L. P.- **Ciclo de Vida dos Produtos, Certificação & Rotulagem**. Realização: Sebrae e Pnuma – Comitê Brasileiro do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Rio de Janeiro, RJ. 2006. 76p.

LEWIS K.A.;NEWBOLD M.J.;TZILIVAKIS J. - **Developing an emissions inventory from farm data**.Journal of Environmental Management, Volume 55, Number 3, March 1999, pp. 183-197

LIMA, J. E. F. W. ; FERREIRA, R. S. A. ; CHRISTOFIDIS, D. . O uso da irrigação no Brasil. In: FREITAS, M.A.V (Org.). **O Estado das Águas no Brasil: Perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos.** 1ª ed. Brasília: ANEEL; OMM; SRH/MMA. - 1999.

MALAVOLTA,E. – **Manual de Química Agrícola (Adubos e Adubação)** – Editora Agrônômica “CERES” LTDA . São Paulo, 1967.

MANDARINO,J.M.G; ROESSING,A.C. - **Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos** - Documento técnico 171, ISSN 1516-781X, Londrina-PR, Novembro,2001.(documento fornecido pelo correio pela EMPRAPA)

MUNGKUNG, R. T. ; HAES, H. A. U. e CLIFT, R. - **Potentials and Limitations of Life Cycle Assessment in Setting Ecolabelling Criteria: A Case Study of Thai Shrimp Aquaculture Product** - Int J LCA 11 (1) 55 – 59 (2006)

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – **Ocupação de Terra no Brasil,2004** Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/> . Consulta realizada em agosto/2005

MATTIL, K.F. et al- **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**,1964 third edition

MATTOS,K.M.C.; Karen K.M.C.; Mattos,A.-**Valoração Econômica do Meio Ambiente dentro do Contexto do Desenvolvimento Sustentável** - Revista Gestão Industrial v. 01, n. 02 : pp. 109-121, 2005 ISSN 1808-0448 disponível em <http://www.pg.cefetpr.br/ppgep/revista/revista2005/PDF2/Art09Vol1Nr2.pdf> - consulta realizada em janeiro 2007.

MATTSSON,B.; CEDERBERG ,C. ; BLIX ,L. - **Agricultural land use in life cycle assesment(LCA):case studies of three vegetable oil crops** - Journal of Cleaner Production 8 (2000) 283-292, disponível em [:Http://doi.eng.cmu.ac.th/Thailca/pdf/Agricultural_land_use_in_LCA.pdf](http://doi.eng.cmu.ac.th/Thailca/pdf/Agricultural_land_use_in_LCA.pdf) e consultado em 25-03-2006

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia.- **Portaria MCT n.º 702, de 30/10/2002a.** Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/14600.html> Acesso em 03/05/2006

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia - Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa - **Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais e Por Uso de Solventes.** 2002b . Disponível em: http://www.mct.gov.br/upd_blob/5520.pdf Acesso em setembro/2006

MELLO,C.A. et al – **Estimativa da área necessária na produção da soja objetivando a sustentabilidade energética utilizando o biodiesel.** – Artigo publicado nos anais do II Congresso de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, realizado pela Universidade Federal de Lavras. Varginha-MG, 2005.

MELLO, J. C. A., VILLAS BOAS, R. L., LIMA, E. V. et al. - **Alterações nos atributos químicos de um Latossolo distroférrico decorrentes da granulometria e doses de calcário em sistemas plantio direto e convencional.** Rev. Bras. Ciênc. Solo. [online]. 2003, vol. 27, no. 3 p. 553-561. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n3/16673.pdf> .Consulta realizada em 01/08/2006.

MENDIVIL,R.; FISCHER,U.; HIRAO,M. AND HUNGERBÜHLER, K. - **A New LCA Methodology of Technology Evolution (TE-LCA) and its Application to the Production of Ammonia (1950–2000)** - Int J LCA 11 (2) 98 – 105 (2006)

MIRANDA, L. N. et al - **Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho** - Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.40, n.6, p.563-572, jun. 2005 – disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v40n6/24834.pdf>

MME - Ministério de Minas e Energia – **Projeto de substituição integral de óleo diesel por óleos vegetais** – Relatório de análise de dados – dezembro/1980

MME - Ministério de minas e energia - **Plano Nacional de energia 2030**. Brasília, 14 de julho de 2006 . disponível em :
<http://www.mme.gov.br/download.do;jsessionid=2B195276FB06B889803A3388F095385E?attachmentId=6762&download>

MME - Ministério de minas e energia – **Balanco Energético Nacional**. Brasília, 2006b . disponível em : <http://ben.epe.gov.br/ben2006>

MORAES, J.R. – **Manual dos Óleos Vegetais e suas Possibilidades Energéticas**- – CNI-Confederação Nacional da Indústria / DAMPI- Departamento de Assistência à Média e Pequena Indústria; 1982

MORAES, R. B. - **O Designer e a Avaliação do Ciclo de Vida dos Produtos: Análise do Uso das Ferramentas**; Dissertação de Mestrado ; Departamento de Artes e Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; Rio de Janeiro, 2005. 168p.

MORETTO,E e FETT,R - **Óleos e Gorduras Vegetais (Processamento e Análises)**-Editora da UFSC, Florianópolis-SC.- 1989

MORRISON, R.T. e BOYD, R.N. - **Química Orgânica**, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 7º edição. 1973.

MRE - Ministério das Relações Exteriores - **Cerrados: Biodiversidade Ameaçada** por Welington B. C. Delitti e Vânia R. Pivello . Disponível em:
<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/meioamb/biodiv/cerrado/apresent.htm> - Consulta realizada em janeiro,2007

NAE - Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. – **Biocombustíveis** - nº. 2 (jan. 2005). - Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, 2005.

NEMECEK,T et al. - **Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems** - ecoinvent report No. 15 . Dübendorf, April 2004

NEMECEK,T; ERZINGER,S. - **Modelling Representative Life Cycle Inventories for Swiss Arable Crops** - Int J LCA 10 (1) 1 – 9 (2005)

NORRIS, G. A. - **Social Impacts in Product Life Cycles** – Int J LCA 11; Special Issue 1 (2006); 97-104

OLIVEIRA,J.R.A.; VILELA,L. e AYARZA,M.A. - **Adsorção de Nitrato em Solos de Cerrado do Distrito Federal** - Pesq. agropec. bras., Brasília, v.35, n.6, p.1199-1205, jun. 2000

ORTEGA,E - **A Soja No Brasil: Modelos De Produção, Custos, Lucros, Externalidades, Sustentabilidade e Políticas Públicas.** – Fea, Unicamp 2002 – disponível em <http://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/ae-soja080903.pdf> consulta realizada em maio/2005

PADUA,F.T.; ALMEIDA,J.C.C.A.; SILVA,T.O. ; ROCHA,N.S.; NEPOMUCENO,D.D.- **Produção de matéria seca e composição químico-bromatológica do feno de três leguminosas forrageiras tropicais em dois sistemas de cultivo** - Ciência Rural, Santa Maria, v.36, n.4, p.1253-1257, jul-ago, 2006

PARAÍSO, P. R., ZEMP, R. J. **Modelagem e Análise do Processo de Obtenção do Óleo de Soja**. Campinas: FEQ, UNICAMP, 2001. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2001. 200 p.

PARENTE, E.J.S. – **BIODIESEL: Uma Aventura Tecnológica num País Engraçado** – Tecbio - Fortaleza, 2003 - livro disponível em : <http://www.tecbio.com.br/downloads/livro%20Biodiesel.pdf> consulta realizada em julho/2005.

PARTHASARATHY, G.;HART,R. ; JAMRO,E.; MINER, L. - **Value of sustainability: perspectives of a chemical manufacturing site** - DOI 10.1007/s10098-005-0278-y; Clean Techn Environ Policy (2005) 7: 219–229

PETROBRAS – **Ficha técnica do HEXANO BR** – disponível em <http://www.br.com.br/portalbr/pdf/especiais/hexano.pdf> Acesso em outubro/2006

PIZZEY,J – **Considerações do vice presidente executivo da Alcoa** – Encontro anual da Associação de Alumínio – Pensilvânia , setembro de 2002 – disponível em https://www.alcoa.com/global/en/environment/pdf/pizzey_speech.pdf consulta realizada em dezembro/2005

PNPB - Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel. **Objetivos e Diretrizes**. Estabelecido por meio do Decreto de 23 de dezembro de 2003 Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br/programa.html#seccaoObjetivos> Acesso em: maio/2006.

PNPB - Programa Nacional de Uso e Produção do Biodiesel: **Biodiesel o novo combustível do Brasil, 2005**. Disponível em: http://www.biodiesel.gov.br/docs/PNPB_LancRede.pdf. Acesso em maio/2006.

PORTER, M.E., VAN DER LINDE, C. **Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship**. Journal of Economic Perspectives, v.9, n.4, pp.97-118.- 1995

PRÉ-CONSULTANTS. ETH-ESU 2003 **Truck 28t ETH U** SimaPro. Versão 7.0. Pré Consultants, Amsterdã, 2006a.

PRÉ-CONSULTANTS. Idemat 2001 **Truck I 13,8 t** SimaPro. Versão 7.0. Pré Consultants, Amsterdã, 2006b.

PROCÓPIO,S.O.;SANTOS,J.B.;PIRES,F.R.;SILVA,A.A. e MENDONÇA,E.S.- **Absorção e Utilização do Fósforo pelas Culturas da Soja e do Feijão e por Plantas Daninhas** - Revista Bras. Ciência do Solo, 29:911-921, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n6/28960.pdf>

QUEIROZ, M.E.C. – **Extração de Óleos Vegetais com Fluido Supercrítico (SFE) e Caracterização por Métodos Cromatográficos**. São Carlos, 1992 – Dissertação de

Mestrado apresentada ao Instituto de Física e Química de São Carlos – 1992 – Universidade de São Paulo.

REZENDE, D.F. – **Estudo Exploratório do Processo com Dióxido de Carbono Supercrítico para a Extração e o Processamento de Óleos Vegetais com Ênfase em controle aplicado à Unidade Extratora**. Campinas, 1998 – Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

RIBEIRO, P.H. - **Modelagem de Sistemas de Produto em Estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)** - Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Engenharia.- São Paulo – 2004

RITTNER, H. **Óleo de Palma: tecnologia e utilização**. São Paulo, 1996.

RIZVI, S.S.H. – **Supercritical fluid extraction**: Operating principles and food applications. Food Tech, v.40, nº 6

RODRIGUES, W. - **Valoração econômica dos impactos ambientais de tecnologias de plantio em região de Cerrados**. Rev. Econ. Sociol. Rural. [online]. 2005, vol. 43, no. 1, pp. 135-153.

Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032005000100008

ROMANO, S. (Chemical Specialties Industria e Comercio Ltda) - **Oleos Vegetais – Diesel Alternativo** - Anais do VI simpósio anual da ACIESP (Academia de Ciências do Estado de São Paulo) volume II ÓLEOS VEGETAIS: DIESEL ALTERNATIVO– 1982

SABLOWSKI, A.R.M.; ENCINAS, J.I.; PIRES, A.C.; VALE, A.T.; GONÇALES, J.C. e MARTINS, I.S. - **Análise conceitual do Balanço de Materiais na Gestão de Recursos Naturais no Setor Florestal** - Proceedings of the CILCA2007 – International Conference of Life Cycle Assessment. São Paulo, fevereiro de 2007a

SABLOWSKI, A.R.M.; ENCINAS, J.I.; PIRES, A.C.; VALE, A.T.; GONÇALES, J.C. ; MARTINS, I.S. - **Linha Ideal de Fluxo - LIF** - Proceedings of the CILCA2007 – International Conference of Life Cycle Assessment. São Paulo, fevereiro de 2007b

SALAMA, C. – **Estudo da Viabilidade de Utilização de Óleos Vegetais em Substituição ao Óleo Diesel** – Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) – Rio de Janeiro – Agosto de 1982

SALING, P.; KICHERER, A.; KRÄMER, B. D.; WITTLINGER, R.; ZOMBIK, W.; SCHMIDT, I.; SCHROTT, W. and SCHMIDT, S. -- **Eco-efficiency analysis by BASF : The Method** -- Int J LCA - 2002 (OnlineFirst)

SALING, P - **Eco-Efficiency Analysis of biotechnological processes** ; DOI 10.1007/s00253-005-1951-0; Appl Microbiol Biotechnol (2005) 68: 1–8

SALING P.; MAISCH, R.; SILVANI, M. and KÖNIG, N. - **Assessing the Environmental-Hazard Potential for Life Cycle Assessment, Eco-Efficiency and SEEBalance** - Int J LCA 10 (5) 364 – 371 (2005)

SANTOS,M.A.S.;ÁVILA,J.L. - **Cenários do Agronegócio na Amazônia: o caso da dendeicultura** - Parte integrante do trabalho intitulado **O comportamento do Mercado do Óleo de Palma no Brasil e na Amazônia** desenvolvido pela Coordenadoria de Estudos Especiais do Banco da Amazonia S/A - disponível em <http://www.bancoamazonia.com.br/download/CenariosdoAgronegocio.pdf>
- Acesso em outubro/2006

SCHMIDT, J. **The importance of system boundaries for LCA on large material flows of vegetable oils**. Text version of poster presented to the Fourth World SETAC Congress, 14-18. Portland, Oregon, USA. 2004

SCOPEL,E.; DOUZET,J.M.; SILVA,F.A.M.; CARDOSO,A.; MOREIRA,J.A.A.; FINDELING,A; BERNOUX,M. - **Impactos do Sistema de Plantio Direto com Cobertura Vegetal (Spdcv) Sobre a Dinâmica da Água, do Nitrogênio Mineral e do Carbono do Solo do Cerrado Brasileiro** - Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 22, n. 1, p. 169-183, jan./abr. 2005 - 1 Artigo originalmente publicado sob o título Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur la dynamique de l'eau, de l'azote minéral et du carbone du sol dans les cerrados brésiliens, no periódico Cahiers d'études et de recherches francophones/Agricultures. Volume 14, Numéro 1, 71-75, janvier-février 2005

SECOM – **Secretaria de Comunicação Social do Governo do Mato Grosso** –setembro 2002 - disponível em : http://www.secom.mt.gov.br/conteudo.php?pageNum_Outras=1&sid=13&cid=1580&parent=0&totalRows_Outras=18782 . Consulta realizada em janeiro/2007

SENA,R.F.**Avaliação da Biomassa Obtida Pela Otimização da Flotação de Efluentes da Indústria de Carnes Para Geração de Energia**- Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química. Florianópolis-SC.2005

SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry - **Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice**. SETAC, Pensacola, FL (1993).

SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry – **Life-Cycle Impact Assessment: The state-of-the-Art** –Report of the SETAC LCA Advisory Group, Florida,1998

SHEEHAN,J.; CAMOBRECO,V.; DUFFIELD,J.; GRABOSKI,M.; SHAPOURI,H.- **Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus**- Final Report - May 1998 - Prepared by: the National Renewable Energy laboratory. 1617 Cole Boulevard.Golden, Colorado 80401-3393.A national laboratory of the U.S. Department of Energy. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf> .Acesso em 23-05-2006.

SIEGENTHALER, C. P; MARGNI, M. -**Dissemination, Application and Assessment of LCA in Industry** - Int J LCA 10 (5) 377 – 378 (2005)

SILVA, G.A.; RIBEIRO, P.H.; KULAY, L.A. – **Avaliação do Desempenho Ambiental dos Fertilizantes Químicos no Brasil** –XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Setembro, 2006. Santos-SP

SILVA, J. N., CARDOSO S.J. e SAIKI, E.T. - **Utilização de biomassa na secagem de produtos agrícolas via gaseificação com combustão adjacente dos gases produzidos**. Eng. Agríc. 2004, vol. 24, no. 2 , pp. 405-411.

SILVA, O.C.; STELLA, O.; VARKULYA A. et al. **Potencial de mitigação de gases estufa pela indústria de óleo de palma visando a captação de recursos do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)**. In Proceedings of the 3. Encontro de Energia no Meio Rural, 2000, Campinas (SP, Brazil) [online]. 2003 An. 3. Enc. Energ. Meio Rural Sept. 2000 .

STEEN, B.A. - **Describing Values in Relation to Choices in LCA** – Int J LCA 11 (4) 277 – 283 (2006)

TECPAR - Instituto de Tecnologia do Paraná - **O Biodiesel** - Publicação da Divisão de Biocombustíveis- DBIO e do Centro Brasileiro de Referência em Biocombustíveis - Cerbio Ano II-Edição 12 - Maio de 2006. Disponível em http://www.tecpar.br/cerbio/biodiesel/Ed_012.pdf .Acesso em 21 de agosto de 2006

TILLMAN, A. M.; BAUMANN, H. **General description of life cycle assessment methodology**. Chalmers University of Technology: 1995 (Report 1995:5).

TOFFOLETTO, L., DESCHÊNES, L., SAMSON, R.- **LCA of Ex-Situ Bioremediation of Diesel-Contaminated Soil** - Int J LCA 10 (6) 406 – 416 (2005)

TORRES, E. A. **Combustão pulsativa da casca do dendê**. Dissertação - Escola Politécnica USP. 120p. São Paulo, 1990.

TÜV - TUV Rheinland Group - <http://www.tuv.com> . Certificado da metodologia de AEE da BASF disponível em : <http://www.tuvdotcom.com/pi/web/DetailTestedProductCompanyByManufacturer.xml?strUrlId=6&strUserId=&strLevel=0&LanguageSelected=en-us&strManufacturer=35114&strProdID=148348&strTUVdotCOMID=0&type=Mname> Acesso em fevereiro/2007.

UIEARA, M.- **Apostila Lipídeos** , Universidade de Santa Catarina, Prof. de Química Orgânica Dra Marina Uieara, disponível em: http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/docs/apostila_lipideos_marina.doc Acesso em 27/09/2005

ULLMANN'S - **Enciclopédia of Industrial Chemistry** - Fat and Fatty Oils -Volume A 10: Ethanolamines to Fibers, 4.Synthetic organic - Fifth, Completely Revised Edition - 1987.

VIANNA, F.C. – **Análise de Ecoeficiência: Avaliação do Desempenho Econômico-Ambiental do Biodiesel e Petrodiesel** - Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título Mestre em Engenharia.-São Paulo – 2006

VIEIRA, N.M.- **Caracterização da Cadeia Produtiva da Soja em Goiás** - Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.- Florianópolis – 2002 disponível em <http://teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf/9388.pdf> consulta realizada em maio/2006

VOET, E. van der – **LAND USE IN LCA** – CML-SSP Working Paper 02.002 – Centre of Environmental Science, Leiden University (CML-SSP), Leiden, July 2001

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development – **Eco-Efficiency Learning Module** - Disponível em http://www.wbcsd.org/DocRoot/MRdaDUNiWNU4NZIWw9eM/ee_module.pdf Consulta realizada em maio/2006

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development - **Eco-efficiency: Creating more value with less impact**, Verfaillie, H.A., Bidwell, R., June 2000 a. Disponível em www.wbcsd.com/newscenter/reports/2000/EEcreating.pdf

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development - **Measuring eco-efficiency, a guide to reporting company performance**, Verfaillie, H.A., Bidwell, R., June 2000b. <http://www.resourcesaver.org/file/toolmanager/O16F5702.pdf>

WENK, R.M. - **Land Use – The Main Threat to Species (How to Include Land Use in LCA)** - Institut für Wirtschaft und Ökologie, Universität St.Gallen (IWÖ-HSG) Tigerbergstr.2 - IWÖ - Diskussionsbeitrag Nr. 64, September 1998

WWF-Brasil - **Avaliação de sustentabilidade da expansão do cultivo da soja para exportação no Brasil**. Novembro, 2003 . Disponível em : www.bothends.org/strategic/soy26.pdf . Consulta realizada em maio/2006

YUSSOF, S.; HANSEN, S. B. **Feasibility Study of Performing an Life Cycle Assessment on Crude Palm Oil Production in Malaysia**. International Journal of Life Cycle Assessment. LCA Case studies. Online First: Agosto de 2005.

ZANCHETTA-URSO, M.; SILVA, G. A. **Análise de Ecoeficiência – Estudo de caso no Brasil**, Apresentado em CILCA (Conferência Internacional de Ciclo de Vida). Costa Rica, 2005

SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida (LCA- Life Cycle Assessment)

ACVC - Avaliação do Ciclo de vida de Custos (LCC-Life Cycle Costing)

AICV – Avaliação de Impactos no Ciclo de Vida (LCIA- Life Cycle Impact Assessment)

ASCV - Avaliação Social do Ciclo de Vida (SLCA – Societal Life Cycle Assessment)

AEE – Análise de Ecoeficiência (metodologia desenvolvida pela BASF)

CA – Chuva Ácida

CFF – Cachos de Frutos Frescos

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DCO – Destruição da camada de Ozônio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EE – Efeito Estufa

FFO – Formação Fotoquímica de Ozônio

PN – Poder de neutralização

PRNT - Poder relativo de neutralização total

RE – Reatividade das partículas

SSA – Subsistema Agrícola

SSE – Subsistema de extração do óleo

SST – Subsistema de transporte da lavoura até a usina de extração

UF – Unidade Funcional

GLOSSÁRIO

Assoreamento : processo em que lagos, rios, baías e estuários vão sendo aterrados pelos solos e outros sedimentos neles depositados pelas águas das enxurradas, ou por outros processos. Aterro controlado - aterro para lixo residencial urbano, onde os resíduos são depositados recebendo depois uma camada de terra por cima. Na impossibilidade de se proceder a reciclagem do lixo, pela compostagem acelerada ou pela compostagem a céu aberto, as normas sanitárias e ambientais recomendam a adoção de aterro sanitário e não do controlado.

Bioma : amplo conjunto de ecossistemas terrestres caracterizados por tipos fisionômicos semelhantes de vegetação, com diferentes tipos climáticos. É o conjunto de condições ecológicas de ordem climática e características de vegetação: o grande ecossistema com fauna, flora e clima próprios. Os principais biomas mundiais são: tundra, taiga, floresta temperada caducifólia, floresta tropical chuvosa, savana, oceano e água doce.

Biomassa: quantidade de matéria orgânica presente num dado momento numa determinada área, e que pode ser expressa em peso, volume, área ou número.

Biosfera: sistema único formado pela atmosfera (troposfera), crosta terrestre (litosfera), água (hidrosfera) e mais todas as formas de vida. É o conjunto de todos os ecossistemas do planeta.

Camada de ozônio: camada de gás O₃, situada a 30 ou 40 km de altura, atua como um verdadeiro escudo de proteção, filtrando os raios ultravioleta emitidos pelo sol. Gases nitrogenados emitidos por aviões e automóveis, assim como o CFC (clorofluorcarbono) têm efeito destrutivo sobre a camada de ozônio. O preço desta destruição é o aumento da radiação ultravioleta, o que provoca uma maior taxa de mutações nos seres vivos, acarretando, por exemplo, maior incidência de câncer no homem. Além disso é muito provável a ocorrência de distúrbios na formação de proteínas vegetais, com comprometimento do crescimento das plantas e a redução das safras agrícolas. Admite-se que o clima sofra transformações, principalmente com o aquecimento da superfície do planeta.

Chuva Ácida: precipitação de água sob a forma de chuva, neve ou vapor, tornada ácida por resíduos gasosos proveniente, principalmente, da queima de carvão e derivados de petróleo ou de gases de núcleos industriais poluidores. As precipitações ácidas podem causar

desequilíbrio ambiental quando penetram nos lagos, rios e florestas e são capazes de destruir a vida aquática.

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): DBO de uma amostra de água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável.

A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20 °C é freqüentemente usado e referido como DBO 5,20.

Os maiores acréscimos em termos de DBO, num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática.

Um elevado valor da DBO pode indicar um incremento da micro-flora presente e interferir no equilíbrio da vida aquática, além de produzir sabores e odores desagradáveis e ainda, pode obstruir os filtros de areia utilizadas nas estações de tratamento de água.

Pelo fato da DBO somente medir a quantidade de oxigênio consumido num teste padronizado, não indica a presença de matéria não biodegradável, nem leva em consideração o efeito tóxico ou inibidor de materiais sobre a atividade microbiana.

Demanda Química de Oxigênio (DQO): é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO, sendo o teste realizado num prazo menor e em primeiro lugar, servindo os resultados de orientação para o teste da DBO. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial.

Desertificação: redução de processos vitais nos ambientes. Tem sido usado para especificar a expansão de áreas desérticas em países de clima quente e seco. Há fortes evidências de que resultam, em muitos casos, das formas antibiologizantes desenvolvidas pelas atividades humanas. Implica portanto, na redução das condições agrícolas do planeta. Milhares de hectares de terras produtivas são transformadas em zonas irrecuperáveis

anualmente no mundo. Para tanto, contribuem o desmatamento, o uso de tecnologias agropecuárias inadequadas e as queimadas.

Ecossistema: comunidade total de organismos, junto com o ambiente físico e químico no qual vivem .

Efeito Estufa : fenômeno que ocorre quando gases, como o dióxido de carbono entre outros, atuando como as paredes de vidro de uma estufa, aprisionam o calor na atmosfera da Terra, impedindo sua passagem de volta para a estratosfera. O efeito estufa funciona em escala planetária e o fenômeno pode ser observado, como exemplo, em um carro exposto ao sol e com as janelas fechadas.

Os raios solares atravessam o vidro do carro provocando o aquecimento de seu interior, que acaba "guardado" dentro do veículo, porque os vidros retêm os raios infravermelhos. No caso específico da atmosfera terrestre, gases como o CFC, o metano e o gás carbônico funcionam como se fossem o vidro de um carro. A luz do sol passa por eles, aquece a superfície do planeta, mas parte do calor que deveria ser devolvida à atmosfera fica presa, acarretando o aumento térmico do ambiente. Acontecendo em todo o planeta, seria capaz de promover o degelo parcial das calotas polares, com a consequente elevação do nível dos mares e a inundação dos litorais.

Erosão: processo pelo qual a camada superficial do solo ou partes do solo são retiradas pelo impacto de gotas de chuva, ventos e ondas e são transportadas e depositadas em outro lugar.

Eutrofização: fenômeno pelo qual a água é acrescida, principalmente, por compostos nitrogenados e fosforados. Ocorre pelo depósito de fertilizantes utilizados na agricultura ou de lixo e esgotos domésticos, além de resíduos industriais como o vinhoto, oriundo da indústria açucareira, na água. Isso promove o desenvolvimento de uma superpopulação de microorganismos decompositores, que consomem o oxigênio, acarretando a morte das espécies aeróbicas, por asfixia. A água passa a ter presença predominante de seres anaeróbicos que produzem o ácido sulfídrico (H_2S), com odor parecido ao de ovos podres.

Formação Fotoquímica de Ozônio: é a denominação dada à mistura de determinados poluentes que, combinados com oxigênio e forte incidência de luz solar, sofrem uma reação

fotoquímica e produzem poluentes secundários. Os hidrocarbonetos e os óxidos de nitrogênio, na presença de forte luz solar, formam os ozônios, principais poluentes secundários, utilizados como parâmetro indicador da presença de oxidantes fotoquímicos na atmosfera.

Lixiviação: arraste vertical, pela infiltração da água, de partículas da superfície do solo para camadas mais profundas.

Ozônio (O₃): classificado como poluente secundário, é formado pela incidência de luz solar que promove a quebra das moléculas dos hidrocarbonetos liberados na combustão de gasolina, diesel e outros combustíveis. Quanto maior a luminosidade, maior a porcentagem de quebra de moléculas na atmosfera. Essas moléculas, combinadas com o óxido de nitrogênio, formam o ozônio, considerado como o principal produto do ciclo fotoquímico.

Ainda pouco conhecida, a poluição por ozônio tem características próprias. Enquanto a de outros poluentes está relacionada diretamente com a emissão das fontes, a do ozônio tem forte relação com fatores climáticos, tendo a sua formação favorecida pela incidência de luz solar e períodos longos de calmaria (falta de vento).

Por ser um gás extremamente tóxico, pode causar sérios efeitos mesmo em baixa concentração. Provoca irritação dos olhos, nariz e garganta, envelhecimento precoce da pele, náusea, dor de cabeça, tosse, fadiga, aumento do muco, diminuição da resistência orgânica às infecções e agravamento de doenças respiratórias. Além disso, o gás tem forte ação corrosiva e reduz a vida útil dos materiais.

Os efeitos da exposição ao ozônio são mais pronunciados durante exercícios físicos, quando pode ocorrer uma sensível redução da capacidade respiratória. Por esta razão, em dias muito poluídos não é recomendável praticar exercícios, principalmente entre às 13h00 e 16h00.

É sempre bom ressaltar que o ozônio é ruim (tóxico) quando está na faixa de ar próxima do solo, onde vivemos, mas que na estratosfera o ozônio tem a importante função de proteger a Terra, como um filtro, dos raios ultravioletas emitidos pelo Sol.

Poder de neutralização (PN): capacidade potencial total de bases neutralizantes contidas em corretivo de acidez, expressa em equivalente de Carbonato de Cálcio puro (% E CaCO₃);

Poder relativo de neutralização total (PRNT): conteúdo de neutralizantes contidos em corretivo de acidez, expresso em equivalente de Carbonato de Cálcio puro (% ECaCO₃), que reagirá com o solo no prazo de 3 (três) meses;

Reatividade das partículas (RE): valor que expressa o percentual (%) do corretivo que reage no solo no prazo de 3 (três) meses;

ANEXOS