CARLOS ALBERTO ALEJOS ALTAMIRANO

ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DO BIODIESEL DE SOJA: UMA COMPARAÇÃO ENTRE AS ROTAS METÍLICA E ETÍLICA

Escola de Química – TPQBq
UFRJ
2013

ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DO BIODIESEL DE SOJA: UMA COMPARAÇÃO ENTRE AS ROTAS METÍLICA E ETÍLICA

CARLOS ALBERTO ALEJOS ALTAMIRANO

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSARIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS.

Escola de Química
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Orientadores:

Ofélia de Queiroz Fernandes Araújo, Ph.D
Lídia Yokoyama, D. Sc

Rio de Janeiro, RJ - Brasil
Agosto 2013

ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DO BIODIESEL DE SOJA: UMA COMPARAÇÃO ENTRE AS ROTAS METÍLICA E ETÍLICA

CARLOS ALBERTO ALEJOS ALTAMIRANO

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS.

Aprovada por:

Profª. Ofélia de Queiroz Fernandes Araújo, Ph.D. – Orientadora

Profª. Lídia Yokoyama, D.Sc – Orientadora

Prof. Alexandre Salem Szklo, D.Sc

Prof. Eduardo Gonçalves Serra, D.Sc

Prof. José Luiz de Medeiros, D.Sc

Profª. Fabiana Valéria da Fonseca Araújo, D.Sc

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Agosto de 2013

Altamirano, Carlos Alberto Alejos.

Análise de Ciclo de Vida do Biodiesel de Soja: uma comparação entre as rotas metílica e etílica / Carlos Alberto Alejos Altamirano. – 2013.

259 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Rio de Janeiro, 2013.

Orientador: Ofélia de Queiroz Fernandes de Araújo e Lidia Yokoyama

1. Sustentabilidade. 2. Análise de Ciclo de Vida. 3. Biodiesel por rota Etílica. 4. Biodiesel por rota Metílica. I. Araujo, Ofélia de Queiroz Fernandes (orientador), Yokoyama, Lidia (co-orientador) II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de Química. III. Análise de Ciclo de Vida do Biodiesel de Soja: uma comparação entre as rotas metílica e etílica.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Luis e Yolanda pelo apoio e esforço para que eu me tornasse um profissional; pelo amor, carinho e atenção que deram nestes anos fora de casa.

Às minhas professoras orientadoras, Ofélia e Lidia pela confiança e apoio desde o inicio para a realização deste trabalho.

A CNPq pela concessão da bolsa de mestrado

Agradeço infinitamente a minha namorada Aline Rose, simplesmente por me ensinar a ser uma pessoa melhor; pelo amor, carinho, apoio, atenção incondicional; por compartilhar comigo os momentos bons e ruins, por ser minha amiga, minha conselheira, minha parceira de viagem, por me dar ânimos, sorrisos, alegrias, por me ajudar com as correções do português e com a escrita desta obra, a sua colaboração foi muito importante.

Ao Professor Donato Aranda, pelo apoio e informação brindada a respeito da produção de biodiesel, esta que foi muito importante para o desenvolvimento desta obra.

A Efabiano Roque, engenheiro da Petrobras e colega da turma de mestrado, pelas inúmeras vezes que respondeu aos meus e-mails para me ajudar com minhas duvidas a respeito da produção do etanol.

A Giancarlo Lovon, aluno doutorando do Programa de Planejamento Energético (COPEE) por ter compartilhado comigo seus conhecimentos em assuntos relacionados a este trabalho.

Aos meus irmãos Tony, Ariadna, Lucia, por serem as pessoas que mais me fizeram falta longe de casa.

Aos amigos que fiz no Brasil, Lucas, Rafael, Jorge, Thothadri, Mariana, Marcelo, Vianca, e especialmente a Báslavi Condor, Mario Pastrana e Jack Cutipa, por serem as pessoas que mais me apoiaram quando precisei.

A todos os colegas da turma 2011 do Programa do Programa de Mestrado Profissional de Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica.

RESUMO

ALTAMIRANO, Carlos Alberto Alejos. **Análise de Ciclo de Vida do Biodiesel de Soja: uma Comparação entre as Rotas Metílica e Etílica**. Orientadores: Ofélia de Queiroz Fernandes Araújo e Lídia Yokoyama. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Esta Dissertação compara o desempenho ambiental de duas rotas de produção de biodiesel de soja diferindo na tecnologia de transesterificação: metílica e etílica. As duas rotas foram consideradas com base em emissões dos principais gases de efeito estufa (CO_2, CH_4 e N_2O) e outros gases poluentes, geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos, consumo de recursos energéticos e naturais como água e solo, e as categorias de impacto ambiental como GWP, AP, EP, PCOP e HT. As fronteiras do estudo se estendem desde as atividades de extração de matérias prima até o uso final do biodiesel, tendo como uso final a queima em motor de ônibus para transporte público. Os inventários de ciclo de vida dos subsistemas de produção de insumos como fertilizantes (N, P_2O_5, e K_2O), NaOH, H_2SO_4, $CaCO_3$, ciclohexano, óleo diesel, óleo combustível e etanol foram obtidos a partir de dados disponíveis na literatura. O inventário para o subsistema de produção de metanol foi obtido por simulação do processo com o ASPEN HYSYS (ASPENTECH INC) e o inventário do subsistema para a produção de biodiesel foi obtido por balanço de massa e energia usando como plataforma computacional planilha EXCEL (Microsoft). Os inventários dos subsistemas e os fatores de alocação calculados permitiram consolidar o inventário final de produção de biodiesel, utilizado para cálculo de categorias de impacto ambiental, consumo de insumos químicos, energia e água, e geração de efluentes. Os resultados mostram que a substituição de biodiesel metílico por biodiesel etílico não aporta benefícios ambientais significativos. Destaca-se que a rota etílica apresenta vantagem competitiva apenas na categoria de impacto por aquecimento global, mostrando desempenho inferior nas demais categorias de impacto avaliadas. Adicionalmente, a análise aponta também consumo superior de recursos naturais e de energia pela rota etílica.

ABSTRACT

ALTAMIRANO, Carlos Alberto Alejos. **Análise de Ciclo de Vida do Biodiesel de Soja: uma Comparação entre as Rotas Metílica e Etílica**. Orientadores: Ofélia de Queiroz Fernandes Araújo e Lídia Yokoyama. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

This Dissertation compares two routes for biodiesel production, differing in the transesterification technology: methylic and ethylic, The two routes were compared based on emissions of greenhouse gases (CO2, CH4, N2O), generation of liquid effluents and solid residues, consumption of energy and natural resources such as water and soil, and environmental impact categories such as GWP, AP, EP, PCOP and HT. The system's boundaries were defined extending from the extraction of raw-materials to the final use astransportation fuel in bus. The life cycle inventories for several inputs as fertilizers (N, P2O5, and K2O), NaOH, H2SO4, CaCO3, hexane, diesel, fuel oil, and ethanol were obtained from data in available in the literature. The sub inventory for methanol production was obtained using process simulation with ASPEN HYSYS (ASPENTECH INC) and the inventory for the subsystem of biodiesel production was obtained from mass and energy balances using MICROSOFT EXCEL. Finally, using the inventories and allocation factors, the consolidated final inventory of biodiesel was obtained. The results show that substitution of methylic biodiesel by ethylic biodiesel does not present significant environmental benefits. It should be noticed that the ethylic route presents competitive advantages only in the category of global warming, exhibiting inferior performance in the remaining impact categories evaluated. Additionally, the analysis indicates superior consumption of natural resources and energy by the ethylic route.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Analise de Ciclo de Vida
ANP	Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AP	Acidification Potential
ASTM	American Society for Testing and Materials
BEM	Balanço Energético Nacional
BES	Biodiesel etílico de soja
BMS	Biodiesel metílico de soja
DME	Dimetil Eter
DB	Diclorobenceno
EP	Eutrophication Potental
EPA	Environmental Protection Agency
GWP	Global Warming Potential
HTP	Human Toxicity Potential
ICV	Inventário de ciclo de vida
IPCC	International Panel for Climate Change
ISSO	Internacional para a Normalização
LCA	Life Cycle Assessment
MAPA	Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
MRI	Midwest Research Institute
MP	Material particulado
PM	Peso molecular
REDUC	Refinaria Duque de Caxias
RELAM	Refinaria Landulpho Alves
REPA	Resource and Environmental Profile Analisis
REPLAN	Refinaria do Planalto
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

LISTA DE SIMBOLOS

CO	Monóxido de carbono
CO_2	Dióxido de carbono
CO_2 eq	Dióxido de carbono equivalente
CH_3CH_2OH	Etanol
CH_3OH	Metanol
CH_4	Metano
C_2H_4	Etileno equivalente
Cl^-	Íon cloreto
GN	Gás natural
H_2S	Sulfeto de hidrogênio
K	Potássio
SO_2	Dióxido de enxofre
SO_2 eq	Dióxido de enxofre equivalente
SO_X	Óxidos de enxofre
SSP	Superfosfato simples de potássio
MP	Material particulado
N	Nitrogênio
NaOH	Hidróxido de sódio
NH_3	Amônia
NO_3^-	Íon nitrato
NO_X	Óxidos de nitrogênio
P	Fósforo
PO_4^{-3}	Íon fosfato

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Estrutura da metodologia de analise de ciclo de vida	5
Figura 2.2	Fluxograma da produção de metanol	31
Figura 2.3	Fluxograma de produção de biodiesel pela rota metílica	39
Figura 2.4	Fluxograma de produção de biodiesel pela rota etílica	40
Figura 3.1	Limites do sistema para o ACV do biodiesel de soja	44
Figura 4.1	Matérias primas para a produção de soja	97
Figura 4.2	Matérias primas para a extração de óleo de soja	97
Figura 4.3	Matérias primas para a produção de cana de açúcar	97
Figura 4.4	Matérias primas para a produção de etanol sem considerar água	98
Figura 4.5	Matérias primas para a produção de etanol considerando água	98
Figura 4.6	Matérias primas para a produção de metanol	99
Figura 4.7	Matérias primas para a produção BMS	100
Figura 4.8	Matérias primas para a produção BES	100
Figura 4.9	Comparação no uso de água	101
Figura 4.10	Comparação no uso do solo agrícola	101
Figura 4.11	Comparação no uso de recursos naturais	102
Figura 4.12	Comparação no uso energia	103
Figura 4.13	Comparação na relação de energia fóssil	104
Figura 4.14	Comparação nas emissões atmosféricas	104
Figura 4.15	Comparação na geração de efluentes	105
Figura 4.16	Comparação na geração de resíduos sólidos.	106
Figura 4.17	Uso de água	107
Figura 4.18	Uso de energia total	108
Figura 4.19	Emissões de CO_2.	109
Figura 4.20	Emissões de CH_4.	110
Figura 4.21	Emissões de N_2O.	111
Figura 4.22	Emissões de NO_X.	111
Figura 4.23	Emissões de NH_3	112
Figura 4.24	Emissões de MP.	113
Figura 4.25	Emissões de CO	114
Figura 4.26	Emissões de hidrocarbonetos	115
Figura 4.27	Emissões de SO_X	116
Figura 4.28	Emissões de H_2S	116
Figura 4.29	Emissões de PO_4^{-3}.	117
Figura 4.30	Emissões de NO_3^-.	117
Figura 4.31	Efeito nas emissões de CO_2.	118
Figura 4.32	Efeito nas emissões de CH_4.	119
Figura 4.33	Efeito nas emissões de N_2O	119
Figura 4.34	Efeito nas emissões de NO_X	120
Figura 4.35	Efeito nas emissões de NH_3	120
Figura 4.36	Efeito nas emissões de hidrocarbonetos	121

Figura 4.37	Efeito nas emissões de MP.	122
Figura 4.38	Efeito nas emissões de SO_X.	122
Figura 4.39	Efeito nas emissões de NO^-_3.	123
Figura 4.40	Efeito nas emissões de PO_4^{-3}	124
Figura 4.41	Efeito na categoria de impacto de Potencial de Aquecimento global	125
Figura 4.42	Efeito na categoria de impacto de Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico	126
Figura 4.43	Efeito na categoria de impacto de Potencial de Acidificação	127
Figura 4.44	Efeito na categoria de impacto de Potencial de Eutroficação	128
Figura 4.45	Efeito na categoria de impacto de Potencial de Toxicidade Humana	129
Figura 4.46	Análise de sensibilidade: NPK na produção de soja vs. Impactos no BMS.	131
Figura 4.47	Análise de sensibilidade: NPK na produção de soja vs. Impactos no BES.	132
Figura 4.48	Análise de sensibilidade: NPK na produção da cana vs. Impactos no BES.	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Fatores de conversão de poluentes para as categorias de impacto	15
Tabela 2.2	Processos para a obtenção de metanol	26
Tabela 2.3	Variáveis das unidades de processo para a produção de metanol	31
Tabela 2.4	Matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil	37
Tabela 2.5	Parâmetros de comparação entre a rota metílica e a rota etílica	42
Tabela 3.1	Premissas de estudo para a construção do inventario do biodiesel de soja .	47
Tabela 3.2	Inventário do subsistema de Extração de Petróleo Nacional e Importado ...	49
Tabela 3.3	Volume de petróleo nacional e importado processado entre 2006-2010	50
Tabela 3.4	Impactos ambientais referentes à importação de petróleo estrangeiro	51
Tabela 3.5	Inventário do diesel e óleo combustível	51
Tabela 3.6	Inventário para o subsistema do refino do petróleo no Brasil	52
Tabela 3.7	Inventário para o processo Linde	57
Tabela 3.8	Inventário para a produção de amônia pelo processo Haber-Bosch	57
Tabela 3.9	Inventário para a produção de uréia	58
Tabela 3.10	Inventário para a extração e beneficiamento do gás natural	59
Tabela 3.11	Composição do gás natural usado pela PETROBRAS FAFEN	59
Tabela 3.12	Inventário para a produção de amônia por reforma do gás natural	60
Tabela 3.13	Inventário da queima do gás natural	60
Tabela 3.14	Inventário para a produção de Benzeno	61
Tabela 3.15	Inventário para a produção de ciclohexano	62
Tabela 3.16	Inventário do subsistema de produção do calcário	62
Tabela 3.17	Inventário para a produção de hidróxido de sódio	63
Tabela 3.18	Inventário do subsistema de produção de acido sulfúrico	64
Tabela 3.19	Inventário do subsistema de mineração da rocha fosfórica	65
Tabela 3.20	Inventário para a produção de SSP	66
Tabela 3.21	Inventário do subsistema de produção de cloreto de potássio	66
Tabela 3.22	Inventário para a geração e distribuição de energia elétrica	67
Tabela 3.23	Produtividade da soja no Brasil entre as safras 2005-2010	69
Tabela 3.24	Distâncias entre produtores de fertilizantes e produtores de soja	71
Tabela 3.25	Consumo de energia térmica por etapa para a extração de óleo de soja ...	75
Tabela 3.26	Consumo de energia elétrica por etapa para a extração de óleo de soja	77
Tabela 3.27	Consumo de água total para a extração de óleo de soja	77
Tabela 3.28	Consumo de energia elétrica para a produção de metanol	79
Tabela 3.29	Consumo de gás natural para a produção de metanol	79
Tabela 3.30	Consumo e geração de energia na produção de metanol	80
Tabela 3.31	Consumo de água para a geração de vapor na produção de metanol	81
Tabela 3.32	Consumo de água de resfriamento na produção de metanol	81
Tabela 3.33	Produtividade da cana-de-açúcar no Brasil entre 2005-2010	82
Tabela 3.34	Distâncias entre os produtores de fertilizantes e os produtores de cana	83
Tabela 3.35	Distribuição do carbono fixado nos produtos e subprodutos da cana	87
Tabela 3.36	Geração de efluentes na produção de etanol anidro	91

Tabela 3.37	Balanço de matérias primas para a produção de BMS	91
Tabela 3.37	Balanço de matérias primas para a produção de BES	94
Tabela 4.1	Diferença de PAG entre o BMS e BES em relação ao óleo diesel	125
Tabela 4.2	Diferença de PCOP entre o BMS e BES em relação ao óleo diesel	126
Tabela 4.3	Diferença de PA entre o BMS e BES em relação ao óleo diesel	128
Tabela 4.4	Diferença de EP entre o BMS e BES em relação ao óleo diesel	129
Tabela 4.5	Diferença de TH entre o BMS e BES p em relação ao óleo diesel	130

SUMARIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO 1

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3

2.1. Análise de Ciclo de Vida (ACV) 3
2.1.1.Descrição da metodologia..... 5
2.1.2.Categorias de Impacto na Análise de Ciclo de Vida 10
2.2. Matérias primas para o Biodiesel: Rotas Etílica e Metílica 16
2.2.1. Soja 16
2.2.2. Óleo de Soja 17
2.2.3. Cana de Açúcar 19
2.2.4. Etanol Anidro 21
2.2.5. Metanol 25
2.2.6. Ureia 32
2.2.7. Superfosfato simples 34
2.2.8. Cloreto de potássio 35
2.2.9. Ciclohexano 35
2.3. Biodiesel 35
2.3.1. Matérias Primas para a produção de biodiesel no Brasil 36
2.3.2. Processo de produção de Biodiesel 37
2.3.3. Comparação entre a rota metílica e a rota etílica 40

CAPÍTULO 3 - CONSTRUÇÃO DO INVENTÁRIO DE BIODIESEL: METODOLOGIA E PREMISSAS 43

3.1. Definição de objetivo, escopo, sistema, fronteiras e localização 43
3.2. Premissas de Estudo 46
3.3. Construção de Inventário 49
3.3.1. Inventário do Subsistema de Petróleo e Derivados 49
3.3.2. Subsistema do óleo diesel 55
3.3.3. Subsistema do óleo combustível..... 55
3.3.4. Subsistema do resíduo asfáltico 55
3.3.5. Subsistema da nafta 56
3.3.6. Subsistema do hexano 56
3.3.7. Inventário do subsistema de produção da uréia 56
3.3.8. Inventário para o subsistema de produção do ciclohexano 61
3.3.9. Inventário do subsistema de produção do calcário 62
3.3.10. Inventário do subsistema de produção do hidróxido de sódio 63
3.3.11. Inventário do subsistema de produção do acido sulfúrico 64
3.3.12. Inventário do subsistema de produção do superfosfatos simples (SSP) 64
3.3.13. Inventario do subsistema de produção do cloreto de potássio (KCl) 66
3.3.14. Inventário do subsistema de geração e distribuição de energia elétrica 67
3.3.15. Inventário do subsistema de produção da soja 68

3.3.16. Inventário do subsistema de extração do óleo de soja 74
3.3.17. Inventário do subsistema de produção do metanol 78
3.3.18. Inventário do subsistema de produção de cana de açúcar 82
3.3.19. Inventário do subsistema de produção do etanol anidro 88
3.3.20. Inventário do sistema de produção do biodiesel metílico de soja (BMS) 91
3.3.21. Inventário do sistema de produção do biodiesel etílico de soja (BES) 94

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO 96

4.1. Fluxo de matérias primas 96
4.2. Indicadores de sustentabilidade (comparação entre a rota metílica e etílica) 100
4.2.1. Uso de água total 100
4.2.2. Uso do solo agrícola 101
4.2.3. Uso de recursos naturais 102
4.2.4. Uso de energia total 103
4.2.5. Relação de energia 104
4.2.6. Emissão de gases poluentes para a atmosfera 104
4.2.7. Geração de efluentes 105
4.2.8. Geração de resíduos sólidos 106
4.3. Fluxo de materiais, energia e poluentes por etapa do ciclo de vida 106
4.3.1. Uso de água..... 106
4.3.2. Uso de energia total 107
4.3.3. Emissões de gases de efeito estufa (CO_2, CH_4 e N_2O) 108
4.3.4. Emissões de NO_X, e NH_3..... 111
4.3.5. Emissões de MP, CO, e hidrocarbonetos 112
4.3.6. Emissões de SO_X, e H_2S 115
4.3.7. Emissões de PO_4^{-3} e NO_3^- 116
4.4. Efeito na emissão de poluentes frente ao uso da mistura BX 118
4.4.1. Emissões de gases de efeito estufa (CO_2, CH_4 e N_2O) 118
4.4.2. Emissões de NO_X, e NH_3 120
4.4.3. Emissões de hidrocarbonetos e material particulado 121
4.4.4. Emissões de SO_X 122
4.4.5. Emissões de PO_4^{-3} e NO_3^- 123
4.5. Avaliação de Impacto 124
4.5.1 Potencial de Aquecimento Global (PAG) 124
4.5.2 Potencial de criação de ozônio fotoquímico (PCOF) 126
4.5.3 Potencial de acidificação (PA) 127
4.5.4 Potencial de eutrofização (PE) 128
4.5.5 Toxicidade Humana (TH) 129
4.6. Análise de sensibilidade 130
4.6.1. Sensibilidade das categorias de impacto frente à variação no uso de NPK ... 130

CAPÍTULO 5 - CONSLUSSÕES E SUGESTÕES 134

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 136

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A1	FATORES DE EMISSÃO PARA A QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS	142
APÊNDICE A2	BALANÇO DE MASSA E ENERGIA PARA PRODUÇÃO DE METANOL	153
APÊNDICE A3	BALANÇO DE MATERIAIS E ENERGIA PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL ANIDRO	158
APÊNDICE A4	BALANÇO DE MASSA E ENERGIA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL	173
APÊNDICE A5	FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DE METANOL EM AMBIENTE ASPEN ...	216
APÊNDICE A6	COMPOSIÇÃO DE CORRENTES DO FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DO METANOL	217
APÊNDICE A7	FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DE ETANOL ANIDRO	218
APÊNDICE A8	BALANÇO DE MATERIAIS E ENERGIA NO SISTEMA DE GERAÇÃO DE VAPOR PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL ANIDRO	219
APÊNDICE A9	FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE SOJA	220
APÊNDICE A10	FLUXOGRAM DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL PELA ROTA METÍLICA	221
APÊNDICE A11	FLUXOGRAMA DE PRODUÇÃO DE BIODIESEL PELA ROTA ETÍLICA	222
APÊNDICE B1	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE TRANSPORTE DE PETRÓLEO IMPORTADO NO BRASIL	223
APÊNDICE B2	PRODUTOS DERIVADOS DO PETRÓLEO OBTIDOS NAS REFINARIAS BRASILEIRAS ENTRE 2006-2010	224
APÊNDICE B3	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PROCESSAMENTO DO PETRÓLEO NO BRASIL	225
APÊNDICE B4	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE ÓLEO DIESEL E ÓLEO COMBUSTÍVEL NO BRASIL	226
APÊNDICE B5	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE RESÍDUO ASFALTICO PELA REPAR	227
APÊNDICE B6	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE NAFTA PELA RELAM.....	228
APÊNDICE B7	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DO HEXANO.....	229
APÊNDICE B8	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE UREIA PELA FOSFERTIL	230
APÊNDICE B9	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE UREIA PELA PETROBRAS FAFEN	231
APÊNDICE B10	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE CICLOHEXANO	232
APÊNDICE B11	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO E USO DO CALCARIO NA CULTURA DA SOJA	233
APÊNDICE B12	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO E USO DO CALCARIO NA CULTURA DA CANA	234
APÊNDICE B13	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE NaOH	235
APÊNDICE B14	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE SUPERFOSFATO SIMPLES	236
APÊNDICE B15	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE CLORETO DE POTÁSSIO	237
APÊNDICE B16	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇAO E USO DE NPK NA CULTURA DA SOJA	238
APÊNDICE B17	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE SOJA NO BRASIL	239

APÊNDICE B18	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE SOJA	240
APÊNDICE B19	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE METANOL	241
APÊNDICE B20	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇAO E USO DE NPK NA CULTURA DA CANA	242
APÊNDICE B21	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DA CANA DE AÇUCAR	243
APÊNDICE B22	INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE ETANOL ANIDRO	244
APÊNDICE B23	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL METÍLICO DE SOJA NO BRASIL	245
APÊNDICE B24	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL ETÍLICO DE SOJA NO BRASIL	246
APÊNDICE B25	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE DIESEL NO BRASIL	247
APÊNDICE B26	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B5 (ROTA METÍLICA)	248
APÊNDICE B27	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B10 (ROTA METÍLICA)	249
APÊNDICE B28	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B15 (ROTA METÍLICA)	250
APÊNDICE B29	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B20 (ROTA METÍLICA)	251
APÊNDICE B30	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B50 (ROTA METÍLICA)	252
APÊNDICE B31	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B100 (ROTA METÍLICA)	253
APÊNDICE B32	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B5 (ROTA ETÍLICA)	254
APÊNDICE B33	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B10 (ROTA ETÍLICA)	255
APÊNDICE B34	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B15 (ROTA ETÍLICA)	256
APÊNDICE B35	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B20 (ROTA ETÍLICA)	257
APÊNDICE B36	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B50 (ROTA ETÍLICA)	258
APÊNDICE B37	INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B100 (ROTA ETÍLICA)	259

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Frente à escassez de recursos energéticos e ao grande problema ambiental associado ao uso de recursos fósseis não renováveis, a energia proveniente de biomassa tem sido objeto de estudos e desenvolvimentos em todo o mundo, particularmente o bioetanol obtido por diversas fontes e o biodiesel.

O Biodiesel é um combustível renovável produzido a partir de óleo vegetal ou gordura animal. A transesterificação é o processo mais difundido no mundo e no Brasil. Dependendo do tipo de álcool empregado na reação, o biodiesel pode ser do tipo metil-éster (oriundo da utilização do metanol) ou etil-éster (etanol), que gera como subprodutos o farelo, a torta e a glicerina. A glicerina é um produto de alto valor agregado quando utilizado na indústria farmacêutica, de cosméticos e alimentos e bebidas, entre outros (PIMENTEL; COSTA; CUNHA, 2007). O uso final deste biocombustível é na forma de mistura com o diesel de petróleo na proporção de 5% (B5), sendo esta mistura obrigatória no Brasil (SEBRAE, 2007). A mistura permite diminuir a dependência por combustíveis fósseis e evitar emissões de CO_2, pois, na produção de biodiesel, a cultura de soja fixa o CO_2 atmosférico para seu crescimento. Desta forma, o biodiesel é um combustível de baixa emissão líquida de CO_2 e de origem renovável.

Contudo, o uso de metanol como insumo para a produção de biodiesel (rota metílica) faz com que o seu processo produtivo ainda dependa de fontes fósseis, posto que o metanol é geralmente produzido a partir de gás natural (VASWANI, 2000), colocando em discussão a origem renovável deste biocombustível. Este aspecto motiva o desenvolvimento de rota de produção com etanol anidro como reagente de transesterificação (rota etílica), pois este álcool é produzido em larga escala a partir da cana-de-açúcar, portanto de origem renovável. Assim, o bioetanol apresenta-se como um bom candidato para substituir o metanol na produção de biodiesel no Brasil, potencialmente convertendo-o em um combustível mais renovável e sustentável, dando acesso ao exigente mercado internacional.

Entretanto, torna-se necessária uma análise detalhada de todas as entradas de matérias primas e energia necessárias nas duas rotas, permitindo avaliar os benéficos ambientais decorrentes do uso de bioetanol anidro produzido a partir da cana-de-açúcar para a produção de biodiesel. Neste aspecto, a crescente conscientização sobre a importância da proteção ambiental e dos possíveis impactos associados a produtos manufaturados e consumidos tem aumentado o interesse no desenvolvimento de métodos de identificação de fontes de impactos e quantificação destes. Uma das técnicas em desenvolvimento com este propósito é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

A ACV é a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. O termo “ciclo de vida” refere-se à maioria das atividades no decurso da vida do produto desde a sua fabricação, utilização, manutenção, e deposição final; incluindo aquisição de matéria-prima necessária para a fabricação do produto. Trata-se de uma técnica da gestão ambiental que avalia os efeitos de um produto sobre o meio ambiente ao longo do seu ciclo de vida. É, portanto, uma ferramenta para planejamento com ênfase na redução tanto do consumo de recursos naturais quanto na emissão de poluentes, orientando as decisões para minimização dos impactos ambientais.

Neste contexto, este trabalho apresenta um inventário de ciclo de vida de biodiesel produzido pelas duas rotas, etílica e metílica, permitindo assim comparar o desempenho ambiental do biodiesel etílico e metílico.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGÁFICA

2.1 Análise Ciclo de Vida (ACV)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (ABNT NBR ISO 14041:2004) define a Analise de Ciclo de Vida (ACV) como uma técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto com seguinte procedimento:

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

O termo ACV, ou, em inglês, *Life Cycle Assessment* (LCA), foi utilizado primeiramente nos EUA em 1990. A designação histórica para estes estudos de ciclo de vida ambiental, utilizados nos Estados Unidos desde 1970, era “Resource and Environmental Profile Analisis” (REPA). Contudo, um dos primeiros estudos quantificando as necessidades de recursos, emissões e resíduos originados por diferentes embalagens de bebidas foi conduzido pelo "Midwest Research Institute" (MRI) para a Companhia Coca Cola em 1969. No final de 1972, o mesmo instituto (MRI) iniciou um estudo nas embalagens de cervejas e sumos, encomendado pela "U.S. Environmental Protection Agency" (USEPA), o qual marcou o início do desenvolvimento da ACV como se conhece hoje. A intenção da USEPA era examinar as implicações ambientais da utilização de embalagens de vidro reutilizáveis em vez de latas e garrafas não reutilizáveis, porque as garrafas reutilizáveis estavam sendo rapidamente substituídas por embalagens não reutilizáveis. Este estudo envolveu a indústria do vidro, aço, alumínio, papel e plástico e todos os fornecedores daquelas indústrias, tendo-se caracterizado mais de 40 materiais. Após o conhecimento dos resultados deste estudo,

concluiu-se que uma garrafa reutilizável seria claramente superior (RODRIGUES, 2004 apud HUNT & FRANKLIN, 1996).

Em 1992, a Organização Internacional para a Normalização (ISO) criou um comitê técnico (TC 207/SC 5) tendo em vista a normalização de um número de abordagens de gestão ambiental, incluindo ACV. Como resultado foram publicadas as seguintes normas relacionadas com ACV:

- ISO 14040: 1997 Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and Framework
- ISO 14041: 1998 Environmental management -- Life cycle assessment -- Goal and scope definition and inventory analysis
- ISO 14042: 2000 Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle impact assessment
- ISO 14043: 2000 Environmental management – Life cycle assessment -- Life cycle interpretation
- ISO/TR 14049: 2000 Environmental management -- Life cycle assessment -- Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis
- ISO/TS 14048: 2002 Environmental management -- Life cycle assessment -- Data documentation format
- ISO/TR 14047: 2003 Environmental management -- Life cycle impact assessment -- Examples of application of ISO 14042

A Análise do Ciclo de Vida é uma ferramenta muito importante para avaliação ambiental das cadeias de produção. Esta metodologia é amplamente utilizada e reconhecida por um número cada vez maior de cientistas e engenheiros em um número incontável de aplicações em todo mundo.

Existem alguns software que são utilizados para realizar a LCA, pode-se citar, por exemplo, o Simapro® e o Gabi®. Eles apresentam algumas vantagens, dentre elas, pode-se destacar: sua facilidade e praticidade de utilização; rapidez na obtenção dos resultados devido à diminuição do tempo gasto na avaliação; padronização nos bancos de dados utilizados;

padronização da forma de apresentação dos resultados e simplificações assumidas além da facilidade na comparação dos resultados obtidos com a literatura (CAVALETT, 2008).

Porém, uma das limitações é que os *software* para LCA utilizam banco de dados de sistemas dos EUA e Europa, que algumas vezes são bastante diferentes da realidade do Brasil. Por exemplo, seria muito difícil avaliar as peculiaridades dos sistemas de produção de soja orgânicos utilizando um *software* para LCA. Além disso, devido à necessidade de padronização do uso de recursos, em alguns casos, o *software* faz simplificações excessivas tornando impossível descrever os sistemas apropriadamente e algumas características interessantes de serem explicitadas são perdidas. Outro fator que deve ser levado em consideração é que o custo de aquisição do *software* aumenta o custo da avaliação (CAVALETT, 2008).

2.1.1 Descrição da Metodológica

A condução de estudos de ACV envolve as seguintes quatro etapas:

1) Definição de objetivo e Escopo;
2) Análise de Inventario;
3) Avaliação de Impacto, e;
4) Interpretação.

A Figura 2.1 esquematiza a aplicação da metodologia.

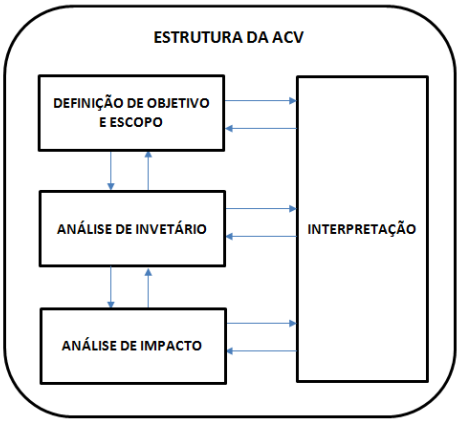


Figura 2.1 Estrutura da metodologia da análise de ciclo de vida
Fonte: Elaboração própria, adaptado de ISSO 14040: 1997

Cada uma das fases da ACV representada em blocos na Figura 2.1, são descritas a seguir.

Definição do Objetivo e Escopo

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

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

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

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

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

- O sistema a ser estudado;
- A definição dos limites do sistema;
- A definição das unidades do sistema;
- O estabelecimento da função e da unidade funcional do sistema; os procedimentos de alocação;
- Os requisitos dos dados; as hipóteses de limitações;

- A avaliação de impacto, quando necessária e a metodologia a ser adotada;
- A interpretação dos dados, quando necessária e a metodologia a ser adotada e,
- O tipo e o formato do relatório importante para o estudo e a definição dos critérios para a revisão crítica, se necessário.

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

- Função do sistema de produto: define a que se presta o sistema que está sendo analisada; qual sua função;
- Unidade funcional: é a unidade de medida da função anteriormente estabelecida. Esta define a quantificação das funções do sistema, provendo uma referência para a qual as quantificações das entradas e saídas do sistema (aspectos ambientais) serão normalizadas;
- Fluxo de referência: é o resultado dessa quantificação da unidade funcional, a quantidade de produto necessária para cumprir a função. O fluxo de referencia é utilizado para calcular as entradas e saídas do sistema, as comparações entre sistemas devem ser feitas com base na mesma unidade funcional na forma de seus fluxos de referencia.
- Fronteiras do sistema de produto: Define os processos elementares a serem incluídos no sistema a ser modelado, representando a delimitação da sua abrangência, considerando diversas dimensões.

As fronteiras de um sistema segundo Ribeiro (2003) podem ser:

- Fronteiras em relação ao sistema natural: limites que indicam onde se inicia e termina o ciclo de vida em relação ao meio natural;
- Fronteiras em relação a outros sistemas: cada sistema de produto tem associado uma rede de outros sistemas (produção de insumos, obtenção de matérias-primas,

coprodutos gerados, etc.). Dentro desta rede deve-se delimitar quais processos serão ou não estudados;

- Fronteiras geográficas: cada localidade possui características próprias, o que podem fazer o resultado ser inadequada quando adaptados (por exemplo, cada país possui uma matriz energética e o uso de um modelo de geração da Alemanha, por exemplo, é inadequado ao Brasil);
- Fronteira temporal: considera o momento para o qual os dados levantados terão validade, ou seja, se será estudada uma situação atual, passada ou ainda cenários de futuro, e;
- Fronteiras de bens de capital: determina se serão incluídas ou não no estudo as infraestruturas necessárias para a realização dos processos (edifícios das fábricas, estradas, etc.).

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

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

Inventário de Ciclo de Vida

Nesta etapa é elaborado um modelo de ciclo de vida para o produto em questão considerando todos os fluxos ambientais de entrada e saída. A Análise do Inventário (NBR ISO 14041) refere-se à coleta de dados e ao estabelecimento dos procedimentos de cálculo para que se possa facilitar o agrupamento destes dados em categorias ambientais normalmente utilizáveis e comparáveis, de modo semelhante a um balanço contábil. Em uma Análise de Inventário, o escopo e os objetivos de um estudo fornecerão o plano inicial para sua realização do estudo, estabelecendo o conjunto inicial de processos elementares e categorias de dados associados. Esta fase da Análise do Ciclo de Vida pode tornar-se uma das mais difíceis e trabalhosas, em função da não disponibilidade de dados, da qualidade dos dados disponíveis ou da necessidade de estimá-los.

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

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

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

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

A norma (ABNT NBR ISO 14041:2004) recomenda três grandes conjuntos de categorias de dados: energia, matérias-primas, matérias auxiliares e outras entradas físicas; produtos, emissões (ar, água, terra, etc.).

A construção do ICV é um processo iterativo, ao longo do qual se vai progressivamente obtendo maior conhecimento sobre o objeto de análise. Desta forma, a norma (ISO, 1998) recomenda que as fronteiras do sistema sejam revistas para identificar necessidades de novos refinamentos e dados adicionais. Devem ser realizadas análises de sensibilidade quando necessário, de modo a avaliar a pertinência de: (i) excluir estágios do ciclo de vida ou processos que não sejam significantes; (ii) excluir aspectos ambientais sem representatividade no resultado final, e (iii) incluir novos processos ou aspectos que sejam julgados relevantes.

Podem omitir-se componentes do sistema que contribuam com menos de 1% para a massa do produto total, especialmente se ele é inferior à certeza estatística do fator menos preciso. Uma exceção a esta regra é o caso de substâncias altamente tóxicas ou persistentes ou

recursos escassos. Nestes casos, mesmo assim, 1% da massa pode ainda ser significativo, devendo ser incluídas (RODRIGUES, 2004).

Avaliação de Impacto

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

2.1.2 Categorias de Impacto na Análise de Ciclo de Vida

Nesta seção, apresentam-se as categorias de impacto que serão usadas neste trabalho para a etapa de avaliação de impacto de ciclo de vida.

Aquecimento Global: Os potenciais de aquecimento global, GWP (*Global Warming Potential*) desenvolvidos pelo IPCC (International Panel on Climate Change), geralmente são utilizados. O GWP de uma sustância é a relação entre a contribuição para a absorção de calor da radiação resultante da descarga instantânea de 1 kg de gás de efeito estufa e uma quantidade igual de emissão de dióxido de carbono, integrada ao longo do tempo é representada pela Equação (2.1) (HEIJUNGS et al 1992):

$$GWP_i = \frac{\int_0^T aici(t)dt}{\int_a^T a_{CO2} c_{CO2}\,(t)dt}\ (em\ equivalentes\ de\ CO_2) \qquad Eq.\ (2.1)$$

Onde:

GWP_i: representa o potencial de aquecimento global da sustância i expresso em equivalentes de CO_2

T: horizonte de tempo (20,100,500 anos)

a_i: efeito de uma unidade de massa de sustância i

ci(t): concentração da sustância i no tempo t

aco2 e cco2: são parâmetros correspondentes para a sustância de referencia (CO_2).

O potencial de aquecimento global é dado pela seguinte formula:

$$Aquecimento\ Global = \sum_i GWP_i . m_i\ (Kg\ de\ equivalente\ de\ CO_2) \quad Eq.\ (2.2)$$

Onde:

mi é a massa em (kg) da sustância emitida. O resultado do efeito é expresso em kg de equivalentes de CO_2.

Formação de Ozônio Fotoquímico: a formação de ozônio fotoquímico é um tipo de impacto causado por certas sustâncias que são capazes de reagir com o radical hidroxilo OH para formar radicais peróxidrilas, que na presença de NO_X e radiação ultravioleta UV podem induzir a formação de ozônio molecular e outros compostos reativos na troposfera. As sustâncias que contribuem para este impacto são o monóxido de carbono (CO) e todos os compostos orgânicos voláteis (COV).

Têm sido desenvolvidos potencias precursores de ozônio fotoquímico, POCP (*Photochemical Ozone Criation Potential*) para a avaliação da contribuição relativa, na formação de do ozônio troposférico, a partir de diferentes compostos orgânicos voláteis. De acordo com Heijungs et al 1992, o POCP de uma emissão é a relação entre a alteração na concentração de ozônio devida as emissões de COV e a alteração na concentração de ozônio devida a uma alteração na emissão de etileno. A expressão para o POCP é dada pela Equação (2.3):

$$POCP_i = \frac{ai/bi}{aC2H4/bC2H4}\ (em\ equivalentes\ de\ Etileno) \qquad Eq.\ (2.3)$$

Onde:

ai: alteração na concentração de ozônio devida a uma alteração na emissão do COV i

bi: emissão integrada do COV i até aquele tempo;

AC_2H_4 e BC_2H_4: parâmetros para a sustância de referência (etileno).

A formação de oxidante total para diferentes tipos de emissões de COV obtém-se através da Equação (2.4):

$$Formação\ de\ Oxidante = \sum_i POCP_i \,.\, m_i \ (kg\ de\ equivalente\ de\ C_2H_4) \quad Eq. \quad (2.4)$$

Onde:

mi: é a massa de COV emitido (kg). O resultado vem expresso em kg equivalentes de etileno (C_2H_4)

Acidificação: a precipitação das emissões de compostos ácidos causam um grande impacto no solo, águas superficiais, organismos biológicos, ecossistemas e materiais. As sustâncias que mais contribuem para a acidificação são SO_X, NO_X, e NH_3. A acidificação é uma das categorias de impacto na qual a sensibilidade local (condições locais ambientais) joga um papel importante e a possibilidade de incluir diferenças regionais no modelo ACV tem sido um ponto chave nos últimos anos (RODRIGUES, 2004).

O Potencial de acidificação (AP), *(Acidification Potential)* é definido como a relação entre o numero de potenciais equivalentes de H^+ (vi) por unidade de massa da substância i (Mi) e o numero de potenciais equivalentes H^+ (vref) por unidade de massa de uma sustância de referencia (Mref), o SO_2 é a substancia de referencia. O potencial de acidificação é dado pela seguinte expressão (2.5):

$$AP_i = \frac{vi/Mi}{vSO2/MSO2} \ (em\ equivalentes\ de\ SO_2) \quad Eq. \quad (2.5)$$

As sustâncias acidificantes podem ser agregadas através do AP aplicando a equação:

$$Acificação = \sum_i AP_i \,.\, m_i \ (Kg\ de\ equivalente\ de SO_2) \quad Eq. \quad (2.6)$$

Onde:

AP: representa o potencial de acidificação da sustância i

mi: massa da sustância i (kg)

Eutrofização: eutroficação é o enriquecimento da água ou do solo em nutrientes como N e P, que podem causar mudança na população de espécies nos ecossistemas e uma redução na diversidade ecológica. O enriquecimento das águas superficiais em N e P causa o rápido crescimento das algas, o que pode levar a um *déficit* de oxigênio, com os consequentes efeitos na flora e fauna. As substâncias que contribuem a este impacto são: NH_3, NO_X, NO_3^- e PO_4^{-3} entre outras.

O potencial de Eutrofização (PE), *(Eutrofication Potential)* é definido como a relação entre o potencial de biomassa em equivalentes de N (vi) por quantidade emitida de sustância (Mi) e o potencial de biomassa em equivalente de N (vref) por quantidade emitida de uma sustância de referencia (Mref). A sustância de referência é o $(PO_4)^{-3}$. O Potencial de Eutrofização é representado pela equação (2.7):

$$EP_i = \frac{vi/Mi}{vPO_4^{-3}/MPO_4^{-3}} \ (em\ equivalentes\ de\ PO_4^{-3}) \qquad Eq.\ (2.7)$$

O EP é utilizado para quantificar o impacto por eutrofização causado pelas sustâncias eutrofizantes, de acordo com a seguinte equação:

$$Eutroficação = \sum_i EP_i \,.\, m_i \ (Kg\ de\ equivalente\ de\ PO_4^{-3}) \qquad Eq.\ (2.8)$$

Onde:

EPi: é o potencial de Eutrofização da substancia i
mi: representa a emissão da substancia i (kg)

Toxidade Humana: esta categoria compreende o impacto na saúde humana das sustâncias toxicas presentes no ambiente. Vários métodos de caracterização da toxicidade ao se humano têm sido desenvolvidos e estão apresentados em CML (2001), dispondo de fatores de caracterização que são geralmente referidos como potenciais de toxicidade humana, HTPs, (Human Toxicity Potential).

O método recomendado, para calcular os potenciais de toxicidade das substâncias é o método baseado na modelagem do destino utilizando o modelo USES-LCA, uma versão

atualizada do modelo *USES 2.0*, Uniform System for the Evaluation of Substances (RODRIGUES, 2004).

Para calcular um fator de caracterização único para cada compartimento de emissão, pode ser usada a seguinte expressão (2.9):

$$HTP_{i,ecomp} = \frac{\sum_r \sum_s PDI_{i,ecomp,r,s} \times E_{i,r} \times N_s}{\sum_r \sum_s PDI_{1,4-DB,ar,r,s} \times E_{1,4-DB,r} \times N_s} \quad Eq. \ (2.9)$$

Onde:

$HTP_{i,\ ecomp}$: é o potencial de toxicidade humana da substancia i emitida para o compartimento de emissão ecomp;

Ns: Densidade populacional a escala s;

$PDI_{i,ecomp,r,s}$: dose diária prevista via forma de exposição r a escala s para cada substancia i emitida para cada compartimento de emissão ecomp (dia^{-1});

$PDI_{1,4\text{-}DB,ar,r,s}$: é a mesma dose diária prevista que a anterior mas para o 1,4-DB (dia^{-1})

$E_{i,r}$: fator efeito, representa o impacto toxico humano da substancia i a dose diária aceitável via forma de exposição r;

$E_{1,4\text{-}DB,r}$: é o mesmo fato efeito que o anterior, mas para o 1,4-DB.

Existem valores de potencial de toxicidade humana para 180 substancias citado em CML (2001), e para horizontes de 20, 100 e 500 anos a semelhança do procedimento utilizado para calcular os GWPs.

O resultado do indicador para a categoria de toxicidade humana pode ser calculado usando a seguinte Equação (2.10):

$$Toxicidade\ Humana_{\ t} = \sum_i \sum_{ecomp} m_{i,ecomp} \times HTP_{i,ecomp,t} \quad Eq. \ (2.10)$$

Onde:

Toxicidade Humana t: resultado de toxicidade humana para o horizonte de tempo t (kg)

$HTP_{\ i,ecomp,t}$: potencial de toxicidade humana da substancia i emitida para o compartimento de emissão ecomp para o horizonte de tempo t;

mi,ecomp: emissão da substancia i para o compartimento ecomp (kg)

Os fatores de conversão das emissões em seus respectivos potenciais de impacto são mostrados na Tabela (2.1).

Tabela 2.1. Fatores de conversão de poluentes para as categorias de impacto

Componentes	Categoria de Impacto				
	PAG	POCF	PA	PE	TH
Emissões atmosféricas	kg CO_2eq/kg	kg C_2H_4eq/kg	kg SO_2eq/kg	kg PO_4eq/kg	kg 1,4 DB eq/kg
CO_2	1				
CH_4	21	0,006			0,006
CO		0,0147			0,027
N_2O	310		7		
NH_3			1,88	0,35	0,1
NO_X			0,7	0,13	
HC		0,416			
MP 10					0,82
SO_X (como SO_2)		0,125	1		0,048
H_2S			1,88		0,22
HCl			0,88		0,5
Diclorometano	9	0,068			
HF			1,6		
Dimetil Eter	1	0,214			0,189
Metanol		0,14			0,14
Etanol		0,399			0,399
Ciclohexano		0,29			0,29
Emissões para a água					
DQO				0,022	
(PO3)4-				1	
NO3-				0,1	
Hg				101	

Fonte: CML 2001, IPCC 2007

Os fatores desta tabela correspondem às emissões consideradas neste trabalho.

2.1 Matérias primas para o Biodiesel: Rotas Etílica e Metílica

2.2.1. Soja

Para a produção de biodiesel não é necessário que óleo refinado, mas apenas um óleo degomado é suficiente para sua produção. O óleo refinado está mais dirigido para o consumo humano, e por este motivo, no presente trabalho não serão descritos processos como branqueamento, desodorização, etc. Na sequência, é descrito o processo de extração do óleo de soja baseado na obra de Dorsa 2004 "Tecnologia de óleos vegetais" e o modelo desenvolvido por Sheehan em "*Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in na Urban Bus*". De acordo com Dorsa (2004), uma unidade de processamento dos grãos de soja está constituída pelas seguintes etapas:

Recebimento e Pré-limpeza

Após da etapa de colheita, os tratores transportam a os grãos soja até a unidade de recebimento, onde são transportados por faixas transportadores até a unidade de beneficiamento. Dependendo do teor de impurezas presente, torna-se necessária a pré-limpeza antes da secagem e armazenagem, a fim de proteger os equipamentos da ação erosiva da areia e pedras, e eliminar outro tipo de contaminantes que possam prejudicar a qualidade do produto. A pré-limpeza é feita nas denominadas peneiras gravitacionais (por diferença de peso) e nas peneiras classificadoras (por diferença de tamanho). Segundo Sheehan (1998) nesta etapa existe uma perda de 0,79% em relação à quantidade dos grãos transportados.

Secagem

Para que o produto não sofra deterioração, deve ser seco até atingir uma umidade pré-determinada, para ser armazenado em condições controladas. A umidade dos grãos que chegam à unidade de recebimento tem entre 14 a 18%, e são secos ate remover aproximadamente 34% dessa umidade (SHEEHAN,1998). A secagem é normalmente feita em secadores verticais tipo cascata, com utilização de gás quente de combustão ou gás natural dependendo da configuração da usina. Os secadores requerem 1940 kcal/kg de umidade removida, considerando que o calor latente de vaporização da água é de 610 kcal/Kg,

correspondendo a uma eficiência térmica de 31%. (SHEEHAN,1998). Segundo Dorsa (2004), a umidade depois da secagem deve ser menor que 12%, considerada ótima para evitar deterioração durante sua armazenagem e para a etapa de moagem.

Preparação

A etapa de preparação tem por objetivo submeter os grãos a diversos processos físicos, a fim de facilitar a extração do óleo. A etapa de preparação dos grãos de soja envolve as operações de moagem, descascamento, novamente moagem, condicionamento e laminação. Inicialmente os grãos de soja passam por moinhos quebradores, onde são reduzidos, na primeira passagem a 1/2 grão, e na segunda passagem a 1/4 de grão. Após a redução dos grãos é feita a separação da casca que é enviada à unidade de processamento de farelo. A casca é separada utilizando separadores por aspiração tipo cascata.

O grão partido é posteriormente aquecido por contato indireto com vapor em "cozinhadores" até 60°C. Este aquecimento remove cerca de 14% a umidade do grão partido (SHEEHAN,1998). O aquecimento do grão partido tem como objetivo tornar o grão mais plástico antes da laminação. Em seguida os grãos são laminados em lâminas em uma espessura de 0,2mm. Para melhorar a capacidade de extração por solvente, é utilizada a técnica de expansão da massa laminada. Isto é feito com a utilização de um expansor de grão. Este equipamento consta basicamente de uma rosca extrusora com injeção de vapor. Esta rosca comprime a massa laminada contra uma placa perfurada, promovendo uma compactação seguida de expansão, transformado os flocos em pellets esponjosos. Esta massa tem maior densidade aparente e maior capacidade de percolação, aumentando a capacidade de extração.

2.2.2. Óleo de soja

O óleo de soja é extraído por extração por solvente. Segundo Dorsa (2004) este processo é composto de: (1) unidade de extração de óleo com solvente, (2) unidade de recuperação do solvente da miscela, (3) unidade de dessolventização do farelo e (4) unidade de condensação de solvente.

Unidade de extração

Quatro tipos de extratores são comercializados na indústria: rotatório, leito profundo, faixa horizontal e extrator de esteira contínua. (SHEEHAN, 1998). O mais comum o do tipo esteira contínua, com ou sem caçambas, ou do tipo rotativo (DORSA, 2004).

O solvente entra em contato com a massa laminada no interior do extrator, usando-se uma relação de 1,2 kg de solvente/massa laminada. (SHEEHAN,1998). Para melhor efeito de extração, a miscela mais concentrada é usada para extrair o óleo em contra corrente à massa de soja, ou seja, a miscela lava a massa com maior teor de óleo. A miscela com baixa concentração é usada para a extração de óleo da massa com menor teor de óleo, sendo que a massa à saída do extrator é lavada com solvente puro. A miscela resultante contem de 19 a 24% de óleo (SHEEHAN,1998), e o farelo não deve conter mais de 1% de óleo (Dorsa 2004), representando uma eficiência de extração de aproximadamente 96%. O solvente é posteriormente recuperado e recirculado ao processo, junto com uma corrente de make-up de 0,0024kg de solvente/kg de massa laminada. (SHEEHAN,1998).

Unidade de recuperação do solvente

A miscela (mistura óleo-solvente) passa pela unidade de evaporação, onde é feita a separação do óleo do solvente. É constituída por evaporadores tubulares verticais de múltiplo efeito aquecidos a vapor. Uma ultima etapa é a injeção de vapor direto que reduz o teor de solvente no óleo a 120mg/L.

Unidade de dessolventização do farelo

O farelo resultante do extrator tem aproximadamente 40% de solvente (SHEEHAN, 1998). O objetivo desta unidade é eliminar o solvente absorvido pelo farelo, e em seguido o farelo é tostado e, por final resfriado, estabilizando sua umidade na faixa de 12%. (DORSA, 2004). Esta unidade é constituída por diversos estágios sobrepostos, por onde o farelo passa em fluxo descendente. Os estágios são dotados de camisa de vapor e fundos duplos, sob a injeção de vapor e de subsequente ar frio para o resfriamento. O farelo resultante desta unidade contém uma quantidade residual de solvente cerca de 400ppm (SHEEHAN, 1998).

Unidade de condensação de solvente

Esta unidade esta formada por uma serie de condensadores tubulares resfriados a água, que tem por função recuperar o solvente evaporado nas etapas de recuperação de solvente e dessolventização. A aspiração dos gases de solvente é feita por sistema de vácuo por ejetores a vapor.

Degomagem

Os óleos vegetais contém fosfolipídeos, também conhecidos como fostatídeos ou simplesmente gomas. Existem dois tipos de gomas: as hidratáveis e não hidratáveis. O óleo de soja de qualidade normal, proveniente de uma extração convencional contém cerca de 90% de gomas hidratáveis e 10% de gomas não hidratáveis e seu conteúdo total de fosfatídeos está na faixa de 1,1 a 3,2%. A degomagem é o processo de remoção das gomas do óleo bruto de soja. Estas gomas são também chamadas de lecitina. O ultimo termo é também o nome comum do fosfatidil colina, ma o uso comum refere-se ao conjunto de fosfatídeos presentes em todos os óleos vegetais. As gomas hidratáveis podem ser facilmente removidas pela adição de água quente, na proporção de 1 a 2% em peso do óleo bruto, dependendo do conteúdo de gomas. O óleo bruto é aquecido a 70-90°C imediatamente misturado com água abrandada quente a 90°C. Em seguida, as gomas podem ser separadas por centrifugação. Na degomagem com água, apenas as gomas hidratáveis podem ser removidas. Posteriormente no processo de refino alcalino, as gomas não hidratáveis são removidas com a borra durante a neutralização dos ácidos graxos livres com soda caústica. Após a separação das gomas, o óleo pode conter ainda cerca de 0,3-0,4% de água, o que pode resultar em uma subsequente hidratação de parte das gomas, durante um longo período de estocagem. Por este motivo, o óleo degomado é previamente seco em um sistema de vácuo a vapor, antes da sua estocagem.

2.2.3 Cana-de-açúcar

A seguir será descrito o processo produtivo da cana de açúcar e do etanol anidro. A fase inicial para a produção da cana é o preparo do solo, nessa fase, são aplicados corretivos de

fertilidade, como calcário, gesso e fosfato, seguindo-se da aração no caso da opção pelo plantio convencional e das medidas necessárias para evitar a erosão do solo.

A etapa de adubação do solo visa a recomposição da fertilidade do solo, necessária para o bom desenvolvimento da cana planta e cana-soca. Na adubação da cana de açúcar são aplicados macro e micro nutrientes, alem de subprodutos do processo industrial, contido na vinhaça, na torta de filtração e na fuligem, que os contem na sua composição. A adubação do solo é realizada da seguinte maneira:

Aplicação da torta de filtração: a torta de filtro é transportada para as áreas de reforma do canavial e aplicada nos sulcos do plantio, sendo a dosagem utilizada de até 15 toneladas de composto em peso seco, por hectare.

Aplicação de fertilizantes minerais: a recomendação da adubação mineral para a cultura da cana de açúcar também é feita com base nas analises químicas do solo. As matérias primas (adubos simples) mais utilizadas nas formulações são:

- Fertilizantes Nitrogenados: como fertilizantes nitrogenados podem ser usados a Ureia ou Nitrato de amônio. A ureia é o fertilizante com maior concentração de nitrogênio disponível com cerca de 46%N. O nitrogênio na ureia encontra-se em forma orgânica, de forma que quando aplicada no solo, o nitrogênio passa rapidamente para a forma amoniacal. O nitrato de amônio também é bastante utilizado, e o teor de nitrogênio é de 31 a 34%. O nitrato de amônio é um fertilizante totalmente solúvel em água, contendo nitrogênio em iguais proporções nas formas nítrica e amoniacal, sendo prontamente assimilável pelas plantas.

- Fertilizantes fosfatados: como fonte de fosfato pode ser usada o fosfato de amônio ou superfosfatos. O fosfato de amônio (MAP) e o diamônio de fosfato (DAP) são os fertilizantes fosfatados mais utilizados nas culturas cana de açúcar, devido ao seu alto conteúdo de nutrientes. Em relação ao superfosfatos existem os superfosfatos simples e triplo. O superfosfato simples é obtido pela reação de fosfato natural moído com ácido sulfúrico e contem 18% de P_2O_5. O superfosfato triplo, que é produzido com o uso de ácido fosfórico em vez de acido sulfúrico, possui uma concentração mínima de 41% de P_2O_5, contendo também 12 a 14% de cálcio.

- Fertilizantes potássicos: como fonte de potássio é usada o cloreto de potássio, a maior fonte de potássio para a formulação de fertilizantes. A ocorrência em diversas reservas, a facilidade de seu processamento e seu elevado teor de potássio, permitem sua distribuição econômica em todo o mundo. Os fertilizantes potássios Apresenta concentração de 58 a 60% de K_2O.

2.2.4 Etanol anidro

Esta seção descreve etapas na cadeia de produção de etanol anidro, insumo para a rota etílica.

Recebimento e preparo da cana

A cana é transportada desde a lavoura até a usina por caminhões. Os caminhões são pesados antes e depois do descarregamento, para obter finalmente o peso real que chega à usina. As cargas são aleatoriamente selecionadas e amostradas. A amostra coletada é analisada no laboratório para a determinação do teor de sacarose. Após da análise a cana é descarregada nas mesas alimentadoras ou diretamente nas esteiras quando for picada. A cana inteira pode ser lavada com água, já a cana picada não é lavada, podendo ser limpa a seco com sopragem de ar para a retirada de impurezas vegetais. A lavagem da cana objetiva a retirada de terra incorporada durante a colheita. Essa impureza mineral deve ser retirada, na mesa de recepção, para evitar a abrasão em equipamentos e do lodo. (ANA, 2009)

O teor de impurezas minerais na cana colhida situa-se em torno de 1% (em peso) e a faixa varia de 0,14 a 3,21%, dependendo da época da colheita, do tipo de solo, e dos tipos de procedimentos utilizados na colheita. A lavagem de cana ocasiona perdas de açucares que são dissolvidos na água de lavagem. No ano 2007 verificou-se que a água de lavagem foi 2,2m^3/t e em media com teor de açucares na água de lavagem em 444mg/L. Isso implica em perdas de açúcar da ordem de 0,1% de peso da cana, ou cerca de 0,6% da sacarose (ANA, 2009). Na mesa de recepção e de lavagem da cana, a água é distribuída no seu topo, passa pela cana, arrastando a terra, seguindo pelo fundo perfurado da mesa e é encaminhado para o sistema de tratamento de efluente para reuso.

Após a etapa de lavagem, a cana limpa é conduzida pela esteira metálica para ser preparada, primeiramente passa por um picador para picar a cana em pedaços menores. Em seguida, a cana passa por um desfibrador, este equipamento utiliza martelos oscilantes para desfibrar a cana, aumentando a densidade da massa e formando um material mais homogêneo, rompendo as células para facilitar a seguinte etapa de extração do caldo.

Extração do caldo

Após preparada, a cana é encaminhada para a extração do caldo em moendas ou alternativamente em difusores. Na extração a cana passa por um conjunto de 3 rolos de esmagamento denominados ternos. Normalmente a etapa é formada por um sistema de 4 a 7 conjuntos de moendas montadas em série (SCHLITTLER, 2011). Antes do esmagamento, a cana é alimentada em um duto para aumentar a densidade da massa, depois é esmagada no primeiro terno obtendo-se o caldo primário. 70 a 80% do caldo é extraído neste primeiro terno, sendo o restante nos demais (SCHLITTLER, 2011). A massa continua passando até passar no ultimo terno, de onde o bagaco final segue para as caldeiras.

O caldo extraído segue para a etapa de embebição, cujo objetivo é aumentar a extração da sacarose contida ainda no bagaço. Para isso, faz-se passar água quente (60-70°C), em contracorrente, entre a quarta e quinta moenda. A vazão de água quente utilizada nesta etapa, é cerca de 30% (em volume) da vazão mássica de cana que está sendo processada. (SCHLITTLER, 2011).

A taxa de embebicão media situa-se na faixa de 25-30% em peso da cana, ou seja, de 0,25 a 0,30m^3 de água por tonelada de cana moída. A quantidade de bagaco produzido é aproximadamente 240 toneladas por tonelada de cana moída, com 50% de umidade, e a eficiência de extração em sacarose é 96,2% (MACEDO, 2004).

Tratamento do caldo

O caldo extraído apresenta impurezas solúveis e insolúveis O tratamento do caldo extraído depende do objetivo da usina, ou seja, produzir açúcar ou etanol. No caso de açúcar, é usado processo de sulfitação que consiste na absorção em contracorrente do SO_2,

proveniente da queima de enxofre em fornos pelo caldo. Estas impurezas são eliminadas por tratamento químico que consiste na coagulação, floculação e precipitação, posteriormente removidas por sedimentação. Após este processo o caldo é tratado com leite de cal para a remoção de acides.

Para o caso de produzir etanol não é necessário a sulfitação, apenas a adição de leite de cal é necessário, a adição do leite de cal ao caldo, elevando seu pH para 6,7 a 7,2. A cal é produzida nas usinas através da queima de calcário em fornos. Logo o produto final desta queima é misturado com água, formando assim o leite de cal. É preparado primeiramente com uma densidade de 15°Bé e depois diluído até 5°Bé (ANA, 2009). A dose de cal varia normalmente entre 100-500g por tonelada de caldo tratado (SCHLITTLER, 2011). O objetivo da caleação é a eliminação de corantes do caldo, a neutralização de ácidos orgânicos e a formação de sulfito e fosfato de cálcio, produtos estes que, ao sedimentarem, arrastam impurezas presentes no liquido.

Depois da calagem o caldo é aquecido a 105°C, isto é realizado num trocador de calor tipo casco e tubo que é aquecido com vapor saturado (de escape ou vegetal). O objetivo deste aquecimento é acelerar e facilitar a coagulação e floculação de coloides, emulsificar graxas e ceras, acelerando o processo químico e aumentando a eficiência da decantação. O caldo total aquecido é resultado da mistura de duas correntes: a primeira é o caldo que resulta do processo de peneiramento, onde foram removidas as impurezas solidas (bagacilho) e a segunda é uma recirculação do caldo resultante da filtração do lodo sedimentado. Esta corrente de recirculação representa aproximadamente 20% da primeira corrente. (ANA, 2009).

Adição de Polímero

Depois do aquecimento do caldo é adicionada uma solução de polímero, como auxiliar da sedimentação, que aumenta a densidade das partículas através da formação de flocos mais densos. A dosagem do polímero é de 1 a 3mg/L, sendo este preparado a partir da concentração de 0,1% (1g/L). A solução concentrada e a água de diluição são misturadas em linha e dosadas na entrada do decantador, a diluição é realizada de forma que a concentração final do polímero seja 0,2g/L (ANA, 2009).

Clarificação do caldo

Para a clarificação do caldo utiliza-se um decantador ou clarificador contínuo, podendo o caldo clarificado seguir para a produção de açúcar ou de etanol. O lodo do fundo do decantador é enviado para filtração. A quantidade de lodo separado encontra-se entre 15 a 20% do peso do caldo que entra no clarificador (ANA, 2009).

Filtração

A filtração tem por objetivo recuperar a sacarose contida ainda no lodo. A filtração é realizada em filtros rotativos a vácuo para a extração do caldo e tem como resíduo uma torta, que é enviada a lavoura para ser usada como fertilizantes. A sacarose contida no lodo é recuperada por meio da lavagem da torta formada que fica aderida a superfície do filtro, sendo a vazão de água de lavagem adicionada a mesma quantidade da torta raspada e colhida. O caldo obtido pela lavagem da torta é conduzido ate o balão selado de alto vácuo, sendo depois retornado como recirculação para a etapa inicial do tratamento do caldo. Tradicionalmente, a taxa média de torta produzida é de 40 Kg por tonelada de cana moída com 75% de umidade (ANA, 2009).

Concentração do caldo

O caldo clarificado é evaporado em evaporadores de múltiplo efeito, visando o aumento de sua concentração de aproximadamente 15°Brix, para 60 a 65°Brix quando o objetivo é fabricar açúcar. Quando o objetivo da usina é fabricar etanol o caldo e concentrado ate 18-22°Brix, usando um único efeito. O vapor produzido pela concentração do caldo (vapor vegetal) é usado depois em outras operações dentro da usina. Este caldo concentrado é resfriado a 35°C para posteriormente ser envaido a fermentação. (ANA, 2009).

Fermentação

O processo de fermentação mais utilizado no Brasil é o Melle-Boinot, cuja característica principal é a recuperação de leveduras a traves da centrifugação do vinho fermentado. Esta levedura recuperada recebe um tratamento antes de retornar ao processo de fermentação. Este tratamento consiste na diluição com água e adição de ácido sulfúrico até pH de 2,5,

eliminando-se bactérias indesejáveis e formando assim o pé-de-cuba, que é retornando a dorna de fermentação (ANA, 2009).

A fermentação ocorre nas dornas de fermentação, onde ocorre mistura do mosto e do pé-de-cuba. O tempo de fermentação dura entre 6 a 8 horas. Ao terminar a fermentação, o teor médio de álcool é de 7 a 11°GL, recebendo a mistura o nome de vinho fermentado. Na fermentação, há grande desprendimento de calor do processo e, devido à necessidade da temperatura ser mantida baixa (abaixo de 34°C), é preciso realizar o resfriamento das dornas com água, com o auxilio de serpentinas ou trocadores de calor a placas. O gás CO2 proveniente das dornas é canalizado e lavado em torres de absorção visando à recuperação de do etanol arrastado, que retorna ao processo. (ANA, 2009).

Destilação

A destilação visa à separação das sustâncias componentes do vinho, basicamente água, etanol, alcoóis superiores, e aldeídos. Primeiramente, o vinho é conduzido para a destilação na coluna A, onde é injetado vapor obtendo-se 3 correntes: a vinhaça, que é o resíduos da destilaria; o etanol de cabeça ou de segunda, uma mistura hidroalcoólica com teor de 92° a 94°GL; e o flegma uma mistura de vapores hidroalcoólicos de 45 a 50°GL. O flegma, produto principal desta fase, é submetido a um segundo processo, o de retificação (coluna B), no qual se eleva o grau alcoólico. Nesta fase, tem-se a produção de etanol hidratado (92,6°), flegmaça, o óleo fusel, e etanol de segunda. Os dois últimos são subprodutos comercializáveis, e a flegmaça é um efluente incorporado à vinhaça ou águas residuais.

2.2.5 Metanol

Atualmente a principal matéria prima para a sua produção de metanol é o gás de síntese *(Syngas)*, obtido principalmente por reforma do gás natural. A Tabela 2.2 mostra vários processos, matéria prima e catalisadores para a produção de metanol e de seu precursor, o *Syngas.*

Tabela 2.2. Processos para a obtenção de metanol

Matéria Prima	Processo e principais reações	Catalisador
Formação de *syngas*		
Gás Natural	Reforma a vapor: $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$	Ni sobre Al2O3
	Reforma autotérmica 1) $CH_4 + 2O2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$ 2) $CH_4 + H2O \leftrightarrow CO + 3H_2$ 3) $CO_2 + H_2 \leftrightarrow CO + H_2O$	Ni sobre suporte refratário
	Oxidação parcial $CH_4 + 1/2O_2 \rightarrow CO + 2H_2$	Sem catalisador ou lantânio/Ru, suportado sobre Ru, Ni, Pd.
Carvão	Gasificação Em presença de H_2O/O_2	
Biomassa	Gasificação	
Outros como GLP, nafta, etc.	Reforma a vapor	Ni Alcalinizado sobre Al2O3 ou sobre Ca/Al2O3
Formação de metanol		
Syngas	Síntese de metanol $CO + 2H_2 \leftrightarrow CH_3OH$ $CO_2 + 3H_2 \leftrightarrow CH_3OH + H_2O$	Cu/ZnO/Al2O3 Cu/ZnO/Cr2O3, ou Zn/Cr
	Síntese de metanol em duas etapas: 1) $CH_3OH + CO \leftrightarrow HCOOCH3$, depois 2) $HCOOCH_3 + 2H2 \leftrightarrow 2CH3OH$	Metoxido de potássio, Cromato de cobre
Metano	Oxidação direta CH4 + 1/2O2 (ou N2O) -> CH3OH	MoO3
Metano	Bioprocesso	Enzimas

Fonte: Moreira (2007)

Os processos para a produção de metanol são classificados de acordo com a pressão usada no reator de síntese como: High Pressure Process (alta pressão 25-30MPa), Medium Pressure Process (mediana pressão 10-25MPa), Low Pressure Process (baixa pressão 5-10MPa)

A produção de metanol no Brasil esta concentrada em duas empresas. Estas duas empresas são responsáveis por 95% da capacidade de produção: a Metanor S.A – Metanol do Nordeste, localizada no Polo Petroquímico de Camaçari (BA) com uma capacidade de 90 mil

toneladas por ano, e a Prosint, localizado no estado de Rio de Janeiro como capacidade de 162 mil toneladas por ano. (MOREIRA, 2007). Neste trabalho foi selecionada a rota de reforma a vapor de baixa pressão por ser o processo utilizado no Brasil (MOREIRA, 2007). A seguir, é descrita a rota selecionada para construção do respectivo inventário.

Low Pressure Process (LPP)

As principais vantagens do LPP são o menor investimento e custo de produção, e maior flexibilidade no momento da escolha dos equipamentos e a planta. Atualmente varias plantas de grande porte baseadas nesta tecnologia estão em operação em todo o mundo. O gás de síntese utilizado em todos os processos de baixa pressão, que usam catalisadores a base de cobre precisa de purificação e condicionamento. A purificação do gás de síntese envolve a remoção de gás (ou sólidos), componentes que são prejudiciais para o catalisador. O condicionamento de gás de síntese envolve obter as condições estequiométricas adequadas para a produção de metanol a partir do CO, CO_2 e H_2 (VASWANI, 2000). O número estequiométrico é expresso pela Equação (2.11):

$$S = \frac{[H_2] - [CO_2]}{[CO] + [CO_2]} \qquad \text{Eq. (2.11)}$$

Onde cada componente é expresso em numero de moles na alimentação ao reator. Para uma alta conversão de um único passo do *syngas* e alto rendimento em metanol, o valor de S deveria ser próximo a 2.

Dentro do LPP existem diversas tecnologias para a produção de metanol, estes se diferenciam principalmente pelo tipo de reator usado, estas tecnologias são: ICI Low Pressure, Lurgi Low Pressure, Mitsubishi Gas Chemical (MGC) low-pressure process, Nissui-Topsoe methanol synthesis process, Variobar $^{(R)}$ e Germany and Japan Gas-chemical Company process (JGC). Os processos ICI Low Pressure e o Lurgi Low Pressure são as duas tecnologias mais usadas mundialmente. A maioria das plantas de metanol construídas nos últimos 30 anos usam estas duas tecnologias. Por ser o processo Lurgi a tecnologia usada no Brasil, unicamente este será descrito detalhadamente neste trabalho.

Tecnologia Lurgi Low Process

O processo para a produção de metanol por esta tecnologia incluem as seguintes etapas: (1) produção e purificação do gás de síntese, (2) conversão do gás de síntese a metanol, (3) separação e purificação do metanol.

Produção e purificação do gás de síntese

O processo convencional é a reforma a vapor que é aplicado em plantas de pequeno e mediano porte limitadas a uma capacidade de 3000 mtbd. O processo de reforma do gás natural misturado com oxigênio, ou em combinação com a reforma a vapor ou a reforma autotérmica são consideradas as melhores tecnologias disponíveis para plantas de gás de síntese de grande escala.

No caso do processo por reforma a vapor do gás natural este é primeiro tratado para eliminar compostos de enxofre que são prejudiciais para o catalisador, esta etapa é chamada de desulfurização. Logo este gás natural dessulfurizado é comprimido a 20atm, pressão na qual opera o reator de reforma. O gás natural comprimido é misturado com vapor saturado a 20atm a uma ração de 3,7 moles por mol de gás natural, esta mistura é enviada ao reator de reforma. (VASWANI, 2000). As reações que acontecem nesta etapa são:

Reações de reforma:

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2 \qquad \text{Eq. (2.12)}$$

$$C_2H_6 + 2H_2O \rightarrow 2CO + 5H_2 \qquad \text{Eq. (2.13)}$$

$$C_3H_8 + 3H_2O \rightarrow 3CO + 7H_2 \qquad \text{Eq. (2.14)}$$

Reação Shift:

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 \qquad \text{Eq. (2.15)}$$

As reações de reforma são altamente endotérmicas, o que significa que é necessária uma alta demanda de energia. Esta energia é suprida em maior parte pela combustão dos gases de purga (gerados no reator de síntese de metanol) e também pelo uso de gás natural. A temperatura no reator pode atingir até 880°C, sob estas condições a conversão de propano

e etano é total, a conversão de metano é 81,46% e a conversão do CO na reação *shift* atinge a 40,2%. Os gases que saem do reator a 880°C são resfriados ate 110°C num trocador de calor (aquecedor recuperador de calor), como resultado desta troca de calor é produzido vapor saturado a 20atm que será usado no reator de reforma catalítica. Como consequência do resfriamento o vapor de água no gás de síntese é condensado e depois removido num separador gás-líquido (VASWANI, 2000).

Conversão do gás de síntese a metanol

O gás de síntese limpo e seco é comprimido até 50atm, que é a pressão típica de operação do reator de síntese do metanol. Logo o gás de síntese é aquecido trocando calor com os gases de saída do reator. O processo Lurgi usa um reator de forma tubular desenhado para gerar vapor de alta pressão como resultado da liberação de calor, este reator contém no seu interior catalisador a base de óxidos de cobre, zinco e alumina em diferentes proporções, as reações que acontecem no reator de síntese de metanol são:

$$CO + 2H_2 \rightarrow CH_3OH \qquad \text{Eq. (2.16)}$$

$$CO_2 + 3H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O \qquad \text{Eq. (2.17)}$$

$$2CO + 2H_2 \rightarrow CH_3 - O - CH_3 \qquad \text{Eq. (2.18)}$$

Como mostram as equações de reação, as reações para a produção de metanol são exotérmicas, o calor liberado pelo reator é removido para manter uma temperatura de aproximadamente 260°C. A remoção do calor permite gerar vapor saturado a 40atm que será usado depois para aquecer os fundos das colunas de destilação. A conversão de CO e CO_2 em metanol no reator atingem a valores baixos da ordem de 40 a 60%, por este motivo parte dos gases que reagem são recirculados ao reator, esta recirculação acostuma ser em relação molar de 3 a 8 vezes a alimentação fresca. A conversão do CO e CO_2 é 95%, e como subproduto o dimetileter se forma em 2% a quantidade de metanol formado (VASWANI, 2000).

Separação e purificação do metanol

Os gases que saem do reator se encontram a 260°C, esta corrente quente é usada para aquecer a corrente de entrada ao reator a 250°C. Os gases resfriados são depois enviados a uma serie de condensadores com o objetivo de condensar o metanol, água e dimetileter a 45°C. A corrente de saída do sistema de condensadores é uma mistura de duas fases (líquido-gás) a 50atm. Esta pressão é reduzida ate 11,2 atm usando uma válvula de alivio, esta operação facilita depois a separação do condensado da mistura de gases (CH_4, H_2, CO, CO_2 e H_2) num separador flash. A corrente de gases que sai do topo do separador flash é dividida em duas correntes, uma parte é usada como combustível no reator de reforma e outra é recirculada ao reator de metanol (VASWANI, 2000). A corrente de condensado rica em metanol a 45°C e 11,2atm é enviada a primeira coluna de destilação para remover o dimetileter. Esta coluna está conformada por aproximadamente 14 a 45 pratos. Esta coluna permite recuperar quase totalmente pelo topo da coluna o dimetileter, em quanto uma mistura de água e metanol sai pelo fundo. Esta mistura a 11,2 atm entra a uma válvula de alivio para reduzir a pressão a 3,4 atm, para ser depois enviada à segunda coluna de destilação onde é recuperado o metanol. Esta segunda destilação é feita numa coluna formada por 45 a 75 pratos que opera a 3,4 atm com uma relação de refluxo de 1,5 (moles recirculados/moles destilados). Esta coluna permite obter o metanol com 99,9% em massa de pureza. O produto de fundo de esta coluna contem traças de metanol e é enviado a uma unidade de tratamento de efluentes (VASWANI, 2000). A Figura 2.2 mostra o fluxograma simplificado para a produção de metanol descrito por Vaswani (2000).

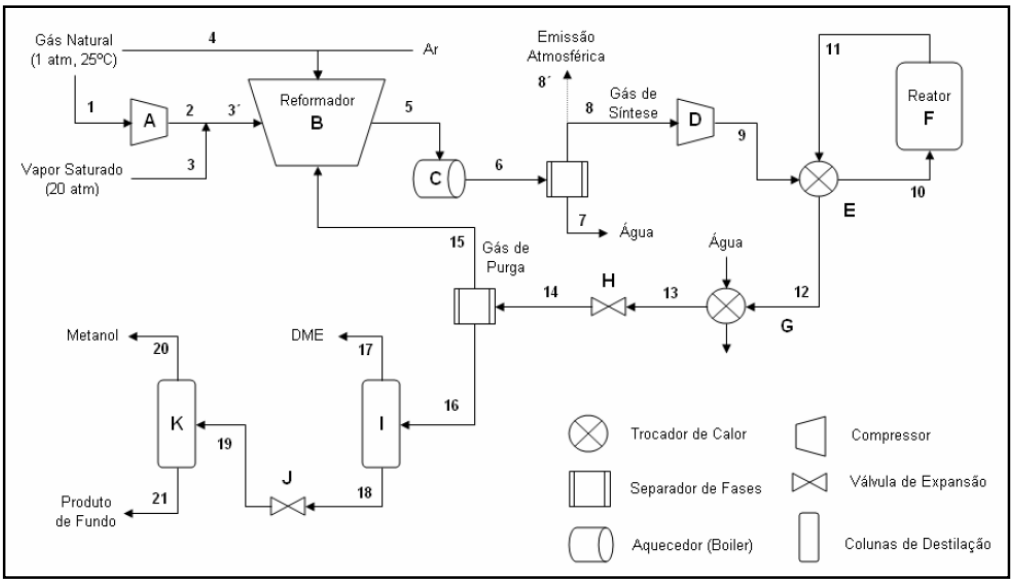


Figura 2.2 Fluxograma simplificado da produção de metanol
Fonte: Moreira (2007)

Tabela 2.3 Variáveis das unidades de processo para a produção de metanol

Unidade de processo		Variáveis (unidades)	Valor
A	Compressão de GN	Temperatura de entrada (K) Pressão de saída (atm)	298 20
B	Reforma catalítica	Temperatura de reação (K) Pressão de reação (atm) Conversão de CH_4 (%) Conversão de C_2H_6 e C_3H_8 (%) Conversão de CO (reação shift) (%)	1153 20 81,46 100 40,2
C	Aquecedor (Recuperador de energia)	Temperatura de saída (K) Pressão de vapor gerado (atm) Temperatura da alimentação de água (K)	383 6,8 323
D	Compressão de gás de síntese	Pressão de saída (atm)	50
E	Trocador de calor	Temperatura de saída da corrente fria (K)	523
F	Reator	Temperatura do reator (K) Pressão do reator (atm) Pressão de vapor gerado (atm) Conversão de CO e CO_2 (%)	533 50 40 95
G	Condensador	Temperatura de saída (K)	318
H	Válvula redutora	Pressão de saída (atm)	11,2
I	Coluna de destilação de DME	Pressão de operação (atm) Pressão de vapor no reboiler (atm)	11,2 6,8
J	Válvula redutora	Pressão de saída (atm)	3,4
K	Coluna de destilação de metanol	Pressão de operação (atm) Temperatura de corrente de entrada (K) Pressão de vapor no reboiler (atm)	3,4 318 6,8

Fonte: Moreira (2007)

2.2.6 Ureia

A seguir serão descritos os processos utilizados pela FOSFERTIL e pela PETROBRAS FAFEN para a produção de ureia no Brasil.

Ureia produzida pela FOSFERTIL

A empresa FOSFERTIL tem uma unidade de produção de ureia no Complexo Industrial de Araucária (PR). Produz ureia a partir de resíduo asfaltico produzido. A FOSFERTIL produz amônia usando o processo de oxidação parcial de resíduo asfaltico como fonte de hidrogênio. O resíduo asfaltico é fornecido pela Refinaria Gentulio Vargas - REPAR. (RIBEIRO, 2009)

A oxidação parcial do asfalto consiste na combustão regulada e não catalítica deste hidrocarboneto visando à produção de hidrogênio. Para a oxidação parcial do asfalto esta unidade usa oxigênio produzido a partir do processo Linde usando como matéria prima o ar atmosférico. O nitrogênio obtido neste processo é usado na síntese de amônia.

O processo de oxidação parcial usa um gaseificador, neste equipamento reagem o resíduo asfaltico, oxigênio e vapor de água a uma pressão de 60atm e 1000°C. Na saída do gaseificador é obtida uma mistura de gases de combustão principalmente hidrogênio e monóxido de carbono. A reação está representada pela Equação (2.19):

$$C_YH_X + 0{,}5YO_2 \rightarrow YCO + 0{,}5XH_2 \quad \text{Eq. (2.19)}$$

Para a produção de amônia é utilizado o processo Haber-Bosch. Esta etapa consiste na reação exotérmica entre o hidrogênio e o nitrogênio em presença de catalisador de ferro a reação está representada pela Equação (2.20):

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3 \quad \text{Eq. (2.20)}$$

Após esta reação, os gases quentes são resfriados através de geração de vapor de alta pressão (100atm). A amônia contida nos gases é condensada e separada. Os gases que não reagiram são reciclado ao reator.

A uréia é produzida é produzida em duas etapas: (1) formação de carbamato de amônio, ($NH_2CO_2NH_4$) e (2) a desidratação deste para a formação de uréia. As reações são apresentadas na Equação (2.21) e na Equação (2.22):

$$\text{Formação de carbamato de amônio: } 2NH_3 + CO_2 \rightarrow NH_2CO_2NH_4 \qquad \text{Eq. (2.21)}$$

$$\text{Deshidratação : } NH_2CO_2NH_4 \rightarrow CO(NH_2)_2 + H_2O \qquad \text{Eq. (2.22)}$$

A reação de desidratação é realizada num único reator à pressão mínima de 100atm, para evitar a decomposição do carbamato de amônio, e a temperatura acima de 160°C.

Ureia produzida pela PETROBRAS FAFEN

A empresa PETROBRAS FAFEN tem duas unidades produtivas de ureia, uma localizada no complexo industrial de Camaçari (BA) e o outro em Laranjeiras (SE). As duas unidades empregam gás natural beneficiado como matéria prima e como combustível na seguinte proporção: 65% de todo o gás natural é empregado como matéria prima para a obtenção de amônia e 35% é utilizado com combustível para gerar eletricidade e vapor em usina termoelétrica própria. (RIBEIRO, 2009)

A PETROBRAS FAFEN aplica o processo de reforma catalítica com vapor que consiste na decomposição endotérmica do gás natural em presença de vapor de água. As reações que ocorrem são as seguintes:

$$\text{Reforma catalitica: } CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2 \qquad \text{Eq. (2.23)}$$

$$\text{Reforma catalitica: } CH_4 + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 4H_2 \qquad \text{Eq. (2.24)}$$

Estas reações ocorrem em temperaturas da ordem de 820°C e pressões de 30 a 50atm. Numa etapa posterior os gases produzidos (CO, CO_2 e H_2) são resfriados numa caldeira de recuperação de calor gerando vapor de alta pressão (100atm) que é usado para o acionamento da turbina do gás de síntese. Em outra etapa o monóxido de carbono é convertido em dióxido de carbono usando dois reatores, o primeiro de alta temperatura e o

segundo de baixa temperatura, que contem catalisador de ferro e cromo respectivamente. Esta reação está representada pela Equação (2.23):

$$CO + 2H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 \qquad \text{Eq. (2.25)}$$

Na mistura de gases desta reação o CO_2 é removido usando carbonato de potássio, após esta operação a misturas de gases tem ainda pequenas quantidades de CO e CO_2 e suas concentrações devem ser reduzidas para não prejudicar os catalisadores de síntese de amônia. Isto é feito mediante o processo de metanação, as reações são:

$$CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O \qquad \text{Eq. (2.26)}$$

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad \text{Eq. (2.27)}$$

O metano produzido não interfere na síntese da amônia e a água é eliminada na compressão subsequente do gás.

O processo para a obtenção de amônia e uréia é independente da matéria prima utilizada, assim a PETROBRAS FAFEN utiliza o mesmo processo descrito nas Equações (2.20) e (2.22).

2.2.7 Superfosfato simples

O superfosfato simples é obtido pela reação de fosfato natural moído com acido sulfúrico e contem 18% de P_2O_5, alem de cálcio, (18 a 20% de Ca) e enxofre (10 a 12% de S). A reação para produção de superfosfato simples pode ser representada pela Equação (2.28):

$$Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 7H_2SO_4 + 17H_2O \rightarrow 3Ca(H_2PO_4)_2.H_2O + 7CaSO_4.2H_2O + 2HF \qquad \text{Eq. (2.28)}$$

Neste processo a água é usada para diluir o acido sulfúrico a 70% de concentração e também para o lavado de gases de HF gerados no reator durante a produção de SSP.

2.2.8 Cloreto de potássio

O mineral de potássio mais importante é a silvinita. No Brasil, as reservas de sais de potássio estão localizadas nos estados de Sergipe e Amazonas. A mais importante é a jazida de Taquari-Vassoura o mineral de esta reserva esta composta por 67% de halita (NaCl), 31% de silvita (KCl) e 2% outros minerais (ALVES, 2012).

2.2.9 Ciclohexano

A BRASKEM produz ciclohexano a partir da hidrogenação catalítica do benzeno e o benzeno é produzido pela reforma catalítica da nafta. A nafta usada pela BRASKEM é adquirida da Refinaria Randulpho Alves RELAM. (RIBEIRO, 2009)

As etapas para a produção de ciclohexano são: 1) hidrotratamento da nafta, 2) reforma catalítica visando à produção de benzeno, 3) extração do benzeno, 4) hidrogenação catalítica do benzeno.

A maioria de complexos aromáticos está desenhada para maximizar a produção de benzeno e para-xileno e às vezes orto-xileno. Dependendo das necessidades da usina o tolueno produzido pode ser recirculado para produzir aromáticos pesados, xilenos e benzeno mediante o processo Tatoray, este processo adicional é usado quando o para-xileno é o produto principal dentro de um complexo de aromáticos.

As equações de reação são:

Produção de Benzeno: $CH \rightarrow C_6H_6 + H_2$ Eq. (2.29)

Produção de Ciclohexano: $C_6H_6 + H_2 \rightarrow C_6H_{12}$ Eq. (2.30)

2.3. Biodiesel

A Sociedade Americana para Testes e Materiais (ASTM) define o biodiesel como “ésteres monoalquílicos de ácidos graxos de cadeia longa derivados de lipídeos renováveis, tais como os óleos vegetais ou gorduras animais que são usados em motores diesel”. Esta definição

inclui também os ésteres metílicos ou etílicos, outros ésteres monoalquílicos como os de isopropílicos, butílicos, etc., produto da reação de tranesterificação ou esterificação (Lora e Venturini, 2012).

No Brasil, a trajetória do biodiesel começou a ser delineada com as iniciativas de estudos pelo Instituto Nacional de Tecnologia, na década de 20 do século XX, e ganhou destaque em meados de 1970, com a criação do Pró-óleo – Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Energéticos, que nasceu na esteira da primeira crise do petróleo.

Em 1980, passou a ser o Programa Nacional de Óleos Vegetais para Fins Energéticos, pela Resolução nº 7 do Conselho Nacional de Energia. O objetivo do programa era promover a substituição de até 30% de óleo diesel apoiado na produção de soja, amendoim, colza e girassol. Novamente aqui, a estabilização dos preços do petróleo e a entrada do Proálcool, juntamente com o alto custo da produção e esmagamento das oleaginosas, foram fatores determinantes para a desaceleração do programa. A Lei no 11.097/05, aprovada pelo Congresso Nacional em 13 de janeiro de 2005, introduz o biodiesel na matriz energética. Complementa o marco regulatório do novo segmento um conjunto de decretos, normas e portarias, que estabelecem prazo para cumprimento da adição de percentuais mínimos de mistura de biodiesel ao diesel mineral. (SEBRAE, 2007).

2.3.1 Matérias primas para a produção de biodiesel no Brasil

No Brasil, as alternativas de fonte de matéria prima para a produção de biodiesel são diversas, o que constitui um dos muitos diferenciais para a estruturação do programa de produção e uso do biodiesel no País. Por se tratar de um país tropical, com dimensões continentais, o desafio colocado é o do aproveitamento das potencialidades regionais. Isso é valido tanto para as culturas já tradicionais, com a soja, o amendoim, o girassol, a mamona e o dendê, quanto para as novas alternativas, como o pinhão manso, o nabo forrageiro, o pequi, o buriti, a macaúba e uma grande variedade de oleaginosas, com potencial para serem exploradas. (Lora & Venturini, 2012).

Segundo o Boletim Mensal de Biodiesel, elaborado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP em agosto de 2011, o óleo de soja, com 85,20%, é a

matéria-prima mais utilizada na produção de biodiesel no Brasil, como pode ser observado na Tabela 2.4. Este mesmo documento mostra que o Brasil apresenta 65 plantas autorizadas pela ANP para operação e comercialização, somando uma capacidade total de produção de quase 17 mil m^3 de biodiesel por dia. Cabe ressaltar que mais de 90% das plantas nacionais utilizam a rota metílica na produção de biodiesel.

Tabela 2.4 Matérias primas utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil

Matéria prima	% de uso
Óleo de soja	85,20
Gordura bovina	7,79
Óleo de algodão	4,01
Óleo de fritura usado	0,49
Gordura de porco	0,30
Gordura de frango	0,03
Outros materiais graxos	2,17

Fonte: ANP (2011)

2.3.2. Processo de produção de Biodiesel

Nesta seção, é apresentado os processos de produção de biodiesel selecionados para as rotas etílica e metílica, visando à construção dos respectivos inventários.

Rota metílica

Esta é a rota tecnológica mais usada no mundo. É um de processo de transesterificação por catalise básica homogênea, que basicamente consiste em fazer reagir à matéria prima graxa com metanol em excesso usando como catalisador um hidróxido ou alcoxido alcalino.

Antes do processo de transesterificação a matéria prima precisa de um pré-tratamento para a remoção de impurezas, ácidos graxos livres e umidade. Os ácidos graxos livres e umidade presente na matéria prima propiciam a formação de sabões que retardam a reação, causando baixo rendimento e um produto final que não cumpre com as especificações. Primeiramente a matéria prima aquecida até 70°C para reagir uma solução de hidróxido de sódio, este processo chamado de neutralização visa remover os ácidos graxos presentes na matéria prima e que são prejudiciais para a transesterificação. Os sabões formados nesta

reação são removidos por centrifugação e duas etapas de lavagem com água quente, posteriormente o óleo neutro é aquecido até 110°C para a secagem num sistema a vácuo.

A reação de transesterificação é feita entre 60-70°C com uma relação molar triglicerídeo (matéria prima pré-tratada): metanol de (1:6). No final da reação a fase metilester é separada da fase glicerol para posteriormente ser purificada e armazenada para a venda. Da fase glicerol é recuperado o metanol em excesso não reagido e depois retornado ao processo. O glicerol pode continuar em processo para sua refinação.

O processo de refinação da fase metilester consiste em remover glicerol, metanol, e sabões catalisador em duas etapas de lavagem continuam com água quente. Posteriormente o metilester lavado é aquecido até 110°C para a secagem num sistema de secagem a vácuo, e depois resfriado até 40°C e armazenado.

O efluente do processo de lavagem do biodiesel é misturado com a fase glicerol para recuperar por destilação todo o metanol em excesso não reagido e retorna-lo ao processo. É importante que o metanol recuperado seja de máxima pureza, pois a mínima quantidade de umidade é prejudicial para a transesterificação (ARANDA, 2012)[1]. A Figura 2.3 mostra o fluxograma de produção de biodiesel pela rota metílica.

Rota etílica

Esta é uma rota alternativa, pois consiste em substituir o metanol pelo etanol obtido a partir de biomassa. O sistema de produção basicamente é o mesmo do que a rota metílica, a única diferença encontra-se no sistema de recuperação do etanol não reagido, para retorná-lo ao processo.

Igualmente que a rota metílica, o efluente do processo de lavagem da fase etilester é misturada com a fase glicerol para recuperar o etanol não reagido. Esta mistura passa primeiramente por um processo de destilação simples onde é recuperado praticamente todo o etanol em forma de liquido condensado com 53% em volume de concentração, este condensado é depois retificado em outra coluna onde é obtido etanol com 96% de

[1] Comunicação pessoal do Ph.D Donato Aranda, professor da Escola de Química - UFRJ em Julho de 2012.

concentração, e finalmente é usado um sistema de destilação azeotropica para obter etanol anidro com 99,3%V. O sistema de recuperação do álcool não reagido é uma variável importante na produção do biodiesel no momento de decidir que rota utilizar, pois na rota etílica a recuperação do etanol torna este processo mais caro em questão de consumo de energia. A Figura 2.4 mostra o fluxograma de produção de biodiesel pela rota etílica.

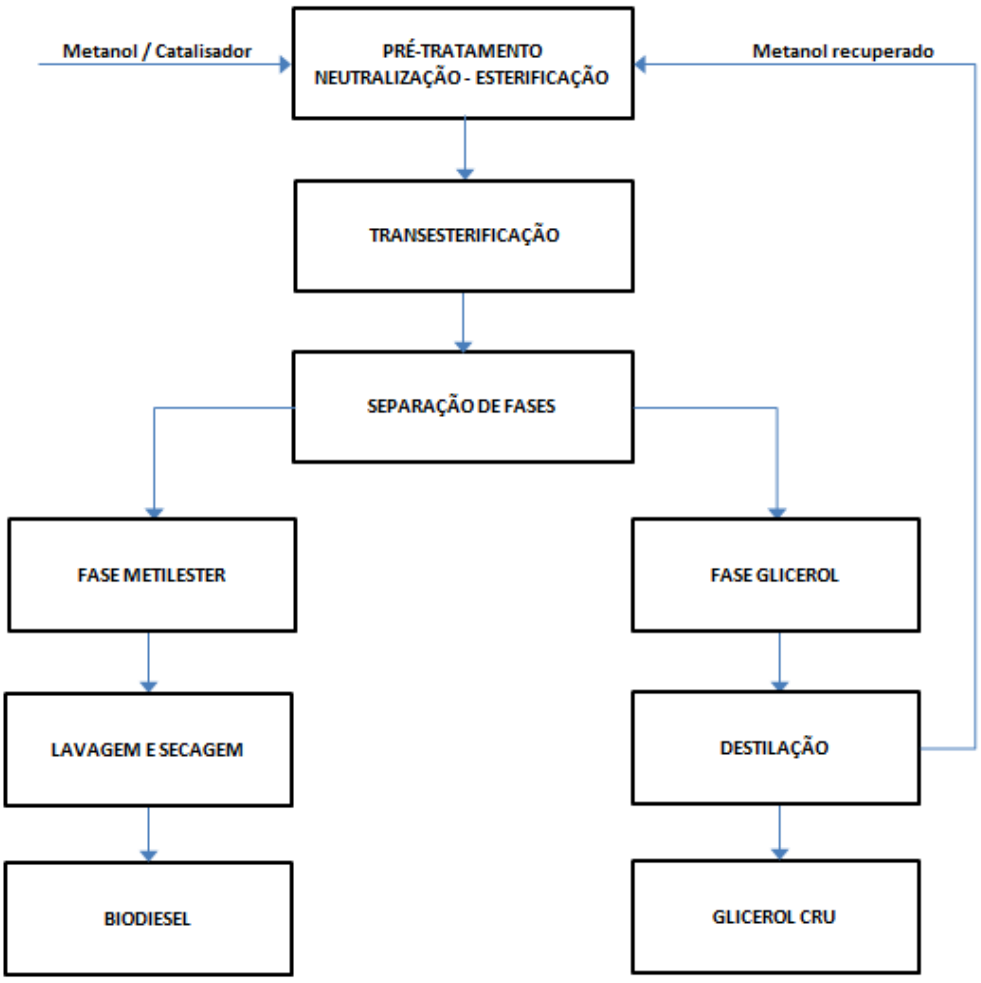


Figura 2.3 Sistema de produção de biodiesel pela rota metílica.
Fonte: Elaboração própria, adaptado de Aranda (2012).

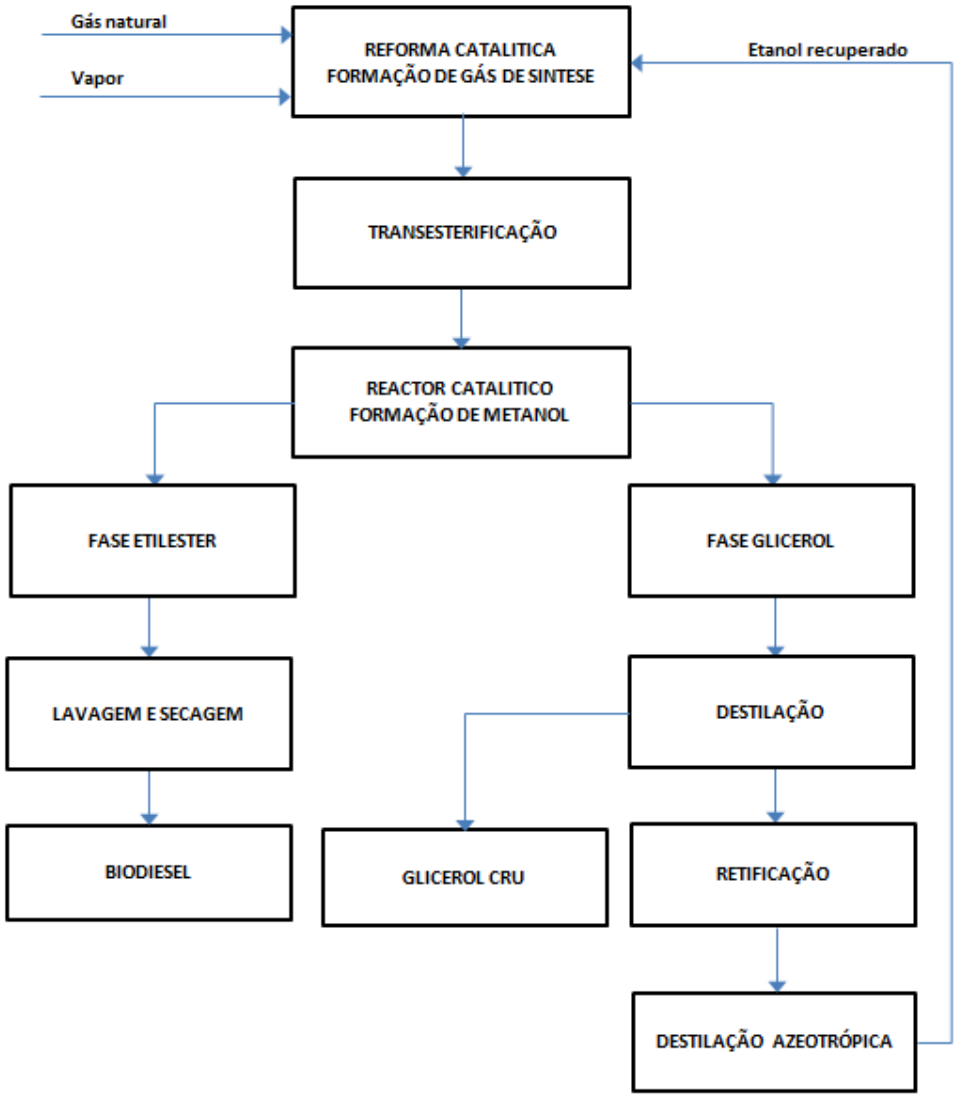


Figura 2.4 Fluxograma de produção de biodiesel pela rota etílica.
Elaboração própria, adaptado de Aranda (2012)

2.3.3 Comparação entre a rota metílica e a rota etílica

A reação de transesterificação pode ocorrer na presença de vários tipos de álcool de cadeia curta como o metanol, etanol, propanol, butanol ou álcool amílico. O metanol é o álcool mais utilizado pelo seu baixo preço, contudo o etanol produzido a partir de matérias-primas vegetais exerce um efeito menos prejudicial sobre o meio ambiente, sendo um perfeito candidato para a produção de combustíveis provenientes apenas de materiais renováveis (SILVA, 2010).

De acordo com Macedo e Nogueira (2004), a transesterificação etílica é significativamente mais complexa do que a metílica, pois, com o aumento da cadeia carbônica do álcool utilizado, maior o impedimento espacial do álcool com o triglicerídeo.

Dependendo do tipo de álcool que for empregado na reação de transesterificação, a composição química do biodiesel produzido será diferente. O álcool mais utilizado para a produção de biodiesel é o metanol por causa do seu baixo custo e pelas características físico-químicas vantajosas (álcool de cadeia curta e polar). Porem, o presente trabalho ira considerar a rota etílica, visto que este é menos toxico do que o metanol e de fonte renovável, e também por ser mais vantajoso para o Brasil, pois o país já é um grande produtor de etanol, tem a tecnologia já desenvolvida e um mercado consolidado.

A maioria das instalações adota a rota metílica, no entanto, há também a possibilidade de utilização da rota etílica, a qual vem sendo considerada principalmente no Brasil, devido à quantidade de etanol produzido no país. A rota etílica é bem mais complexa que a rota metílica, resultando num processo de reação lento, com maiores quantidades de produtos a serem recuperados, além da maior dificuldade para a separação das fases presentes (biodiesel, etanol, glicerina) Lora e Venturini (2012).

O uso de etanol permite obter um biodiesel em que os dois reativos, o óleo e o álcool, são derivados da biomassa. No entanto, o etanol deve ser completamente anidro, porque qualquer de água maior que 2% pode fazer com que a reação química se inverta, e também pode ocorrer a quebra molecular dos triglicerídeos Lora e Venturini (2012). Isto faz com que seja necessário um processo de desidratação do etanol para poder ser retornado a reação de transesterificação. A etapa de recuperação e desidratação do etanol faz que esta rota demande maior energia do que a rota metílica.

De acordo com as equações (2.31) e (2.32) estequiometricamente a rota etílica tem maior rendimento em etilesteres do que a rota metílica em metilesteres. Por tonelada de óleo vegetal usado pode-se obter 1,052 t de biodiesel via rota etílica e 1,004 t de biodiesel via rota metílica. Porem, a rota etílica precisa de mais álcool para a mesma quantidade de óleo processado.

Rota etílica: $C_{57}H_{104}O_6 + 3CH_3CH_2OH \rightarrow 3C_{20}H_{38}O_2 + C_3H_8O_3$ Eq. (2.31)

Rota metílica: $C_{57}H_{104}O_6 + 3CH_3OH \rightarrow 3C_{19}H_{36}O_2 + C_3H_8O_3$ Eq. (2.32)

A Tabela 2.5 apresenta uma comparação entre os ésteres obtidos via rotas metílica e etílica, alem de dados sobre o emprego dos mesmos em testes realizados em motores diesel.

Tabela 2.5. Parâmetros de comparação entre a rota metílica e a rota etílica

Parâmetro	Rota metílica	Rota etílica
Conversão (óleo-biodiesel) %	97,5	94,3
Glicerina total no biodiesel %	0,87	1,4
Viscosidade	3,9-5,6 cSt a 40°C	7,2% maior ao Ester metílico
Álcool por m^3 de biodiesel	90,0	130,0
Preço médio do álcool	100	650
Excesso de álcool recomendado %	6:1	20:1
Temperatura recomendada °C	45	80
Variação da potencia do motor com relação ao diesel	2,5	4,0
Variação do consumo do motor com relação ao diesel.	10	12

Fonte: Lora e Venturini (2012)

A revisão apresentada é usada nesta dissertação para desenvolver o inventário consolidado de ciclo de vida visando à comparação de duas rotas de produção de biodiesel de soja: metílica e etílica, metodologia e premissas para consolidação do inventário de biodiesel de óleo de soja pelas rotas metílicas e etílicas são apresentadas no CAPÍTULO 3 - CONSTRUÇÃO DO INVENTÁRIO DE BIODIESEL: METODOLOGIA E PREMISSAS.

CAPÍTULO 3: CONSTRUÇÃO DO INVENTÁRIO DE BIODIESEL: METODOLOGIA E PREMISSAS

Neste capítulo, apresentam-se a metodologia e premissas adotadas na consolidação do inventário de biodiesel de óleo de soja para as duas rotas investigadas, a saber, metílica e etílica.

3.1 Definição de objetivo, escopo, sistema, fronteiras e localização.

O objetivo deste estudo é realizar um ICV (inventário de ciclo de vida) para quantificar e comparar os fluxos de material, energia, recursos e os impactos associados ao ciclo de vida do biodiesel de soja produzido por duas rotas, metílica e etílica. Os dois sistemas industriais são comparados sob a mesma "base funcional". Em outras palavras, os combustíveis obtidos pelas duas rotas devem ser comparados baseados em serviço idêntico que eles fornecem.

Destaca-se que a escolha do uso final do biodiesel pode afetar enormemente os resultados do estudo. O mercado de biodiesel pode cobrir uma ampla gama de aplicações diesel como caminhões, geradores de eletricidade, equipamentos para mineração, motores marítimos, e frotas de ônibus para transporte público. Portanto, este estudo está focado no uso do biodiesel em ônibus para transporte publico.

Uma vez definida esta função, torna-se necessário definir uma unidade para comparar os sistemas sob a mesma base quantitativa. É relevante mencionar que nesta dissertação é estudado o desempenho ambiental do biodiesel usado na forma pura B100 e também misturado com o óleo diesel para seu uso final. Por apresentar um poder calorífico inferior ligeiramente menor que o do óleo diesel, há influência na quilometragem percorrida pelo ônibus. Em outras palavras, o aumento do teor de biodiesel na mistura causa uma diminuição no rendimento do motor resultando em maior consumo da mistura para alcançar a mesma distância percorrida com óleo combustível. Segundo a EPA, Agência de Proteção Ambiental americana (EPA, 2002), uma mistura B20 (20 % de biodiesel) poderia aumentar o consumo de combustível em 2,1%, considerando-se este biodiesel como produzido por gordura animal, e em 1,6% quando for produzido a partir de óleo de soja. A máxima variação

de consumo de combustível 4,6%, quando usado na forma B100. Esta variação não é considerada significativa no presente estudo, justificando como unidade funcional o serviço (km) alcançado pelo produto. Portanto, adotou-se como unidade funcional 1000 kg de produto, devido à maior simplicidade de se expressar os resultados de inventários e, também, por não existir muita informação disponível sobre o rendimento de motores operando com misturas BX no Brasil.

Os limites do sistema definidos para a ACV do biodiesel brasileiro mostrado na Figura 3.1 compreendem as atividades desde a extração das matérias primas até seu uso final como combustível em ônibus de transporte publico. O estudo está baseado para as condições brasileiras. Contudo, isto não significa que todas as etapas envolvidas no ciclo de vida estão restritas às fronteiras nacionais. O ciclo de vida do óleo diesel brasileiro, em particular, expande seus limites geográficos para incluir a importação de petróleo estrangeiro simplesmente porque aproximadamente 30% do petróleo utilizado no Brasil é importado.

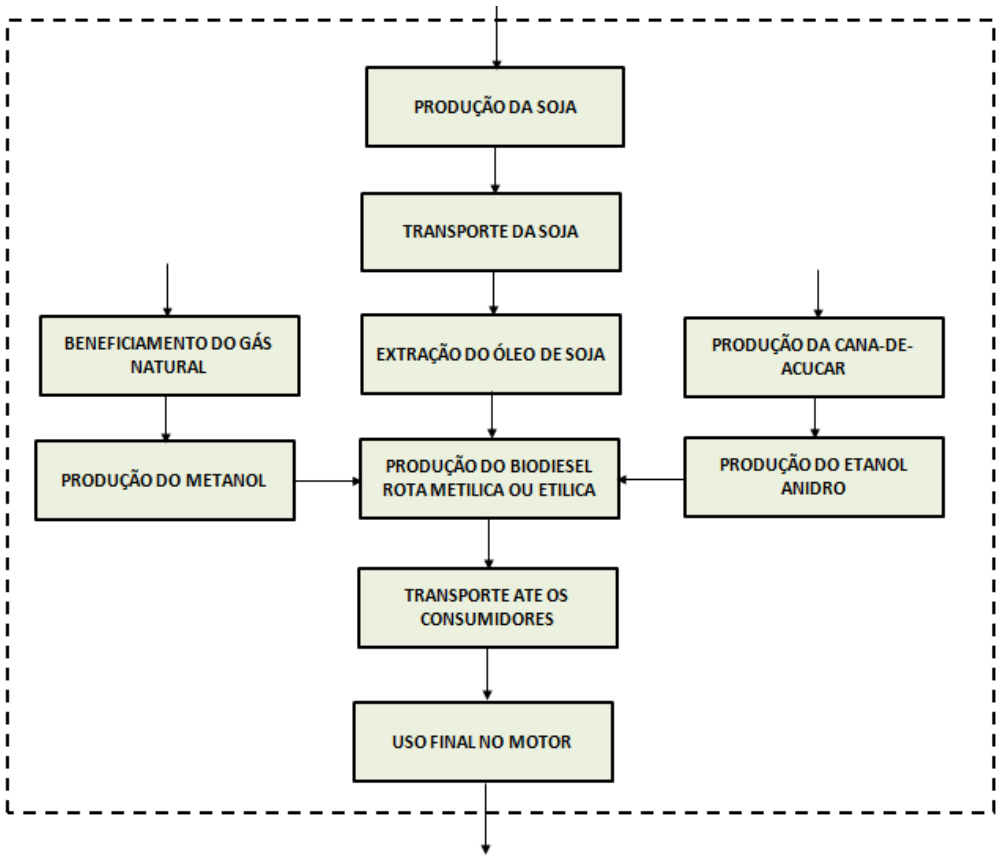


Figura 3.1 Limite do sistema para a ACV do biodiesel de soja
Fonte: Elaboração própria.

Esta forma de definir os limites do sistema esta sendo empregado em muitos estudos de ciclo de vida aplicada a combustíveis. As operações incluídas dentro do limite do sistema biodiesel são: (1) produção dos grãos de soja, (2) transporte dos grãos de soja ate a usina de beneficiamento, (3) extração do óleo de soja, (4) conversão do óleo de soja a biodiesel por transesterificação por catálise alcalina, (5) transporte do biodiesel ate os consumidores e (6) uso do biodiesel no motor de ônibus de transporte público. A Figura 3.1 esquematiza o limite do sistema definido para a ACV adotado no presente estudo.

As operações apresentadas na Figura 3.1 não são uma descrição completa do que foi modelado neste trabalho posto que incluem subsistemas. Por exemplo, o processamento para a obtenção do metanol usado na produção do biodiesel metílico e que é obtido do gás natural, como também o etanol para a produção do biodiesel etílico e que obtido da cana-de-açúcar. A inclusão dos subsistemas de produção de metanol e etanol é importante, pois a sua contribuição como fluxo de material, energia e impacto ambiental é muito significativa. Com base em exibir impacto, outros subsistemas não são incluídos na ACV.

No reporte "Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus" desenvolvido pelo NREL (1998) fornece importantes dados específicos para a extração de óleo de soja e produção de biodiesel a partir de diversos diagramas de processos detalhados. Este reporte foi usado como fonte de dados para o balanço de massa e energia na extração de óleo e produção de biodiesel. No reporte do EPA (2002) *"A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust* " é estudado em detalhe a influencia do uso do biodiesel nas emissões de gases poluentes em ônibus de transporte publico. Este trabalho usou esta informação para estimar as emissões da mistura BX. Para o caso do subsistema de bioetanol utilizaram-se fontes exclusivamente brasileiras. Foi considerado como localização geográfica o estado de São Paulo, por ser este o maior estado produtor de cana-de-açúcar e etanol anidro.

Observe-se que, foram consideradas as tecnologias de produção disponíveis hoje para o biodiesel, etanol, metanol, etc. Este trabalho não avalia os futuros avanços tecnológicos no processamento destes insumos que poderiam alterar o desempenho ambiental da ACV. Adicionalmente, neste trabalho, não é considerada as infraestruturas necessárias para a realização dos processos, como equipamentos, estradas, edifícios, prédios, entre outros.

3.2 Premissas de Estudo

A alocação de impactos é usada para atribuir os impactos causados pelo produto principal em estudo, em decorrência da formação de coprodutos. Por exemplo, farelo e lecitina são subprodutos do processo de produção de óleo de soja. Define-se o fator de alocação F_{AO} para atribuir os impactos causados somente pelo óleo de soja. Analogamente, no caso de produção de etanol anidro, óleo fusel e outros alcoóis pesados são subprodutos. Na produção de metanol, um subproduto é o dimetil éter, e na produção de biodiesel o glicerol é o subproduto. Assim, após obtenção dos inventários dos subsistemas, a Equação (3.1), é aplicada para se obter o inventário final consolidado, este inventário final considera todas as etapas dentro do limite do sistema definido.

$$\mathbf{Fluxo}_{\mathbf{Consolidado}} = \left((\mathbf{E_{AS}} + \mathbf{E_{TS}} + \mathbf{E_{EO}}) \times \mathbf{F_{AO}} + (\mathbf{E_{PA}}) \times \mathbf{F_{AA}} + \mathbf{E_{PB}}\right) \times \mathbf{F_{AB}} + \mathbf{E_D} + \mathbf{E_U} \qquad (3.1)$$

Onde:

Fluxo: entrada e/ou saída de matéria prima, energia, emissões, resíduos, efluentes, etc. (fluxo/kg de produto).

E_{AS}: Etapa agrícola da soja (fluxo/kg de produto);

E_{TS}: Etapa de transporte da soja (fluxo/kg de produto);

E_{EO}: Etapa da extração do óleo de soja (fluxo/kg de produto);

F_{AO}: Fator de alocação para o óleo de soja (fluxo/kg de produto);

E_{PA}: Etapa da produção do álcool; metanol ou etanol (fluxo/kg de produto);

F_{AA}: Fator de alocação para a produção do álcool (fluxo/kg de produto);

E_{PB}: Etapa da produção do biodiesel; etílico ou metílico (fluxo/kg de produto);

F_{AB}: Fator de alocação para a produção do biodiesel (fluxo/kg de produto);

E_D: Etapa de distribuição desde a usina até os centros consumidores. (fluxo/kg de produto) e

E_U: Etapa final de uso, combustão como mistura BX. (fluxo/kg de produto).

A Tabela 3.1 mostra a informação específica sobre o escopo geográfico da análise e a fonte de onde foram obtidos os dados necessários para cada etapa do ciclo de vida do biodiesel.

Tabela 3.1. Premissas de estudo para a construção do inventario do biodiesel de soja

Etapa do ciclo de vida e/ou subsistema	Premissas	Localização Geográfica	Fonte de dados
Agricultura da soja	Valor médio de produtividade para as safras 2005-2010.	Brasil, Estado de Mato Grosso.	MAPA (2011)
Transporte da soja	Á soja é transporta por caminhões desde a lavoura até à usina.	Brasil, Estado de Mato Grosso.	Silva e Kulay (2003, b)
Extração do óleo de soja	Extração por solvente ciclohexano	EUA	Sheehan (1998)
Agricultura da cana-de-açúcar	Valor médio de produtividade para as safras 2005-2010	Brasil, Estado de São Paulo	MAPA (2011)
Transporte da cana	Á cana é transporta por caminhões desde a lavoura até à usina.	Brasil, Estado de São Paulo.	Macedo (2004)
Produção de etanol anidro	É produzido por uma usina que só produz etanol.	Estado de São Paulo	ANA (2009), Macedo (2004)
Produção do biodiesel	Utiliza-se como o processo de transesterificação com catálise básica.	Estados Unidos, Brasil.	Sheehan (1998)
Transporte do biodiesel	Considera as distancias medias entre plantas produtoras e bases distribuidoras.	Brasil	Goes et al (2010)
Uso do biodiesel	Uso como combustível em ônibus de transporte público.	Brasil, EUA	EPA (2002)
Petróleo e derivados	Considera as etapas de produção de petróleo em território brasileiro, transporte de petróleo estrangeiro e refino. Com o inventário consolidado do petróleo brasileiro é obtido os inventário para o óleo diesel, óleo combustível, nafta, resíduo asfaltico, e hexano, simplesmente aplicando o critério de alocação pela massa.	Brasil	Vianna (2002) Szklo (2009)

Gás natural	Considera extração, beneficiamento e distribuição.	Brasil	Silva; Ribeiro e Kulay(2006).
Calcário	Usado para a correção da acidez solo. Extraído a partir de rocha metamórfica.	Brasil	Marzullo (2007)
Fertilizantes fosfatados	Fonte de fósforo. Considera-se o fertilizante Superfosfato simples (SSP)	Brasil	Silva e Kulay (2003, a)
Fertilizantes potássicos	Fonte de potássio. Considera-se o fertilizante cloreto de potássio (KCl).	Brasil	Silva; Ribeiro e Kulay(2006).
Fertilizantes nitrogenados	Fonte de nitrogênio. Considera-se a ureia, que é produzida por duas rotas: (1) Oxidação parcial de resíduo asfaltico pela FOSFERTIL e (2) reforma do gás natural pela PETROBRAS FAFEN. A ureia produzida pela FOSFERTIL será usada pela cultura da cana de açúcar e a produzida pela PETROBRAS FAFEN será usada pela cultura da soja. Devido à proximidade entre eles.	Brasil	Ribeiro (2009)
Acido sulfúrico	O acido sulfúrico é usado para produzir o SSP. Também é usado na produção de etanol anidro para o tratamento das leveduras. Produzido pela tecnologia de dupla absorção.	Brasil	Kulay (2004)
Energia elétrica	Considera os impactos por geração e distribuição. Sendo 86% de origem renovável e 14% de origem fóssil.	Brasil	Coltro; Garcia e Queiroz (2003). BEN (2011)
Metanol	O metanol é produzido por reforma do gás natural.		Simulação em ambiente ASPEN.
Hidróxido de sódio	O hidróxido de sódio é usado para tratamento do óleo de soja e como catalisador na produção de biodiesel.	Brasil	Borges (2004)
Ciclohexano	O ciclohexano é usado como solvente destilação azeotrópica do etanol hidratado.	Brasil, EUA	Ribeiro (2009).

Fonte: Elaboração própria.

3.3 Construção de Inventário

3.3.1 Inventário do Subsistema de Petróleo e Derivados

Nesta seção é calculado o inventário do subsistema do petróleo e produtos derivados de primeira geração como óleo diesel, óleo combustível, nafta e resíduo asfáltico. Os inventários destes produtos são usados para o calculo de inventario de produtos como: ureia e ciclohexano.

Petróleo

O cálculo do inventário de petróleo consumido no Brasil, baseou-se em Vianna (2006), que considera as etapas de exploração e produção *onshore* e *offshore*, importação de petróleo estrangeiro, transporte, refino e distribuição. Vianna (2006) empregou a base de dados do software GABI 4 (PE INTERNATIONAL) para identificar um inventário de petróleo consumido no Brasil. Segundo este inventário, para cada 1 tonelada de petróleo produzido, cerca de 0,083 toneladas são perdidas no transporte até a refinaria. Portanto, de acordo com o autor, para cada tonelada de petróleo produzido é necessário extrair 1,09 t. Este inventário poder encontra-se na Tabela 3.2.

Tabela. 3.2. Inventário do subsistema de Extração de Petróleo Nacional e Importado

Entradas/Saídas	Unidade	1 kg de Petróleo
Energia	MJ	3,24E-04
Petróleo	kg	1,09E+00
Carvão	kg	4,66E-05
Gás natural	kg	4,24E-02
Urânio	kg	1,14E-08
Combustíveis renováveis	kg	
Água	kg	2,25E-01
Emissões atmosféricas		
CO_2	kg	1,63E-01
CH_4	kg	2,58E-03
CO	kg	3,23E-04
MP	kg	1,21E-04

Continuação

Efluentes líquidos		
DBO	kg	3,34E-05
DQO	kg	2,06E-04
Sólidos suspensos totais	kg	1,06E-04
Hidrocarbonetos	kg	1,94E-06
Resíduos sólidos		
Não especificados	kg	3,48E-10

Fonte: Vianna (2006)

Parte do petróleo processado no Brasil é importada. A Tabela 3.3 apresenta as quantidades de petróleo processado nacional e estrangeiro entre os anos 2006-2010 (ANP,2010). Neste período, a média de petróleo importado é de 21,73%, sendo este valor adotado no presente trabalho.

Tabela. 3.3. Volume de petróleo nacional e importado processado entre 2006-2010

Origem	Volume de carga processada (barril/dia)				
	2006	2007	2008	2009	2010
Total Geral	1.752.692	1.786.809	1.773.470	1.805.814	1.807.076
Outras Cargas (2)	38.445	30.574	35.277	34.211	51.777
Petróleo (1)	1.714.247	1.756.235	1.738.193	1.771.603	1.755.299
Nacional (3)	1.348.663	1.352.824	1.343.476	1.384.031	1.407.967
Importado (4)	365.584	403.411	394.717	387.572	347.332
% Importado	21,33	22,97	22,71	21,88	19,79

Fonte: ANP (2010)

Neste estudo, não são considerados os impactos causados pela produção do petróleo nos países de origem de onde é importado. Contudo, é considerado o impacto pelo transporte desde os países de origem até o Brasil expressado como consumo de combustível. Para a obtenção dos aspectos ambientais relacionados à atividade de transporte de petróleo, Marzullo (2007) usou a base de dados do SimaPro (PRÉ-CONSULTANTS) referente ao Tanker 1 IDEMAT 2001. A Tabela 3.4 mostra os aspectos ambientais relacionados a esta atividade. Nesta tabela, considera-se que o transporte de petróleo em navios de 89000t usa 0,00735kg de óleo combustível e 0,00063kg de óleo diesel, por tonelada transportada por quilômetro percorrido.

Tabela. 3.4. Impactos ambientais referentes à importação de petróleo estrangeiro

Entradas e saídas	Unidade	1t de Petróleo/km
Óleo combustível	kg	7,35E-03
Óleo diesel	kg	6,30E-04
Emissões atmosféricas		
CO_2	kg	2,32E-02
CO	kg	7,00E-05
NO_X	kg	4,40E-04
Hidrocarbonetos	kg	4,00E-05
SO_X	kg	3,70E-04

Fonte: Marzullo (2007)

Borges (2004) considera que a distância percorrida pelo navio é 13.000 km em ida e volta. Portanto, o consumo de óleo combustível e óleo diesel por kg de petróleo importado é dado a seguir:

$$\text{Óleo combustível} = 0{,}00735\frac{\text{kg}}{\text{t.km}} \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} \times 13000\text{km} = \frac{0{,}0955\ \text{kg}}{\text{kg de Petróleo importado}}$$

$$\text{Óleo diesel} = 0{,}00063\frac{\text{kg}}{\text{t.km}} \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} \times 13000\text{km} = \frac{0{,}00819\ \text{kg}}{\text{kg de Petróleo importado}}$$

Como ainda não é possível usar algum inventário para ambos combustíveis Marzullo (2007) usou o IDEMAT 2001 (base de dados do SimaPro). O inventário IDEMAT 2001 (base de dados do SimaPro) utilizado para o diesel e o óleo combustível é mostrado na Tabela 3.5.

Tabela. 3.5. Inventario do diesel e óleo combustível

Inputs/Outputs	Unidade	1 kg de diesel	1 kg de óleo combustível
Energia	MJ		3,78E-01
Petróleo	Kg	1,03E+00	1,01E+00
Gás Natural	Kg	6,19E-02	
Água	Kg	2,10E-01	
Emissões atmosféricas			
CO_2	Kg	2,84E-01	
CO	Kg	8,00E-05	

Continuação

NO_X	Kg	2,90E-03	
COV	Kg		1,76E-04
Hidrocarbonetos	Kg	2,90E-03	
MP	Kg	3,40E-04	
SO_X	Kg	1,80E-03	
HCl	Kg	5,00E-06	
Efluentes líquidos			
DQO	Kg	1,00E-05	
DBO	Kg	5,00E-06	
Cl-	Kg	1,00E-05	
Hidrocarbonetos	Kg	2,00E-05	
Resíduos sólidos			
Resíduo inerte	Kg	2,20E-03	
Resíduo graxo	Kg		1,40E-02

Fonte: Marzullo (2007)

O inventario para o subsistema de importação de petróleo no Brasil encontra-se no Apêndice B1. Este inventário considera o consumo de 0,0955kg de óleo combustível e 0,00819kg de óleo diesel

Refino do petróleo

Vianna (2006) apresenta o inventário para o refino de petróleo. Destaca-se que o autor, devido à inexistência de dados nacionais, empregou para o levantamento deste inventário, dados referentes a uma refinaria australiana, disponíveis na base de dados do "Centre for design" do Australian LCA inventory data projetc (base de dados do SimaPro), que apresenta o mesmo processo de refino utilizado pela Refinaria do Planalto - REPLAN. A Tabela 3.6 mostra o subinventario para o refino brasileiro proposto tal como proposto por Vianna (2006):

Tabela. 3.6. Inventário para o subsistema do refino de petróleo no Brasil

Entradas e saídas.	Unidade	Refino de 1 kg de petróleo nacional e importado
Emissões atmosféricas		
CO_2	Kg	8,31E-03
CH_4	Kg	3,80E-05
CO	Kg	2,64E-05
NO_X	Kg	5,84E-06
COVNM	Kg	9,56E-04

Continuação

Hidrocarbonetos	Kg	1,99E-08
MP	Kg	1,02E-05
SO_X	Kg	4,88E-06
H2S	Kg	2,09E-07
Metil carptano	Kg	1,00E-08
Efluentes líquidos		
Na+	Kg	1,63E-05
Cl-	Kg	2,43E-05

Fonte: Vianna (2006)

No entanto, na análise de inventário empregada por Viana (2006) considera que todo o gás de refinaria é consumido internamente para a geração de energia, o que tornou a refinaria autossuficiente energeticamente. Porém, essa não é a realidade das refinarias brasileiras. Foi necessário, portanto, modificar o subinventário de Vianna (2006), para obter um inventário de refino mais consistente com a realidade do refino brasileiro.

Segundo explica Schaeffer e Szklo (2006), aproximadamente entre 7% e 15% do petróleo que entra na refinaria é usado como energia. Considerando-se que o petróleo tem 10.190 kcal/kg (42,6 MJ/kg) (ANP, 2011), o consumo de energia numa refinaria está na faixa de 2,98 a 6,39 MJ/kg. As novas especificações de qualidade em termos de teor de enxofre e nitrogênio para combustíveis no Brasil podem gerar um aumento no consumo de energia e emissões de CO_2 no parque de refino brasileiro, como aconteceu nos Estados Unidos. Schaeffer e Szklo (2006) destacam que o consumo de energia total no parque de refino americano aumentou em aproximadamente 5% para cumprir as especificações da gasolina e diesel impostas pelo governo a partir dos anos 90.

Em 2002, o consumo de energia no refino de petróleo representou 6,6% da carga entrante e que após a instalação de novas unidades de HDT, HCC e de produção de H_2 para cumprir com as especificações do óleo diesel e da gasolina no Brasil, o consumo de energia final aumentou em 8,6% (aumento de 31%), (SHAEFFERET & SZKLO, 2006). Para este trabalho é considerado o consumo de 8,6% da energia do petróleo para as operações de refino no Brasil. Sendo o valor do PCI do petróleo 42,6MJ/kg, o consumo total de energia para o refino de 1kg de petróleo nacional e estrangeiro é 0,086x42,6= 3,663MJ/kg. Em 2003, a Refinaria Duque de Caxias – REDUC, gerou 373GWh, com uma capacidade instalada de 63,3MW tendo

a seguinte distribuição em uso de derivados: gás natural 49%, gás de refinaria 15%, óleo combustível 23% e coque de FCC 13% (SHAEFFERET & SZKLO, 2006). No mesmo ano, processou 253.946m^3/dia, totalizando 81.979.927 t. (SZKLO, 2005) Portanto, o consumo específico de energia elétrica da REDUC em 2003 foi de 0,0164MJ/kg de petróleo processado, sendo este o valor adotado no presente trabalho.

Segundo Branco et al (2011), o perfil de consumo de energia elétrica no parte de refino brasileiro é de 24% adquirida da rede pública e 76% autogerada pela queima de produtos de refinaria. Ou seja, 0,0164x0,24= 0,00039MJ/kg é adquirida da rede pública enquanto 0,0124MJ/kg é autogerada na refinaria. Em resumo, no parque de refino brasileiro é considerado neste trabalho o consumo de energia total de 3,663MJ/kg, sendo deste 0,00039MJ/kg de energia elétrica adquirida da rede publica e 3,659MJ/kg de energia térmica e elétrica autogeradas pela própria refinaria.

Em termos de emissões, no ano 2005 as emissões das refinarias brasileiras totalizaram 14Mt de CO_2eq (BRANCO et al, 2011). No mesmo ano, foram processados 89.338.275 t de petróleo (ANP,2010), significando um fator de emissão de 0,1567kg de CO_2eq/kg de petróleo refinado. Branco et al (2011) calculou para 2009 um fator de emissão de 22,3kg de CO_2/barril (1barril=158,98L) correspondendo a 0,1586kg CO_2/kg de petróleo refinado, sendo adotado este valor para este trabalho

No que se refere ao consumo de água, Szklo (2005) estima entre 250-350 litros de água por barril de óleo processado bruto. Isto significa 2,13kg de água/kg de petróleo processado para o inventário de refino.

O inventário consolidado para subsistema de processamento de petróleo no Brasil encontra-se no Apêndice B3. Neste, para 1 kg de petróleo considera-se o transporte de 0,217kg de petróleo importado, 3,66MJ de energia total consumida, 2,13kg de água e 0,0039MJ de energia elétrica para a etapa de refino e os dados obtidos por Vianna (2006). Este inventário não considera transporte e distribuição do petróleo.

3.3.2 Subsistema do óleo diesel

Segundo o cálculo exposto no Apêndice B.2, para a produção de 1kg de óleo diesel no Brasil é necessário processar 2,53kg de petróleo bruto, o que e representa 39,58% em massa de todos os produtos derivados de petróleo produzidos pelas refinarias brasileiras. Assim, no Apêndice B.4, encontra-se o inventário consolidado para o subsistema de produção de óleo diesel considerando um fator de alocação de 39,58%.

3.3.3 Subsistema do óleo combustível

O Apêndice B.2 apresenta, para a produção de 1kg de óleo combustível no Brasil, a necessidade de se processar 5,88kg de petróleo bruto, sendo que o óleo combustível representa 17,03% em massa de todos os produtos derivados do petróleo produzidos pelas refinarias brasileiras. No Apêndice B.4, encontra-se o inventário consolidado para o subsistema de produção de óleo combustível considerando um fator de alocação de 17,03%.

3.3.4 Subsistema do resíduo asfáltico

O resíduo asfaltico é utilizado para a produção de hidrogênio empregado na produção de amônia pela FOSFERTIL, fornecido pela refinaria Getúlio Vargas - REPAR. Para a produção de 1 kg de resíduos asfáltico pela REPAR, é necessário processar 35,61kg de petróleo e este produto representa 2,81% (fator de alocação) de todos os seus derivados produzidos (ANP, 2008). Segundo a ANP (2010), o petróleo importado pela REPAR entre 2009-2010 representou 30,75% da carga total processada. Com estes dados, o inventário consolidado para o subsistema de produção de resíduo asfáltico pela REPAR foi calculado e se encontra no Apêndice B.5. Este inventário considera a produção de 35,6kg de petróleo cru com 2,81% de fator de alocação

3.3.5 Subsistema da nafta

A nafta é utilizada para a produção de benzeno empregado na produção de ciclohexano pela BRASKEM, e é fornecida pela Refinaria Landulpho Alves (RELAM). Para a produção de 1 kg de nafta pela RELAM, é necessário processar 10,98 kg de petróleo cru e este produto representa 9,11% (fator de alocação) de todos os seus derivados produzidos (ANP, 2010).

Segundo a ANP (2010), o petróleo importado pela RELAM entre 2009-2010 representou 3,8% da carga total processada. O inventário consolidado para o subsistema de produção de nafta pela RELAM encontra-se no Apêndice B.6. Este inventário considera a produção de 10,98kg de petróleo cru com 9,11% de fator de alocação.

3.3.6 Subsistema do hexano

O hexano é utilizado como solvente para a extração do óleo de soja. Este é produzido a partir da corrente de solventes da destilação do petróleo. De acordo com a ANP (2011), no ano 2010 a quantidade de hexano (solventes) produzido no Brasil representou apenas 0,42% de todo o petróleo processado e foi necessário processar 236 kg de petróleo cru para produzir 1kg de hexano. O inventário consolidado para o subsistema de produção de hexano no Brasil encontra-se no Apêndice B7. Este inventário considera a produção de 236 kg de petróleo cru com 0,42% de fator de alocação.

3.3.7 Inventário do subsistema de produção da uréia

Para calcular o inventário da uréia nas condições brasileiras foram considerados os sistemas de produção das duas maiores produtoras de uréia no país: a FOSFERTIL no complexo industrial de Araucária (PR) e pela PETROBRAS FAFEN no complexo industrial Camaçari (BA). Ambas as empresas tem diferentes rotas de produção de uréia.

Inventário para a ureia produzida pela FOSFERTIL

A empresa FOSFERTIL produz uréia a partir de resíduo asfaltico fornecido pela Refinaria Gentulio Vargas (REPAR). O resíduo asfaltico é usado como fonte de hidrogênio, o nitrogênio é obtido a partir do ar pelo processo Linde. O inventário do processo Linde para a separação de 1 kg de ar foi obtido por Ribeiro (2009) usando dados do “Ecoinvent Centre”. A Tabela 3.7 mostra o inventário para o processo Linde.

Tabela. 3.7. Inventário para o processo Linde

Entradas e saídas	Unidade	1 kg de Ar
Energia Elétrica	GJ	3,60E-03
Ar	kg	1,00E+00
Água	kg	2,70E-03
Produtos:		
O_2	kg	2,31E-01
N_2	kg	7,55E-01
Argônio	kg	1,40E-02
Emissões atmosféricas		
CO_2	kg	2,84E-01
NO_X	kg	5,21E-04
SO_X	kg	1,13E-03
MP	kg	7,49E-05
Efluentes Líquidos		
DBO	kg	1,62E-04

Fonte: Ribeiro (2009)

Segundo a Equação (2.20) para 1t de NH_3 são necessários 823,53 kg de N_2, e de acordo com a Tabela 3.7 para produzir esta quantidade de N_2 é necessário separar 1090,77 kg de ar. O inventário para a produção de amônia é apresentado na Tabela 3.8.

Tabela 3.8. Inventário para a produção de amônia pelo processo Haber-Bosch

Entradas e saídas	Unidade	1 kg de NH_3
Energia Elétrica	GJ	1,27E-03
Vapor	GJ	6,28E-03
Resíduo Asfaltico	kg	8,90E-01
Ar	kg	1,09E+00
Água	kg	1,28E-02
Emissões atmosféricas		
CO	kg	2,23E-04
CH_4	kg	2,47E-05
NO_X	kg	1,20E-03
SO_X	kg	2,47E-05
H_2S	kg	1,40E-06
MP	kg	4,68E-04
Efluentes Líquidos		
Compostos de Nitrogênio	kg	1,00E-04
Resíduo sólido		
Catalisador usado	kg	2,00E-04

Fonte: Ribeiro (2009)

De acordo com as Equações (2.21) e (2.22) para 1000 kg de uréia é necessário 566,67 kg de NH_3, e 733,33 kg de CO_2. O inventario para a produção de 1 kg de uréia é apresentado na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 Inventário para a produção de uréia

Inputs/ Outputs	Unidade	1 kg de Ureia
Energia Elétrica	MJ	5,41E-01
Vapor	MJ	3,50E-00
Água	kg	7,61E-03
NH_3	kg	5,67E-01
CO_2	kg	7,33E-01
Emissões atmosféricas		
CO_2	kg	1,66E-02
CO	kg	4,99E-07
NO_X	kg	4,67E-05
MP	kg	9,43E-04
Efluentes Líquidos		
Compostos de Nitrogênio	kg	1,68E-04

Fonte: Ribeiro (2009)

Segundo estes inventários para produzir 1000 kg de uréia são necessários 566,67kg de amônia, 504,33kg de resíduo asfáltico, 618,11 kg de ar, e 3486MJ de energia elétrica e 7059MJ de energia térmica na forma de vapor que equivale a 209 Kg de óleo combustível (80% de eficiência). O inventário consolidado para o subsistema da uréia produzida pela FOSFERTIL encontra-se no Apêndice B.8.

Inventário para a uréia produzida pela PETROBRAS FAFEN

A PETROBRAS FAFEN produz amônia pelo processo de reforma catalítica com vapor. Emprega gás natural beneficiado como matéria prima e como combustível na seguinte proporção: 65% de todo o gás natural é empregado como matéria prima para a obtenção de amônia e 35% é utilizado com combustível para gerar eletricidade e vapor em usina termoelétrica própria. (Ribeiro, 2009). A seguir se apresenta os inventários dos subsistemas utilizados para construir o inventário consolidado da uréia produzido pela PETROBRAS FAFEN. Silva; Ribeiro; Kulay (2006) desenvolveram o inventário de ciclo de vida da extração e beneficiamento do gás natural. O inventario do gás natural usado pela PETROBRAS FAFEN é mostrado na Tabela 3.10.

Tabela 3.10 Inventário para a extração e beneficiamento do gás natural

Entradas e saídas	Unidade	1 kg de Gás Natural
Energia	GJ	4,34E-06
Gás Natural	kg	1,03E+00
Água	kg	1,97E-02
Emissões atmosféricas		
CO_2	kg	8,36E-02
CO	kg	2,82E-07
Hidrocarbonetos	kg	1,83E-07
CH_4	kg	1,50E-03
NO_X	kg	2,67E-04
SO_X	kg	9,65E-04
H_2S	kg	3,15E-10
MP	kg	1,63E-05
Efluentes líquidos		
Compostos de enxofre	kg	1,63E-07
Compostos de nitrogênio	kg	1,17E-09
Resíduos sólidos		
Enxofre	kg	2,08E-08

Fonte: Silva; Ribeiro; Kulay (2006).

A energia utilizada neste inventário é toda suprida por gás natural. Os autores do inventário consideram o poder calorífico do gás natural de 38MJ/kg. Assim, são necessários 1,14E-04 kg de gás natural para fornecer 4,34E-06 GJ de energia. É considerado, também, 2,9% de vazamento, de forma que é necessária a extração de 1,03kg de gás natural para disponibilizar 1 kg deste. A composição do gás natural usada pela PETROBRAS FAFEN é apresentada na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 Composição do gás natural usado pela PETROBRAS FAFEN

Constituinte	%Volume
Metano (CH_4)	91
Etano (C_2H_6)	6,5
Propano (C_3H_8)	0,5
Dióxido de Carbono (CO_2)	0,5
Nitrogênio	1,5

Fonte: Ribeiro (2009)

O inventário usado proposto por Ribeiro (2009) para o subsistema de produção de amônia por reforma com vapor do gás natural é:

Tabela 3.12 Inventário para a produção de amônia por reforma do gás natural

Entradas e saídas	Unidade	1 kg de NH_3
Gás Natural (Matéria Prima 65%)	kg	4,94E-01
Gás Natural (Combustível 35%)	kg	2,66E-01
Água	kg	1,28E-02
Produtos		
NH_3	kg	1,00E+00
CO_2	kg	1,16E+00
Emissões atmosféricas		
CO	kg	8,40E-05
CH_4	kg	1,65E-05
NO_X	kg	1,00E-03
SO_X	kg	1,00E-05
MP	kg	4,99E-04
Efluentes líquidos		
Compostos de nitrogênio	kg	1,00E-04
Catalisador usado	kg	2,00E-04

Fonte: Ribeiro (2009)

Como este processo queima gás natural para a geração de energia, é contabilizar as emissões pela combustão de gás natural. Ribeiro (2009) propôs inventário reproduzido na Tabela 3.13.

Tabela 3.13 Inventário da queima do gás natural

Entradas e saídas	Unidade	Queima de 1 kg de Gás Natural
Energia térmica	MJ	3,80E+01
Gás Natural	kg	1,00E+00
Emissões atmosféricas		
CO_2	kg	2,54E+00
CO	kg	5,00E-05
NO_X	kg	6,90E-03
SO_X	kg	9,00E-05

Fonte: Ribeiro (2009)

Usando o mesmo inventário da Tabela 3.9 para a produção de uréia na FOSFERTIL é calculado a quantidade de gás natural (GN) necessário para suprir as demandas de vapor e

eletricidade. Para 1 kg de uréia, o consumo de 5,41E-01 MJ de energia elétrica requer de 0,039kg de GN (eficiência de 32%) e o consumo de 3,5MJ de vapor é suprido por 0,119kg de GN (eficiência de 80%). Em suma, para 1kg de uréia é necessário 0,158kg de GN. O inventário consolidado para o subsistema de produção de uréia pela PETROBRAS FAFEN encontra-se no Apêndice B9.

3.3.8 Inventário para o subsistema de produção do ciclohexano

A BRASKEM produz ciclohexano a partir da hidrogenação catalítica do benzeno e o benzeno é produzido pela reforma catalítica da nafta. A nafta usada pela BRASKEM é adquirida da Refinaria Landulpho Alves (RELAM) (Ribeiro, 2009). Portanto, torna-se necessário calcular o inventário da produção de nafta pela RELAM, este se encontra no Apêndice B6.

Frente a inexistência de dados nacionais referente à produção de benzeno Ribeiro (2009) usou o inventario do "Bezene Production" do SimaPro 7.0, este inventário é apresentado na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 Inventário para a produção de Benzeno

Inputs/Outputs	Unidade	1 kg de Benzeno
Nafta	kg	1,77E+00
Emissões atmosféricas		
CO	kg	7,28E-04
CO_2	kg	2,46E+00
Hidrocarbonetos	kg	2,09E-03
NO_X	kg	2,63E-03
SO_X	kg	3,46E-04
MP	kg	3,99E-05
Efluentes líquidos		
DBO	kg	5,32E-05
Hidrocarbonetos	kg	1,00E-05
Compostos de enxofre	kg	1,20E-04
Na^+	kg	4,12E-04

Fonte: Ribeiro (2009)

Ribeiro (2009) também desenvolveu o inventário para a produção de ciclohexano usando o inventario “Cyclohexane Production” do banco de dados do SimaPro. Este inventário é apresentado na Tabela (3.15).

Tabela 3.15 Inventário para a produção de ciclohexano

Entradas e saídas	Unidade	1 kg de Ciclohexano
Benzeno	kg	1,12E+00
Emissões atmosféricas		
CO	kg	1,10E-04
CO_2	kg	4,28E-01
Hidrocarbonetos	kg	7,00E-05
NO_X	kg	4,10E-04
COVNM	kg	1,60E-04

Fonte: Ribeiro (2009)

O inventário consolidado para a produção de ciclohexano encontra-se no Apêndice B10. Este inventário considera a produção de 1,12kg de benzeno e 1,98kg de nafta.

3.3.9 Inventário do subsistema de produção do calcário

Marzullo (2007) levantou o inventário para a produção do calcário dolomítico, proveniente de rocha metamórfica. O inventário considera as etapas de desmonte primário, desmonte secundário, operações de perfuração e transporte, britagem, moagem e peneiramento, mostrado na Tabela 3.16.

Tabela. 3.16. Inventário do subsistema de produção do calcário

Entradas e saídas	Unidade	1 kg de calcário
Energia Elétrica	MJ	2,34E-02
Energia (explosivos)	MJ	6,16E-04
Diesel	kg	1,22E-03
Rocha metamórfica	kg	1,00E-03
Emissões Atmosféricas		
MP	kg	1,61E-04

Fonte: Marzullo (2007)

O inventário consolidado para a produção e uso do calcário na cultura da soja encontra-se no Apêndice B11 e para a cultura da cana encontra-se no Apêndice B12. Este inventário

considera os aspectos relacionados à produção e ao uso de óleo diesel para seu transporte até a lavoura.

3.3.10 Inventário do subsistema de produção do hidróxido de sódio

O inventário consolidado para a produção de hidróxido de sódio foi calculado a partir do inventário desenvolvido por Borges (2004), que considera entradas de água, sal marinho, energia elétrica e energia térmica fornecida pelo óleo combustível, como produto o hidróxido de sódio, e subprodutos Cl_2, H_2, e diclorometano. Segundo este inventário, existe um consumo de 4,31GJ em óleo combustível por tonelada de hidróxido de sódio produzido. Considerando que o óleo combustível tem um PCI 10100 kcal/kg (0,040GJ/kg), o uso de 4,31GJ corresponde a 102,09kg de óleo combustível. O inventário para este subsistema é apresentado na seguinte Tabela 3.17.

Tabela 3.17 inventário para a produção de hidróxido de sódio

Entradas e saídas	Unidade	1 kg de NaOH
Energia elétrica	MJ	1,04E+01
Óleo combustível	kg	1,02E-01
Sal marinho	kg	1,65E+00
Água	kg	4,38E-01
Emissões atmosféricas		
Cl_2	kg	2,35E-05
H_2	kg	8,90E-05
Diclorometano	kg	3,29E-05
Efluentes líquidos		
Cl-	kg	4,72E-06
Hg	kg	2,67E-07
Resíduos sólidos		
Resíduos processuais	kg	1,20E-04
Produtos		
NaOH	kg	1,00E+00
Cl_2	kg	8,90E-01
H_2	kg	2,56E-02

Fonte: Borges (2004)

Segundo este inventário parcial por tonelada de hidróxido de sódio produzido existe geração de 890 kg de Cl_2 e 25,6kg de H_2 sendo em total 1915,60kg de produtos, onde o NaOH

representa o 52,2%. O inventário consolidado encontra-se no apêndice B10 calculado com 52,2% de alocação pela massa. O inventario consolidado do subsistema de produção NaOH encontra-se no Apêndice B13.

3.3.11 Inventário do subsistema de produção do acido sulfúrico

Para a elaboração do inventário do ácido sulfúrico foi usado o estudo desenvolvido por Kulay (2004). Os dados apresentados no inventário, segundo o autor, são referentes à tecnologia de produção de dupla absorção. A Tabela (3.18) mostra este inventário:

Tabela 3.18 Inventário do subsistema de produção de acido sulfúrico

Entradas e saídas	Unidade	1 kg de H_2SO_4
Energia Elétrica	MJ	2,49E-03
Vapor	MJ	5,18E+00
S elementar	Kg	3,30E-01
Água	Kg	1,45E+00
Emissões atmosféricas		
SO_X	Kg	2,66E-03
Resíduos sólidos		
Borra de S	Kg	7,59E-03
Catalisador usado	kg	5,81E-02

Fonte: Kulay (2004).

A produção de ácido sulfúrico é autossuficiente no consumo de energia (geração de calor e eletricidade) Kulay (2004), por este motivo não é necessário elaborar de um inventário consolidado para este subsistema.

3.3.12 Inventário do subsistema de produção do superfosfatos simples (SSP)

O superfosfato simples é obtido pela reação de fosfato natural moído com acido sulfúrico e contem 18% de P_2O_5, alem de cálcio, (18 a 20% de Ca) e enxofre (10 a 12% de S). Os dados necessários para a elaboração do subinventario do SSP foi extraído de Silva e Kulay (2003, a). Este inventário considera as etapas de mineração de rocha fosfática, transporte de mineral e

produção de acido sulfúrico. A seguinte tabela mostra o subinventario para a atividade de mineração da rocha fosfórica proposto por Silva e Kulay (2003, a).

O inventário da Tabela 3.19, mostra que na etapa de transporte de mineral é consumido 0,298MJ/kg de SSP na forma de óleo diesel (PCI=40MJ/kg), este consumo de energia corresponde a 0,0074kg de óleo diesel/kg SSP.

Tabela 3.19 Inventário do subsistema de mineração da rocha fosfórica

Entradas e saídas	Uni.	Etapas		
		Mineração	Concentração	Transporte
Energia Elétrica	MJ	3,30E-02	3,07E-01	
Diesel	MJ			2,98E-01
Água	kg	5,37E-01	7,48E+00	
Efluentes Líquidos				
Efluentes	kg		8,01E+00	
Sólidos dissolvidos totais	kg		7,71E+00	
Resíduos Sólidos				
Magnetita	kg		7,60E-01	
Lodo	kg		6,72E-01	
Resíduos de mineração	kg		2,30E-03	

Fonte: Silva e Kulay (2003,a)

A reação para produção de superfosfato simples pode ser expressa assim:

$$Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 7H_2SO_4 + 17H_2O \rightarrow 3Ca(H_2PO_4)_2.H_2O + 7CaSO_4.2H_2O + 2HF \quad \text{Eq. (3.2)}$$

Neste processo a água é usada para diluir o acido sulfúrico a 70% de concentração e também para a lavagem de gases de HF gerados no reator durante a produção de SSP. O consumo de água é 1,43Kg/kg de SSP. De acordo com esta reação para o processamento de 1t de rocha fosfática são necessários 681,1kg de H_2SO_4, gerando 1945 kg de SSP, isto equivale a 0,36kg de H_2SO_4 (98%)/kg de SSP. O consumo de energia elétrica é 0,41MJ/kg de SSP. O inventário do subsistema de produção de SSP, ou seja, a reação do mineral fosfático com acido sulfúrico é mostrada na Tabela 3.20.

Tabela 3.20 Inventário para a produção de SSP

Entradas e saídas	Unidade	1 kg de SSP
Energia Elétrica	MJ	4,10E-01
Água	kg	1,43E+00
H_2SO_4	kg	3,57E-01
Emissões Atmosféricas		
HF	kg	1,10E-05
Efluentes Líquidos		
Fosfato	kg	1,99E-03

Fonte: Silva e Kulay (2003, a).

O inventário consolidado o subsistema de produção do superfosfato simples encontra-se no Apêndice B.14, que considera as etapas de mineração, transporte do mineral ate a usina de beneficiamento, e produção do SSP.

3.3.13 Inventário do subsistema de produção do cloreto de potássio (KCl)

A Tabela 3.21, mostra o inventário para o subsistema de KCl proposto por Silva; Ribeiro e Kulay (2006).

Tabela 3.21 Inventário do subsistema de produção de cloreto de potássio

Entradas e saídas	Unidade	1 kg de KCl
GN	(GJ)	2,38E-03
Óleo diesel	(GJ)	3,43E-03
Água	kg	1,04E+00
Rocha potássica	kg	1,19E+00
Emissões atmosféricas	kg	
MP	kg	1,30E-03
CO	kg	1,23E-03
CO_2	kg	5,77E-01
SO_X	kg	2,20E-03
NO_X	kg	2,89E-03
Hidrocarbonetos	kg	6,57E-04
CH_4	kg	9,16E-04

Continuação

Efluentes líquidos		
Compostos de nitrogênio	kg	3,79E-07
Compostos de enxofre	kg	7,90E-03
DBO	kg	1,26E-05
DQO	kg	6,32E-06
Na^{+}	kg	4,65E-02
K^{+}	kg	1,02E-03
Cl^{-}	kg	7,96E-02
Ca^{+2}	kg	1,32E-03
Mg^{+2}	kg	7,64E-03
Resíduos sólidos		
Resíduo de mineração	kg	2,89E+00

Fonte: Silva; Ribeiro e Kulay (2006).

De acordo com este inventario 2,38MJ de gás natural (PCI=36,8MJ/kg) corresponde a 0,065kg de GN e 3,43MJ de óleo diesel (PCI=40,1MJ/kg) corresponde a 0,086Kg de óleo diesel. O inventario consolidado para o subsistema produção de cloreto de potássio encontra-se no Apêndice B15.

3.3.14 Inventário do subsistema de geração e distribuição de energia elétrica

O inventário do subsistema referente à geração e distribuição de energia elétrica foi obtido a partir do estudo de Coltro; Garcia e Quieroz (2003). A Tabela 3.22, mostra o inventário referente a esta atividade.

Tabela 3.22 Inventário para a geração e distribuição de energia elétrica

Entradas e saídas	Unidades	1 MJ de Energia elétrica
Energia	MJ	1,58E+00
Petróleo	kg	1,21E-03
Carvão	kg	1,28E-02
Gás natural	kg	7,60E-04
Urânio	kg	1,80E-07
Reservas Bióticas	kg	4,87E-03
Materiais secundários	kg	9,00E-04
Água	kg	1,16E-01

Continuação

Emissões atmosféricas		
CO_2	kg	3,43E-02
CH_4	kg	5,40E-04
CO	kg	1,49E-04
N_2O	kg	1,10E-05
NH_3	kg	6,00E-12
NO_X	kg	5,75E-04
COVNM	kg	7,28E-06
Hidrocarbonetos	kg	7,50E-07
MP	kg	6,72E-05
SO_X	kg	1,16E-04
Radioatividade para o ar	kBq	9,77E-03
Efluentes Líquidos		
DBO	kg	7,00E-08
DQO	kg	1,30E-07
Cl^-	kg	6,00E-11
Sólidos dissolvidos totais	kg	5,00E-08
Sólidos suspensos totais	kg	1,00E-07
Hidrocarbonetos	kg	3,00E-08
Óleos e graxas	kg	1,40E-07
Compostos de N	kg	4,50E-09
Compostos de S	kg	4,50E-10
Radioatividade para a água	kBq	1,51E-02
Resíduos sólidos		
Resíduos no solo	kg	1,34E-02
Resíduos processuais	kg	1,07E-02

Fonte: Coltro; Garcia e Queiroz (2003).

De acordo com o Balanço Energético Nacional BEN (2011), 86% da energia elétrica no Brasil provêem de fonte renovável e 14% de fonte fóssil. Esta informação foi considerada, para atribuir o consumo de energia elétrica em 86% para a energia renovável e 14% para a energia não renovável em todos os inventários desta Dissertação.

3.3.15 Inventário do subsistema de produção da soja

Nesta seção a seguir é apresentada a construção do inventario para a produção da soja. Foi utilizado o valor médio da produtividade da safra de soja do período 2005-2010. Os valores da produtividade foram extraídos do MAPA (2010). (Ministério de agricultura, Pecuária e Abastecimento). A Tabela 3.23 mostra a produtividade da soja no período 2005-2010.

Tabela 3.23 Produtividade da soja no Brasil entre as safras 2005-2010

Safra	Produtividade kg/ha.ano
2009/10	2920
2008/09	2629
2007/08	2816
2006/07	2823
2005/06	2419
Valor médio	2721

Fonte: MAPA 2010

Consumo de calcário

O calcário é usado na etapa de calagem do solo, para promover aumento de produtividade da soja cultivada em sistemas de plantio direto e convencional. O calcário para agricultura utilizado no Brasil é a rocha calcaria moída.

Neste inventario foi considerado o consumo de 800 kg de calcário/ha segundo Ortega (2001). Sendo a produtividade 2721 kg/ha, equivalendo a 0,294kg de calcário/kg de soja.

Para o cálculo do consumo de diesel no transporte de calcário do produtor ate lavoura foi considerado uma distancia media de 352 km (Marzullo, 2007), calculada como a distância media entre os produtores de calcário no estado de Mato-Grosso até os maiores distritos produtores de soja do mesmo estado. Sendo o consumo especifico de 0,043kg óleo diesel/t.km, então o consumo de diesel (ida e volta) é:

$$\text{Diesel} = 0{,}043\frac{\text{kg}}{\text{t.km}} \times 352\text{km} \times 2 = 30{,}27\frac{\text{kg óleo diesel}}{\text{t calcário}}$$

$$\text{Diesel} = 0{,}294\frac{\text{kg calcário}}{\text{kg soja}} \times 30{,}27\frac{\text{kg óleo diesel}}{\text{t calcário}} \times \frac{1\text{ t}}{1000\text{kg}} = 0{,}0089\frac{\text{kg}}{\text{kg de soja}}$$

O inventario consolidado para o subsistema de produção e uso do calcário na cultura da soja encontra-se no Apêndice B10.

Consumo de fertilizantes

O inventário do uso de fertilizantes pela cultura de soja foi expresso em termos totais de NPK, ou seja, foi usado o inventario consolidado dos subsistemas de ureia, SSP e cloreto de potássio nas proporções requeridas pela cultura, também foram incluídos os aspectos ambientais envolvidos no transporte destes fertilizantes ate a lavoura de soja.

Segundo dados do AGRIANUAL (2006), para a produtividade de 2880 kg/ha de grão de soja na região de Mato Grosso, utilizam-se 400 kg/ha de fertilizante da formulação NPK (2-20-20). Desta forma para produzir uma tonelada de soja são necessários 138,89kg de NPK nas seguintes proporções: 2,778kg de N; 27,78kg de P_2O_5; e 27,78kg K_2O.

Considerando que, a formulação NPK é composta por ureia como fonte de nitrogênio, superfosfato simples (SSP) como fonte de fosfato e cloreto de potássio como fonte de potássio. A quantidade da formulação de NPK (2-20-20) requerida será:

Ureia (NH_2CONH_2), com 46,67% de N: 2,778/0,4667=5,95kg de ureia.
SSP ($3Ca(H_2PO4)_2.H_2O + 7CaSO_4.2H_2O$), com 21,7% de P_2O_5: 27,78/0,217=127,94kg de SSP
Cloreto de potássio (KCL), com 63,2% de K_2O: 27,78/0,632=43,97kg de KCl

Por tanto, tem-se um total de 177,87kg da formulação NPK (2-20-20) para produzir 1t de soja.

Este inventário considera que a uréia é produzida pela PETROBRAS FAFEN localizada na Bahia, o superfosfato simples é produzido pela BUNGE FERTILIZANTES S.A localizada em Araxá (MG) e o cloreto de potássio é produzido pela empresa VALE FERTILIZANTES localizada em taquari (SE). Estes fertilizantes são transportados desde as unidades produtoras até o misturador NPK da empresa BUNGE FERTILIZANTES localizada em Rondonópolis (MT). A seguir o fertilizante NPK é transportado ate a lavoura. Para este estudo foi considerado o estado de Mato Grosso como produtor de soja. É considerado que o consumo específico de diesel para este transporte é 0,043kg/t.km (Marzullo, 2007)

As distâncias entre os produtores de fertilizantes até o misturador NPK e deste até a lavoura de soja são apresentadas na Tabela 3.24.

Tabela 3.24 Distâncias entre produtores de fertilizantes e produtores de soja

Produtor de Fertilizantes	Misturador Bunge
Petrobras/Ureia	2213 km
Bunge/SSP	1036 km
Vale/KCl	2157 km
Produtor NPK	**Produtor de soja**
Misturador Bunge/NPK	470 km

Fonte: Marzullo (2007)

O consumo de diesel para o transporte de fertilizantes desde o produtor até a lavoura considerando ida e volta é calculado da seguinte maneira:

Transporte de ureia ate o misturador NPK:

$$\text{Diesel} = 0{,}043\frac{\text{kg}}{\text{t. km}} \times 5{,}95\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}} \times 2213\text{km} \times 2 \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} = 1{,}13\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Transporte de SSP ate o misturador NPK:

$$\text{Diesel} = 0{,}043\frac{\text{kg}}{\text{t. km}} \times 127{,}94\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}} \times 1036\text{km} \times 2 \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} = 11{,}4\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Transporte de KCl ate o misturador NPK:

$$\text{Diesel} = 0{,}043\frac{\text{kg}}{\text{t. km}} \times 43{,}97\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}} \times 2157\text{km} \times 2 \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} = 8{,}16\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Transporte de NPK ate a lavoura:

$$\text{Diesel} = 0{,}043\frac{\text{kg}}{\text{t. km}} \times 117{,}87\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}} \times 470\text{km} \times 2 \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} = 7{,}19\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Consumo total:

$$\text{Diesel total} = \frac{27{,}88\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}}{177{,}87\frac{\text{kg de NPK}}{\text{t de soja}}} = 0{,}156\frac{\text{kg diesel}}{\text{kg de NPK}}$$

O inventário consolidado para o subsistema de produção e uso de NPK na cultura da soja encontra-se no Apêndice B15.

Consumo de óleo diesel

O consumo direto de diesel no sistema de produção de soja encontra-se nas operações agrícolas, e no transporte dos grãos ate a usina de extração do óleo. O consumo indireto é devido ao transporte de insumos agrícolas (fertilizantes, calcário, etc.) desde o produtor ate a zona agrícola. O consumo de diesel nas operações agrícolas foi calculado por Mello et al (2005), considerando as seguintes operações no sistema de plantio direto: secagem da cobertura verde, calagem do solo, semeadura da soja, aplicação de inseticida, fungicida, colheita e finalmente semeadura de cobertura verde. O consumo total de diesel de 50,26 L/ha (MELLO et al, 2005). Considerando-se a densidade do diesel 0,852 kg/L (ANP, 2010) o consumo pode ser expresso em 42,82 kg/ha. A produtividade da soja usada neste trabalho foi o valor médio das ultimas cinco safras que é 2721 kg/ha. Assim para produzir 1tonelada de soja são necessários 15,74kg de diesel para as operações agrárias.

Para o cálculo do consumo de óleo diesel no transporte dos grãos de soja até a usina, Silva e Kulay (2003, b) consideram uma distância de 200 km entre a lavoura e usina e consumo 0,205Kg de diesel para um caminhão transportando 15 t. de soja por 1 km. Assim, o consumo específico resultante é 0,014 kg/t.km. Considerando-se a distância percorrida de ida e volta o consumo por tonelada de grãos de soja transportada é:

$$\text{Consumo de diesel} = 0{,}014\frac{\text{kg}}{\text{t.km}} \times 1\text{t} \times 200\text{km} \times 2 = 5{,}47\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Consumo de energia elétrica

Foi considerado como consumo de energia elétrica 42MJ/ton. de soja (MOURAD, 2010).

Emissões de poluentes e gases de efeito estufa

Emissões pela aplicação de uréia. A aplicação de uréia na fertilização gera emissões de CO_2, N_2O e NO_X. A emissão de CO_2 é devido a sua decomposição para fornecer a amônia necessária, a reação é dada na Equação (3.3):

$$NH_2CONH_2 + H_2O \rightarrow 2NH_3 + CO_2 \qquad \text{Eq. (3.3)}$$

Segundo a estequiometria da reação, cada 1kg de uréia emite 0,733kg de CO_2, ou por cada N aplicado são emitidos 1,57kg de CO_2, o que é confirmado pelo fator utilizado por Nemecek (2005) de 1,6kg de CO_2/kg de N. As emissões de CO_2 são:

$$\text{Emissões de } CO_2 = 2{,}778 \frac{\text{kg de N}}{\text{t de soja}} \times 1{,}57 \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{kg de N}} = 4{,}37 \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{t de soja}}$$

De acordo com Nemenek et al (2004), o amônio (NH_4^+) contido no fertilizante pode ser convertido facilmente em amônia e emitido para a atmosfera com um fator de 15% sobre a quantidade de N utilizado, então como foi calculado anteriormente, para produzir 1 t de soja é necessário a aplicação de 2,778kg de N. Sendo assim as emissões de NH_3 são:

$$\text{Emissões de } NH_3 = 2{,}778 \frac{\text{kg de N}}{\text{t de soja}} \times 0{,}15 \frac{\text{kg de } NH_3}{\text{kg de N}} = 0{,}417 \frac{\text{kg de } NH_3}{\text{t de soja}}$$

Segundo o IPCC (1996), por cada 1kg de N aplicado, são emitidos 0,0125kg de N_2O e de acordo com Nemenek et al (2004) as emissões de NO_X são estimadas a partir das emissões de N_2O pela relação da Equação (3.4).

$$\text{Emissões de } NO_X = 0{,}21 \times \text{Emissões de } N_2O \quad \text{Eq. (3.4)}$$

O calculo para estas emissões é

$$\text{Emissões de } N_2O = 2{,}778 \frac{\text{kg de N}}{\text{t de soja}} \times 0{,}0125 \frac{\text{kg de } N_2O}{\text{kg de N}} = 0{,}0347 \frac{\text{kg de } N_2O}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Emissões de } NO_X = 0{,}0347\text{kg} \times 0{,}21 = 0{,}0073 \frac{\text{kg de } NO_X}{\text{t de soja}}$$

*Emissões pela queima de combustíveis fósseis***.** As emissões pela queima de combustíveis fósseis envolve o uso de óleo diesel nas operações agrícolas para a produção de soja. No Brasil é usado dois tipos de óleo diesel: diesel metropolitano de 50 ppm de enxofre e diesel interior de 500ppm de enxofre . O diesel interior é usado para o transporte de cargas via

ferroviária ou rodoviária e o diesel metropolitano é usado para o transporte publico dentro das cidades. Neste caso foi usado o diesel interior.

Emissões pela erosão do solo. As emissões de CO_2 pela erosão do solo são devidas à perda do solo por fenômenos como a chuva e o vento, deixando a matéria orgânica do solo exposta ao ar. Segundo Cavallet (2008) a emissão de CO_2 causada pela erosão do solo é 0,0135kg/kg de perda de solo e a perda de solo na cultura da soja é 17t/ha.ano, ou seja, 6,25kg/kg de soja. Assim, a emissão de CO_2 pode ser calculada como:

$$CO_2 = 0{,}0135 \frac{\text{kgde } CO_2}{\text{kg de perda de solo}} \times 6{,}25 \frac{\text{kg de perda de solo}}{\text{kg de soja}} \times \frac{1000\text{kg}}{1\text{t}} = 84{,}3 \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{t de soja}}$$

Absorção de CO_2 pela cultura da soja.

Foi considerado que o cultivo de soja permite restituir ao solo de 4,6 t de matéria seca/ha.ano como é proposto por Padua et al (2006). Com 50% de carbono na matéria seca (2,3 t de carbono /ha), isto corresponde a 2300x44/12=8433,3kg de CO_2. Considerando-se a produtividade de 2721 kg/ha.ano a quantidade de CO_2 absorvida pela cultura da soja é:

$$\text{Absorcao de } CO_2 = 8433{,}3 \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{ha. ano}} \div 2721 \frac{\text{kg de soja}}{\text{ha. ano}} \times \frac{1000\text{Kg}}{1\text{t}} = 3099 \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{t de soja}}$$

O inventário consolidado do subsistema de produção de soja encontra-se no Apêndice B16.

3.3.16 Inventário do subsistema de extração do óleo de soja

O balanço de materiais para a extração do óleo de soja encontra-se no Apêndice A9. Para a extração de óleo de soja são necessários os seguintes recursos: água de processo, água de resfriamento, e geração de vapor; óleo combustível como fonte de energia para a geração de vapor em caldeiras e hexano como solvente de extração e energia elétrica.

Consumo de vapor

Segundo os cálculos de balanço o consumo total de vapor é 220 Mcal/kg de soja processada ou 1240 kcal/kg de óleo obtido (5184 kJ/kg). Sheehan (1998) apresenta a quantidade necessária de vapor em kcal para cada etapa do processo, considerando também o uso de vapor a 150psi e 475,1kcal/kg de calor latente. A Tabela 3.25 mostra o consumo de vapor por etapa, que totaliza 2482 kg/t de soja.

Tabela 3.25 Consumo de energia térmica por etapa para a extração de óleo de soja

Etapa	kJ/t de soja	kJ/t de óleo
Condicionamento dos *flakes*	173182	973247
Recuperação de miscela	87 003	488937
Dessolventizador	556249	3126014
Degomagem	16160	90187
Secagem a vácuo	7786	43757
Tratamento de efluentes	36776	206672
Total	877155	4929443

Fonte: Sheehan (1998)

Consumo de óleo combustível

Considerando que a temperatura do condensado que retorna junto com a água de reposição e entram na caldeira é 60°C (167,2kJ/kg), que a eficiência da caldeira é 80%, o PCI do óleo combustível é 10100 kcal/kg (42218 kJ/kg) (ANP, 2010). O vapor a 150psi tem 185°C tem 2782 kJ/kg, então a quantidade de óleo combustível pode ser calculada pela Equação (3.5):

$$M_{OC} \times PCI_{OC} \times 0{,}8 = M_V \times (H_V - H_L) \quad \text{Eq. (3.5)}$$

Onde:

M_{OC}: Massa do óleo combustível

PCI_{OC}: Poder calorífico do óleo combustível

M_V: Massa de vapor

H_V e H_L: Entalpia de vapor e liquido saturado a 150psi

$$\text{Óleo combustível} = \frac{2482\text{kg} \times \left(2782\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 167{,}2\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)}{42218\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 0{,}80} = 192{,}17\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo de soja}}$$

Consumo de gás natural

O gás natural é usado na etapa de secagem dos grãos. De acordo com Sheehan (1998) são necessárias 266.275 kcal de gás natural/t de soja. Considerando-se o PCI do gás natural com 8800 kcal/kg (ANP,2010), o consumo de gás natural é:

$$\text{Gás Natural} = \frac{266275\ \frac{\text{kcal}}{\text{t de soja}}}{8800\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}} = 30{,}25\frac{\text{kg de GN}}{\text{t de soja}} \text{ ou } 170{,}05\ \frac{\text{kg de GN}}{\text{t de óleo de soja}}$$

Consumo de hexano

O hexano é usado como solvente de extração, sendo posteriormente recuperado da miscela e do farelo, e retornado junto com o *make-up* para a unidade de extração. Segundo Sheehan (1998), a quantidade da reposição de hexano é 0,0024 vezes a quantidade de soja que entra a unidade de extração. De acordo com balanço desenvolvido neste trabalho, para cada tonelada de soja recebida na usina, 914,5Kg entram na unidade de extração. Então o consumo líquido de hexano *(make-up)* é:

$$Make - up\ = 0{,}0024 \times \frac{914{,}5\ \text{kg}}{\text{t de soja}} = 2{,}20\frac{\text{kg de hexano}}{\text{t de soja}} = 12{,}35\frac{\text{kg de hexano}}{\text{t de óleo de soja}}$$

Consumo de energia Elétrica

As operações que consomem energia elétrica são: recebimento dos grãos de soja, secagem, descascamento, esmagamento, condicionamento, extração, recuperação da miscela, dessolventização do farelo, degomagem, secagem a vácuo e tratamento de efluentes. Segundo balanço apresentado na Tabela 3.26, o consumo total de energia elétrica é 462 kWh/t. de óleo de soja.

Tabela 3.26 Consumo de energia elétrica por etapa para a extração de óleo de soja

Etapa	kWh/t de soja	kWh/t de óleo
Recebimento dos grãos de soja	5,84	32,82
Secagem dos grãos de soja	15,50	87,12
Esmagamento	6,50	36,53
Condicionamento	15,09	84,81
Extração	3,60	20,23
Recuperação do óleo	0,90	5,06
Processamento do farelo	19,96	112,18
Degomagem	0,92	5,17
Secagem do óleo	0,77	4,33
Tratamento de efluentes	0,52	2,92
Total energia elétrica	82,09	461,40

Fonte: Sheehan (1998)

$$\text{Total}_{\text{Energia elétrica}} = 461{,}35 \frac{\text{kWh}}{\text{t de óleo}} \times \frac{3600\text{kJ}}{1\text{KWh}} = 1\,660\,860 \frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo}} \text{ ou } 1\,661 \frac{\text{MJ}}{\text{t de óleo}}$$

Consumo de água

O consumo de água na usina de extração de óleo de soja encontra-se nas seguintes operações: geração de vapor, resfriamento, degomagem, água de reposição para caldeira, água de reposição de circuito fechado de resfriamento, lavagem de equipamentos e consumo de água potável. A Tabela 3.27, mostra os valores de consumo de água, com um valor total de 2974 kg/t de óleo ou, aproximadamente, $3m^3$/ ton.

Tabela 3.27 Consumo de água total para a extração de óleo de soja

Operação	Consumo de água (kg/t de óleo de soja)
Geração de vapor	2482
Água de resfriamento e condensação	478,15
Água de degomagem	14,08
Total	2974

Fonte: Sheehan (1998)

Emissões de poluentes e gases de efeito estufa

A emissão de poluentes e gases de efeito estufa deve-se às seguintes atividades: queima de óleo combustível na caldeira para a geração de vapor, queima de gás natural na secagem

dos grãos de soja, evaporação de ciclohexano para o ar, e emissão de material particulado para o ar. As emissões de poluentes e gases de efeito estufa encontram-se consolidados no Apêndice B18.

Geração de efluentes. A geração de efluentes deve-se as seguintes atividades: evaporador de triplo efeito (vapores condensados contaminados com ciclohexano e óleo), sistema de recuperação de ciclohexano, sistema de secagem a vácuo do óleo degomado, sistema de secagem a vácuo das gomas. Segundo Sheehan (1998), no processo de extração de óleo é gerado 452,75 kg de efluente/ t de óleo de soja.

Geração de resíduos sólidos. Os únicos resíduos sólidos gerados são as partículas finas e impurezas removidas na etapa de recebimento dos grãos de soja (Sheehan, 1998). Neste estudo, foi calculado em 7,87kg/t de soja.

3.3.17 Inventário do subsistema de produção do metanol

Frente à escassez de dados referentes a este subsistema, optou-se por simular o processo de produção de metanol em ambiente ASPEN HYSS (ASPENTECH INC). A seguir são apresentados os resultados obtidos a partir da simulação desta simulação. O fluxograma simulado é apresentado na Figura (2.2), e detalhado no Apêndice A2.

Consumo de energia elétrica

O consumo de energia elétrica, na produção de metanol é devido a três operações: (i) compressão do gás natural de 1 a 20atm para o reator de reforma catalítica, (ii) compressão do gás de síntese de 20 a 50atm para o reator de síntese de metanol e, (iii) compressão do gás de reciclo. Este consumo de energia foi calculado por simulação em ambiente ASPEN HYSS (ASPENTECH INC) assumindo 75% de eficiência nos compressores. Tabela 3.28, mostra os resultados obtidos.

Tabela 3.28 Consumo de energia elétrica para a produção de metanol

Compressão	Energia elétrica MJ/t de metanol
Compressão 1	495,63
Compressão 2	517,49
Compressão 3	92,74
Energia elétrica total	1105,86

Fonte: Simulação de fluxograma da Figura 2.2 em ambiente ASPEN HYSYS

Consumo de gás natural

O gás natural é usado como matéria prima para a produção de gás de síntese e como combustível para a geração de vapor. O gás natural como matéria prima é comprimido ate 20atm e depois misturado com vapor saturado a 20atm para alimentar o reator de reforma catalítica. Segundo o balanço detalhado que se encontra no Apêndice A.2, o consumo de gás natural como matéria prima é 606,47 kg/t de metanol produzido. Como combustível, o gás natural é usado para fornecer calor ao reator de reforma catalítica e para a geração de vapor a 6,8atm. A Tabela 3.29, mostra o consumo de gás natural para a produção de metanol. Nesta, o consumo total de gás natural (matéria prima e combustível) para a produção de metanol é 723,80 kg sendo 16% para uso como combustível.

Tabela. 3.29. Consumo de gás natural para a produção de metanol

Processo	kg/t de metanol
Consumo de GN para a produção de síntese	606,47
Consumo de GN para fornecer energia ao reator de reforma	40,70
Consumo de GN para a geração de vapor a 6,8 atm.	76,62
Consumo total de GN	723,80

Fonte: Simulação de fluxograma da Figura 2.2 em ambiente ASPEN HYSYS

Consumo de energia térmica

As necessidades de energia térmica para a produção de metanol são em: 1) reator de reforma catalítica; 2) reator de síntese de metanol e 3) referverdores das colunas de destilação de DME e metanol. No primeiro caso, no reformador catalítico, a energia térmica é fornecida pela combustão dos gases de purga que tem em sua composição: H_2, CO, CH_4, DME e metanol. Segundo os cálculos de balanço de energia detalhados no anexo a energia fornecida pela combustão dos gases de purga não é suficiente para a energia requerida pelo

reformador catalítico. Por este motivo é necessário usar gás natural para completar a energia requerida. O calor recuperado no reator de metanol é usado para gerar vapor a 6,8atm e suprir parte do calor requerido pelos refervedores. Todo vapor requerido a 20atm no reator de reforma catalítica é suprido pelo aquecedor recuperador de calor. A Tabela 3.30, mostra os resultados obtidos:

Tabela. 3.30. Consumo e geração de energia na produção de metanol

Consumo e geração de energia	MJ/t de metanol
Consumo de energia no reator de reforma catalítica.	18940,70
Energia suprida pela queima dos gases de purga	9989,67
Energia suprida pela queima do GN	1497,27
Energia suprida pelo reator de metanol com 85% de eficiência	2118,87
Consumo de energia no reboiler da coluna de destilação de DME	764,64
Consumo de energia no reboiler da coluna de destilação de Metanol	2229,92

Fonte: Simulação de fluxograma da Figura 2.2 em ambiente ASPEN HYSYS

Consumo de água

O consumo de água para a produção de metanol encontra-se na produção de vapor e como água de resfriamento em condensadores e resfriadores, detalhados nas Tabelas (energia elétrica) e (consumo de GN) de acordo com resultados de simulação do fluxograma de produção de metanol da Figura 2.2. Na produção de vapor, tem-se vapor saturado a 20atm para o reator de reforma catalítica, vapor saturado a 6,8atm para os refervedores da coluna de destilação de DME e metanol. Segundo Vaswani (2000) são necessários 3,682 mol de vapor/mol de gás natural, ou seja, 3759,27kg de vapor/t de GN ou 2279,88kg de vapor/t de metanol. O resfriamento do gás de síntese na saída do reator de reforma fornece vapor a 20atm e o resfriamento do reator de metanol para manter a temperatura em 260°C fornece o vapor a 6,8atm. Na Tabela 3.31, pode-se observar que o resfriamento do gás de síntese é capaz de fornecer todo o vapor de 20atm necessário para a reforma catalítica. Por outro lado, o resfriamento do reator de metanol não fornece todo o vapor necessário para os refervedores das colunas de destilação, o déficit deste vapor é atendido por uma caldeira. O consumo total de água para a geração de vapor é 5242,43kg/t de metanol. O consumo total de água para a produção de metanol é 52729,19kg/t de metanol ou 52,72m^3/t de metanol.

Tabela. 3.31. Consumo de água para a geração de vapor na produção de metanol

Geração e consumo de vapor	kg/t de metanol
Consumo de vapor a 20atm no reator de reforma	2279,88
Vapor a 20atm fornecido pelo resfriamento do gás de síntese	3536,51
Consumo de vapor a 6,8atm no reboiler da coluna de destilação do DME	435,60
Consumo de vapor a 6,8atm no reboiler da coluna de destilação do metanol	1270,33
Consumo total de vapor a 6,8atm	1705,93
Vapor a 6,8atm fornecido pelo resfriamento do reator de reforma	797,33

Fonte: Simulação de fluxograma da Figura 2.2 em ambiente ASPEN HYSYS

Tabela. 3.32. Consumo de água de resfriamento na produção de metanol

Consumo de água de resfriamento e condensação	kg/t de metanol
Resfriamento no trocador de calor 1	5518,86
Resfriamento no trocador de calor 3	17607,38
Resfriamento para condensador da coluna de destilação do DME	1188,15
Condensador da coluna de destilação do metanol	23172,37
Consumo total de água de resfriamento	47486,76

Fonte: Simulação de fluxograma da Figura 2.2 em ambiente ASPEN HYSYS

Emissão de poluente e gases de efeito estufa

A emissão de poluentes e gases de efeito estufa para a produção de metanol é devido às seguintes operações: queima de gás natural para a geração de vapor, queima dos gases não reagidos que são retornados ao processo para fornecer energia térmica no reator de reforma. Na produção de 1000 kg de metanol são queimados 117,33kg de gás natural e 163,43kg de gases de purga. As emissões pela queima destes combustíveis encontram-se consolidadas no Apêndice B.18.

*Geração de efluentes***.** De acordo com a simulação do processo, o único efluente é produzido na destilação do metanol, de 237,51 kg/t de metanol.

*Geração de resíduos sólidos***.** Não existe geração de resíduos sólidos.

O inventário consolidado para a produção de metanol encontra-se no Apêndice B19.

3.3.18 Inventário do subsistema de produção de cana de açúcar

A seguir é apresentada a construção do inventario para a produção da cana de açúcar. Neste estudo foi considerada para os cálculos, a produtividade média das safras do período 2005-2010 reportadas na Tabela 3.33. Este valor de produtividade considera o peso na balança do colmo livre de palha que chega a usina. A palha representa 14% em matéria seca da colheita total, considerando a umidade da palha em 15%. A produtividade total incluindo palha é 91391 kg/ha.ano Para o inventário da produção de cana-de-açúcar usou-se este valor por facilitar os cálculos.

Tabela 3.33 Produtividade da cana-de-açúcar no Brasil entre 2005-2010

Safra	Produtividade kg/ha.ano
2009/10	80240
2008/09	77520
2007/08	77050
2006/07	74050
2005/06	72830
Media	76338

Fonte: MAPA (2011)

Consumo de calcário

Segundo Macedo (2004) o consumo de calcário é 1900 kg/ha.ano Considerando a produtividade de 91391 kg/ha, isto equivale a 0,0208kg de calcário/kg de cana. Para o calculo do consumo de diesel no transporte de calcário do produtor ate lavoura, foi considerada uma distancia média de 300 km (arbitrário conferir depois) e consumo especifico de 0,043kg/t.km, então o consumo de diesel é:

$$\text{Consumo de diesel} = 0{,}043\frac{\text{kg}}{\text{t.km}} \times 1\text{t} \times 300\text{km} \times 2 = 25{,}8\frac{\text{kg}}{\text{t de calcário}}$$

O inventário consolidado pelo uso de calcário para a produção de cana de açúcar encontra-se no Apêndice B11.

Consumo de fertilizantes

O inventário do uso de fertilizantes pela cultura de cana foi expresso em termos totais de NPK, ou seja, o inventario consolidado pelo uso de uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio nas quantidades requeridas pela cultura. Segundo dados do Macedo (2004), o consumo de fertilizantes considerando a aplicação de vinhaça e torta de filtro na lavoura é: 90 kg/ha.ano de N; 50 kg/ha.ano de P_2O_5 e 80 kg/ha.ano de K_2O. Assim, a quantidade da formulação de NPK requerida é:

- Uréia (NH_2CONH_2), com 46,67% de N: 90/0,4667=192,86 kg/ha.ano de uréia.
- SSP ($3Ca(H_2PO4)_2.H_2O$ +$7CaSO_4.2H_2O$), com 21,7% de P_2O_5: 50/0,217=230,30kg de SSP
- Cloreto de potássio (KCl), com 63,2% de K_2O: 80/0,632=126,63kg de KCl

Considerando a produtividade 91391 kg/ha.ano a dose de fertilizantes resulta: 2,11kg de uréia/ t de cana; 2,52kg de SSP/ ton. de cana e 1,39kg de KCl/ t de cana. Isto da um total de 6,02 kg de formulação NPK. Este inventário considera que a ureia é produzida pela FOSFERTIL localizada no complexo industrial de Araucária (PR), o superfosfato simples é produzido pela BUNGE FERTILIZANTES S.A localizada em Cajati (SP) e o cloreto de potássio é produzido pela empresa VALE FERTILIZANTES localizada em taquari (SE). Estes fertilizantes são transportados desde as unidades produtoras até o misturador NPK da empresa BUNGE FERTILIZANTES localizada em Cubatão (SP). Depois o fertilizante NPK é transportado ate a lavoura. Para este estudo foi considerado o estado de São Paulo como produtor da cana-de-açúcar. É considerado que o consumo específico de diesel para este transporte é 0,043kg/t.km. As distâncias consideradas para este inventário são apresentadas na Tabela 3.34.

Tabela 3.34 Distâncias entre os produtores de fertilizantes e os produtores de cana

Produtor de Fertilizantes	Misturador Bunge
Fosfértil/Uréia	417 km
Bunge/SSP	220 km
Vale/KCl	3568 km
Produtor NPK	Produtor de cana-de-açúcar
Misturador Bunge/NPK	300 km

É considerada a distância percorrida na ida e volta. O consumo de diesel para o transporte de fertilizantes desde o produtor até a lavoura é calculado da seguinte maneira:

Transporte de uréia ate o misturador NPK:

$$\text{Diesel} = 0{,}043\frac{\text{kg}}{\text{t.km}} \times 2{,}11\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}} \times 417\text{km} \times 2 \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} = 0{,}08\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Transporte de SSP ate o misturador NPK:

$$\text{Diesel} = 0{,}043\frac{\text{kg}}{\text{t.km}} \times 2{,}52\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}} \times 220\text{km} \times 2 \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} = 0{,}05\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Transporte de KCl ate o misturador NPK:

$$\text{Diesel} = 0{,}043\frac{\text{kg}}{\text{t.km}} \times 1{,}39\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}} \times 3568\text{km} \times 2 \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} = 0{,}43\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Transporte de NPK ate a lavoura:

$$\text{Diesel} = 0{,}043\frac{\text{kg}}{\text{t.km}} \times 6{,}02\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}} \times 300\text{km} \times 2 \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} = 0{,}16\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

O inventario consolidado para subsistema produção e uso de NPK para na cultura da cana de açúcar encontra-se no Apêndice B19.

Consumo de óleo diesel

O consumo direto de diesel no sistema de produção de cana-de-açúcar encontra-se nas operações agrícolas, e no transporte da cana ate a usina. O consumo indireto é devido ao transporte de insumos desde o produtor ate a zona agrícola, insumos como fertilizantes e calcário, mas este consumo encontra-se já incluído no inventario consolidado do calcário e NPK.

Consumo de diesel nas operações agrícolas. O consumo de diesel nas operações agrícolas foi apresentado por Macedo (2004), para este cálculo o autor considerou operações como: aplicação de calcário, gradagem, sulcação, distribuição de mudas, aplicação de vinhaça, torta de filtro, etc. Os resultados destes cálculos mostram que o consumo de diesel nestas operações é 1,09kg/ t de cana (colmo e palha).

Consumo de diesel no transporte da cana ate usina. O consumo de diesel para o transporte da cana desde a lavoura até a usina foi calculado também por Macedo (2004). O autor considera que a distância media entre lavoura e usina seja de 20 km e que é necessário 0,695 kg de diesel/ t de colmo de cana transportado. Como o fluxo de referência para o inventario de cana de açúcar esta em função da soma de colmo e palha. O consumo de diesel pode ser expresso assim:

$$\text{Consumo de diesel} = 0{,}695\frac{\text{kg}}{\text{t de colmo}} \times 0{,}835\frac{\text{t colmo}}{\text{t de cana}} = 0{,}581\frac{\text{kg de diesel}}{\text{t de cana}}$$

Produção de mudas

Macedo (2004) adota que o consumo de energia para a produção de mudas é 1336 kcal/t de cana. Convertendo-se este valor às unidades usadas no inventario resulta:

$$\text{Energia} = 1336\frac{\text{kcal}}{\text{t de colmo}} \times 0{,}835\frac{\text{t de colmo}}{\text{t de cana}} \times \frac{4{,}18\ \text{kJ}}{1\text{kcal}} \times \frac{1\text{MJ}}{1000\text{kJ}} = 4{,}66\frac{\text{MJ}}{\text{t de cana}}$$

Devido à falta de informação a respeito do inventario para a produção de mudas, foi considerado somente o impacto por emissões de CO_2. O IPCC (1996) recomenda expressar o consumo de energia em equivalente de petróleo (1 kg de petróleo =41,86MJ) e as emissões de CO_2 pelo consumo de petróleo sendo igual a 3,18kg CO_2/kg de petróleo, então as emissões de CO_2 pela produção de mudas é:

$$\text{Emissoes} = 4{,}66\frac{\text{MJ}}{\text{t de cana}} \times \frac{1\text{kg de Petróleo}}{41{,}86\text{MJ}} \times 3{,}18\frac{\text{kg de } CO_2}{1\text{kg de Petróleo}} = 0{,}354\frac{\text{kg de } CO_2}{\text{t de cana}}$$

Consumo de herbicidas e Inseticidas

Macedo (2004) adotou que o consumo de energia devido à aplicação de herbicidas e inseticidas é de 2690 kcal/t de cana e 190 kcal/t de cana, respectivamente, sendo um total de 2880 kcal/t de cana.

$$\text{Energia} = 2880\frac{\text{kcal}}{\text{t de colmo}} \times 0{,}835\frac{\text{t de colmo}}{\text{t de cana}} \times \frac{4{,}18\ \text{kJ}}{1\text{kcal}} \times \frac{1\text{MJ}}{1000\text{kJ}} = 10{,}06\frac{\text{MJ}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Emissões} = 10{,}06\frac{\text{MJ}}{\text{t de cana}} \times \frac{1\text{kg de Petróleo}}{41{,}86\text{MJ}} \times 3{,}18\frac{\text{kg de } CO_2}{1\text{kg de Petróleo}} = 0{,}764\frac{\text{kg de } CO_2}{\text{t de cana}}$$

Consumo de água

Não existe consumo de água na cultura da cana-de-açúcar, pois o processo de fertirrigação que é aplicação de vinhaça na lavoura permite fornecer água e nutrientes para a planta.

Emissões de poluentes e gases de efeito estufa

*Emissões pela aplicação de uréia***.** A aplicação de uréia para a fertilização do solo gera emissões de CO_2, N_2O e NO_X. Aplicando o mesmo critério usado no inventario da soja, as emissões podem ser calculadas da seguinte maneira: 2,11 kg de uréia correspondem a 0,985kg de N, então:

$$\text{Emissões de } CO_2 = 0{,}985\frac{\text{kg de N}}{\text{t de cana}} \times 1{,}57\frac{\text{kg de } CO_2}{\text{kg de N}} = 1{,}55\ \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Emissões de } NH_3 = 0{,}985\frac{\text{kg de N}}{\text{t de cana}} \times 0{,}15\frac{\text{kg de } NH_3}{\text{kg de N}} = 0{,}148\ \frac{\text{kg de } NH_3}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Emissões de } N_2O = 0{,}985\frac{\text{kg de N}}{\text{t de cana}} \times 0{,}0125\frac{\text{kg de } N_2O}{\text{kg de N}} = 0{,}0123\ \frac{\text{kg de } N_2O}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Emissões de } NO_X = 0{,}0123\ \frac{\text{kg de } N_2O}{\text{t de cana}} \times 0{,}21\frac{\text{kg de } NO_X}{\text{kg de } N_2O} = 0{,}0026\ \frac{\text{kg de } NO_X}{\text{t de soja}}$$

*Emissões pela queima de combustíveis fósseis***.** As emissões pela queima de combustíveis fósseis envolve o uso de óleo diesel nas operações agrícolas e pelo transporte dos colmos até usina. As emissões pela queima de combustíveis fósseis encontram-se consolidadas no Apêndice B20.

Emissões pela erosão do solo. De acordo com Cavallet (2008), a emissão de CO_2 causada pela erosão do solo é 0,0135kg/kg de perda de solo e a perda de solo na cultura da cana é 14,88 t /ha.ano (TOSTO; SOBRINHO; ANDRADE, 2010). Assumindo-se que a produtividade é de

91391 kg/ha.ano isto significa uma perda de 0,16 kg/kg de cana. A emissão de CO_2 pode ser calculada como:

$$\text{Emissão de } CO_2 = 0{,}0135\frac{\text{kg de } CO_2}{\text{kg de solo}} \times 0{,}16\frac{\text{kg de solo}}{\text{kg de cana}} \times \frac{1000\text{kg}}{1\text{t}} = 2{,}20\frac{\text{kg de } CO_2}{\text{t de soja}}$$

Emissões pela queima de palha. Considera-se que a colheita é manual com queima total da palha. Segundo o balanço detalhado no Apêndice A3 por tonelada de cana de açúcar colhida, são produzidos 141,41kg de palha com 15% de umidade. Segundo o IPCC (1996) na queima 80% consegue ser queimado totalmente com uma eficiência de 90%. Para calcular as emissões pela queima de palha foram usados os fatores de emissão da Tabela A.1.2 do Apêndice A1. Estas emissões encontram-se consolidadas no Apêndice B20**.**

Absorção de CO_2 pela cultura da cana

A cultura de cana de açúcar absorve CO_2 da atmosfera para seu crescimento, durante o seu processamento o carbono armazenado pela planta é distribuído da seguinte forma: carbono contido no etanol, carbono contido no bagaço, palha, etc. O balanço de massa desenvolvido no Apêndice A3 permite calcular a distribuição de carbono apresentada na Tabela 3.35.

Tabela 3.35 Distribuição do carbono fixado nos produtos e subprodutos da cana

Produtos e subprodutos	kg/kg cana	% Carbono	kg carbono/kg de cana
Etanol anidro	0,056	52	0,029
CO_2	0,059	27	0,016
Bagaco base seca	0,117	40	0,047
Palha base seca	0,120	50	0,060
Vinhaça	0,704	0,955	0,007
Levedura	0,002	49	0,001
Torta de filtro base seca	0,008	40	0,003
Total de carbono armazenado na cana-de-açúcar			0,163

Como se pode observar na Tabela 4.36, 1 kg de cana de açúcar contem 0,163kg de carbono, então o CO_2 absorvido é calculado pela Equação (3.6):

$$CO_{2\,\text{Absorvido}} = \text{Carbono}_{\text{Armazenado}} \times \frac{44}{12} \qquad \text{Equação (3.6)}$$

$$CO_{2\,\text{Absorvido}} = 0{,}163 \frac{\text{kg de C}}{\text{kg de cana}} \times \frac{44}{12} = 0{,}598 \frac{\text{kg de CO2}}{\text{kg de cana}} = 598{,}14 \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

O cultivo da cana de açúcar absorve 7464 kg de CO_2/m^3 de etanol (BNDES, 2008). Segundo balanço de massa desenvolvido neste trabalho a produção de etano é de 71,03L/t de cana (colmo mais palha). A absorção de carbono é então:

$$\text{Sequestro de } CO_2 = 7464 \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{m}^3 \text{ de Etanol}} \times \frac{\text{m}^3}{1000\text{L}} \times \frac{71{,}03\ \text{L}}{\text{t de cana}} = 530{,}17 \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{t de cana}}$$

Portanto, o dado de absorção de carbono obtido a partir de BNDES (2008) está muito próximo do resultado obtido neste trabalho, sendo este valor usado para o inventário do etanol anidro, ou seja, 598,14kg/ t de cana.

O inventário consolidado do subsistema de produção da cana de açúcar encontra-se no Apêndice B21.

3.3.19 Inventário do subsistema de produção do etanol anidro

Os colmos da cana são transportados até a usina onde é extraído o caldo para ser então submetido aos processos de: tratamento, fermentação e, finalmente, destilação e desidratação. Neste trabalho, considera-se o inventário de uma usina que só produz etanol anidro e não açúcar, embora a média de produção no Brasil seja de 50% de etanol e 50% de açúcar.

Consumo de calcário

O calcário é usado para produzir CaO em fornos rotativos. O CaO produzido é dissolvido em água para preparar uma solução a 5°Bé esta solução é adicionado ao caldo de cana na etapa de clarificação. O calcário é descomposto em CaO e CO_2 que é emitido para a atmosfera segundo a reação da Equação (3.7)

$$CaCO_3 \rightarrow CO_2 \uparrow + CaO \qquad \text{Eq. (3.7)}$$

De acordo com Schlittler (2011) é usado entre 100 a 500 g de CaO, para este estudo é usado o valor médio de 300g de CaO/t de caldo de cana. Os resultados do balanço (Apêndice A.3) mostram que é necessário 0,460Kg de $CaCO_3$/t de cana de açúcar ou 6,48kg/m^3 de etanol anidro.

Consumo de ciclohexano

O ciclohexano é o solvente usado na destilação azeotrópica para a desidratação do etanol hidratado. A relação usada solvente/ etanol hidratado está entre 4 a 5, e o *make-up* fica entre 1,20 – 1,62 kg/m^3 de etanol (ROQUE, 2013)[2]. Para este trabalho foi usado o valor médio 1,41kg/m^3.

Consumo de ácido sulfúrico

O acido sulfúrico é usado na etapa de diluição das leveduras recirculadas do reator para baixar o pH até 2,0-3,2. A quantidade de acido sulfúrico usado para este processo é 9,05 g/L de etanol anidro (Macedo, 2004). Isto equivale a 0,75kg por tonelada de cana moída.

Consumo de óleo combustível

O óleo combustível é usado unicamente nos fornos rotativos para a produção de CaO a partir da decomposição do $CaCO_3$. Segundo Marzullo (2007) o óleo combustível usado é 0,105Kg por kg de CaO produzido isto resulta num consumo de 0,38Kg de óleo combustível/m^3 de etanol anidro.

Consumo de vapor

O vapor na produção de etanol é autogerado pela queima de bagaço, este vapor é usado em: 1) geração de energia elétrica, 2) acionamento de equipamentos e 3) nos processos térmicos. Existem dois tipos de vapor: vapor de alta pressão e baixa pressão. O vapor de alta pressão ou também chamado vapor direto é usado para o acionamento de equipamentos como moendas, desfibradores e para a geração de energia elétrica, e o vapor que sai depois destas operações é chamado de vapor de baixa pressão ou vapor de escape que é utilizado para os processos térmicos da usina como: concentração do caldo, destilação, retificação e

[2] Informação pessoal por email de Efabiano Augusto Roque Andrade (Engenheiro de Processamento PETROBRAS) em maio de 2013.

desidratação. Segundo o calculo de balanço de energia o vapor direto utilizado é 540 kg/t de cana-de-açúcar (vapor de alta pressão) e 556 kg/t (vapor de baixa pressão).

Neste trabalho é considerado que todo o bagaço é queimado para a geração de energia. Segundo os cálculos para gerar 540 kg/t de vapor é necessário queimar todo o bagaço com 50% de umidade e 86% de eficiência térmica na caldeira. O balanço de massa e energia no sistema de geração de vapor encontra-se no Apêndice A8.

Consumo de água

Segundo o balanço de uso de água (Apêndice A3) o consumo de água total considerando a água de resfriamento em recirculação é 19,08 kg/kg de cana ou 268,64 kg/L de etanol anidro e o consumo de água direta neto sem considerar a água que permanece em recirculação é 2,61kg/kg de cana ou 36,81kg/L de etanol anidro. Para o inventario de ciclo de vida será usado o valor de água total.

Emissões de poluentes e gases de efeito estufa

A emissão de poluentes e gases de efeito estufa na produção de etanol anidro é produzida em três processos: 1) emissão de CO_2 no processo fermentação anaeróbica dos, 2) pela decomposição do $CaCO_3$ no forno rotativo e 3) pela queima de bagaço na caldeira. Segundo o balanço a emissão de CO_2 devido à fermentação é 59,22kg/t de cana ou 833,7kg/m^3 de etanol anidro e a emissão de CO_2 pela decomposição do $CaCO_3$ é 0,2kg/t de cana ou 2,84 kg/m^3 de etanol anidro. Isto equivale a um total de 836,55kg de CO_2/m^3 de etanol anidro como emissão direta no processo.

As emissões pela queima de 233,24kg de bagaço foram calculadas usando os fatores de emissão da Tabela A1.1 do Apêndice A1. Estas emissões encontram-se consolidadas no Apêndice B21.

Geração de efluentes. A emissão de efluentes líquidos na produção de etanol anidro encontra-se nos seguintes processos: lavagem da cana, destilação (vinhaça) e retificação (flegmaça). A Tabela 3.36, resume a emissão de efluentes líquidos calculados a partir do balanço de massa do Apêndice A3.

Tabela 3.36 Geração de efluentes na produção de etanol anidro

Efluente	kg/t de cana	kg/m^3 de etanol anidro
Lavagem da cana	1847,0	24055,0
Vinhaça (Destilação)	782,4	10194,0
Flegmaça (Retificação)	166,2	2165,3
Lavagem de cinzeiros e gases de combustão da caldeira	1346,3	17536,3

Geração de resíduos sólidos. A única fonte de geração de resíduos é na produção de energia no momento da lavagem dos cinzeiros. Os cinzeiros da caldeira são lavados com água, que é enviada a uma lagoa de efluente, onde, por decantação é separado um lodo com 80% de umidade contendo todas as cinzas formadas na caldeira, este lodo é depois seco e usado como fertilizante na lavoura (ANA, 2009). Isto corresponde a 2,90kg de matéria seca/t de cana ou 40,82 kg/m3 de etanol anidro.

No Apêndice B22, encontra-se o inventário consolidado para o etanol anidro, considerando o consumo de calcário, acido sulfúrico, ciclohexano, óleo combustível, queima de bagaço, uso de água, e geração de efluente.

3.3.20 Inventário do sistema de produção do biodiesel metílico de soja (BMS)

Para calcular o inventario consolidado do BMS, foi realizado o balanço de materiais, que incluem as etapas de pré-tratamento do óleo vegetal, transesterificação, recuperação do metanol e refinação do biodiesel. A Tabela 3.37, mostra o resultado obtido para o balanço de matérias primas:

Tabela. 3.37. Balanço de matérias primas para a produção de BMS

Componente	kg/t de biodiesel metílico
Óleo de soja	1055,0
Metanol	107,2
Hidróxido de sódio	10,93
Glicerol produzido	110,4

Consumo de vapor

O vapor para a produção de biodiesel metílico é usado nas seguintes etapas: 1) aquecimento do óleo para o pré-tratamento; 2) aquecimento de água de lavagem; 3) secagem do óleo; 4) reação de transesterificação; 4) destilação para a recuperação do metanol e 5) secagem do biodiesel. Segundo os cálculos do Apêndice A.4, o consumo de vapor é: 743 kg/ t de biodiesel metílico.

Consumo de óleo combustível

Considerando que a temperatura do condensado que retorna junto com a água de reposição que entram a caldeira é 60°C (167,2 kJ/kg), que a eficiência da caldeira é 80% e o PCI do óleo combustível é 10100 kcal/Kg (42218 kJ/kg) (ANP, 2010) e que o vapor a 150psi e 185°C tem 2782 kJ/kg, a quantidade de óleo combustível pode ser calculada pela Equação (3.8):

$$M_{OC} \times PCI_{OC} \times 0{,}8 = M_V \times (H_V - H_L) \qquad \text{Equação (3.8)}$$

Onde:

M_{OC}: Massa do óleo combustível
PCI_{OC}: Poder calorífico inferior do óleo combustível
M_V: Massa de vapor
H_V e H_L: Entalpia do vapor e liquido saturado respectivamente

$$\text{Óleo combustível} = \frac{743\text{kg} \times \left(2782\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 167{,}2\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)}{42218\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 0{,}80} = 57{,}5\frac{\text{kg}}{\text{t de BMS}}$$

Consumo de energia elétrica

Neste estudo será considerado que não existe diferença no consumo de energia elétrica entre as duas rotas, o consumo de energia elétrica para a rota metílica é então 104,0 MJ/ t de B100.

Consumo de água

O consumo de água na produção de biodiesel esta nos seguintes processos: 1) preparação da solução de NaOH para o pré-tratamento do óleo; 2) lavagem do óleo neutralizado e o biodiesel e 3) para processos de resfriamento e condensação do metanol. Segundo os cálculos de balanço de massa do Apêndice A4, o consumo de água é 10,46m^3/t de BMS.

Emissões de poluentes e gases de efeito estufa

A emissão de gases de efeito estufa é produzida unicamente pela queima de óleo combustível na caldeira para a geração de vapor. Estes gases de efeito estufa encontram-se inventariados no Apêndice B23.

Emissão de gases de efeito estufa pelo transporte do biodiesel ate os consumidores. O uso de óleo diesel na etapa de transporte ate os consumidores pode ser calculado fixando a distância percorrida para o trajeto desde a usina ate a bomba em 463 km de acordo com o estudo de Pimentel; Costa e Cunha (2007). Então o consumo de diesel é:

$$\text{Consumo de diesel} = 0{,}043\frac{\text{kg}}{\text{t.km}} \times 463\text{km} = 19{,}9\frac{\text{kg de diesel}}{\text{t de B100 transportado}}$$

A emissão de gases de efeito estufa emitidos por esta atividade são calculados usando a Tabela A1.4 do Apêndice A1, estes gases encontram-se inventariados no Apêndice B22.

*Emissão de gases de efeito estufa no uso final do biodiesel***.** A emissão de gases de efeito estufa na etapa de uso do biodiesel depende da forma final como ele é usado. Se este é usado na forma BX misturado com óleo diesel ou na forma B100 puro. A emissão de gases poluentes pelo uso de biodiesel é calculada com o uso da Tabela A1.13 do Apêndice A1. Estes gases encontram-se inventariadas no Apêndice B23.

Geração de efluentes. A geração de efluentes foi calculado em 342kg/t de BMS (Apêndice A.4).

Geração de resíduos sólidos. Não é considerada a emissão de resíduos sólidos para esta etapa.

O inventário consolidado para o sistema de produção de BMS encontra-se no Apêndice B23.

3.3.21 Inventário do sistema de produção do biodiesel etílico de soja (BES)

Para calcular o inventario consolidado do BES foi realizado o balanço de materiais, que incluem as etapas de pré-tratamento do óleo vegetal, transesterificação, recuperação do etanol, destilação azeotropica e refinação do biodiesel. A Tabela 3.38 mostra o resultado obtido a partir do balanço de massa e energia detalhado no Apêndice A4

Tabela. 3.38. Balanço de matérias primas para a produção de BES

Componente	kg/t de biodiesel etílico
Óleo de soja	1008,0
Etanol anidro	148,7
Hidróxido de sódio (Catalisador e neutralizador)	10,44
Glicerol produzido	108,3

Consumo de vapor

O vapor na produção de biodiesel etílico é usado nas seguintes etapas: 1) aquecimento do óleo para o pré-tratamento; 2) aquecimento de água de lavagem; 3) secagem do óleo; 4) reação de transesterificação; 4) destilação para a recuperação do etanol; 5) Retificação e destilação azeotrópica do etanol e 6) secagem do biodiesel. Segundo os cálculos do anexo. O consumo de vapor é: 1682,65 kg/ t de BES.

Consumo de óleo combustível

O consumo de óleo combustível é calculado pela Equação (3.8) conforme aplicada ao BMS.

$$\text{Óleo combustível} = \frac{1682{,}65\text{Kg} \times \left(2782\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 167{,}2\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)}{42218\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 0{,}80} = 130{,}27\frac{\text{Kg}}{\text{t de BES}}$$

Consumo de energia elétrica

Neste trabalho é considerado que ambas as rotas consome a mesma energia elétrica (Aranda, 2012). Por tanto consumo total de energia elétrica para a rota etílica é 28,9 kWh/t de B100 ou 104,0 MJ/ t de BES.

Consumo de água

O consumo de água na produção de biodiesel esta nos seguintes processos: 1) preparação da solução de NaOH para pré-tratamento do óleo; 2) lavagem do óleo neutralizado e o biodiesel e 3) para processos de resfriamento e condensação do etanol. Segundo os cálculos de balanço de massa do Apêndice A.4**,** o consumo de água é: 20,19 m^3/t de BES.

Emissões de poluentes e gases de efeito estufa

A emissão de gases de efeito estufa é produzida unicamente pela queima de óleo combustível na caldeira para a geração de vapor. Estes gases de efeito estufa encontram-se inventariados no Apêndice B23.

*Emissão de gases de efeito estufa pelo transporte do biodiesel até os consumidores***.** Da mesma forma que para o BMS o consumo de óleo diesel na etapa de transporte até os consumidores pode ser calculado fixando-se a distância percorrida para o trajeto desde a usina ate a bomba em 463 km então, sendo assim o consumo de diesel calculado em 19,9 kg/ t de BES. A emissão de gases de efeito estufa emitidos por esta atividade são calculados usando a Tabela A.1.4 do Apêndice A.1, estes gases encontram-se inventariados no Apêndice B23.

Emissão de gases de efeito estufa no uso final do biodiesel. A emissão de gases de efeito estufa na etapa de uso do biodiesel depende da forma final como ele é usado. Se este é usado na forma BX misturado com diesel petroleiro ou na forma B100 puro. A emissão de gases poluentes pelo uso de biodiesel é calculo com o uso da Tabela A1.14 do Anexo A1. Estes gases encontram-se inventariados nas tabelas do Anexo B24.

*Geração de efluentes***.** A geração de efluentes foi calculado em 342kg/t de BES (Apêndice A4).

*Geração de resíduos sólidos***.** Não é considerada a emissão de resíduos sólidos para esta etapa.

O inventário consolidado para o sistema de produção de BES no Brasil encontra-se no Apêndice B24.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir dos balanços de materiais e energia e o do inventário de ciclo de vida consolidado para ambos os produtos BMS e BES, e os resultados das categorias de impactos consideradas.

4.1 Fluxos de matérias primas

Este estudo contabilizou os fluxos de matérias primas necessário em cada subsistema. A Figura 4.1 mostra fluxo de materiais para o subsistema de produção agrícola de soja. Nesta figura pode-se observar que calcário, fertilizantes e óleo diesel têm maior entrada neste subsistema, pois juntos representam mais de 90% das matérias primas necessárias para a produção de soja. Outras matérias primas como herbicidas, inseticidas, formicidas e inoculantes tem uma participação mínima, não sendo, por este motivo consideradas na construção do inventário consolidado do biodiesel. No caso do subsistema de extração de óleo de soja, apenas óleo combustível, gás natural, solvente de extração (ciclohexano) e água são as matérias primas necessárias para este subsistema. Como pode ser observado na Figura 4.2 o maior recurso necessário neste subsistema é água, totalizando mais de 90% dos recursos necessários para esta atividade, seguida por óleo combustível, gás natural usados como fonte energética. O solvente de extração com uma mínima participação. Para o subsistema de produção agrícola da cana de açúcar, apresentada na Figura 4.3 observar-se o mesmo padrão do subsistema de produção agrícola da soja. Neste, calcário, fertilizantes - representados pelo superfosfato simples, uréia e cloreto de potássio - e óleo diesel totalizam praticamente 100% dos recursos necessários para esta atividade. Por este motivo todos estes recursos foram considerados para a construção do inventário consolidado do biodiesel.

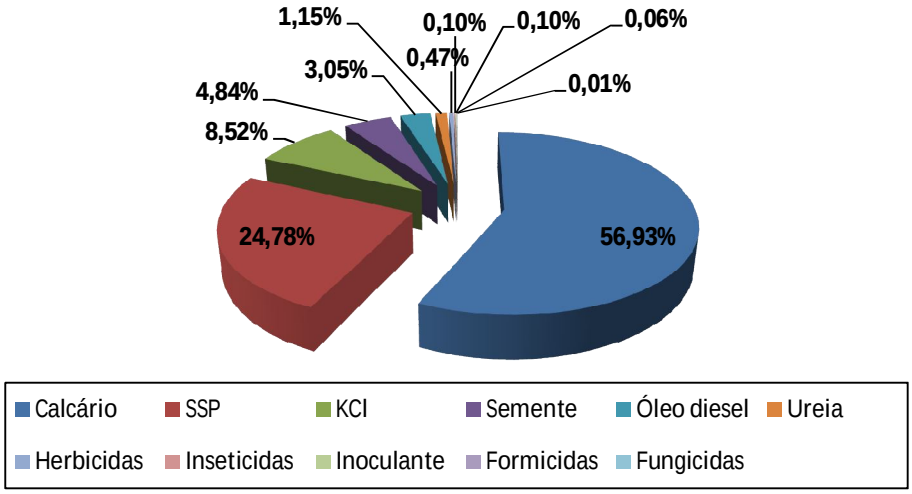


Figura 4.1 Matérias primas para a produção de soja

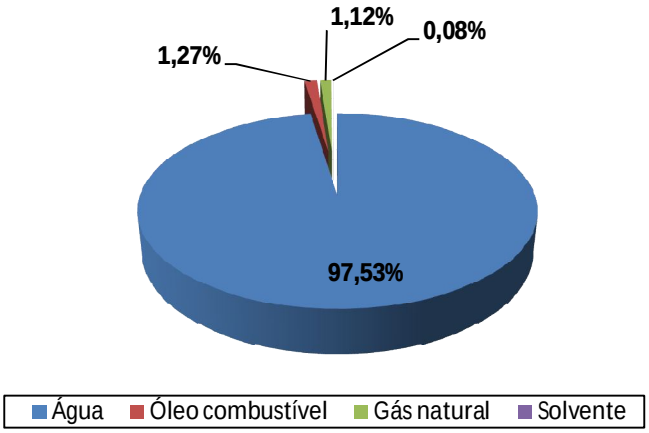


Figura 4.2 Matérias primas para a extração de óleo de soja

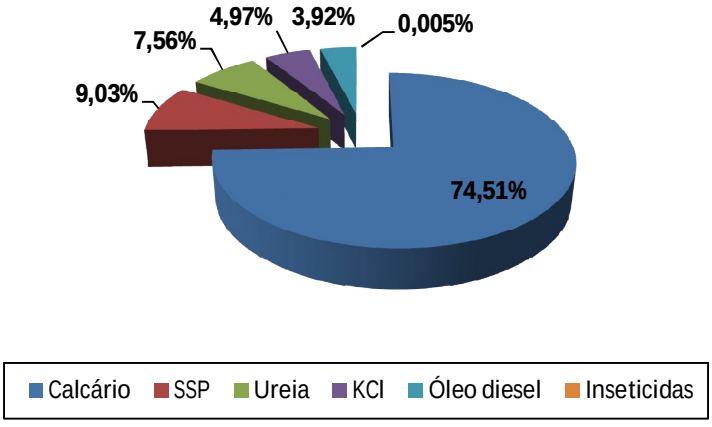


Figura 4.3 Matérias primas para a produção de cana de açúcar

Para o subsistema de produção de etanol anidro são necessários muitos recursos, a maior parte de sais minerais é utilizada como fontes de nutrição e crescimento da levedura na etapa de fermentação. Os recursos que são usados diretamente no processo produtivo são: óleo combustível, ciclohexano, ácido sulfúrico, calcário e água. A Figura 4.4 mostra a distribuição de recursos necessários para esta atividade, excluindo-se o recurso água. Pode-se observar que os recursos usados diretamente no processo (óleo combustível, ciclohexano, ácido sulfúrico, calcário) têm participação significativa no fluxo de materiais. A Figura 4.5, por outro lado inclui o recurso água, resultando na dominância do recurso água: 99,95%. Logo, o *Footprint* da água na ACV do biodiesel é um importante fator a considerar.

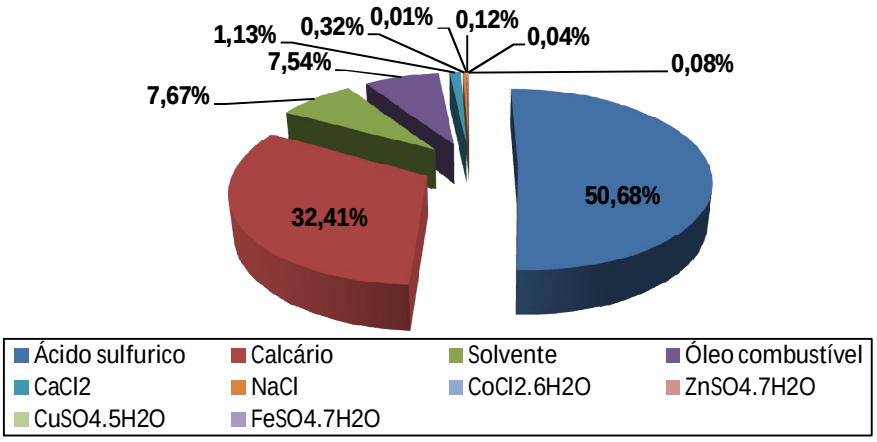


Figura. 4.4. Matérias primas para a produção de etanol sem considerar água

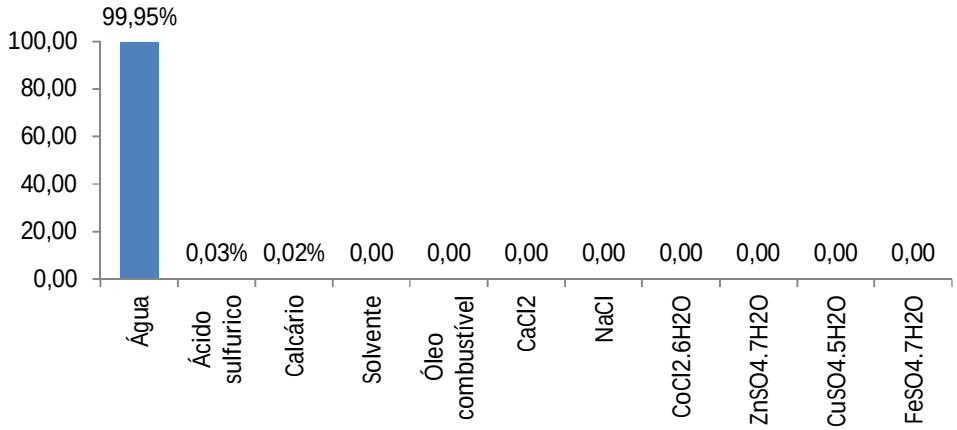


Figura 4.5 Matérias primas para a produção de etanol considerando água

Para o subsistema de produção do metanol, o fluxo de materiais são dominados pelos recursos gás natural e água. A exemplo do que é exibido pelo subsistema de produção de etanol anidro, observa-se na Figura 4.6 que o recurso água tem uma participação bastante elevada, representando 98,65% dos recursos necessários para esta atividade.

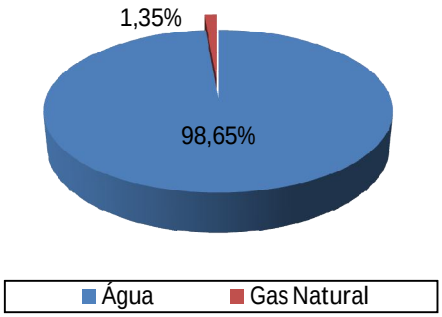


Figura. 4.6. Matérias primas para a produção de metanol

No subsistema de para a produção de biodiesel metílico de soja (BMS), os fluxos de materiais contabilizam óleo de soja, metanol, hidróxido de sódio, óleo combustível e água. Na Figura 4.7, observa-se que o recurso água continua sendo um importante recurso utilizado no ciclo produtivo de biodiesel, correspondendo a 88,34% dos recursos necessários para a produção de BMS. Cabe destacar que a quantidade de água reportada nestas figuras, considera a quantidade de água total utilizada no processo, incluindo a água de circuitos fechados de resfriamento e a de geração de vapor. Para o subsistema de produção do biodiesel etílico de soja (BES), a distribuição dos fluxos de materiais de óleo de soja, etanol anidro, hidróxido de sódio, óleo combustível e água são mostrados na Figura 4.8. Observa-se que o recurso água representa 94% dos recursos necessários para a produção BES.

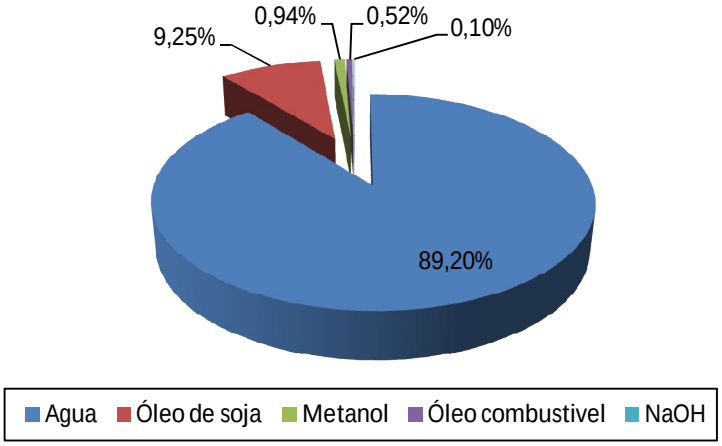


Figura. 4.7. Matérias primas para a produção BMS

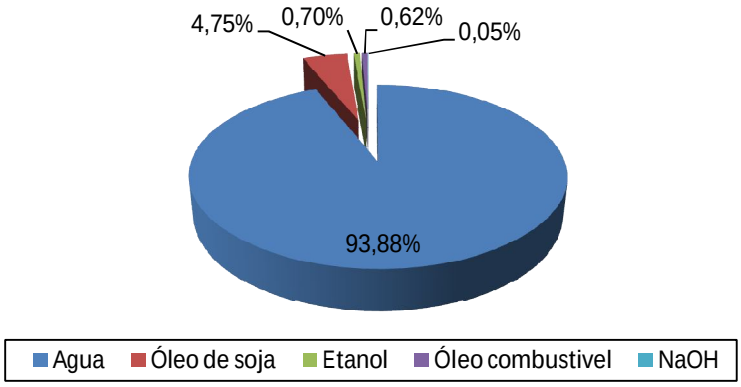


Figura. 4.8. Matérias primas para a produção BES

Conclui-se que as atividades envolvidas no ciclo de produção de biodiesel têm a água como principal recurso para seus processos. Assim, considerar-se a água é uma importante de comparação entre os ciclos de vida para BMS e BES.

4.2 Indicadores de sustentabilidade (Comparação entre a rota metílica e etílica)

4.2.1 Consumo de água total

O cálculo do consumo de água total no ciclo de vida de biodiesel inclui água de processo, água para a geração de vapor e água de resfriamento. Expresso em m^3/t de B100. A Figura

(4.9) mostra o consumo de água no ciclo de vida para BMS e BES. O gráfico evidencia que o *footprint* de água para a produção de BES é claramente superior para a produção de BMS.

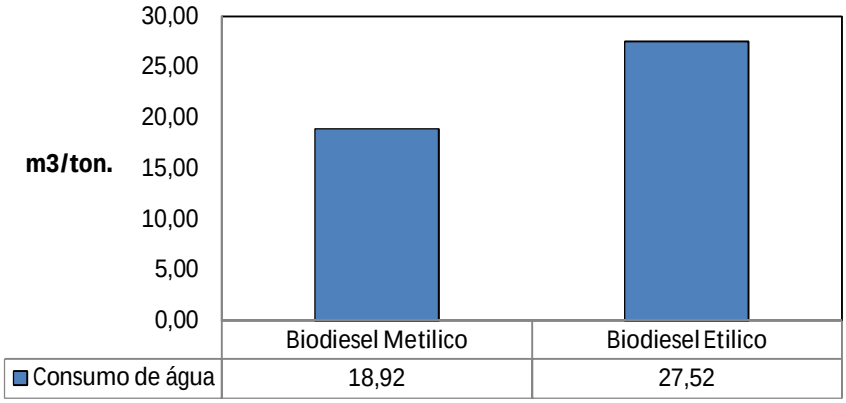


Figura. 4.9. Comparação no uso de água

4.2.2 Uso do solo

Nesta dissertação, o uso do solo refere-se unicamente ao solo ocupado (ha/t de B100) pelas atividades agrícolas da cana de açúcar e da soja. O uso de solo ocupado pelas respectivas atividades industriais ou transporte não é considerado. Devido ao fato de os biocombustíveis somarem-se diretamente aos produtos agrícolas de consumo humano pela demanda de fertilizantes e solo, torna-se importante avaliar este parâmetro, mostrado na Figura 4.10 para as rotas BMS e BES.

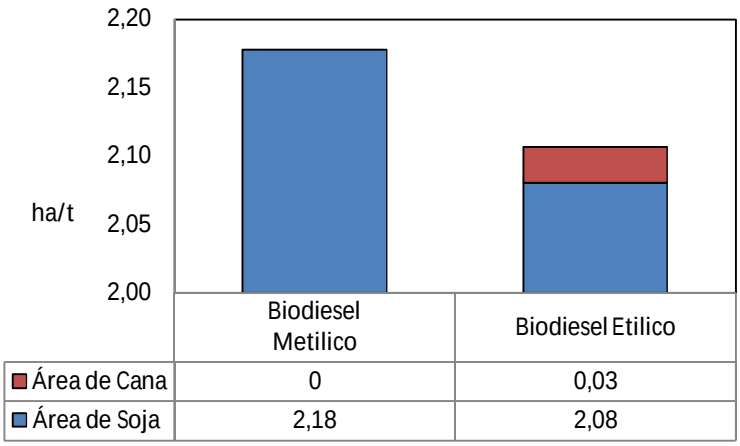


Figura 4.10 Comparação no uso do solo agrícola

Cabe ressaltar que para a rota metílica, apenas é necessário o uso de solo para a atividade agrícola da soja, enquanto a rota etílica demanda uso do solo agrícola para a cultura da soja e a cultura da cana. Da Figura 4.10 conclui-se que apesar da rota etílica depender de duas atividades agrícolas, a demanda de solo é inferior do que a rota metílica. Como é explicado na seção 2.3, isto ocorre pelo fato de a rota metílica precisar de maior quantidade de óleo de soja do que a rota etílica para produzir a mesma quantidade de biodiesel.

4.2.3 Uso de recursos naturais

Esta dissertação considera o consumo total de recursos naturais como a soma dos consumos de petróleo, carvão, gás natural, urânio, rocha fosfática, rocha potássica, rocha metamórfica e enxofre. A quantidade de recursos naturais utilizados em uma atividade é uma forma de mensurar a sua sustentabilidade. Aqueles processos que incluam melhoras tecnológicas que diminuam o uso de recursos naturais ou usar recursos renováveis podem ser considerados processos sustentáveis. A Figura 4.11 mostra o consumo total de recursos naturais expresso em kg/t de biodiesel para as duas rotas investigadas, praticamente não apresentando diferença significativa, mas com consumo levemente maior da rota etílica.

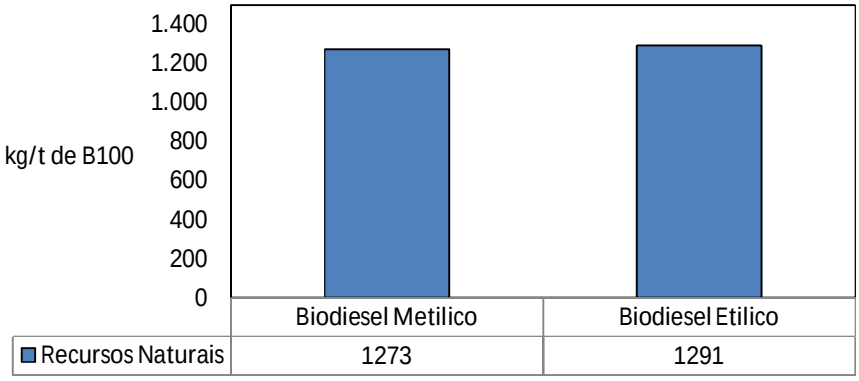
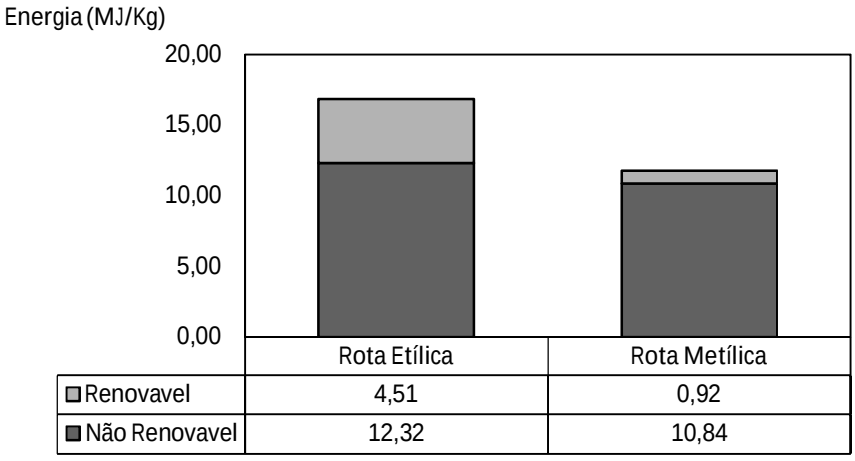


Figura 4.11 Comparação no uso de recursos naturais

4.2.4 Uso de energia total

Para uma melhor análise do uso de energia total no ciclo de vida do biodiesel, este foi dividido em energia renovável e não renovável. Na Figura 4.12, a energia não renovável está

representada pelo consumo de energia de fontes fósseis, e a energia renovável está representada pelo uso do bagaço na produção de etanol anidro e pela parcela de energia renovável da energia elétrica da rede brasileira (86%), como uso total de energia expresso em MJ/kg de biodiesel.



	Rota Etílica	Rota Metílica
Renovavel	4,51	0,92
Não Renovavel	12,32	10,84

Figura 4.12 Comparação no consumo energia

De acordo com a Figura 4.12 o custo energético total é de 11,75MJ/kg para a rota metílica e de 16,83MJ/kg para a rota etílica. A rota etílica consome mais energia do que a rota metílica devido ao fato da rota etílica utilizar etanol anidro. Ao usar etanol anidro na produção de ésteres etílicos, torna-se necessário a instalação de uma unidade de destilação azeotrópica para recuperar o etanol não reagido e retorná-lo anidro ao processo.

4.2.5 Relação de energia

Este indicador relaciona a quantidade de energia fornecida pelo biodiesel (BMS e BES), representada por seu poder calorífico inferior, e a quantidade de energia fóssil (não renovável) utilizada no ciclo de vida para produzi-lo. A Figura 4.13 mostra a relação de energia calculada para as duas rotas, com a rota metílica apresentando maior quantidade de energia fornecida por unidade de energia fóssil utilizada. Como ambos biocombustíveis contem praticamente o mesmo poder calorífico (40MJ/kg) a relação de energia está influenciado unicamente pelo consumo de energia fóssil.

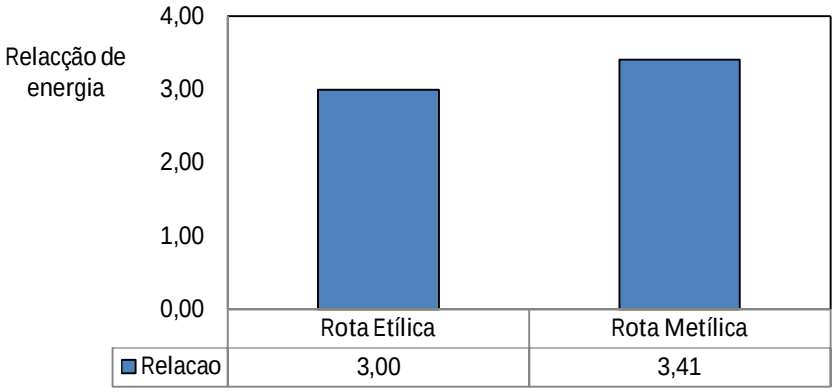


Figura 4.13 Comparação na relação de energia fóssil

Cabe ressaltar que, de acordo com a Figura 4.12 a rota etílica possui uma maior parcela de energia renovável, mas a sua produção tem maior dependência em energia fóssil do que a rota metílica. Conclui-se então que a rota metílica é mais eficiente em termos de consumo de energia.

4.2.6 Emissão de gases poluentes para a atmosfera

A emissão total de gases poluentes no ciclo de vida de biodiesel calculada nesta Dissertação considera os principais gases de efeito estufa (CO_2, CH_4 e N_2O) e outros gases responsáveis por chuva ácida (SO_X e H_2S), eutroficação (NH_3 e NO_X), etc. No caso do CO_2, colocou-se o valor liquido entre a emissão total e a absorção pelas culturas agrícolas. A Figura (4.14) mostra a emissão total destes gases para as duas rotas, permitindo concluir que a rota metílica emite mais gases poluentes do que a rota etílica.

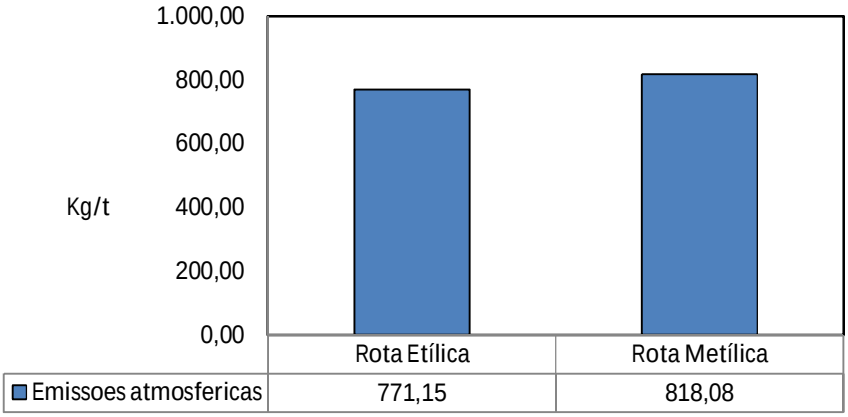


Figura 4.14 Comparação nas emissões atmosféricas

4.2.7 Geração de efluentes líquidos

A quantidade total de efluentes líquidos considera apenas a quantidade gerada pelas unidades produtivas e não a quantidade de efluente resultante de algum tratamento. Ou seja, o cálculo de efluentes líquidos nesta Dissertação representa apenas o potencial de geração e não a quantidade de efluente final descartado em algum corpo de água. A Figura 4.15 mostra a geração total de efluentes expresso em m^3/t para as duas rotas de biodiesel, não evidenciando diferença significativa na geração de efluentes líquidos.

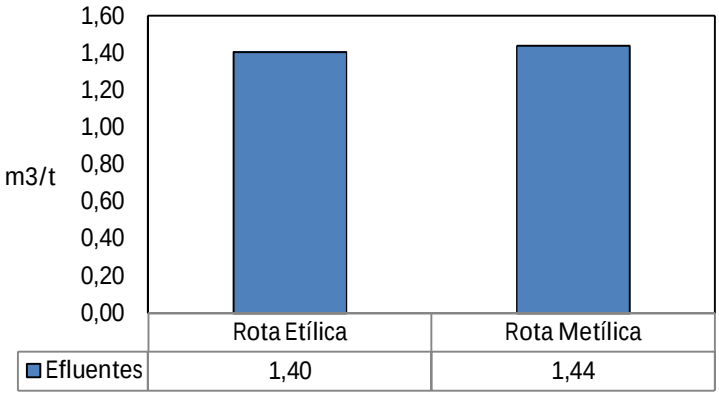


Figura. 4.15. Comparação na geração de efluentes

4.2.8 Geração de resíduos sólidos

Analogamente aos resultados mostrados para a geração de efluentes, o resultado da geração de resíduos sólidos, mostrado na Figura 4.16 em kg/t de biodiesel no ciclo de vida de produção, apresenta potencial semelhante de geração destes resíduos (sem qualquer tratamento prévio), não evidenciando diferença significativa na geração de resíduos sólidos.

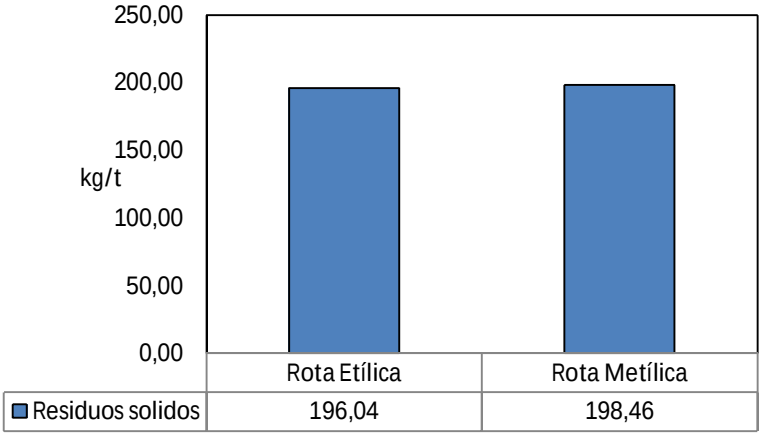


Figura. 4.16. Comparação na geração de resíduos sólidos

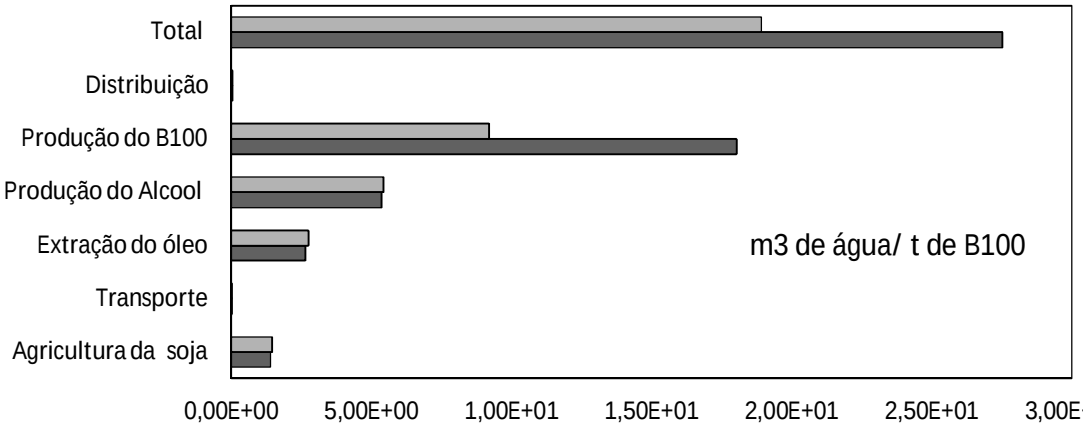
4.3 Fluxos de materiais, energia e poluentes por etapa do ciclo de vida.

Nesta seção, são apresentados os fluxos de materiais e emissão de poluentes para cada etapa do ciclo de vida de produção de biodiesel pelas rotas BMS e BES. As etapas consideradas são: (1) agricultura da soja, (2) transporte dos grãos de soja até a usina de beneficiamento, (3) extração de óleo de soja, (4) produção do álcool (metílico ou etílico), (5) produção do biodiesel, (6) distribuição e transporte do biodiesel até os consumidores e (7) o uso final. Para a etapa de produção do álcool, os resultados apresentados encontram-se consolidados com todas as atividades envolvidas. Por exemplo, no caso da rota metílica, a produção do álcool envolve o beneficiamento do gás natural e produção de metanol e no caso da rota etílica a etapa de produção do álcool envolve a agricultura da cana e produção de etanol anidro.

4.3.1 Uso de água

A Figura 4.17 mostra o consumo de água expresso em m^3/t de biodiesel para cada etapa do ciclo de vida do biodiesel de soja. Estes resultados foram obtidos a partir da construção do inventário consolidado do biodiesel para as duas rotas. De acordo com a figura, a etapa que apresenta o maior consumo de água é a produção industrial do biodiesel. Comparando-se as duas rotas, a produção de BES demanda maior quantidade de água do que a produção de BMS. Como é observada na figura, a rota etílica demanda maior quantidade de energia, o

consumo de água tem relação direta com este consumo de energia, devido a que são necessários maiores quantidades de água para a produção de vapor e para os sistemas de resfriamento associados.



	Agricultura da soja	Transporte	Extração do óleo	Produção do Alcool	Produção do B100	Distribuição	Total
Metilica	1,47E+00	1,30E-02	2,76E+00	5,45E+00	9,19E+00	4,71E-02	1,89E+01
Etilica	1,41E+00	1,24E-02	2,64E+00	5,37E+00	1,80E+01	4,71E-02	2,75E+01

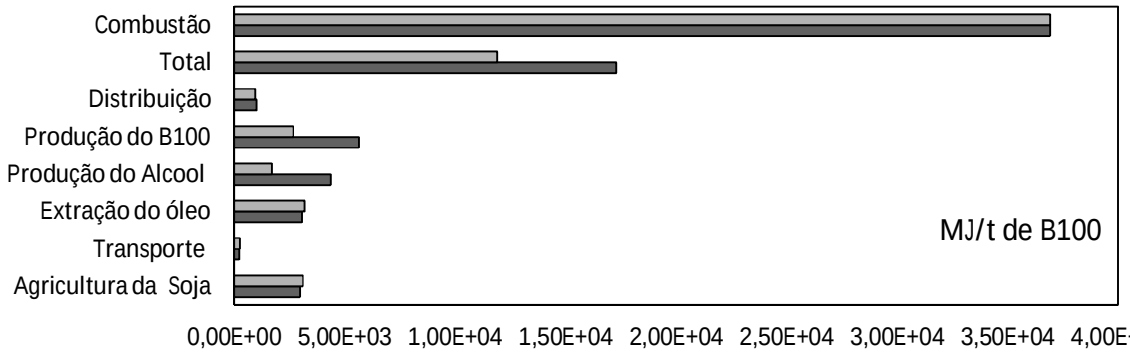
Figura. 4.17. Uso de água

4.3.2 Uso de energia total

A Figura 4.18 mostra o consumo de energia total (renovável e não renovável) em cada etapa do ciclo de vida para a produção do biodiesel de soja para as duas rotas. Todos estes resultados foram obtidos a partir da construção do inventário consolidado de biodiesel.

Conclui-se da Figura 4.18 que a diferença entre as duas rotas no consumo de energia encontra-se nas etapas de produção de álcool e produção de biodiesel. O consumo energético para a produção de etanol anidro é 24,3MJ/L de etanol enquanto para a produção de metanol é 13,7MJ/L de metanol (resultados deste trabalho). Adicionalmente, a produção de biodiesel etílico também demanda maior energia do que a produção de biodiesel metílico, devido, principalmente, à energia consumida para a recuperação do etanol (utilizado em excesso) para o estado anidro. Da mesma Figura 4.18, conclui-se

também que a etapa agrícola da soja tem elevado consumo de energia, em decorrência do consumo de fertilizantes que demandam grandes quantidades de recursos e energia para sua produção.

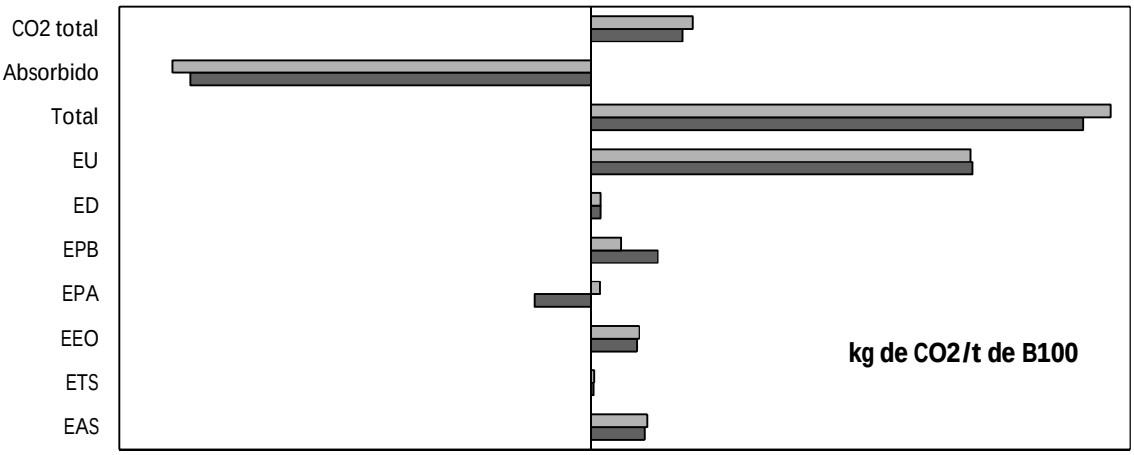


	Agricultura da Soja	Transporte	Extração do óleo	Produção do Alcool	Produção do B100	Distribuição	Total	Combustão
Metilica	3,11E+03	2,47E+02	3,20E+03	1,71E+03	2,67E+03	9,67E+02	1,19E+04	3,69E+04
Etilica	2,98E+03	2,36E+02	3,06E+03	4,35E+03	5,65E+03	1,01E+03	1,73E+04	3,69E+04

Figura. 4.18. Uso de energia total

4.3.3 Emissões de gases de efeito estufa (CO_2, CH_4 e N_2O)

Analogamente, os resultados para as emissões de gases de efeito estufa expressos em kg/t de biodiesel, são apresentados para cada etapa do ciclo de vida de biodiesel de soja. A Figura (4.19) mostra as emissões de CO_2. Observa-se nesta figura que a etapa de produção de álcool (EPA) para a rota etílica tem valor negativo, pois as emissões de CO_2 produzidas durante o processo produtivo do etanol anidro são menores do que a absorção de CO_2 pela cultura devido à fotossíntese. O *CO_2 total* representa o valor liquido das emissões de CO_2, entre as quantidades emitidas pela queima de combustíveis fósseis e a absorção de CO_2 pelas culturas agrícolas.



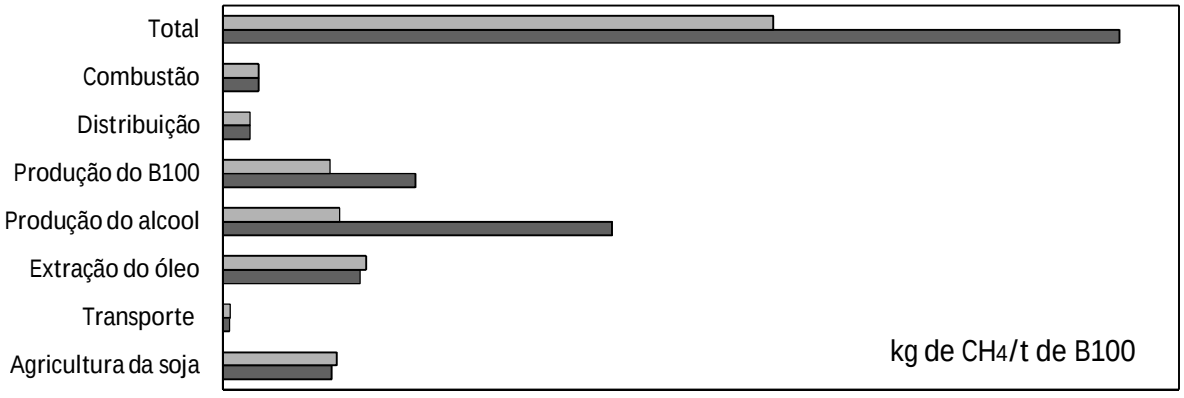
	EAS	ETS	EEO	EPA	EPB	ED	EU	Total	Absorbido	CO2 total
Metilica	4,17E+02	2,21E+01	3,59E+02	6,90E+01	2,26E+02	7,14E+01	2,82E+03	3,86E+03	-3,11E+03	7,56E+02
Etilica	3,98E+02	2,11E+01	3,43E+02	-4,18E+02	4,96E+02	7,14E+01	2,83E+03	3,65E+03	-2,97E+03	6,80E+02

Figura. 4.19. Emissões de CO_2

Por serem ambas as rotas produzidas a partir da mesma fonte de óleo vegetal, as únicas etapas onde podem se apresentar diferenças em emissões é nas etapas de produção do álcool (EPA) e na etapa de produção de biodiesel (EPB). A Figura 4.19 mostra que, na etapa de produção de biodiesel, a rota etílica apresenta maiores emissões de CO_2 do que a rota metílica. Este resultado é coerente, pois as emissões de CO_2 estão diretamente relacionadas ao consumo de energia. A Figura 4.19 também mostra que a etapa final de uso do biodiesel (EU) é a principal responsável pela emissão de CO_2, representando aproximadamente 75% das emissões totais.

As emissões de CH_4 são apresentadas na Figura 4.20. Da mesma forma que a emissão de CO_2, a emissão de CH_4 tem relação direta com o consumo de energia de fonte fóssil. Entre ambas as rotas, a rota etílica emite maiores quantidades de CH_4 do que a rota metílica. A emissão de CH_4 na rota etílica é maior em quase 60% à rota metílica. Esta diferença encontra-se principalmente na produção do álcool e na produção do biodiesel. Pois, pode-se observar que em outras etapas existe pouca diferença entre ambas as rotas. A emissão de CH_4 deve-se basicamente aos processos de combustão com pouca eficiência como é o caso da queima de resíduos agrícolas. Assim, a emissão de CH_4 é maior na rota etílica, pois no

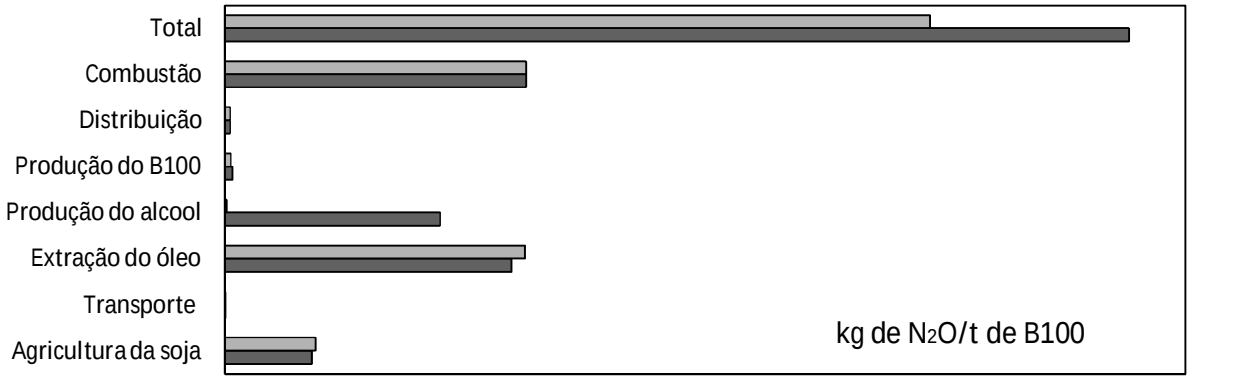
processo de produção do etanol anidro são queimados a palha no momento da colheita e o bagaço para a geração de energia.



	Agricultura da soja	Transporte	Extração do óleo	Produção do alcool	Produção do B100	Distribuição	Combustão	Total
Metilica	2,37E-01	1,44E-02	3,00E-01	2,44E-01	2,24E-01	5,69E-02	7,42E-02	1,15E+00
Etilica	2,27E-01	1,38E-02	2,87E-01	8,14E-01	4,02E-01	5,69E-02	7,42E-02	1,88E+00

Figura. 4.20. Emissões de CH_4

As principais fontes de emissão de N_2O são a aplicação de fertilizantes nitrogenados e a queima da palha e bagaço. De acordo com a Figura 4.21 que apresenta as emissões de N_2O, para rota metílica a etapa agrícola da soja é a maior responsável pela emissão, com a aplicação de fertilizantes nitrogenados representando 70% destas emissões. Já na rota etílica além do uso de fertilizantes, a queima de palha e bagaço são outros grandes responsáveis por estas emissões. Outra atividade responsável pela emissão de N_2O é a etapa de extração do óleo, o inventário consolidado do óleo de soja permitiu identificar, que as emissões de N_2O nesta atividade devem-se principalmente à produção do solvente de extração (ciclohexano) concluindo-se que a rota BES tem emissão superior à BMS.

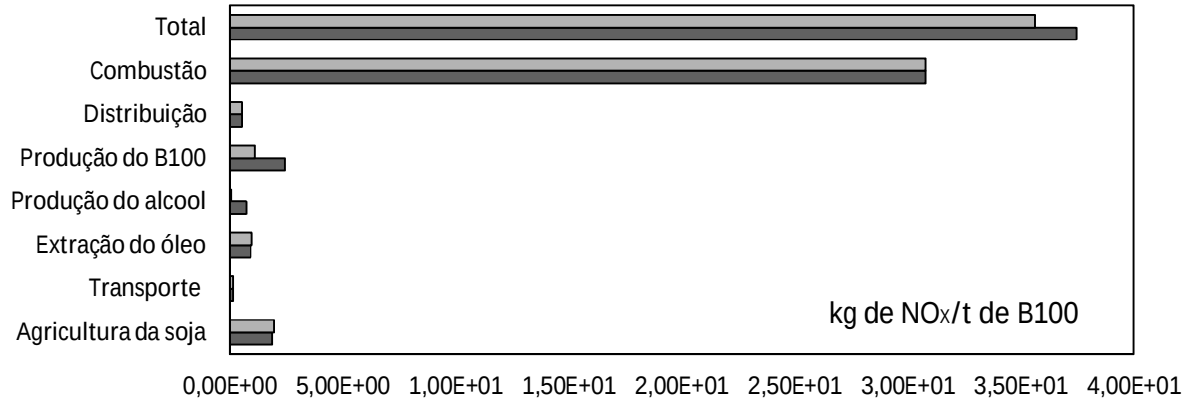


	Agricultura da soja	Transporte	Extração do óleo	Produção do alcool	Produção do B100	Distribuição	Combustão	Total
Metilica	3,78E-02	2,98E-06	1,25E-01	7,16E-04	2,38E-03	2,27E-03	1,25E-01	2,94E-01
Etilica	3,62E-02	2,86E-06	1,20E-01	8,98E-02	3,33E-03	2,27E-03	1,25E-01	3,77E-01

Figura 4.21 Emissões de N_2O

4.3.4 Emissões de NO_X, e NH_3.

A Figura 4.22 apresenta as emissões de NO_X para cada etapa do ciclo de vida do biodiesel.



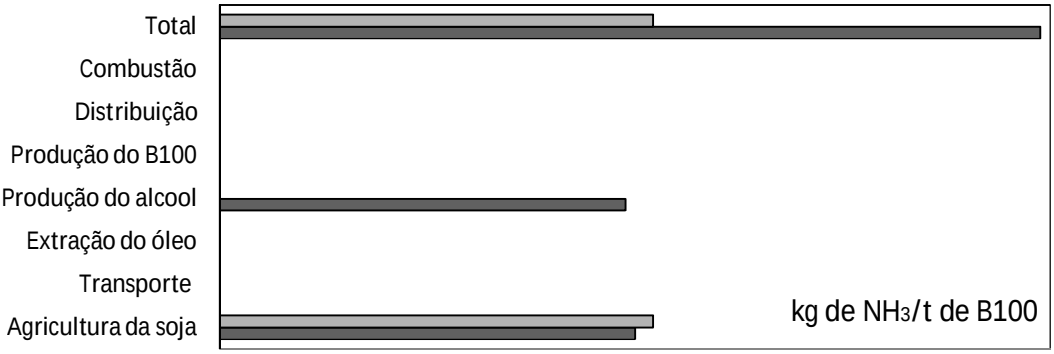
	Agricultura da soja	Transporte	Extração do óleo	Produção do alcool	Produção do B100	Distribuição	Combustão	Total
Metilica	1,95E+00	1,54E-01	9,75E-01	7,97E-02	1,12E+00	5,60E-01	3,08E+01	3,56E+01
Etilica	1,87E+00	1,47E-01	9,33E-01	7,38E-01	2,43E+00	5,60E-01	3,08E+01	3,75E+01

Figura 4.22 Emissões de NO_X

O conteúdo de oxigênio no biodiesel faz com que a combustão seja altamente exotérmica com grande liberação de calor, aumentando a temperatura da câmara de combustão e

promovendo a formação de NO_X. (HOEKMAN & ROBBINS, 2012). Isto pode ser comprovado na Figura 4.22 que mostra que a etapa de combustão do biodiesel é a maior responsável pela emissão de NO_X. Esta etapa emite aproximadamente 84% das emissões totais de NO_X.

A construção do inventário consolidado do biodiesel permite identificar que praticamente toda a emissão de amônia concentra-se nas atividades agrícolas, causado pela decomposição no solo da uréia utilizada como fertilizante para a produção de soja e cana. Isto pode ser observado na Figura 4.23.



	Agricultura da soja	Transporte	Extração do óleo	Produção do alcool	Produção do B100	Distribuição	Combustão	Total
Metilica	4,18E-01	1,37E-13	1,78E-09	6,33E-10	8,73E-10	5,38E-13	0,00E+00	4,18E-01
Etilica	4,00E-01	1,31E-13	1,70E-09	3,91E-01	8,62E-10	5,38E-13	0,00E+00	7,91E-01

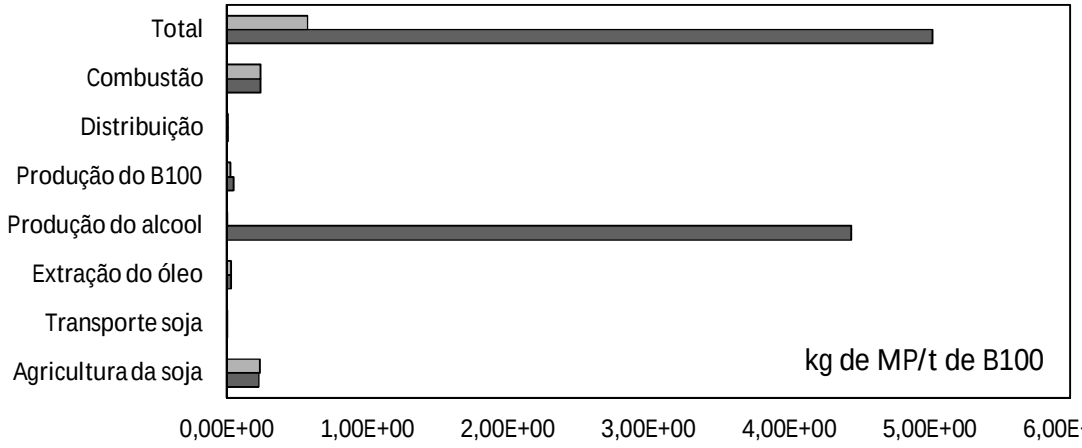
Figura 4.23 Emissões de NH_3

A produção de etanol anidro apresenta elevado valor de emissão de NH_3, pois nele encontra-se embutida a atividade agrícola da produção de cana de açúcar. Conclui-se da Figura (4.23) que analogamente à emissão de N_2O a emissão de NH_3 tem como sua principal fonte de emissão a atividade agrícola.

4.3.5 Emissões de MP, CO, e hidrocarbonetos.

A queima de biomassa é a principal fonte de emissão de material particulado (MP). Durante a queima de 1kg bagaço são emitidos 8,45g de MP (EPA,1996). Isto pode ser observado na Figura (4.24) que apresenta as emissões de MP expresso em kg de material particulado/ t de

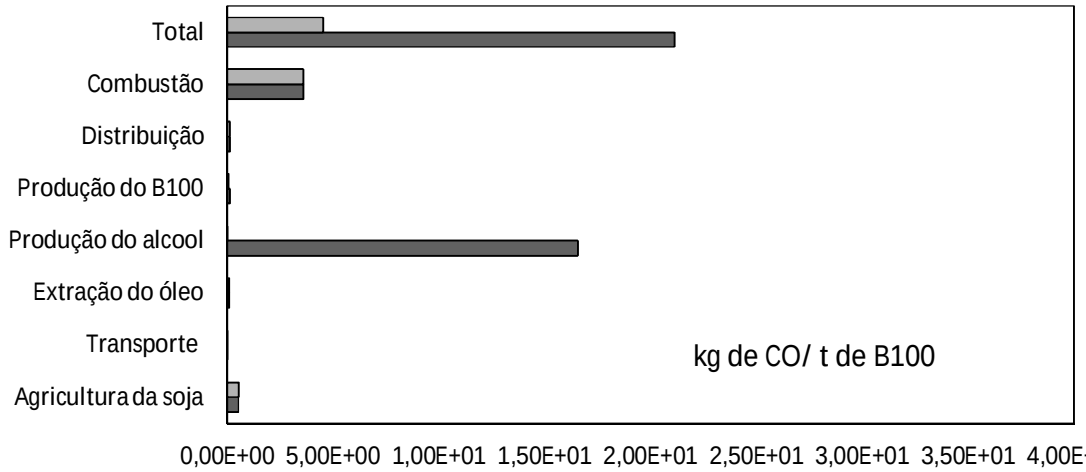
B100. A etapa de produção do etanol anidro apresenta elevada emissão de material particulado quando comparada com outras etapas do ciclo de vida. Isto deve-se à queima de biomassa (bagaco e palha).



	Agricultura da soja	Transporte soja	Extração do óleo	Produção do alcool	Produção do B100	Distribuição	Combustão	Total
Metilica	2,41E-01	3,35E-03	3,55E-02	8,79E-03	2,94E-02	1,31E-02	2,46E-01	5,76E-01
Etilica	2,30E-01	3,21E-03	3,40E-02	4,44E+00	5,32E-02	1,31E-02	2,46E-01	5,02E+00

Figura 4.24 Emissões de MP

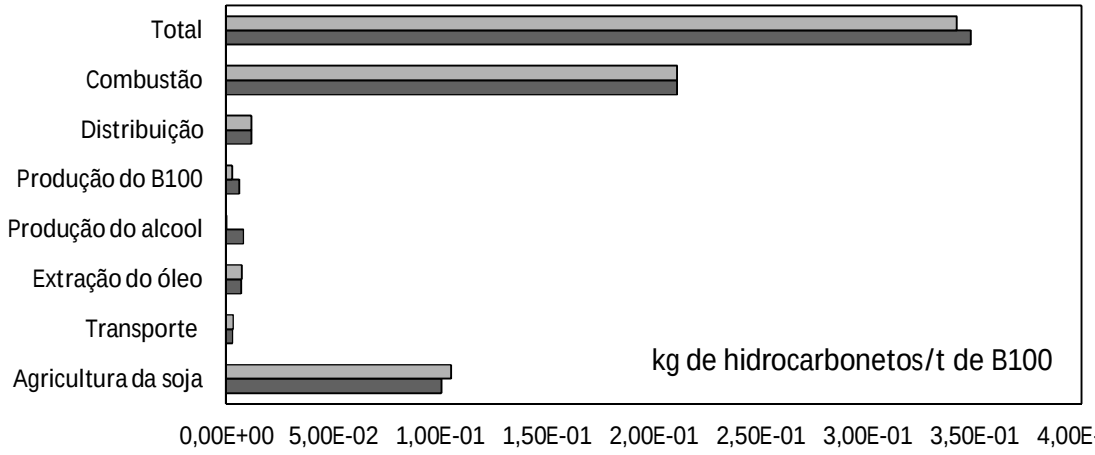
Analogamente às emissões de CH_4, as emissões de CO devem-se a processos de combustão incompleta, como ocorre na queima da palha e o bagaço na produção de etanol anidro. Isto pode ser observado na Figura 4.25. De acordo a esta figura, as emissões de CO são maiores na produção de etanol que na produção de metanol. As emissões de CO na produção de etanol anidro representam aproximadamente 50% das emissões de CO na rota etílica. Conclui-se da Figura 4.25 que as emissões de CO devem-se principalmente à queima de biomassa (palha e bagaço na produção de etanol anidro), à combustão de biodiesel.



	Agricultura da soja	Transporte	Extração do óleo	Produção do alcool	Produção do B100	Distribuição	Combustão	Total
Metilica	5,55E-01	4,04E-02	1,04E-01	1,74E-02	7,58E-02	1,47E-01	3,62E+00	4,56E+00
Etilica	5,31E-01	3,86E-02	9,97E-02	1,66E+01	1,42E-01	1,47E-01	3,62E+00	2,11E+01

Figura 4.25 Emissões de CO

A Figura 4.26 apresenta as emissões de hidrocarbonetos expresso em kg de hidrocarbonetos/ t de biodiesel. De acordo com a Figura 4.26, as emissões de hidrocarbonetos concentram-se na atividade agrícola para a produção de soja e o uso final do biodiesel. As emissões de hidrocarbonetos têm relação direta com o consumo de energia (queima de combustíveis fosseis). Assim, as atividades que apresentam maiores consumos de energia, exibem também maiores emissões de hidrocarbonetos. Isto pode ser observado na Figura 4.26 onde a produção de etanol anidro emite mais hidrocarbonetos do que a produção de metanol, da mesma forma a produção de biodiesel pela rota etílica emite mais hidrocarbonetos do que a rota metílica.



	Agricultura da soja	Transporte	Extração do óleo	Produção do alcool	Produção do B100	Distribuição	Combustão	Total
Metilica	1,05E-01	3,27E-03	7,37E-03	7,15E-05	2,85E-03	1,19E-02	2,11E-01	3,42E-01
Etilica	1,01E-01	3,13E-03	7,05E-03	8,11E-03	6,23E-03	1,19E-02	2,11E-01	3,48E-01

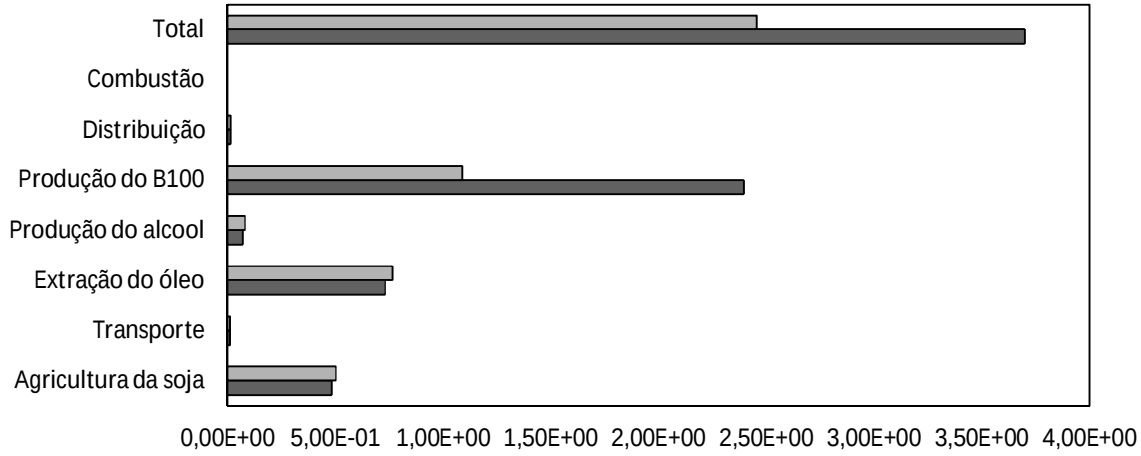
Figura 4.26 Emissões de hidrocarbonetos

.

4.3.6 Emissões de SO_X, e H_2S.

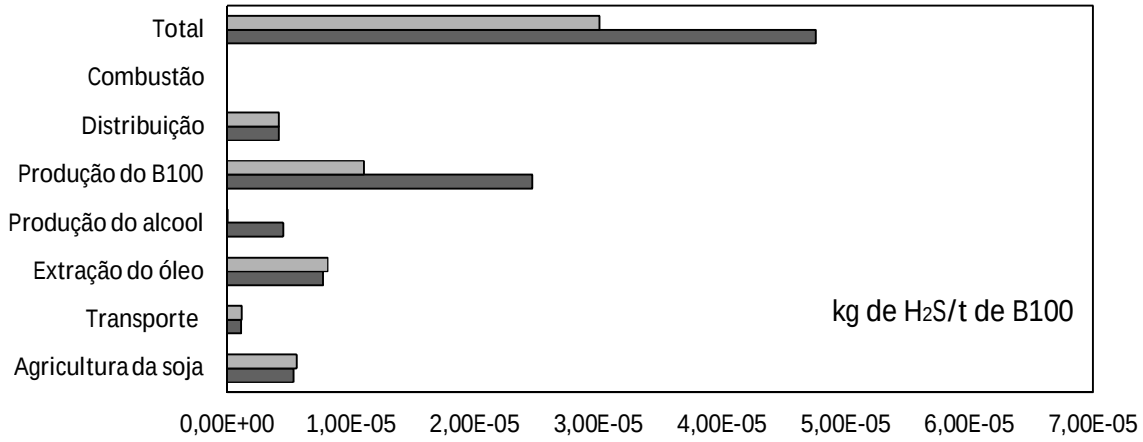
As emissões de SO_X e H_2S têm relação direta com o teor de enxofre contido nos combustíveis fosseis usados para a geração de energia, como gás natural e óleo combustível e no óleo diesel usado para transporte. Assim, as atividades que apresentam maior consumo de energia fóssil são as que emitem maiores quantidades de SO_X. Isto pode ser observado nas Figuras 4.27 e 4.28 que apresentam as emissões de SO_X e H_2S respectivamente. Da Figura 4.27 conclui-se que as etapas que emitem maiores quantidades de SO_X são: agricultura da soja, extração do óleo de soja, e produção do biodiesel, etapas identificadas como as que demandam maiores quantidades de energia. A combustão do biodiesel não emite SO_X, pois o teor de enxofre neste é praticamente nulo.

A emissão de H_2S é muito pequena quando comparada com a emissão de outros gases poluentes, e deve-se principalmente a atividades que envolvem processamento de gás natural (produção de uréia e metanol) e refino de petróleo.



	Agricultura da soja	Transporte	Extração do óleo	Produção do alcool	Produção do B100	Distribuição	Combustão	Total
Metilica	5,02E-01	1,13E-02	7,64E-01	7,90E-02	1,09E+00	1,18E-02	0,00E+00	2,46E+00
Etilica	4,81E-01	1,08E-02	7,32E-01	6,79E-02	2,40E+00	1,18E-02	0,00E+00	3,70E+00

Figura. 4.27. Emissões de SO_X



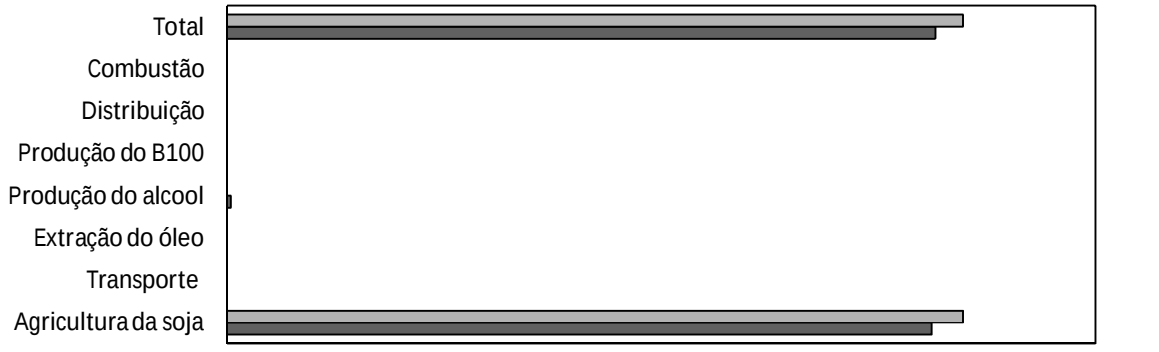
	Agricultura da soja	Transporte	Extração do óleo	Produção do alcool	Produção do B100	Distribuição	Combustão	Total
Metilica	5,61E-06	1,15E-06	8,10E-06	2,34E-08	1,10E-05	4,17E-06	0,00E+00	3,01E-05
Etilica	5,37E-06	1,10E-06	7,75E-06	4,53E-06	2,47E-05	4,17E-06	0,00E+00	4,76E-05

Figura. 4.28. Emissões de H_2S

4.3.7 Emissões de PO_4^- e NO_3^-

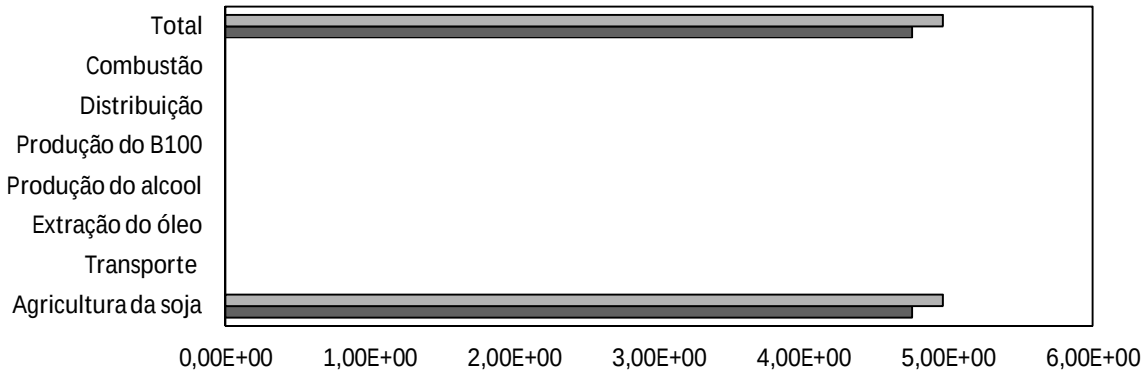
As emissões de PO_4^- e NO_3^- devem-se também à aplicação de fertilizantes fosfatados e nitrogenados, respectivamente. Estas emissões são causadas por uma parcela de fertilizante

aplicado no solo que não é absorvida pela planta, e é arrastada por fenômenos de erosão até corpos de água causando eutroficação, ou, também, poluindo lençóis freáticos. As emissões de PO_4^- e NO_3^- são apresentadas na Figura (4.29) e na Figura (4.30), respectivamente. Conclui-se destas que a única fonte responsável por emissões de PO_4^- e NO_3^- é a atividade agrícola de produção da soja e cana, causado pela aplicação de superfosfato simples e uréia.



	Agricultura da soja	Transporte	Extração do óleo	Produção do alcool	Produção do B100	Distribuição	Combustão	Total
Metilica	2,12E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,12E+00
Etilica	2,03E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,03E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,04E+00

Figura. 4.29. Emissões de PO_4^-



	Agricultura da soja	Transporte	Extração do óleo	Produção do alcool	Produção do B100	Distribuição	Combustão	Total
Metilica	4,96E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,96E+00
Etilica	4,75E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,75E+00

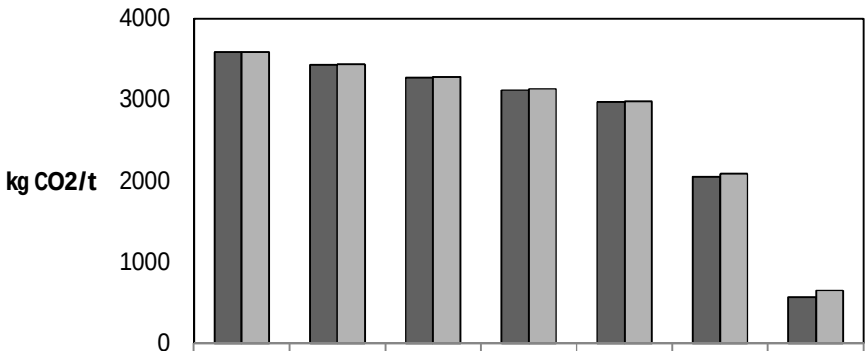
Figura. 4.30. Emissões de NO_3^-.

4.4 Efeitos na emissão de poluentes frente ao uso da mistura BX

A seguir, são apresentadas as influências na emissão de poluentes ao se usar o biodiesel na mistura com diesel na forma BX.

4.4.1 Emissões de gases de efeito estufa (CO_2, CH_4 e N_2O)

A Figura 4.31 mostra o efeito nas emissões de CO_2 ao se usar biodiesel (BMS e BES) misturado com óleo diesel. As emissões de CO_2 estão expressas em kg de CO_2/t de B100.

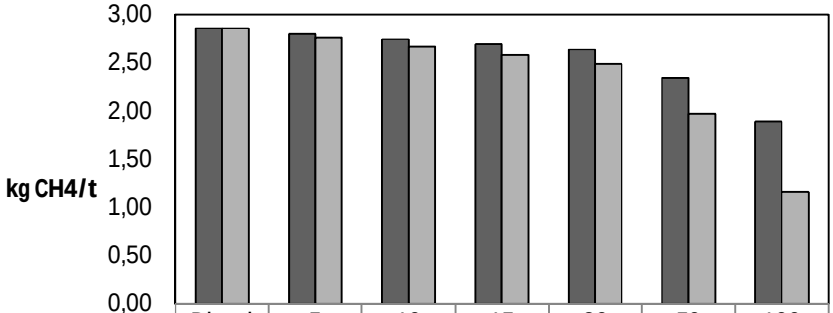


	Diesel	5	10	15	20	50	100
Rota Etílica	3589	3433	3278	3123	2969	2056	572
Rota Metílica	3589	3436	3285	3134	2983	2091	648

Figura. 4.31. Efeito nas emissões de CO_2

Os resultados apresentados na Figura (4.31) mostram que tanto o uso do BMS e BES em mistura com o óleo diesel diminuem as emissões de CO_2. O uso de ambos biocombustíveis diminuem as emissões de CO_2 gradualmente em proporção à porcentagem do seu uso. Assim, por exemplo, o uso de B5 etílico evita 156 kg CO_2/t B5 enquanto que o B5 metílico evita 153 kg CO_2/t B5. A maior quantidade de emissões evitadas acontece quando o biodiesel é usado na forma B100. Um B100 etílico evita 3017 kg CO_2/t B100 usado enquanto que o B100 metílico evita 2941 kg CO_2/t B100. Isto significa uma redução nas emissões de CO_2 em 84,06% e 81,94% para o uso de biodiesel etílico e metílico, respectivamente. Conclui-se da Figura 4.31 que a rota etílica evita em maiores quantidades as emissões de CO_2 do que a rota metílica as emissões de CO_2, mas não significativamente.

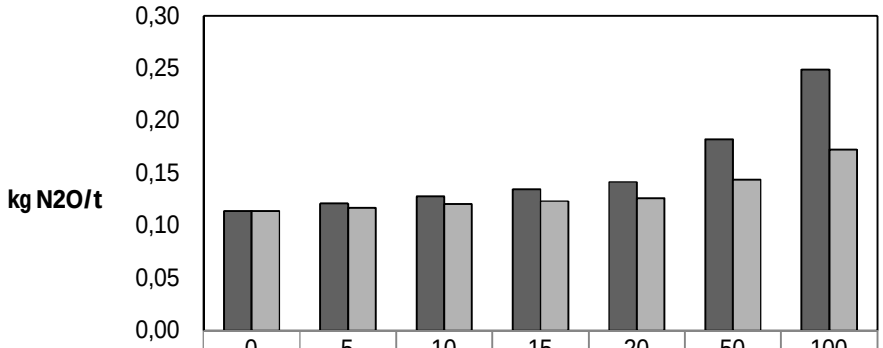
As emissões de CH_4 são também reduzidas com o uso do biodiesel. O biodiesel produzido pelas duas rotas diminui significativamente a emissão de metano. Isto pode ser observado na Figura 4.32 que apresenta como contribui o biodiesel para a redução destas emissões. Da figura, pode-se observar que o uso de B5 etílico emite 1,63% menos CH_4 do que o óleo diesel e na forma B100 reduz as emissões em até 33,91%. O BMS permite diminuir as emissões de CH_4 em maior proporção do que o BES. Quando usado na forma B100, o BMS reduz em 60%.



	Diesel	5	10	15	20	50	100
Rota Etílica	2,86	2,80	2,75	2,70	2,64	2,34	1,89
Rota Metílica	2,86	2,76	2,67	2,58	2,49	1,97	1,16

Figura. 4.32. Efeito nas emissões de CH_4

A emissão de N_2O não é reduzida com o uso do biodiesel como ocorre com o CO_2 e o CH_4, de acordo com a Figura 4.33. A produção de BES provoca um aumento na emissão de N_2O em relação à produção de BMS. Como mencionado anteriormente, isto se deve à produção e uso de uréia.

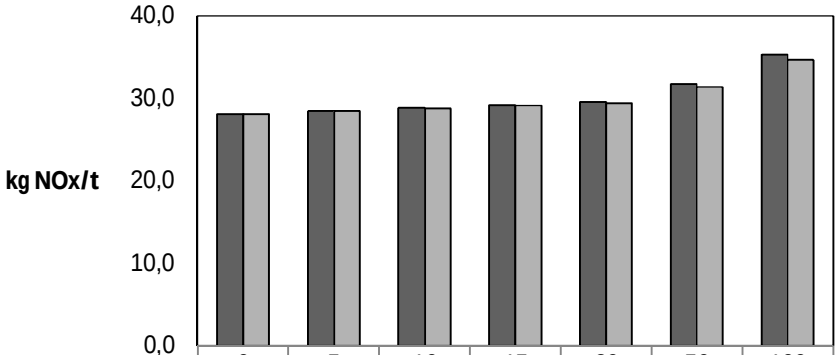


	0	5	10	15	20	50	100
Rota Etílica	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,18	0,25
Rota Metílica	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13	0,14	0,17

Figura. 4.33. Efeito nas emissões de N_2O

4.4.2 Emissões de NO_X e NH_3

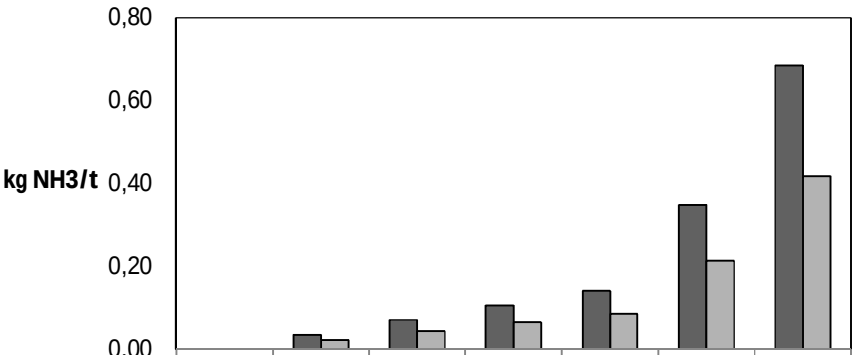
A emissão de NO_X para cada mistura BX encontra-se na Figura 4.34, onde se observa que o uso de ambos biocombustíveis aumenta gradualmente as emissões de NO_X proporcionalmente à porcentagem do seu uso. Por exemplo, o uso de B5 aumenta as emissões de NO_X em 1,30% e em 1,20% quando usado BES e o BMS, respectivamente. Não se observa diferença significativa entre as duas rotas.



	0	5	10	15	20	50	100
Rota Etílica	28,11	28,47	28,83	29,20	29,56	31,72	35,33
Rota Metílica	28,11	28,44	28,77	29,10	29,43	31,39	34,68

Figura 4.34 Efeito nas emissões de NO_X

A emissão de NH_3 está relacionada à produção e uso de fertilizantes nitrogenados (uréia). O uso do biodiesel aumenta estas emissões, significativamente como é mostrado na Figura 4.35.



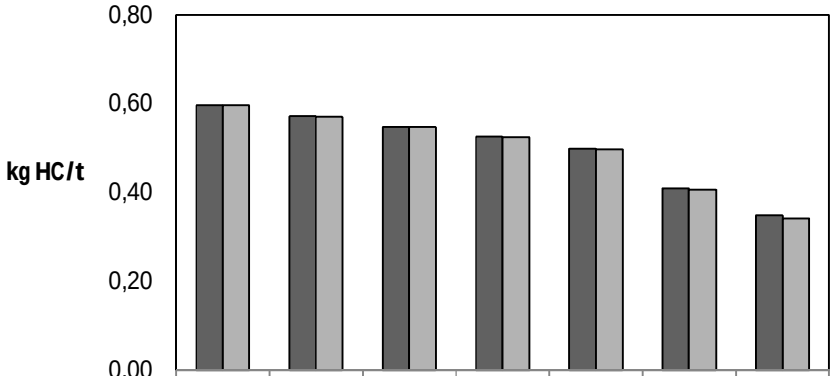
	0	5	10	15	20	50	100
Rota Etílica	0,00	0,04	0,07	0,11	0,14	0,35	0,69
Rota Metílica	0,00	0,02	0,04	0,06	0,09	0,21	0,42

Figura 4.35 Efeito nas emissões de NH_3

A Figura 4.35 mostra como o uso do biodiesel contribui para o aumento na emissão de NH_3, este aumento é mais significativo para o BES, isto está explicado pela diferença no consumo de uréia nas duas rotas. De acordo ao inventário consolidado a rota etílica demanda 8,06kg/t de BES enquanto a rota metílica demanda 5,95kg/t de BMS.

4.4.3 Emissões de hidrocarbonetos e material particulado

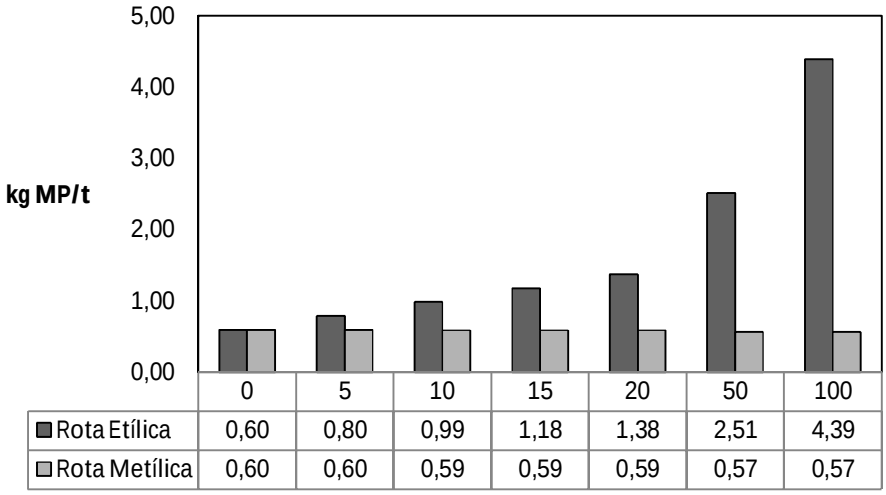
A Figura 4.36 mostra que o uso do biodiesel contribui à redução da emissão de hidrocarbonetos. Observa-se que tanto o uso do BMS quanto o BES diminuem as emissões de hidrocarbonetos em até aproximadamente 43% quando usado na forma B100. Na forma de B5 a diminuição na emissão de hidrocarbonetos é de 3,9% e 4,3% para o BES e BMS respectivamente. Não existe diferença significativa na redução de hidrocarbonetos entre as duas rotas.



	0	5	10	15	20	50	100
Rota Etílica	0,60	0,57	0,55	0,53	0,50	0,41	0,35
Rota Metílica	0,60	0,57	0,55	0,53	0,50	0,41	0,34

Figura. 4.36. Efeito nas emissões de Hidrocarbonetos.

A Figura 4.37 mostra a influencia do BES e o BMS na emissão de material particulado. Tem-se que o BES e o BMS mostram desempenhos diferentes. A rota metílica reduz as emissões de MP enquanto que, na rota etílica, estas emissões aumentam. A principal diferença no desempenho de ambos biocombustíveis encontra-se na etapa de produção do álcool. Na produção de etanol anidro a emissão de MP é muito maior do que na produção de metanol.

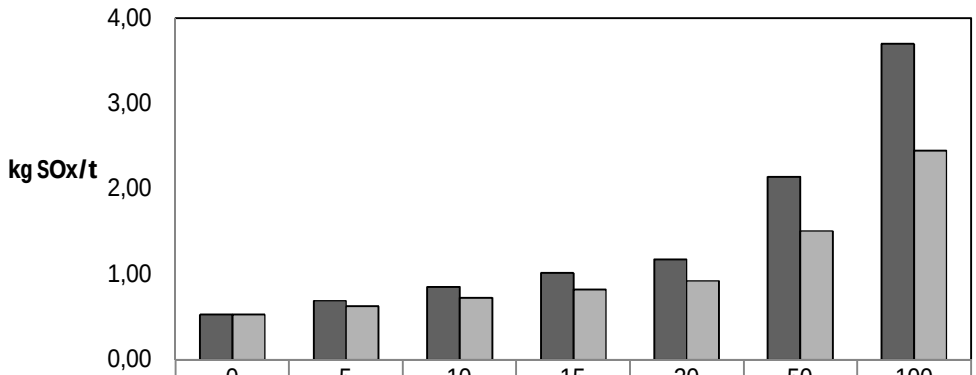


	0	5	10	15	20	50	100
Rota Etílica	0,60	0,80	0,99	1,18	1,38	2,51	4,39
Rota Metílica	0,60	0,60	0,59	0,59	0,59	0,57	0,57

Figura. 4.37. Efeito nas emissões de MP.

4.4.4 Emissões de SO_X

O desempenho do biodiesel (BES e BMS) com respeito às emissões de SO_X é mostrado na Figura 4.38. Observa-se que, a pesar do biodiesel possuir quantidades mínimas de enxofre, o uso deste aumenta as emissões de SO_X.



	0	5	10	15	20	50	100
Rota Etílica	0,52	0,69	0,85	1,01	1,18	2,14	3,70
Rota Metílica	0,52	0,62	0,72	0,82	0,92	1,51	2,45

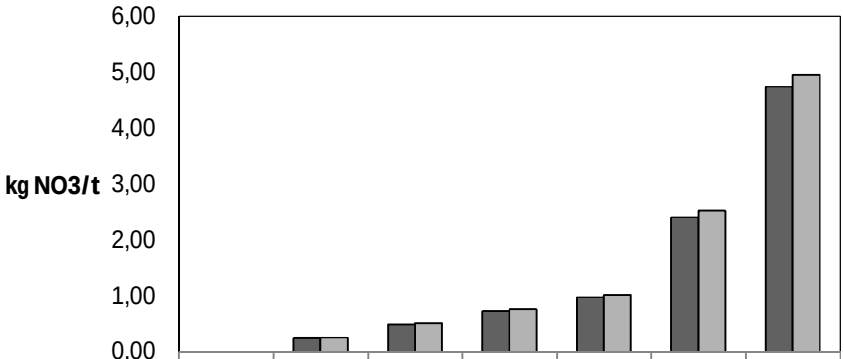
Figura. 4.38. Efeito nas emissões de SO_X

O baixo teor de enxofre do biodiesel faz com que o uso final da mistura BX reduza a emissão de SO_X, mas, como mostra a Figura (4.38), apesar deste efeito positivo na mistura, durante o ciclo de vida do biodiesel existem emissões de SO_X que finalmente superam as de óleo

diesel. Assim por exemplo, o uso de B5 etílico e B5 metílico aumentam as emissões de SO_X em 30% e 18%, respectivamente, e o uso na forma B100 aumentam as emissões de SO_X em 570% e 340% na mesma ordem. As emissões de SO_X na rota etílica são maiores do que as rota metílica.

4.4.5 Emissões de NO_3 e PO_4^-

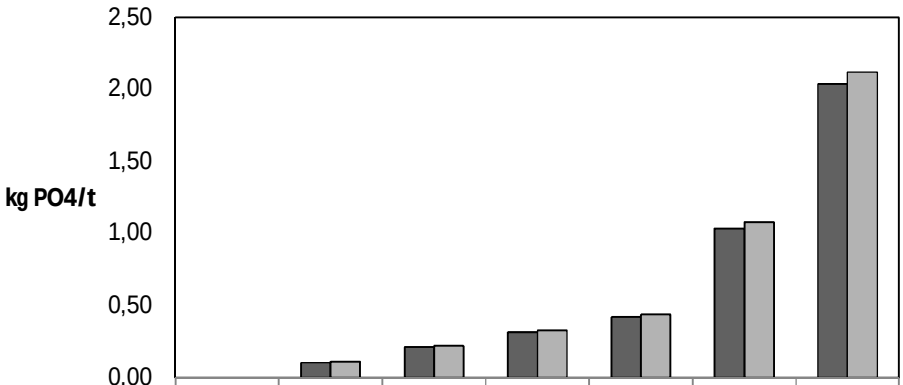
A Figura 4.39 mostra que o uso do biodiesel causa também o aumento na emissão de NO_3^-, como consequência do uso de ureia. Não existe diferença significativa entre as duas rotas respeito à emissão de NO_3^-.



	0	5	10	15	20	50	100
Rota Etílica	0,00	0,25	0,49	0,73	0,98	2,41	4,75
Rota Metílica	0,00	0,26	0,51	0,77	1,02	2,53	4,96

Figura. 4.39. Efeito nas emissões de NO_3^-

Respeito à emissão de PO_4^-, esta também se vê aumentada com o uso do biodiesel como pode ser observado na Figura 4.40.



	0	5	10	15	20	50	100
Rota Etílica	0,00	0,11	0,21	0,31	0,42	1,04	2,04
Rota Metílica	0,00	0,11	0,22	0,33	0,44	1,08	2,12

Figura. 4.40. Efeito nas emissões de PO_4^-

A emissão de PO_4^- está relacionada às perdas de SSP na produção agrícola. Observa-se que não existe diferença significativa entre as duas rotas respeito.

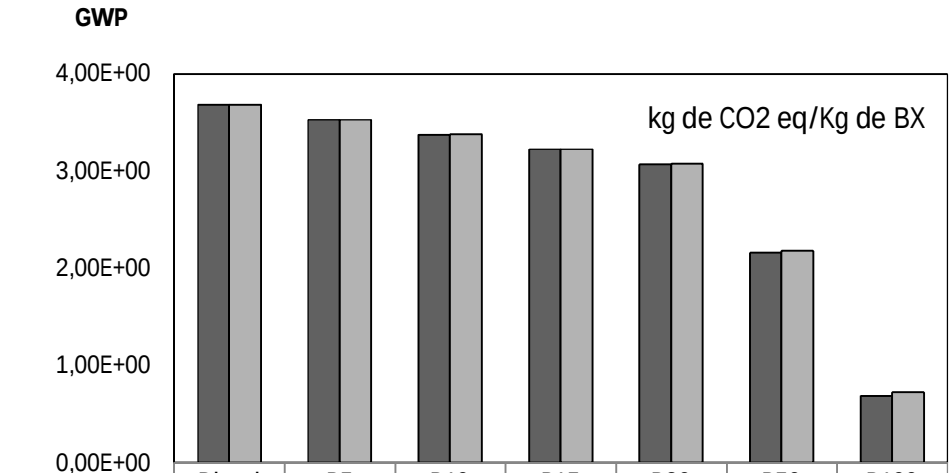
Após ter analisado a emissão dos principais poluentes emitidos no ciclo produtivo do biodiesel, a seção a seguir consolida estas emissões em categorias de impacto.

4.5 Avaliação de Impacto

Nesta seção, são consolidados os resultados levantados para emissões no ciclo de vida de BMS e BES, nas categorias de impacto consideradas na dissertação.

4.5.1 Global Warming Potential (GWP)

A Figura 4.41 apresenta os valores de GWP expresso em kg de CO_2eq /kg da mistura BX. Os valores mostram uma significativa redução deste impacto quando é usado o biodiesel, tanto o produzido pela rota metílica quanto pela rota etílica. Este impacto é reduzido conforme aumenta o teor do biodiesel na mistura. Cabe ressaltar que o GWP é causado pela emissão de gases de efeito estufa como CO_2, CH_4 e N_2O, etc.



	Diesel	B5	B10	B15	B20	B50	B100
Rota Etílica	3,68E+00	3,53E+00	3,38E+00	3,22E+00	3,07E+00	2,16E+00	6,85E-01
Rota Metílica	3,68E+00	3,53E+00	3,38E+00	3,23E+00	3,07E+00	2,18E+00	7,26E-01

Figura 4.41 Efeito na categoria de impacto de Potencial de Aquecimento global

Conclui-se da Figura 4.41 que o uso de B5 metílico e etílico permite reduzir as emissões de CO_2 eq. em 4,19 e 4,32%, respectivamente. A maior redução neste impacto acontece quando o biodiesel é usado na forma B100. Neste caso, a redução do GWP é de 80,89% e 83,73% quando usado BMS e BES respectivamente. A Tabela 4.1 mostra a comparação na redução no aquecimento global para as duas rotas.

Tabela. 4.1. Diferença de PAG entre o BMS e BES em relação ao óleo diesel

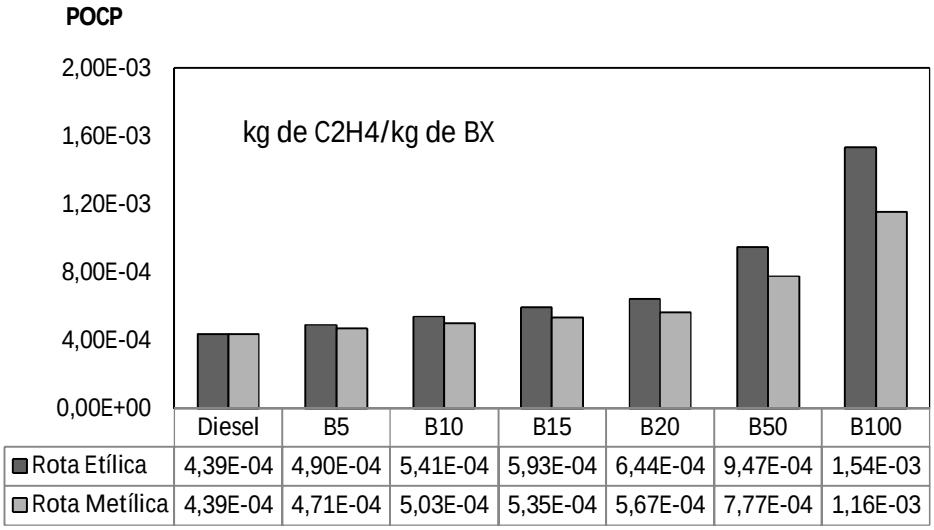
Biodiesel	Redução percentual de PAG com relação ao diesel de petróleo (%)					
	B5	B10	B15	B20	B50	B100
BMS	4,16	8,30	12,43	16,55	40,90	80,29
BES	4,20	8,39	12,56	16,72	41,37	81,39
% Diferença (*)	0,04	0,09	0,14	0,20	0,80	5,61

(*) Diferença de redução percentual entre BMS e BES

De acordo com a Tabela 4.1 a mudança de BMS para BES não teria um impacto significativo no potencial de aquecimento global, considerando o atualmente empregado no Brasil, o BES reduziria este impacto em apenas 0,96% a mais do que o BMS.

4.5.2 Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)

A Figura 4.42 apresenta os valores de POCP expresso em kg de C_2H_4eq /kg da mistura BX. Os valores mostram que tanto o uso de BES como o BMS gera um significativo aumento deste impacto. Cabe ressaltar que este impacto é causado pela emissão de gases poluentes como SO_X, NO_X, NH_3, todos estes considerados no presente estudo.



	Diesel	B5	B10	B15	B20	B50	B100
Rota Etílica	4,39E-04	4,90E-04	5,41E-04	5,93E-04	6,44E-04	9,47E-04	1,54E-03
Rota Metílica	4,39E-04	4,71E-04	5,03E-04	5,35E-04	5,67E-04	7,77E-04	1,16E-03

Figura 4.42 Efeito na categoria de impacto de Potencial de Criação de Ozônio Fotoquímico

Conclui-se, então, que o uso do biodiesel contribui para a formação de ozônio fotoquímico (PCOF) em maior proporção do que o óleo diesel. Comparando as duas rotas, a rota etílica contribui mais para este impacto do que a rota metílica. A Tabela 4.2 mostra a comparação na redução no PCOP para as duas rotas.

Tabela. 4.2. Diferença de POCP entre o BMS e BES em relação ao óleo diesel

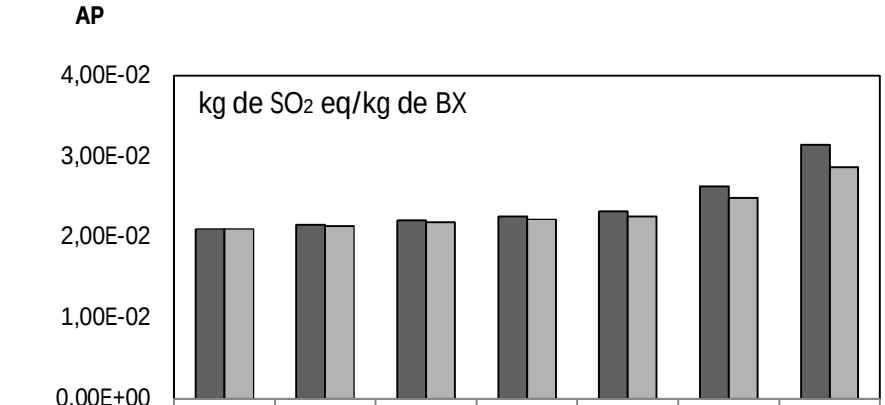
Biodiesel	% De aumento do POCP					
	B5	B10	B15	B20	B50	B100
BMS	7,11	14,37	21,77	29,02	76,69	163,43
BES	11,50	23,14	34,90	46,51	115,42	249,30
% Diferença (*)	4,10	7,66	10,79	13,56	21,92	32,60

(*) Diferença de aumento percentual entre BMS e BES

De acordo com a Tabela 4.2 a mudança para o BES provocaria um aumento de 12% com respeito ao diesel na formação de ozônio na atmosfera, com desvantagem de 4,5% em relação ao BMS. Visto desde este ponto a rota etílica não se apresenta como uma rota mais verde.

4.5.3 Acidification Potential (AP)

A Figura 4.43 apresenta os valores de Potencial de Acidificação, expresso em kg de SO_2 eq /kg da mistura BX. Os valores mostram que tanto o uso de BES como o BMS aumenta o potencial de acidificação. Cabe ressaltar que este impacto é causado pela emissão de gases como SO_X, NO_X, H_2S todos estes considerados no presente estudo.



	Diesel	B5	B10	B15	B20	B50	B100
Rota Etílica	2,10E-0	2,15E-0	2,21E-0	2,26E-0	2,31E-0	2,63E-0	3,14E-0
Rota Metílica	2,10E-0	2,14E-0	2,18E-0	2,22E-0	2,26E-0	2,49E-0	2,87E-0

Figura 4.43 Efeito na categoria de impacto de Potencial de Acidificação

Desta forma, conclui-se que o uso do biodiesel contribui para a formação de gases que causam a chuva ácida em maior proporção do que o óleo diesel. Devido à origem vegetal do biodiesel, o teor de enxofre deste é praticamente nulo, não gerando assim emissões de compostos de enxofre na sua combustão, mas, contabilizando-se as emissões que causam a chuva acida em todas as atividades que envolvem seu ciclo de vida, resulta por apresentar maior potencial de impacto nesta categoria do que o óleo diesel. A Tabela 4.3 mostra a comparação no aumento do potencial de acidificação para as duas rotas em relação ao óleo diesel.

Tabela. 4.3. Diferença de PA entre o BMS e BES em relação ao óleo diesel

Biodiesel	% De aumento do AP					
	B5	B10	B15	B20	B50	B100
BMS	2,11	4,21	6,32	8,44	20,92	41,49
BES	2,98	5,96	8,93	11,91	29,55	58,53
% Diferença (*)	0,65	1,27	1,88	2,46	5,54	9,49

(*) Diferença de aumento percentual entre BMS e BES

De acordo com a Tabela 4.3, o uso de B5 metílico e etílico aumenta o AP em 2,11 e 2,98% respectivamente, e do B100 em 41,5 e 58,5%, respectivamente. Desta forma, conclui-se que o biodiesel não se apresenta como uma alternativa para a redução de potencial de chuva ácida.

4.5.4 Eutrophication Potential (EP)

A Figura 4.44 apresenta os valores de Potencial de Eutroficação (PE) expresso em kg de PO_4 eq /kg da mistura BX. Observa-se nesta figura que o uso do biodiesel contribui para o aumento do potencial de eutroficação. Cabe ressaltar que este impacto é causado pela emissão gases como NH_3 e NO_X para a atmosfera e pela descarga de efluentes em corpos de água com alta carga de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio.

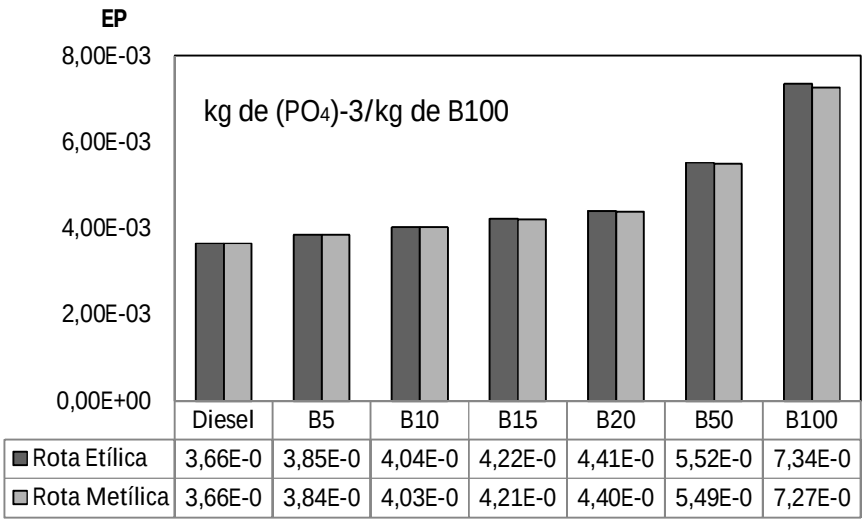


Figura. 4.44. Efeito na categoria de impacto de Potencial de Eutroficação.

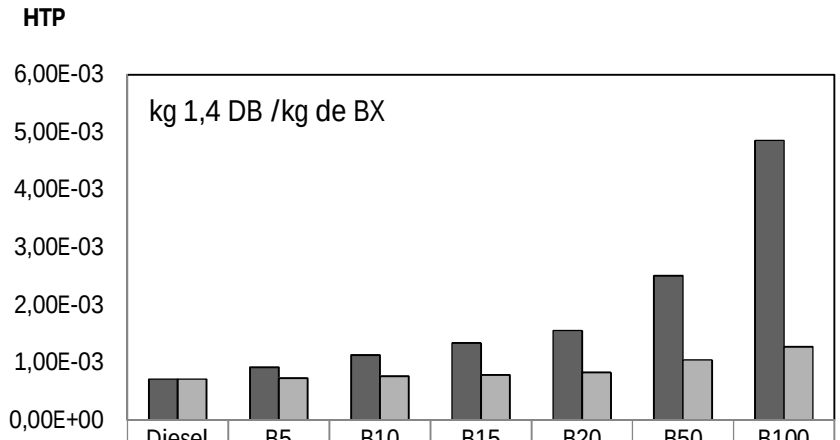
Tabela 4.4 Diferença de EP entre o BMS e BES em relação ao óleo diesel

Biodiesel	% De aumento do EP					
	B5	B10	B15	B20	B50	B100
BMS	5,07	10,13	15,17	20,22	50,05	98,68
BES	5,16	10,30	15,43	20,56	50,96	100,66
% Aumento	1,64	1,66	1,68	1,70	1,82	2,00

Conclui-se que tanto o uso de BMS como de BES aumentam o potencial de eutrofização, e este aumento tem relação direta com a porcentagem de biodiesel usada na mistura BX. A Tabela 4.4 também mostra que a rota etílica possui maior potencial de eutrofização do que a rota metílica, sendo 2,0% maior quando usado na forma B100.

4.5.5 Human Toxicity Potential (HTP)

A Figura 4.45 mostra que a rota etílica aumenta drasticamente a o potencial de toxicidade humana, e na rota metílica observa-se apenas um leve aumento. Este resultado é atribuído ao aumento de emissões de material particulado ocasionado pela queima de biomassa, bagaço e palha para a produção de etanol anidro. A Tabela 4.5 mostra a influência do uso de biodiesel na mistura BX na TH.



	Diesel	B5	B10	B15	B20	B50	B100
Rota Etílica	7,11E-04	9,21E-04	1,13E-03	1,34E-03	1,56E-03	2,51E-03	4,86E-03
Rota Metílica	7,11E-04	7,36E-04	7,62E-04	7,88E-04	8,24E-04	1,05E-03	1,28E-03

Figura. 4.45. Efeito na categoria de impacto de potencial de toxicidade humana

Tabela. 4.5. Tabela 4.4 Diferença de HTP entre o BMS e BES em relação ao óleo diesel

Biodiesel	% De aumento do HTP					
	B5	B10	B15	B20	B50	B100
BMS	3,55	7,15	10,81	15,88	47,98	79,48
BES	29,56	59,10	88,60	119,43	253,24	584,00
% Aumento	25,12	48,48	70,20	89,36	138,80	281,11

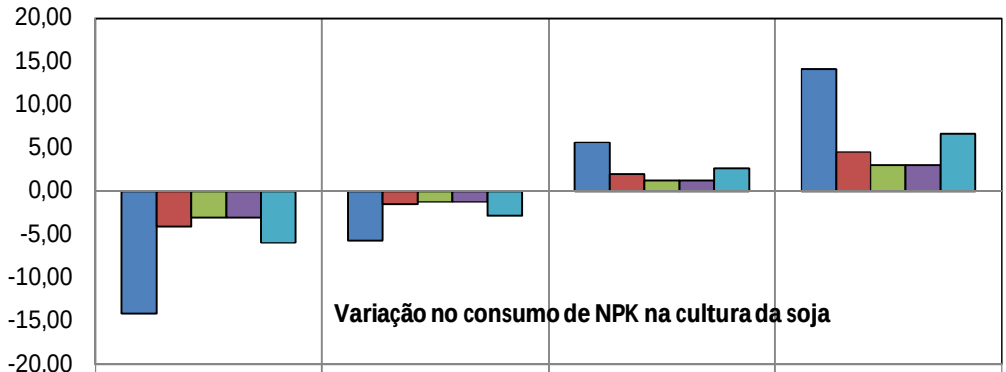
4.6 Análise de sensibilidade

Os resultados apresentados anteriormente esclarecem que a atividade que tem maior impacto no ACV do biodiesel é a atividade agrícola. O impacto causado pela atividade agrícola deve-se principalmente ao uso de fertilizantes (NPK), tanto para a produção de soja como para a produção de cana-de-açúcar. Por este motivo é importante realizar uma análise de sensibilidade para determinar como a variação no uso destes poderia afetar nas categorias de impacto avaliadas nesta Dissertação. A seguir, são apresentados os resultados da análise de sensibilidade em gráficos que mostram no eixo de abscissas a variação no consumo de NPK em porcentagem desde -50% até 50%, e, no eixo de ordenadas, representa a variação à resposta nas categorias de impacto.

4.6.1 Sensibilidade das categorias de impacto frente à variação no consumo de NPK

Variação na agricultura da soja para produção de BMS: A Figura 4.46 apresenta a análise de sensibilidade dos impactos causados pela produção de BMS frente à variação no consumo de NPK na produção da soja.

Sensibilidade



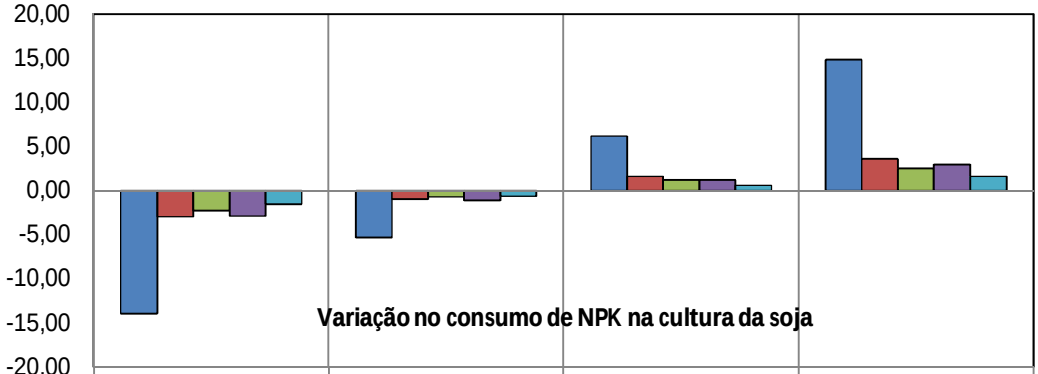
	-50	-20	20	50
GWP	-14,21	-5,67	5,62	14,16
POCP	-4,12	-1,53	1,93	4,52
AP	-3,02	-1,23	1,24	3,03
EP	-3,02	-1,23	1,24	3,03
HTP	-5,95	-2,82	2,67	6,59

Figura. 4.46. Análise de sensibilidade: NPK na produção de soja vs. Impactos no BMS.

De acordo com a Figura 4.46 os impactos que resultam mais sensíveis frente à variação no uso de NPK na cultura da soja são o aquecimento global e a toxicidade humana. Um aumento de 20% no consumo de NPK aumenta o potencial de aquecimento global da rota metílica em 5,62% e a toxidade humana em 2,67%.

Variação na agricultura da soja para produção de BES: A Figura 4.47 apresenta a análise de sensibilidade dos impactos causados pela produção de BES frente à variação no consumo de NPK na produção da soja.

Sensibilidade



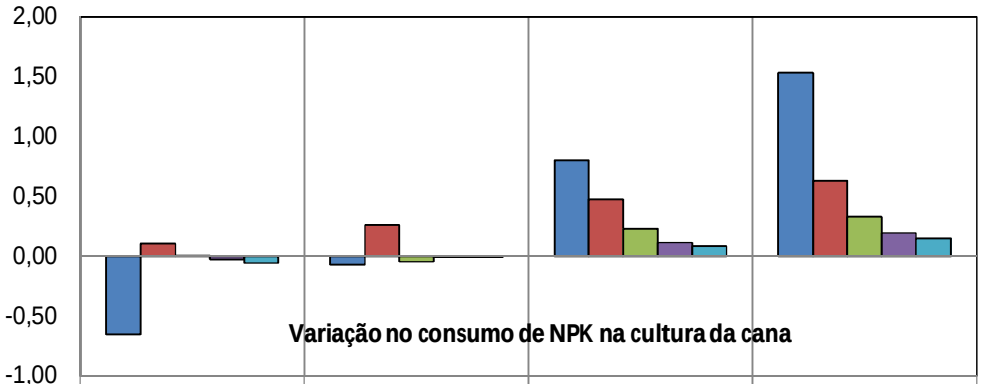
	-50	-20	20	50
GWP	-13,93	-5,32	6,20	14,81
POCP	-2,94	-0,98	1,62	3,58
AP	-2,28	-0,68	1,23	2,50
EP	-2,89	-1,12	1,20	2,97
HTP	-1,50	-0,67	0,56	1,59

Figura 4.47 Análise de sensibilidade: NPK na produção de soja vs. Impactos no BES.

Conclui-se da Figura 4.47 que o potencial de aquecimento global na rota etílica é o impacto mais afetado frente à variação no uso de NPK na cultura da soja. Um aumento de 20% no consumo de NPK aumenta o potencial de aquecimento global da rota etílica em 6,2%.

Variação na agricultura da cana para produção de BES: A Figura 4.49 apresenta a análise de sensibilidade dos impactos causados pela produção de BES frente à variação no consumo de NPK na produção da cana.

Sensibilidade



	-50	-20	20	50
GWP	-0,66	-0,07	0,80	1,53
POCP	0,11	0,26	0,48	0,63
AP	0,01	-0,05	0,23	0,33
EP	-0,03	0,00	0,11	0,20
HTP	-0,06	0,00	0,09	0,15

Figura 4.48 Análise de sensibilidade: NPK na produção da cana vs. Impactos no BES.

De acordo com da Figura 4.49 a variação no uso de NPK na cultura da cana afeta significativamente o potencial de aquecimento global para a rota etílica. Um aumento de 20% no consumo de NPK aumenta o potencial de aquecimento global da rota etílica em 0,8%. Não se observa maior variação nas outras categorias de impacto.

Dentro das categorias de impacto avaliadas neste trabalho, a categoria de aquecimento global resultou ser a mais afetada frente à variação no consumo de NPK. Isto se deve à grande demanda de energia que requer produzi-los, e as emissões de gases de efeito estufa durante sua produção e uso.

CAPÍTULO 5 – CONSLUSSÕES E SUGESTÕES

Esta Dissertação apresenta resultados de Analise de Ciclo de Vida para a comparação do desempenho ambiental e energético de duas rotas de produção de biodiesel de soja: metílica (BMS) e etílica (BES). Foram consolidados os inventários de produção envolvendo desde a fase agrícola até a fase de uso, definindo-se os fluxos de entrada e saída de material e energia em cada situação que viabilizaram a avaliação dos impactos ambientais causado por estas duas rotas. Da análise comparativa apresentada, conclui-se que:

- O estado tecnológico de produção de etanol anidro no Brasil, necessário para a produção de BES, não viabiliza a produção de biodiesel sustentável quando comparado ao biodiesel produzido por rota metílica. Isto se deve principalmente ao que sistema de produção adotado por muitas usinas no Brasil envolve a queima da palha na etapa da colheita e o elevado consumo de água.

- No ciclo de vida de produção de biocombustíveis da soja, seja BMS ou BES, agricultura é a principal atividade produtiva responsável pelos impactos causados ao meio ambiente e à saúde. Isto se deve em sua maioria pelo uso de fertilizantes químicos. A diminuição no seu uso, adotando tecnologias de fertilização mais eficiente poderia reduzir os impactos causados pela produção do biodiesel.

- O BES exibe melhor desempenho do que o BMS em questão de redução de emissões CO_2 eq, ou seja, reduz o potencial do aquecimento global. Mas nas demais categorias de impacto, resultou ser mais prejudicial do que o BMS.

- O BES resultou ser maior consumidor de energia e água do que o BMS.
- A grande vantagem de produzir biodiesel etílico é que a origem das principais matérias primas: etanol e óleo vegetal são renováveis.

Em suma, a ACV mostrou que, nas condições atuais, a proposta de produção de BES ainda está longe de ser uma alternativa mais sustentável do que a produção de BMS. Trabalhos

futuros poderiam seguir investigando alternativas de biocombustíveis mais sustentáveis, analisando os seguintes aspectos do ciclo de vida de biodiesel:

- Substituir a soja por outras fontes de óleo como algodão, dendê, *yellow grease*, *brown grease* etc. para a alternativa de uso de bioetanol como álcool de transesterificação;

- Avaliar o desempenho ambiental da produção de biodiesel a partir de diversas fontes de óleo e gordura usando metanol obtido a partir de biomassa. Nesta linha de pesquisa, recomenda-se avaliar a produção de metanol a partir da gaseificação de resíduos agrícolas;

- Comparar o desempenho ambiental de diversas tecnologias para a produção de biodiesel, como esterificação, esterificação-transesterificação, hidroesterificação, fluido supercrítico, etc;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Definição de objetivo e escopo e analise de inventario. NBR ISO 14041**. Rio de Janeiro, 2004.

AGRIANUAL **– Anuário da Agricultura Brasileira**. Editora FNP. 2006

ALVES, J. D. Disciplina EQ I709: **Fertilizantes Potássicos**. Fertilizantes- Programa de Mestrado Profissional em Biocombustíveis e Petroquímica. Universidade Federal de Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012 [Slides de aula].

ANA – Agência Nacional de Águas. **Manual de Conservação e Reuso de Água na Agroindústria Sucroenergética**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2009.

ANP – Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2011. Rio de Janeiro, 2011.

BEN – Balanço Energético Nacional 2011. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf. Acesso em abril 2012.

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento. **Bioetanol de Caña de Azúcar, Energía para el Desarrollo de Sostenible**. 1ª Edición. Rio de Janeiro, 2008. 320 p.

BORGES, F. J. **Inventário do ciclo de vida do PVC produzido no Brasil**. 174 p. dissertação (Mestre em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BRANCO, D. A. B. et al. **Abatement costs of CO_2 emissions in the Brazilian oil refining sector.** Energy, n.88, p. 3782-3790, 2011.

CAVALLET, O. **Análise do Ciclo de Vida da Soja**. 221 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo. 2008.

CML, 2001. **An operational guide to the ISO-standards - Part 3**: Scientific background (Final report, May 2001). (www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html#gb)

COLTRO, L.; GARCIA, E. E. C.; QUEIROZ, G. C., 2003. **Life cycle inventory for electric energy system in Brazil**. The International Journal of Life Cycle Assessment, Landsberg, Alemanha, v. 8,n. 5,p. 290-296.

DORSA, R. **Tecnologia de Óleos Vegetais**. 1ª Edição. São Paulo: Gráfica Ideal, 2004. 463 p.

EPA – Environmental Protection Agency. **A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions**. Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality U.S. Environmental Protection Agency. USA, 2002.

EPA – Environmental Protection Agency. **Inventories of U.S. Greenhouses Gas Emissions and Sinks: 1990-1997**. USA, 1999.

FETRANSPORT – Federação de Empresas de Transporte de Passageiros do Estado de Rio de Janeiro. **Relatório de resultados do programa Experimental de Utilização de Biodiesel B5 nas Frotas de Ônibus do Estado do Rio de Janeiro – 2007**. Rio de Janeiro, 2007.

GOES, T.; ARAÚJO, M.; MARRA, R. **Biodiesel e sua sustentabilidade**. 2010.

HOEKMAN, S.K; ROBBINS, C. **Review of the effects of biodiesel on NO_X emissions**. Fuel Processing Technology, n. 96, p. 237 – 249, 2012.

HEIJUNGS, R., GUINÉE, J. B., HUPPES, G., LANKREIJER, R. M., de HAES, H. e SLEESWIJK, A. **Environmental Life Cycle Assessment of Products - Backgrounds and Guide LCA**. Leiden: CML Centre of Environmental Science. (1992).

HUNT, R. ; FRANKLIN, E., (1996). LCA - **How it Came About. Personal Reflections on the Origin and the Development of LCA in the USA**. *Int. J. LCA, vol. 1* (1) 4-7. Landsberg, Germany: Ecomed.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouses Gas Inventories Reference Manual (volume 3)**, 1996.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007. IPCC Fourth Assessment Report. The Physical Science Basis**. Disponivel em: http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm. Acesso em Março 2012

ISO 14040. 1997. **Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework**. The International Organization for Standardization. Genève, Switzerland, 1997.

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**. 314 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo. 2004.

LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. **Biocombustíveis (volume 1).** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012.

MACEDO, I. C.; NOGUEIRA, L. A. H. **Avaliação do Biodiesel no Brasil**. CGEE – Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. 2004.

MACEDO, I. C.; LEAL, M. R. L. V.; SILVA, J. E. A. R. **Balanço das emissões de gases de efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente, 2004.

MAPA – Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Anuário **Estatístico da Agroenergia 2010**. Secretaria de Produção e Agroenergia. 2ª Edição. 2011. 223 p.

MARZULLO, R. C. M. **Análise de ecoeficiência dos óleos vegetais oriundos da soja e palma, visando a produção de biodiesel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo. 2007.

MELLO, C.A. et al. **Estimativa da área necessária na produção de soja objetivando a sustentabilidade energética utilizando o biodiesel.** Artigo publicado nos anais do II Congresso de Plantas Oleaginosas, Óleo, Gorduras e Biodiesel, realizado pela Universidade Federal de Lavras. Varginha - MG, 2005.

MOREIRA, A. **Inventário do ciclo de vida do metanol para as condições brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo. 2007.

MOURAD, A. L; WALTER, A. **The energy balance of soybean biodiesel in Brazil: a case study**. Biofuels, Bioproducts & Biorefining. 5: 185 – 197 (2011).
NEMECEK, T et al. **Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems** – Ecoinvent Report No 15. Dübendorf, April 2004.

ORTEGA, E. **Análise Emergética da Produção de Soja no Brasil**. Disponível em: http://www.unicamp.br/fea/ortega/planilha da soja com 4 opções. 2001. Acesso em Fevereiro do 2012.

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, p. 1253 – 1257, 2006.

PETROBRAS. **Ficha Técnica do óleo combustível** – Disponível em <http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/paraindustriasetermeletricas/oleocombustivel>. Acesso em novembro/2012. 2012

PETROBRAS. **Ficha Técnica do Gás Natural** – Disponível em <http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/7bb0de0046f6f2f0bf36bfd9b0eb44da/fispq-comb-gas-gasnatural.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em novembro/2012. 2012

PIMENTEL, C.; COSTA, E. ; CUNHA, R. **Formação do mercado do biodiesel no Brasil**. Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES). Brasil, 2007.

RIBEIRO, F. M. **Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil – Usina de Itaipu: primeira aproximação**. Dissertação (Mestre em Energia) - Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2003.

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio a avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**. Dissertação (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo. 2009.

RODRIGUES, J. V. F. **Análise de Ciclo de Vida dos Produtos**. Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Viseu. Viseu. 2004.

ROQUE, E. A. A. Informação sobre a produção de etanol anidro. [mensagem enviada por efabianoaugusto@yahoo.com.br]. Mensagem recebida por <cquim_alejos@yahoo.es> em 09 de maio. 2013.

SCHAEFFER, R; SZKLO, A. S.; **Fuel specification, energy consumption and CO2 emission in oil refineries**. Energy, n. 32, p. 1075-1092, 2007.

SCHLÍTTLER, L. A. Disciplina EQ B725: **O Complexo Sucroalcooleiro no Brasil**. Biocombustíveis- Programa de Mestrado Profissional em Biocombustíveis e Petroquímica. Universidade Federal de Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011 [Slides de aula].

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Biodiesel**. Brasília, 2007.

SHEEHAN, J.; CAMOBRECO, V.; DUFFIELD, J., SHAPOURI, H. **Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for use in an Urban Bus**. Prepared for U.S. Department of Energy´s Office of fuels Development an U.S. Department of Agriculture´s office of Energy. USA, 1998.

SILVA, J. B. **Produção de Biodiesel Etílico de Óleos e Gorduras Residuais (OGR) em Reator Químico de Baixo Custo**. 57 p. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Manaus. 2010.

SILVA, G.A.; KULAY, L.A. **Application of life cycle assessment to the LCA case studies single superphosphate production**. The International Journal of Life Cycle Assessment. Landsberg, v.8, n.4, p. 209-214. 2003, a.

SILVA, G.A.; KULAY, L.A. **Análise de Ciclo de Vida**. Mesa Paulista de Produção mais Limpa. São Paulo, 2003, b.

SILVA, G.A.; RIBEIRO, P.H.; KULAY, L.A. **Avaliação do Desempenho Ambiental dos Fertilizantes Químicos no Brasil**. In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2006, Santos. Anais. São Paulo, 2006. 12 p.

SZKLO, A. **Fundamentos do Refino de Petróleo**. Rio de Janeiro: Editora Interciências, 2005.

TOSTO, S.G.; SOBRINHO, R. P.; ANDRADE, D. C. **Valoração ambiental da perda de solo na cultura da cana-de-açúcar sob colheita queimada e mecanizada no município de Araras, SP**. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER 2010. Anais.. Campo Grande, MS, 2010. 4 p.

VASWANI, S. **Development of models for calculating the life cycle inventory of methanol by liquid phase and conventional production process**. Department of Civil Engineering, North Carolina State University, United State. 2000.

VIANNA, F. C. **Análise de ecoeficiência: avaliação do desempenho econômico-ambiental do biodiesel e petrodiesel.** 182 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo. 2006.

APÊNDICE A1 CÁLCULO DE FATORES DE EMISSAO PARA A QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS

FATORES DE EMISSÃO DE GASES POLUENTES PARA A QUEIMA DE BAGAÇO DE CANA DE AÇUCAR

Emissão de Material particulado: Segundo o manual de reuso de água, a emissão de MP é 2,2 a 3,6 kg de cana moída, 80% é lançado na atmosfera e o 20% restante fica depositado nas fornalhas das caldeiras. Então segundo o balanço deste trabalho, é produzido 275 kg de bagaço úmido por tonelada de cana moída. Sendo assim:

$$MP_{\text{Liberado}} = 0{,}8 \times \frac{2{,}9 \dfrac{\text{kg de MP}}{\text{t de cana moida}}}{275 \dfrac{\text{kg de Bagaço umida}}{\text{t de cana moida}}} = 8{,}45 \times 10^{-3} \frac{\text{kg de MP}}{\text{kg de Bagaço umido}}$$

Emissão de NO_X e NO_2. Segundo o IPCC (1996) a emissão de NO_X e NO_2 é $7{,}5x10^{-4}$ e $3{,}0x10^{-5}$ kg/kg de bagaço úmido

Emissão de CO e CH_4. Segundo o IPCC (1996) a emissão de CO e CH4 é $7{,}5x10^{-3}$ e $2{,}2x10^{-4}$ kg/kg de bagaço úmido

Emissão de CO_2. Considerando que o carbono liberado na queima do bagaco deve-se somente a emissão de CO_2, CO e CH_4; a emissão de CO_2 pode ser calculada de forma indireta: o conteúdo de carbono no bagaco em base seca é 40% e o teor de umidade é 50%

$$C_{\text{Liberado}} = 0{,}4 \times 0{,}5 \times 275 \frac{\text{kg de Bagaço umida}}{\text{t de cana moida}} = 54{,}93 \frac{\text{kg de C}}{\text{kg de Bagaço umido}}$$

$$CO_{\text{Liberado}} = 7{,}5 \times 10^{-3} \times 275 \frac{\text{kg de Bagaço umida}}{\text{t de cana moida}} = 2{,}06 \frac{\text{kg de CO}}{\text{kg de Bagaço umido}}$$

$$C_{\text{Liberado do CO}} = 0{,}75 \times 2{,}06 \frac{\text{kg de CO}}{\text{kg de Bagaço umido}} = 1{,}54 \frac{\text{kg de C}}{\text{kg de Bagaço umido}}$$

$$CH_{4\,\text{Liberado}} = 2{,}2 \times 10^{-4} \times 275 \frac{\text{kg de Bagaço umida}}{\text{t de cana moida}} = 0{,}06 \frac{\text{kg de } CH_4}{\text{t de cana moida}}$$

$$C_{\text{Liberado do } CH_4} = 0{,}75 \times 2{,}06 \frac{\text{kg de CO}}{\text{kg de Bagaço umido}} = 0{,}05 \frac{\text{kg de C}}{\text{t de cana moida}}$$

$$C_{\text{Liberado do } CO_2} = 54{,}93 - 1{,}54 - 0{,}05 = 53{,}34 \frac{\text{kg de C}}{\text{t de cana moida}}$$

$$CO_{2\,\text{Liberado}} = \frac{44}{12} \times 53{,}34 \frac{\text{kg de C}}{\text{kg de Bagaço umido}} = 195{,}59 \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{t de cana moida}}$$

$$CO_{2_{Liberado}} = \frac{195{,}59}{275{,}0} = 7{,}12 \times 10^{-1} \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{kg de Bagaço umido}}$$

A seguinte tabela resume os valores dos fatores de emissão para queima do bagaco úmido, calculado neste trabalho.

Tabela A.1.1 Fatores de emissão para a queima do bagaço em base úmida

Emissões	Valor Kg/Kg
CO_2	7,12E-01
CO	7,50E-03
CH_4	2,20E-04
NO_X	7,50E-04
N_2O	3,00E-05
MP	8,45E-03

FATORES DE EMISSÃO DE GASES POLUENTES PARA A QUEIMA DE PALHA DE CANA-DE-AÇUCAR

O IPCC (1996) fornece algumas instruções para calcular os fatores de emissão a partir da queima de biomassa. Seguindo as recomendações do IPCC, o carbono liberado pela queima de palha pode ser calculado pela seguinte formula:

$$C_{Liberado} = B_H \times (1 - \%H) \times \%C \times F_Q \times F_O$$

Onde:

BH: é a massa de palha em base úmida
%H: umidade da palha
%C: Porcentagem de carbono
F_Q: Fator de queimada
F_O: Fator de oxidação

Para este trabalho foi usado como base 1000 Kg de palha em base úmida, com 12% de umidade, 50% de carbono e F_Q=0,9 e F_O=0,9.

$$C_{Liberado} = 1000kg \times 0{,}88 \times 0{,}50 \times 0{,}9 \times 0{,}9 = 356{,}4\ kg$$

Quer dizer que para cada 1 kg de palha úmida queimada é liberado 0,356 kg de carbono na forma de CO_2, CO e CH_4. As emissões de CO e CH_4 podem ser calculadas com as seguintes equações:

$$CO_{Liberado} = F_{CO/C} \times C_{Liberado} \times \left(\frac{28}{12}\right)$$

$$CH_{4_{Liberado}} = F_{CH_4/C} \times C_{Liberado} \times \left(\frac{16}{12}\right)$$

$$CO_{2_{Liberado}} = \left(C_{Liberado} - C_{CO} - C_{CH_4}\right) \times \frac{44}{12}$$

Onde:

FCO: relação carbono em CO/ carbono liberado = 0,06
FCH_4/C: relação carbono em CH_4/ carbono liberado = 0,005

$$CO_{Liberado} = 0{,}06 \times 356{,}4 \times \left(\frac{28}{12}\right) = 49{,}9 \text{ kg}$$

$$CH_{4_{Liberado}} = 0{,}005 \times 356{,}4 \times \left(\frac{16}{12}\right) = 2{,}4 \text{ kg}$$

$$CO_{2_{Liberado}} = \left(356{,}4 - 49{,}9 \times \frac{12}{28} - 2{,}4 \times \frac{12}{16}\right) \times \frac{44}{12} = 1221{,}9 \text{ kg}$$

As emissões de NO_X e N_2O podem ser calculas com as seguintes formulas:

$$N_{Liberado} = F_{N/C} \times C_{Liberado}$$

$$N_2O_{\ Liberado} = F_{N_2O/N} \times N_{Liberado}$$

$$NO_{X\ Liberado} = F_{NO_X/N} \times N_{Liberado}$$

Onde:

$F_{N/C}$: Relação N/C na palha = 0,015 (valor médio entre 0,01-0,02) (IPCC, 1996)
F_{N2O}: Relação N_2O/N liberado = 0,007
F_{NOX}: Relação NO_X/N liberado = 0,121

$$N_{Liberado} = 0{,}015 \times 356{,}4 \text{ Kg} = 5{,}3 \text{ kg}$$

$$N_2O_{\ Liberado} = 0{,}007 \times 5{,}3 \text{ Kg} = 0{,}037 \text{ kg}$$

$$NO_{X\ Liberado} = 0{,}121 \times 5{,}3 \text{ Kg} = 0{,}65 \text{ kg}$$

A seguinte tabela mostra os valores dos fatores de emissão para queima de palha, calculado segundo a recomendação do IPCC:

Tabela A.1.2. Fatores de emissão para a queima de palha em base úmida

Emissões	Valor kg/kg
CO_2	1,22E+00
CO	4,99E-02
CH_4	2,38E-03

NO_X	6,47E-04
N_2O	3,74E-05

FATORES DE EMISSÃO DE GASES POLUENTES PARA A QUEIMA DE ÓLEO DIESEL

Segundo os dados fornecidos por Sheehan (1998), os fatores de emissão para a combustão de diesel num motor de ônibus são:

Tabela A.1.3 Fatores de emissão para a queima do óleo diesel

Emissão	kg/kg de diesel
CO_2	3,186E+00
CO	6,977E-03
NO_X	2,791E-02
SO_X	1,002E-03
MP	4,651E-04
HC	5,814E-04

Sheehan (1998) não fornece o fator de emissão para CH_4 e para o N_2O, mas este fator foi calculado da seguinte maneira: Segundo o EPA (1999), a emissão de CH_4 e N_2O em motores diesel é 0,06-0,1gr/mi e 0,05gr/mi isto equivale a 0,0312gr/km rodado respectivamente. O consumo médio de óleo diesel pode ser considerado em de 3,1Km/L (FETRANSPOR, 2007) então:

$$\text{Fator de emissão}_{CH_4} = \frac{0{,}0625\,\frac{g}{km} \times 3{,}1\,\frac{km}{L}}{0{,}852\,\frac{kg}{L}} = 2{,}27 \times 10^{-4}\,\frac{\text{kg de } CH_4}{\text{kg de Diesel}}$$

$$\text{Fator de emissão}_{N_2O} = \frac{0{,}0312\,\frac{g}{km} \times 3{,}1\,\frac{km}{L}}{0{,}852\,\frac{kg}{L}} = 1{,}14 \times 10^{-4}\,\frac{\text{kg de } CH_4}{\text{kg de Diesel}}$$

Para Sheehan (1998) o fator de emissão de SO_X é $1{,}00 \times 10^{-3}$ considerando que todo o enxofre contido no óleo diesel é oxidado a SO_2 na combustão, sendo assim o teor de enxofre no óleo diesel 0,05% (500ppm). Mas no caso Brasileiro já é usado o diesel S 50 com 50ppm de enxofre. Isso quer dizer que o fator de emissão será $1{,}00 \times 10^{-4}$ no caso brasileiro.

Tabela A.1.4 Fatores de emissão para a queima do óleo diesel para condições Brasileiras

Emissão	kg/kg de diesel metropolitano	kg/kg de diesel interior
CO_2	3,186E+00	3,186E+00
CH_4	2,274E-04	2,274E-04
CO	6,977E-03	6,977E-03
N_2O	1,137E-04	1,137E-04
NO_X	2,791E-02	2,791E-02

SO_X	1,002E-04	1,000E-03
MP	4,651E-04	4,651E-04
HC	5,814E-04	5,814E-04

Esta tabela representa as emissões para um diesel metropolitano com 50ppm de enxofre, mas em lugares do interior do país o teor de enxofre no diesel usado é 500ppm (diesel interior) neste caso o fator de emissão de SO_X é $1{,}000x10^{-3}$.

FATORES DE EMISSÃO DE GASES POLUENTES PARA A QUEIMA DE ÓLEO COMBUSTÍVEL

Sheehan (1998) fornece os fatores de emissão para a queima de óleo combustível em caldeiras industriais expressado em g/MJ.

Tabela A.1.5. Fatores de emissão para a queima de óleo combustível em caldeira industrial

Emissão	g/MJ Óleo Combustível	kg/kg de Óleo Combustível
CO_2	7,84E+01	3,31E+00
CH_4	3,10E-03	1,31E-04
CO	1,50E-02	6,33E-04
N_2O	3,40E-04	1,44E-05
NO_X	5,10E-02	2,15E-03
SO_2	1,50E-01	6,33E-03
PM	5,80E-03	2,45E-04
HC	8,60E-04	3,63E-05

Os valores da coluna (2) da tabela foram calculados considerando que o PCI do óleo combustível é 42,2 MJ/kg (ANP, 2010). Considerando que todo o enxofre contido no óleo combustível é oxidado a SO_2 o fator de emissão de SO_X da tabela corresponde a um teor de enxofre de 3166ppm no óleo combustível.

No Brasil o óleo combustível é classificado em:

GRUPO A: teor de enxofre máximo (5% em massa – óleo 1A e 5,5% os demais tipos)
GRUPO B: teor de enxofre máximo (1% em massa)

Cada um destes grupos se dividem em 9 tipos de óleo de acordo com suas viscosidades. Para este trabalho foi considerado o uso do óleo combustível tipo B com 1% de enxofre (10000ppm) (PETROBRAS, 2012a) isto corresponde a um fator de emissão de $2{,}0x10^{-3}$. A Tabela A.1.6 mostra os fatores de emissão para queima do diesel com a modificação para o caso brasileiro:

Tabela A.1.6. Fatores de emissão para a queima de óleo combustível para condições Brasileiras

Emissão	g/MJ Óleo Combustível	kg/kg de Óleo Combustível
CO_2	7,84E+01	3,31E+00
CH_4	3,10E-03	1,31E-04
CO	1,50E-02	6,33E-04
N_2O	3,40E-04	1,44E-05
NO_X	5,10E-02	2,15E-03
SO_2	4,74E-01	2,00E-03
PM	5,80E-03	2,45E-04
HC	8,60E-04	3,63E-05

FATORES DE EMISSÃO DE GASES POLUENTES PARA A QUEIMA DE GÁS NATURAL

Sheehan (1998) fornece os fatores de emissão para a queima de gás natural em caldeiras industriais expressado em g/MJ

Tabela A.1.7 Fatores de emissão para a queima de gás natural em caldeira industrial

Emissões	(1) g/MJ	(2) kg/kg
CO_2	56,6000	2,08E+00
CO	0,0190	6,99E-04
NO_X	0,0860	3,16E-03
N_2O	0,0002	7,36E-06
CH_4	0,0001	4,78E-06
MP	0,0014	5,15E-05
HC	0,0000	1,27E-06

Os valores da coluna (2) da tabela foram calculados considerando que o PCI do gás natural é 36,8 MJ/Kg (ANP, 2010). Sheehan (1998) considera que o fator de emissão de SO_X é 1.07×10^{-5}, isto corresponde a um teor de enxofre de 5,33ppm no gás natural. Mas no Brasil o teor de enxofre é maior. De acordo com teor de enxofre no gás natural comercial é no máximo 70gr/m^3 (PETROBRAS, 2012b) então:

$$\text{Exofre} = \frac{70\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \times \frac{1\,\text{g}}{1000\text{mg}} \times \frac{1\,\text{kg}}{1000\text{g}}}{0.74\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 9.46 \times 10^{-5}\frac{\text{kg de S}}{\text{kg de GN}}$$

$$\text{Fator de emissão}_{SO_X} = 2 \times 9.46 \times 10^{-5} = 1.89 \times 10^{-4}\frac{\text{kg de SO}_x}{\text{kg de GN}}$$

A Tabela A.1.8, mostra os fatores de emissão para a queima do gás natural em condições brasileiras.

Tabela A.1.8 Fatores de emissão para a queima de gás natural em caldeira industrial em condições brasileiras.

Emissões	(1) g/MJ	(2) kg/kg

CO_2	56,6000	2,08E+00
CO	0,0190	6,99E-04
NO_X	0,0860	3,16E-03
N_2O	0,0002	7,36E-06
SO_X	0.0051	1,89E-04
CH_4	0,0001	4,78E-06
MP	0,0014	5,15E-05
HC	0,0000	1,27E-06

FATORES DE EMISSÃO DE GASES POLUENTES PARA A QUEIMA DE BIODIESEL NA FORMA BX

Para os seguintes cálculos foram considerados os seguintes pesos moleculares e densidades:

Tabela A.1.9 Peso molecular e densidade do diesel e biodiesel

Componente	Formula/ Peso molecular g/mol	Densidade (kg/m3)
Diesel	$C_{16}H_{34}$ / 226,0	852,0
Biodiesel Metílico	$C_{19}H_{36}O_2$ / 296,0	884,8
Biodiesel Etílico	$C_{20}H_{32}O_2$ / 310,0	881,0

Fonte: Sheehan (1998)

Para o calculo dos fatores de emissão do BX, será usado com base os fatores de emissão do óleo diesel obtidos na Tabela A.1.4.

A mudança nas emissões de gases poluentes do diesel pelo uso de biodiesel foi estudada pela Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. EPA 2002. E apresenta as seguintes equações para calcular a mudança nas emissões pelo uso de biodiesel:

$$\%\ NO_X = \left(e^{(0{,}0009794 \times \%V\ Biodiesel - 1)}\right) \times 100 \ldots (1)$$

$$\%\ MP = \left(e^{(-0{,}006384 \times \%V\ Biodiesel - 1)}\right) \times 100 \ldots (2)$$

$$\%\ HC = \left(e^{(-0{,}011195 \times \%V\ Biodiesel - 1)}\right) \times 100 \ldots (3)$$

$$\%\ CO = \left(e^{(-0{,}006561 \times \%V\ Biodiesel - 1)}\right) \times 100 \ldots (4)$$

Sendo o CH_4 um hidrocarboneto podemos considerar a equação (3) para calcular a variação na emissão de CH_4, assim:

$$\%\ CH_4 = \left(e^{(-0{,}011195 \times \%V\ Biodiesel - 1)}\right) \times 100 \ldots (5)$$

Da mesma forma a emissão de N_2O pode ser calculado pela equação (1):

$$\%\ N_2O = \left(e^{(0{,}0009794 \times \%V\ Biodiesel - 1)}\right) \times 100 \ldots (1)$$

A emissão de CO_2 da mistura BX pode ser calculada considerando a emissão causada pelo teor médio de carbono da mistura e subtraindo o carbono contido nas emissões de CO e HC e CH_4. A emissão de SO_X é calculada por simples diluição fixando em 0,0 o teor de S no biodiesel.

Usando as equações (1), (2), (3) e (4), foram obtidos as mudanças nas emissões de NO_X, MP, HC, CO e CH_4 que são mostrados na Tabela A.1.10

Tabela A.1.10 Variação (%) nas emissões de gases poluentes respeito ao diesel quando usado o biodiesel

	Emissão				
BX	NO_X	PM	CO	HC	CH_4
B50	5,02	-27,3	-28,0	-42,9	-42,9
B20	2,0	-10,1	-11,0	-21,1	-21,1
B15	1,48	-9,1	-9,4	-15,5	-15,5
B10	0,98	-6,2	-6,4	-10,6	-10,6
B5	0,49	-3,1	-3,2	-5,4	-5,4
B100	10,29	-47,2	-48,1	-67,4	-67,4

Exemplo de calculo para as emissões de B5 Etílico:

O Biodiesel etílico de formula $C_{19}H_{36}O_2$ tem 77,42% de C, considerando os dados da tabela o teor de C no óleo diesel pode ser calculado assim:

$$\%C = 0{,}75 \times F_{CH_4} + 0{,}27 \times F_{CO_2} + 0{,}43 \times F_{CO} + 0{,}84 \times F_{HC_s}$$

Onde: F são os fatores de emissão da tabela, e cada coeficiente a porcentagem de carbono.

$$\%C = 0{,}75 \times 2{,}27 \times 10^{-4} + 0{,}27 \times 3{,}19 + 0{,}43 \times 6{,}98 \times 10^{-3} + 0{,}84 \times 5{,}81 \times 10^{-4}$$

$$\%C = 87{,}26$$

Considerando 1000L de uma mistura de 5% em volume deveria ter:

$$\%C = 0{,}8726 \times 809{,}4 + 0{,}7742 \times 44{,}1 = 86{,}75$$

$$\text{C em B5} = 0{,}8675 \frac{\text{kg de C}}{\text{kg de B5}}$$

Então o fator de emissão de CO2 em caso de combustão completa para a mistura B5 é:

$$F_{CO_2} = 0{,}8675 \times \frac{44}{12} = 3{,}181 \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{kg de B5}}$$

Mas em caso de uma combustão real onde existem emissões de CH_4, CO e HCs. O fator de emissão de CO_2 pode ser menor

Emissão de CO

$$CO = 6{,}98 \times 10^{-3} + \left(6{,}98 \times 10^{-3} \times \frac{-3{,}2}{100}\right) = 6{,}75 \times 10^{-3} \frac{\text{kg de CO}}{\text{kg de B5}}$$

$$\text{C em CO} = 0{,}43 \times 6{,}75 \times 10^{-3} = 2{,}89 \times 10^{-3} \frac{\text{kg de C}}{\text{kg de B5}}$$

Emissão de CH_4

$$CH_4 = 2{,}27 \times 10^{-4} + \left(2{,}27 \times 10^{-4} \times \frac{-5{,}4}{100}\right) = 2{,}15 \times 10^{-4} \frac{\text{kg de CO}}{\text{kg de B5}}$$

$$\text{C em } CH_4 = 0{,}75 \times 2{,}15 \times 10^{-4} = 1{,}61 \times 10^{-4} \frac{\text{kg de C}}{\text{kg de B5}}$$

Emissão de hidrocarbonetos

$$HC = 5{,}81 \times 10^{-4} + \left(5{,}81 \times 10^{-4} \times \frac{-5{,}4}{100}\right) = 5{,}49 \times 10^{-4} \frac{\text{kg de CO}}{\text{Kg de B5}}$$

$$\text{C em HC} = 0{,}84 \times 5{,}49 \times 10^{-4} = 4{,}62 \times 10^{-4} \frac{\text{kg de C}}{\text{kg de B5}}$$

Depois de saber a quantidade de carbono em cada emissão de CH_4, CO, e HC, é possível calcular a emissão de real de CO_2 na mistura B5:

$$\text{C em } CO_2 = 0{,}8675 - 2{,}89 \times 10^{-3} - 1{,}61 \times 10^{-4} - 4{,}62 \times 10^{-4} = 8{,}64 \times 10^{-1} \frac{\text{kg de C}}{\text{kg de B5}}$$

$$F_{CO_2} = 8{,}64 \times 10^{-1} \times \frac{44}{12} = 3{,}168 \frac{\text{kg de } CO_2}{\text{kg de B5}}$$

Emissão de NO_X

$$NO_X = 2{,}79 \times 10^{-2} + \left(2{,}79 \times 10^{-2} \times \frac{0{,}49}{100}\right) = 2{,}8 \times 10^{-2} \frac{\text{kg de } NO_X}{\text{kg de B5}}$$

Emissão de N_20

$$N_2O = 1{,}14 \times 10^{-2} + \left(2{,}79 \times 10^{-2} \times \frac{0{,}49}{100}\right) = 2{,}8 \times 10^{-2} \frac{\text{kg de } NO_X}{\text{kg de B5}}$$

Emissão de MP

$$MP = 4{,}65 \times 10^{-4} + \left(4{,}65 \times 10^{-4} \times \frac{-3{,}1}{100}\right) = 4{,}50 \times 10^{-4} \frac{\text{kg de } NO_X}{\text{kg de B5}}$$

Emissão de SO_X

O biodiesel não tem enxofre, por este motivo as emissões de SOX nas misturas de BX proveem unicamente do óleo diesel. Considerando 1000L de B5

$$F_{SO_X} = 1{,}0 \times 10^{-4} \times \frac{809{,}4}{853{,}5} = 9{,}48 \times 10^{-5} \frac{\text{kg de } SO_X}{\text{kg de B5}}$$

Da mesma forma se calcula os fatores de emissão para as misturas BX metílico e etílico

Tabela A.1.11 Balanço de Carbono para o cálculo do fator de emissão de CO_2 para a queima de BMS na forma BX

BX	(2) Kg CO_2/Kg	(3) Carbono kg/kg	(4) C na emissão kg/kg	(5) C Liquido kg/kg	(6) kg CO_2/kg
B5	3,180	0,867	3,36E-03	8,64E-01	3,167
B10	3,160	0,862	3,24E-03	8,59E-01	3,148
B15	3,141	0,857	3,12E-03	8,53E-01	3,129
B20	3,122	0,851	3,05E-03	8,48E-01	3,111
B50	3,008	0,820	2,43E-03	8,18E-01	2,999
B100	2,824	0,770	2,43E-03	7,68E-01	2,815

Os valores da coluna 2 na tabela 3 são calculados a partir de valor medio dos fatores de emissão se a combustão for completa. A coluna 4 representa o carbono total contido na emissão de CO, CH_4 e HCs para o caso de uma combustão real. A coluna 5 representa os valores de carbono liquido que formaram o CO_2. A coluna 6 representa os valores de fatores de emissão reias usados para este trabalho. Da mesma forma são calculados os fatores de emissão de CO_2 para o biodiesel etílico na forma BX, apresentados na seguinte tabela.

Tabela A.1.12 Balanço de Carbono para o cálculo do fator de emissão de CO_2 para a queima de BES na forma BX

BX	kg CO_2/kg	Carbono kg/kg	C emissão na kg/kg	C Liquido kg/kg	kg CO_2/kg
B5	3,180	0,867	3,36E-03	8,64E-01	3,168
B10	3,162	0,862	3,24E-03	8,59E-01	3,150
B15	3,143	0,857	3,12E-03	8,54E-01	3,132
B20	3,125	0,852	3,05E-03	8,49E-01	3,114
B50	3,016	0,822	2,43E-03	8,20E-01	3,007
B100	2,839	0,774	1,73E-03	7,72E-01	2,832

Finalmente com o uso da tabela são calculados todos os fatores de emissão de gases poluentes para a queima do biodiesel metílico e etílico na forma BX, estes valores encontra-se nas seguintes tabelas:

Tabela A.1.13. Fatores de emissão de gases poluentes para a queima de BMS na forma BX

Queima de BX (kg de gás poluente/ kg de BX)						
Emissões	B5	B10	B15	B20	B50	B100
CO_2	3,167E+00	3,148E+00	3,129E+00	3,111E+00	2,999E+00	2,815E+00
CO	6,752E-03	6,534E-03	6,323E-03	6,209E-03	5,026E-03	3,620E-03
NO_X	2,804E-02	2,818E-02	2,832E-02	2,847E-02	2,931E-02	3,078E-02
MP	4,505E-04	4,364E-04	4,226E-04	4,181E-04	3,380E-04	2,456E-04
SO2	9,504E-05	8,986E-05	8,471E-05	7,957E-05	4,917E-05	0,000E+00
CH_4	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
N_2O	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
HC	5,497E-04	5,198E-04	4,915E-04	4,587E-04	3,322E-04	2,111E-04

Tabela A.1.14 Fatores de emissão de gases poluentes para a queima de BES na forma BX

Queima de BX (Kg de gás poluente/ Kg de BX)						
Emissões	B5	B10	B15	B20	B50	B100
CO_2	3,168E+00	3,150E+00	3,132E+00	3,114E+00	3,007E+00	2,832E+00
CO	6,752E-03	6,534E-03	6,323E-03	6,209E-03	5,026E-03	3,620E-03
NO_X	2,804E-02	2,818E-02	2,832E-02	2,847E-02	2,931E-02	3,078E-02
MP	4,505E-04	4,364E-04	4,226E-04	4,181E-04	3,380E-04	2,456E-04
SO_2	9,506E-05	8,990E-05	8,477E-05	7,964E-05	4,928E-05	0,000E+00
CH_4	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
N_2O	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
HC	5,497E-04	5,198E-04	4,915E-04	4,587E-04	3,322E-04	2,111E-04

APÊNDICE A2 BALANÇO DE MASSA E ENERGIA PARA PRODUÇÃO DE METANOL

O balanço de massa e energia para a produção de metanol foi obtido com o uso do ASPEN, a composição do gás natural usada para este propósito é:

Tabela A.2.1 Composição do gás natural para a produção de metanol

Componente	Formula	% em mol	% em peso
Metano	CH_4	91,0	86,67
Etano	C_2H_6	6,50	7,35
Propano	C_3H_8	0,50	0,80
Dióxido de carbono	CO_2	0,50	1,31
Nitrogênio	N_2	1,50	3,85

Balanço de massa

Considerando como bases 1000 Kg de gás natural, foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela A.2.2 Resultados do balanço de massa para a produção de metanol

Produto e subproduto	Unidade (kg)	kg/ kg de gás natural
Metanol com 99,97% em peso	1648,89	1,6488
Dimetil Eter com 99,13% em peso	18,81	0,0188

Balanço de energia

Considerando como bases 1000 Kg de gás natural, foram obtidos os seguintes resultados:

Tabela A.2.3 Resultados do balanço de energia para a produção de metanol

Processo	MJ/ 1000 kg de GN
Requerimento de energia no reator de reforma do gás natural	18940,70
Energia térmica liberada no reator de metanol	-4110,32
Energia térmica requerida no reboiler da coluna de destilação do DME	1260,66
Energia térmica retirada do condensador da coluna de destilação do DME	-208,83
Energia térmica requerida no reboiler da coluna de destilação do metanol	3676,76
Energia térmica retirada do condensador da coluna de destilação do metanol	-4072,66

Tabela A.2.4 Composição da corrente de gás usada como combustível no reator de reforma

Componente	% Massa	kg/t GN	kg/t Metanol
Metano	51,49	162,31	106,38
Hidrogênio	29,70	93,62	61,36
Monóxido de carbono	0,33	1,05	0,69
Metanol	3,81	12,01	7,87
DME	0,85	2,67	1,75
Dióxido de carbono	1,10	3,47	2,27
Nitrogênio	12,43	39,19	25,68
Água	0,29	0,90	0,59
Total	100,00	315,22	206,59

Apenas o metano, hidrogênio, monóxido de carbono, metanol e DME são os combustíveis de esta corrente. O calor que pode fornecer a combustão desta corrente é calculado a partir dos calores de combustão seguintes:

$H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O$; $\Delta H_R^\circ = -2{,}418 \times 10^5$ kJ/Kmol

$CO + 1/2O_2 \rightarrow CO_2$; $\Delta H_R^\circ = -2{,}83 \times 10^5$ kJ/Kmol

$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$; $\Delta H_R^\circ = -8{,}026 \times 10^5$ kJ/Kmol

$CH_3OH + 3/2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$; $\Delta H_R^\circ = -6{,}382 \times 10^5$ kJ/Kmol

$C_2H_6O + 3O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$; $\Delta H_R^\circ = -13{,}284 \times 10^5$ kJ/Kmol

Considerando que 99% destes são queimados com 85% de eficiência, esta corrente de gás fornece 9989,67 MJ/t de metanol.

$$E_{GN} = E_{RR} - E_{CP}$$

Onde:

EGN: Energia fornecida pelo gás natural
ERR: Energia da reação de reforma catalítica
ECP: Energia fornecida pelas correntes de purga

$$E_{GN} = 18940{,}70\frac{MJ}{\text{t de GN}} \times \frac{1\text{t de GN}}{1{,}649\text{ t de MeOH}} - 9989{,}67\frac{MJ}{\text{t de MeOH}} = 1497{,}27\frac{MJ}{\text{t de MeOH}}$$

$$GN_1 = \frac{E_{GN}}{PCI_{GN}} = \frac{\left(1497{,}27\frac{MJ}{\text{t de MeOH}}\right)}{\left(36{,}784\frac{MJ}{kg}\right)} = 40{,}70\frac{Kg}{\text{t de MeOH}}$$

Vapor saturado produzido a 6,8atm no reator de metanol:

$$VS_{6,8atm} = \frac{\Delta H_R \times E_T}{H_V - H_L}$$

Onde:

ΔH_R: Calor de reação = 4110,32 MJ/t de GN
ET: Eficiência de transferência de calor = 0,85
H_V: Entalpia do vapor saturado a 6,8atm = 2762,16 kJ/kg
H_L: Entalpia da água a 25°C e 6,8atm = 104,83 kJ/kg

$$VS_{6,8atm} = \frac{4110,32\frac{MJ}{t\ de\ GN} \times \frac{1000KJ}{1MJ} \times 0,85}{2762,16\frac{kJ}{kg} - 104,83\frac{kJ}{kg}} = 1314,72\frac{kg}{t\ de\ GN}\ ou\ 797,37\frac{kg}{t\ de\ CH_3OH}$$

Demanda de vapor saturado a 6,8atm:

$$VS_{6,8atm} = \frac{QT_R}{E_T \times (H_V - H_L)}$$

Onde:
QT: Calor total requerido no reboiler das duas colunas = 4937,70 MJ/t de GN
ET: Eficiência de transferência de calor = 0,85
H_V: Entalpia do vapor saturado a 6,8atm = 2762,16 kJ/kg
H_L: Entalpia do liquido saturado a 6,8atm = 697,0 kJ/kg

$$VS_{6,8atm} = \frac{4937,70\frac{MJ}{t\ de\ GN} \times \frac{1000kJ}{1MJ}}{0,85 \times \left(2762,16\frac{kJ}{kg} - 697,00\frac{kJ}{kg}\right)} = 2812,89\frac{Kg}{t\ de\ GN}$$
$$ou\ 1705,93\ \frac{Kg}{t\ de\ CH_3OH}$$

Déficit de vapor saturado 6,8atm:

$$D_V = V_{Demandado} - V_{Produzido} = \frac{1705,93kg}{t\ de\ CH_3OH} - \frac{797,37g}{t\ de\ CH_3OH} = \frac{908,59\ Kg}{t\ de\ CH_3OH}$$

Este déficit de vapor terá que ser suprido por uma caldeira que usa gás natural:

$$GN_2 = \frac{D_V \times (H_V - H_L)}{E_T \times PCI_{GN}}$$

Onde:
PCI: Poder calórico inferior do GN = 8800 kcal/Kg = 36784,0 kJ/kg
ET: Eficiência de transferência de calor = 0,85
H_V: Entalpia do vapor saturado a 6,8atm = 2762,16 kJ/Kg

H_L: Entalpia do liquido a 50°C = 125,4 kJ/kg

$$GN_2 = \frac{\frac{908{,}59\ \text{kg}}{\text{t de } CH_3OH} \times \left(2762{,}16\frac{kJ}{kg} - 125{,}4\frac{kJ}{kg}\right)}{0{,}85 \times 36784{,}0\frac{kJ}{kg}} = 76{,}62\frac{\text{kg de GN}}{\text{t de } CH_3OH}$$

A quantidade total de gás natural usado como combustível será:

$$GN_{TOTAL} = GN_1 + GN_2 = 40{,}70\frac{kg}{\text{t de MeOH}} + 76{,}62\frac{\text{kg de GN}}{\text{t de } CH_3OH} =$$

Demanda de água de resfriamento para os condensadores:

$$W_{Condensador} = \frac{QT_C}{E_T \times C_P \times \Delta T}$$

Onde:

QT: Calor total removido no condensador das duas colunas = 4281,49 MJ/ton. de GN
ET: Eficiência de transferência de calor = 0,85
C_P: Capacidade calorífica da água = 4,18 KJ/Kg.°C
ΔT: Variação de temperatura da água de resfriamento = (50-20) =30°C

$$W_{Condensador} = \frac{4281{,}49\frac{MJ}{\text{t deGN}} \times \frac{1000kJ}{1MJ}}{0{,}85 \times 4{,}18\frac{kJ}{kg.°C} \times 30°C} = 40167{,}84\frac{kg}{\text{t de GN}} \text{ ou } 24360{,}52\ \frac{kg}{\text{t de } CH_3OH}$$

Tabela A.2.5. Consumo e geração de energia na produção de metanol

Processo	Valor/ t de GN	Valor/t de metanol
Energia elétrica na compressão do Gás Natural	817,24 MJ	495,63 MJ
Vapor saturado a 20atm no reator de reforma a vapor	5831,31 kg	3536,69 kg
Energia térmica no reator de reforma a vapor	18940,70 MJ	11486,94 MJ
Vapor saturado produzido a 20atm no BWF a 85% de eficiência térmica	4956,35 kg	3005,87 kg
Água de resfriamento no trocador de calor 1 com 85% de eficiência térmica	9100,00 kg	5519,15 kg
Energia elétrica na compressão do gás de síntese seco	853,28 MJ	517, 49 MJ
Energia elétrica na compressão do gás de recirculação	152,91 MJ	92,74 MJ
Vapor saturado produzido a 6,8atm no reator de metanol a 85% de eficiência térmica	1314,77 kg	797,37 kg
Água de resfriamento no trocador de calor 3 com 85% de eficiência térmica	29032,63 Kg	17608,29 kg

Consumo de vapor a 6,8atm no reboiler da coluna de destilação do DME	558,17 Kg	338,51 kg
Água de resfriamento no condensador da coluna de destilação do DME	1959,12 kg	1188,15 kg
Consumo de vapor a 6,8atm no reboiler da coluna de destilação do metanol	1627,79 Kg	980,20 kg
Água de resfriamento no condensador da coluna de destilação do metanol	38208,69 kg	23172,37 kg

Emissão de gases poluentes pela queima de gases de purga

A emissão de gases pela queima da corrente de purga é calculada assumindo que 99% desta corrente são queimados é o resto é liberado junto com os gases de combustão. A Tabela A.2.6 mostra os resultados obtidos:

Tabela A.2.6 Emissão de CO2 pela queima da corrente de purga

Componente	kg/t Metanol	kg queimado/t. Metanol	kg não queimado /t. Metanol	kg CO_2/t. Metanol
Metano	92,56	91,64	0,93	252,00
Hidrogênio	59,01	58,42	0,59	--------
Monóxido de carbono	0,69	0,69	0,01	1,08
Metanol	2,95	2,92	0,03	4,02
DME	3,37	3,34	0,03	3,19
Dióxido de carbono	3,02			3,02
Nitrogênio	1,64			
Água	0,16			
Total	163,41	157,00	1,59	263,31

Tabela A.2.7 Composição dos gases de combustão

Componente	kg/t Metanol
CO_2	263,31
CH_4	0,93
CO	0,01
Metanol	0,03
DME	0,03
H_2	0,59
N_2	1,64
Água	0,16
Total	266,70

APÊNDICE A3 BALANÇO DE MASSA E ENERGIA PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL ANIDRO

Base de produção: 1000 kg de cana produzida (colmo e palha)

Etapa de colheita

A quantidade de palha na base seca é de 140 kg/t de colmo com 15% de umidade

$$\text{Palha}_{\text{Base seca}} = \frac{1000\text{kg}}{1 + \frac{0{,}15}{0{,}75} + 0{,}14} = 120{,}20\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{umidade}} = \frac{0{,}15}{0{,}75} \times \text{Palha}_{\text{Base seca}} = \frac{0{,}15}{0{,}75} \times 120{,}2\text{kg} = 21{,}21\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Palha}_{\text{queimada}} = \text{Palha}_{\text{Base seca}} + \text{Água}_{\text{umidade}} = 120{,}2\text{kg} + 21{,}2\text{kg} = 141{,}4\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Colmo}_{\text{Sujo}} = 1000\text{kg} - 141{,}4\text{kg} = 858{,}59\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Lavagem da cana

A quantidade de água usada para a lavagem da cana é 2,2m3/ton. de cana lavada.

$$\text{Água}_{\text{Lavagem da cana}} = 2{,}2\frac{\text{m}^3}{\text{t}} \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} \times 856\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}} = 1{,}89\frac{\text{m}^3}{\text{t de cana}}$$

As impurezas são aproximadamente 1% da cana lavada:

$$\text{Impurezas}_{\text{cana}} = 0{,}01 \times 858{,}6\text{kg} = 8{,}59\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Colmo}_{\text{Limpo}} = \text{Colmo}_{\text{Sujo}} - \text{Impurezas}_{\text{cana}} = 850{,}00\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Composição do colmo limpo

Tabela A.3.1 Composição do colmo da cana de açúcar

Composição	%
Água	70,0
Fibra	14,0
Sacarose	15,0
AR	1,0

A quantidade total de açucares (sacarose e açucares redutores) contida no colmo limpo é calculada assim:

$$\text{Açucares}_{\text{Totais}} = 0{,}16 \times 850{,}0\text{kg} = 136{,}0\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

A perda de açúcar pela lavagem é em torno de 0,6%

$$\text{Perda}_{\text{açucares}} = 0{,}06 \times 130{,}0\text{kg} = 0{,}82\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Colmo final}_{\text{Moagem}} = 850{,}0\text{kg} - 0{,}82\text{kg} = 849{,}18\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Moagem

A quantidade de água usada para embebição é 30% da cana que entra nesta etapa.

$$\text{Água}_{\text{Embebição}} = 0{,}3 \times 849{,}2\text{kg} = 254{,}76\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Considerando que é recuperado 98% da fibra (bagaço) contida na cana com 50% de umidade, isto resulta:

$$\text{Bagaço}_{\text{Moagem}} = \%\text{Fibra} \times \text{Colmo}_{\text{Limpo}} \times 0{,}98$$

$$\text{Bagaço base seca}_{\text{Moagem}} = 0{,}14 \times 850{,}00\text{kg} \times 0{,}98 = 116{,}62\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Umidade}_{\text{Bagaço}} = 116{,}6\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Bagaço base umida}_{\text{Moagem}} = 116{,}6\text{kg} + 116{,}6\text{kg} = 233{,}24\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Caldo}_{\text{Moagem}} = \text{Colmo final}_{\text{Moagem}} + \text{Água}_{\text{Embebição}} - \text{Bagaço base umida}_{\text{Moagem}}$$

$$\text{Caldo}_{\text{Moagem}} = 849{,}18\text{Kg} + 254{,}76\text{kg} - 233{,}24\text{kg} = 870{,}70\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Composição do caldo da moagem. Segundo Macedo (2005), a eficiência de extração de açucares é 96,2%.

Sacarose

$$\text{Sacarose}_{\text{Caldo de moagem}} = 0{,}962 \times (\text{Sacarose}_{\text{Inical}} - \text{Perda}_{\text{Lavagem}})$$

$$\text{Sacarose}_{\text{Caldo de moagem}} = 0{,}962 \times (0{,}15 \times 850\text{kg} - 0{,}6 \times 0{,}15 \times 850\text{kg})$$

$$\text{Sacarose}_{\text{Caldo de moagem}} = 121{,}92\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Açucares redutores (Glicose)

$$\text{Glicose}_{\text{Caldo de moagem}} = 0{,}962 \times (\text{Sacarose}_{\text{Inical}} - \text{Perda}_{\text{Lavagem}})$$

$$\text{Glicose}_{\text{Caldo de moagem}} = 0{,}962 \times (0{,}01 \times 850\text{kg} - 0{,}6 \times 0{,}01 \times 850\text{kg}) = 8{,}13\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Fibra no caldo (como bagaçilho)

$$\text{Fibra}_{\text{Caldo de moagem}} = 0{,}14 \times 850{,}0\text{kg} - 116{,}6\text{kg} = 2{,}38\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Água no caldo

$$\text{Água}_{\text{Caldo de moagem}} = \text{Água}_{\text{inicial}} + \text{Água}_{\text{Embebição}} - \text{Água}_{\text{Bagaço}}$$

A umidade do bagaco retém sacarose e glicose, então:

$$\text{Sacarose}_{\text{Bagaço}} = \text{Sacarose}_{\text{Inicial}} - \text{Perda}_{\text{Lavagem}} - \text{Sacarose}_{\text{Caldo de moagem}}$$

$$\text{Sacarose}_{\text{Bagaço}} = 0{,}15 \times 850{,}0\text{Kg} - 0{,}6 \times 0{,}15 \times 850{,}0\text{Kg} - 121{,}92\text{Kg} = 4{,}82\frac{\text{Kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Glicose}_{\text{Bagaço}} = \text{Glicose}_{\text{Inicial}} - \text{Perda}_{\text{Lavagem}} - \text{Glicose}_{\text{Caldo de moagem}}$$

$$\text{Glicose}_{\text{Bagaço}} = 0{,}01 \times 850{,}0\text{kg} - 0{,}6 \times 0{,}01 \times 850{,}0\text{kg} - 8{,}13\text{kg} = 0{,}32\frac{\text{Kg}}{\text{t de cana}}$$

Então o teor de água no bagaço é

$$\text{Água}_{\text{Bagaço}} = \text{Umidade}_{\text{Bagaço}} - \text{Sacarose}_{\text{Bagaço}} - \text{Glicose}_{\text{Bagaço}} = 111{,}48\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Caldo de moagem}} = \text{Água}_{\text{inicial}} + \text{Água}_{\text{Embebição}} - \text{Água}_{\text{Bagaço}}$$

$$\text{Água}_{\text{Caldo de moagem}} = 0{,}7 \times 850{,}0\text{kg} + 254{,}8\text{kg} - 111{,}5\text{kg} = 738{,}27\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Filtração por peneira. A etapa de filtração por peneira é para remover o bagaçilho. Nesta etapa se considera a remoção total do bagaçilho formando uma torta com 80% de umidade.

$$\text{Torta}_{\text{Peneira}} = 100 \times \frac{\text{Bagaçilho}_{\text{Caldo}}}{100 - \%\text{Umidade}_{\text{Torta}}} = 100 \times \frac{2{,}38}{100 - 80} = 11{,}90\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Umidade}_{\text{Torta}} = 11{,}90\text{kg} - 2{,}38\text{kg} = 9{,}52\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Caldo}_{\text{Filtrado}} = 870{,}7\text{kg} - 11{,}90\text{kg} = 858{,}80\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Composição do caldo filtrado

Água

$$\text{Água}_{\text{Caldo filtrado}} = \text{Água}_{\text{Caldo de moagem}} - \text{Água}_{\text{Torta de peneira}}$$

A umidade na torta de peneira contem água, sacarose e glicose, então assumindo que o teor de sacarose e glicose tem a mesma proporção que a composição no caldo da extração, o resultado é:

$$\text{Sacarose}_{\text{torta de peneira}} = 0{,}14 \times 9{,}52\text{Kg} = 1{,}33\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Glicose}_{\text{torta de peneira}} = 0{,}093 \times 9{,}52\text{kg} = 0{,}089\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Torta de peneira}} = 9{,}52\text{kg} - 1{,}33\text{kg} - 0{,}089\text{kg} = 8{,}10\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Caldo filtrado}} = 738{,}27\text{kg} - 8{,}10\text{kg} = 730{,}17\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Sacarose

$$\text{Sacarose}_{\text{Caldo filtrado}} = \text{Sacarose}_{\text{Caldo de moagem}} - \text{Sacarose}_{\text{torta de peneira}}$$

$$\text{Sacarose}_{\text{Caldo filtrado}} = 121{,}92\text{kg} - 1{,}33\text{kg} = 120{,}59\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Glicose

$$\text{Glicose}_{\text{Caldo filtrado}} = \text{Glicose}_{\text{Caldo de moagem}} - \text{Glicose}_{\text{torta de peneira}}$$

$$\text{Glicose}_{\text{Caldo filtrado}} = 8{,}13\text{kg} - 0{,}089\text{kg} = 8{,}04\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Etapa de tratamento do caldo

Adição de solução de CaO. Considerando que é usado 300gr de CaO /ton. de caldo

$$\text{CaO}_{\text{Tratamento}} = 300\ \frac{\text{g}}{\text{t}} \times 858{,}80\ \text{Kg} \times \frac{1\ \text{t}}{1000\text{kg}} = 257{,}64\ \text{g} \cong 0{,}26\ \text{kg}$$

Preparo de CaO 15°Bé. % de CaO em solução de 15°Bé: 13,26

$$\text{Solução CaO}_{15°\text{Bé}} = 0{,}26\ \text{kg} \times \left(\frac{100}{13{,}26}\right) = 1{,}94\ \text{kg}$$

$$\text{Água}_{\text{Preparo 15°Be}} = 1{,}94\ \text{kg} - 0{,}26\ \text{kg} = 1{,}69\ \text{kg}$$

Diluição até 5°Bé. % de CaO em solução de 15°Bé: 4,43

$$\text{Solução CaO}_{5°\text{Bé}} = 0{,}26\ \text{kg} \times \left(\frac{100}{4{,}43}\right) = 5{,}82\ \text{kg}$$

$$\text{Água}_{\text{Diluição a °5Be}} = 5{,}82\ \text{Kg} - 1{,}94\ \text{Kg} = 3{,}87\ \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Total de preparação de CaO}} = 5{,}56\ \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Entrada ao sedimentador para clarificação. Depois da adição do CaO este é aquecido a 105°C junto com uma corrente de recirculação proveniente da filtração do lodo obtido na clarificação.

Adição de recirculação. Considerando que a recirculação é 20% da carga bruta

$$\text{Recirculação} = 0{,}20 \times 864{,}61\ \text{kg} = 172{,}92\ \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Adição de floculante

Preparo de floculante 0,1% (1gr/L). A dose de floculante é 3ppm (3gr./m^3 de caldo). Considerando a densidade do caldo 1,05gr/cm^3, o caldo resultante (caldo filtrado + solução de CaO + recirculação) resulta aproximadamente 0,98m^3.

$$\text{Floculante} = 3 \times (0{,}98\text{m}^3) = 2{,}98\ \text{gr} \cong 0{,}003\ \text{kg}$$

$$\text{Solução de 1gr/L} = 2{,}98\ \text{gr}/(1\text{gr/L}) = 2{,}98\ \text{L}$$

$$\text{Água}_{\text{preparo de floculante}} = 2{,}98\ \text{kg} - 0{,}003 = 2{,}96\ \text{kg}$$

Diluição do floculante a 0,2 gr/L

$$\text{Polimero}_{0{,}2\ \text{gr/L}} = 2{,}98\ \text{gr}/(0{,}2\text{gr/L}) = 14{,}83\ \text{L}$$

$$\text{Água}_{\text{Diluição 0,2gr/L}} = 14{,}83\ \text{Kg} - 2{,}96\ \text{Kg} - 0{,}003\ \text{Kg} = 11{,}86\ \text{kg}$$

$$\text{Entrada total}_{\text{polimero}} = 2{,}96\ \text{Kg} + 11{,}86\ \text{Kg} + 0{,}003\ \text{Kg} = 14{,}83\ \text{kg}$$

Entrada total ao clarificador

$$\text{Caldo total}_{\text{Clarificador}} = \text{Caldo}_{\text{Filtrado}} + \text{Solução CaO}_{5°\text{Bé}} + \text{Recirculação} + \text{Polimero}_{0{,}2\ \text{gr/L}}$$

$$\text{Caldo total}_{\text{Clarificador}} = 1052{,}37643{,}87\ \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Etapa de clarificação do caldo e filtração do lodo

Nesta etapa de clarificação é obtido o caldo clarificado e o lodo, este lodo é logo filtrado formando uma torta e um caldo recuperado que retorna ao processo como recirculação.

Balanço de massa no clarificador

$$\text{Caldo total}_{\text{Clarificador}} = \text{Caldo}_{\text{Clarificado}} + \text{Lodo}$$

Balanço de massa na filtração

$$\text{Lodo} + \text{Água}_{\text{Lavagem}} = \text{Caldo}_{\text{Recuperado}} + \text{Torta}_{\text{Lodo}}$$

$$\text{Caldo}_{\text{Recuperado}} = \text{Recirculação} = 172{,}92\ 643{,}87\ \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

A quantidade de torta produzida com 75% de umidade é de 40 Kg/ ton. de cana moída (colmo limpo lavado).

$$\text{Torta}_{\text{Lodo}} = 40 \times (849{,}18\,\text{Kg}/1000) = 33{,}97\,643{,}87\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

A quantidade de água de lavagem usada é a mesma quantidade da torta produzida.

$$\text{Lodo} + 33{,}97\,\text{Kg} = 172{,}92\,\text{Kg} + 33{,}97\,\text{Kg} = 172{,}92\,\text{Kg}$$

$$\text{Caldo}_{\text{Clarificado}} = 1052{,}37\text{Kg} - 172{,}92\text{Kg} = 879{,}44643{,}87\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Composição do caldo clarificado

Sacarose e glicose. Os teores de sacarose e glicose no caldo clarificado são calculados pelas seguintes equações:

$$\text{Sacarose}_{\text{Caldo clarificado}} = \text{Sacarose}_{\text{Caldo filtrado}} - \text{Sacarose}_{\text{Torta lodo}}$$

$$\text{Glicose}_{\text{Caldo clarificado}} = \text{Glicose}_{\text{Caldo filtrado}} - \text{Glicose}_{\text{Torta lodo}}$$

A torta obtida pela filtração de lodo contem sacarose e glicose retida na sua umidade, considerando que a relação glicose/sacarose na umidade desta torta é a mesma que no caldo filtrado por peneira e o teor de sacarose na torta em 1% em peso.

$$\text{Sacarose}_{\text{Torta de lodo}} = 0{,}01 \times 33{,}97\text{Kg} = 0{,}34643{,}87\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Glicose}_{\text{Torta de lodo}} = \left(\frac{\text{Glicose}}{\text{Sacarose}}\right)_{\text{Caldo Filtrado}} \times \text{Sacarose}_{\text{Torta de lodo}}$$

$$\text{Glicose}_{\text{Torta de lodo}} = \left(\frac{8{,}04}{12{,}59}\right)_{\text{Caldo Filtrado}} \times 0{,}34\text{Kg} = 0{,}023643{,}87\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Sacarose}_{\text{Caldo clarificado}} = 120{,}59\text{Kg} - 0{,}34\text{Kg} = 120{,}25643{,}87\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Glicose}_{\text{Caldo clarificado}} = 8{,}04\text{Kg} - 0{,}023\text{Kg} = 8{,}02643{,}87\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Água no caldo clarificado

$$\text{Água}_{\text{Caldo clarificado}} = 879{,}44\text{Kg} - 120{,}25\text{Kg} - 8{,}02\text{Kg} = 751{,}18643{,}87\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Concentração do caldo. O caldo é concentrado ate 20 Brix por evaporação em um efeito. O vapor gerado nesta etapa é utilizado em outras etapas do processo.

Balanço de massa

$$\text{Caldo}_{\text{Concentrado 20°Brix}} = \text{Caldo}_{\text{Clarificado}} \times \frac{\text{Brix}_{\text{Caldo clarificado}}}{\text{Brix}_{\text{Caldo concentrado}}}$$

$$\text{Caldo}_{\text{Concentrado 20°Brix}} = 879{,}44\text{kg} \times \frac{14{,}58}{20{,}00} = 641{,}31\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Vapor}_{\text{Vegetal gerado}} = 879{,}44\text{kg} - 641{,}31\text{kg} = 238{,}13\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Composição do caldo concentrado

Tabela A.3.2 Composição do caldo concentrado

Componente	Kg
Água	513,05
Sacarose	120,25
AR	8,02
Nutrientes	0,0 Kg
Total	641,31
%Sacarose	18,75
% AR	1,25
Brix	20,00
Densidade	1,083

O volume do caldo concentrado a 20°Brix é: 641,31kg/1,083kg/L=592,23 L.

Etapa de fermentação

Adição de nutrientes para a preparação do mosto

Tabela A.3.3 Composição de nutrientes adicionados ao mosto de fermentação

Componente	gr/L de caldo	Kg
$(NH_4)_2SO_4$	3,20	1,90
KH_2PO_4	0,68	0,40
$CaCl_2$	0,028	0,02
MgSO4.7H2O	0,39	0,23
NaCl	0,008	0,005
CoCl2.6H2O	0,0002	0,0001
ZnSO4.7H2O	0,003	0,0018
CuSO4.5H2O	0,001	0,0006
FeSO4.7H2O	0,002	0,0012
Total		2,55

$$\text{Total}_{\text{Mosto preparado}} = \text{Caldo}_{\text{Concentrado 20°Brix}} + \text{Nutrientes} = 643{,}87\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Balanço de materiais no sistema de fermentação: A Figura A.3.1 esquematiza o balanço de massa desenvolvido neste trabalho para a etapa de fermentação.

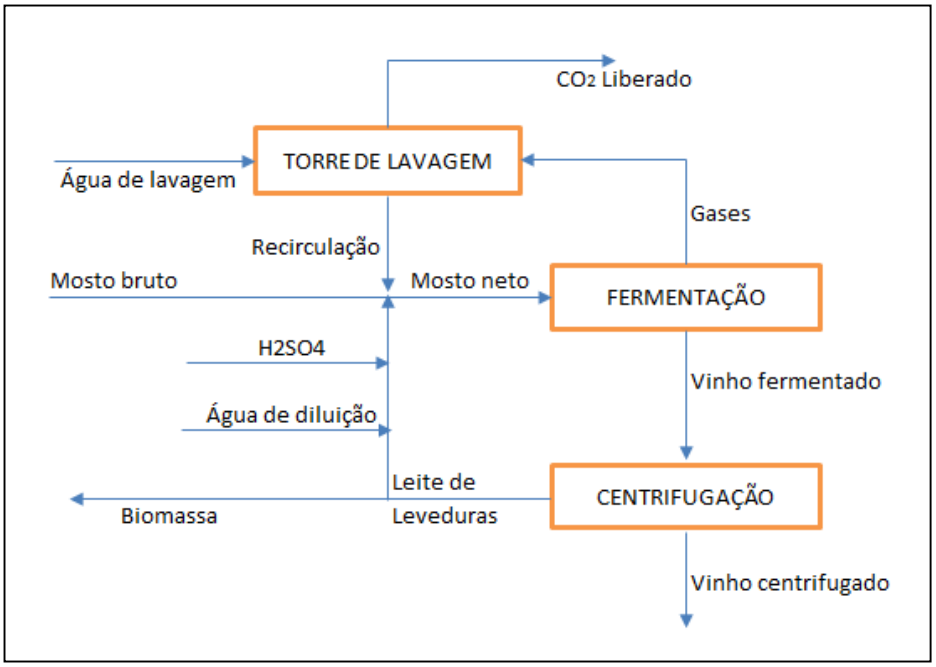


Figura A.3.1 Fluxograma da etapa de fermentação do mosto

Produção do etanol. Na fermentação a sacarose é hidrolisada formando glicose e frutose:

$$\text{Hidrolise: Sacarose } (C_{12}H_{22}O_{11}) + H_2O \rightarrow \text{Glicose } (C_6H_{12}C_6) + \text{Frutose } (C_6H_{12}C_6)$$

$$\text{Glicose}_{\text{Hidrólise}} = \text{Sacarose}_{\text{Caldo clarificado}} \times \left(\frac{180}{342}\right) = 120{,}25\text{ kg} \times \left(\frac{180}{342}\right) = 63{,}29\text{ kg}$$

$$\text{Frutose}_{\text{Hidrólise}} = \text{Sacarose}_{\text{Caldo clarificado}} \times \left(\frac{180}{342}\right) = 120{,}25\text{ kg} \times \left(\frac{180}{342}\right) = 63{,}29\text{ kg}$$

$$\text{AR}_{\text{Totais}} = \text{Glicose}_{\text{Hidrólise}} + \text{Frutose}_{\text{Hidrólise}} + \text{Glicose}_{\text{Caldo clarificado}}$$

$$\text{AR}_{\text{Totais}}(C_6H_{12}O_6) = 63{,}29\text{kg} + 63{,}29\text{kg} + 8{,}02\text{kg} = 134{,}59\,\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Os açucares hidrolisados da sacarose e os açúcares redutores contidos no caldo (glicose) são convertidos a etanol. Considerando 90% de eficiência nesta conversão:

$$\text{Fermentação: } C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CO_2 + 2CH_2CH_3OH$$

$$\text{Etanol}_{\text{Produzido 1}} = 134{,}59\text{ kg} \times 0{,}9 \times \left(\frac{92}{180}\right) = 61{,}91\text{ kg}$$

$$CO_{2\ \text{Produzido 1}} = 134{,}59\text{ kg} \times 0{,}9 \times \left(\frac{88}{180}\right) = 59{,}22\text{ kg}$$

Açucares não convertidos formam outros componentes como glicerol, acido succinico, óleo fusel, etc. a seguinte tabela mostra a distribuição destes componentes formandos sem considerar a recirculação de leite de leveduras, recirculação da água da torre de lavagem de CO_2.

Tabela A.3.4 Composição do mosto de fermentado

Componente	% em massa	kg/t de cana
Etanol	46,0	61,91
Gás Carbônico	44,0	59,22
Glicerol	5,0	6,73
Acido Succinico	1,2	1,62
Acido Acético	1,0	1,35
Óleo Fusel	0,6	0,81
Butilenglicol	0,6	0,81
Biomassa seca	1,6	2,15
Total	100,0	134,59

Torre de lavagem de CO_2. A torre de lavagem de CO_2 é usada para recuperar o etanol evaporado usando água. A quantidade de etanol arrastado pelo CO_2 corresponde a 1% do etanol produzido, esta corrente de CO_2 arrasta também água na mesma quantidade que o etanol. A água de lavagem que sai da torre de lavagem é recirculada para a preparação do mosto ou para as cubas de fermentação.

$$\text{Etanol}_{\text{Gases}} = 0{,}01 \times 61{,}91\text{kg} = 0{,}62\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Gases}} = 0{,}62\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Total}_{\text{Gases}} = 0{,}62\text{kg} + 0{,}62\text{kg} + 59{,}22\text{Kg} = 60{,}46\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Vinho fermentado

$$\text{Mosto}_{\text{Neto}} = \text{Vinho}_{\text{Fermentado}} + \text{Total}_{\text{Gases}}$$

$$\text{Mosto}_{\text{Neto}} = \text{Mosto}_{\text{Bruto}} + \text{Pé}_{\text{de cuba adicionado}}$$

O pé de cuba é preparado usando as leveduras recuperadas durante a centrifugação chamadas de fermento, depois esta é diluída com água e logo é adicionado acido sulfúrico ate alcançar um valor de pH entre 2-3. O H_2SO_4 é aplicado em 0,72Kg/ton. de cana.

$$\text{Pé}_{\text{de cuba}} = \text{Fermento} + \text{Água}_{\text{Diluiçao}} + H_2SO_4$$

$$\text{Água}_{\text{Diluiçao}} = \text{Fermento}$$

$$H_2SO_4 = 0{,}72\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Mosto}_{\text{Bruto}} = \text{Total}_{\text{Mosto preparado}} = 643{,}87\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Depois de preparar o pé de cuba, uma parte deste é enviada ao fermentador, e a quantidade usada de pé de cuba está em função do teor de biomassa desejado no fermentador no final da fermentação. Podemos considerar que o pé de cuba adicionado é 25% do mosto neto total.

$$\text{Pé}_{\text{de cuba}} = 0{,}25 \times \text{Mosto}_{\text{Neto}}$$

$$\text{Pé}_{\text{de cuba}} = 0{,}25 \times (\text{Mosto}_{\text{Bruto}} + \text{Pé}_{\text{de cuba}})$$

$$\text{Pé}_{\text{de cuba}} = 0{,}25 \times (634{,}87\text{kg} + \text{Pé}_{\text{de cuba}})$$

$$\text{Pé}_{\text{de cuba}} = \frac{0{,}25 \times 634{,}87\text{kg}}{0{,}75} = 214{,}62\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Mosto}_{\text{Neto}} = \frac{214{,}62\text{kg}}{0{,}25} = 858{,}49\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Vinho}_{\text{Fermentado}} = \text{Mosto}_{\text{Neto}} - \text{Total}_{\text{Gases}} = 798{,}03\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Balanço de biomassa no pé de cuba:

$$\text{Pé}_{\text{de cuba}} = \text{Fermento} + \text{Água}_{\text{Diluiçao}} + H_2SO_4$$

$$\text{Pé}_{\text{de cuba}} = 2 \times \text{Fermento} + H_2SO_4$$

$$\text{Fermento} = \frac{\text{Pé}_{\text{de cuba}} - H_2SO_4}{2} = \frac{214{,}62\text{kg} - 0{,}72\text{kg}}{2} = 106{,}95\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Balanço de biomassa em base úmida no fermentador

$$\%\text{Biomassa}_{\text{pé de cuba}} \times \text{Pé}_{\text{de cuba}} + \text{Biomassa}_{\text{Gerada}} = \%\text{Biomassa}_{\text{Final}} \times \text{Vinho}_{\text{Fermentado}}$$

A quantidade de biomassa gerada é 2,15kg em base seca, considerando 75% de umidade, a quantidade de biomassa gerada em base úmida será:

$$\text{Biomassa}_{\text{Gerada}} = \frac{2{,}15\text{kg}}{1 - 0{,}75} = 8{,}61\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Considerando que o %biomassa final no fermentador é 9%, então:

$$\%\text{Biomassa}_{\text{pé de cuba}} \times 214{,}62\text{kg} + 8{,}61\text{kg} = 9{,}0 \times 798{,}03\text{kg}$$

$$\%\text{Biomassa}_{\text{pé de cuba}} = 29{,}45\%$$

$$\%\text{Biomassa}_{\text{Fermento}} = \frac{29{,}45 \times 214{,}62}{106{,}95} = 59{,}1\%$$

A corrente de leite de leveduras separadas do fermentador se divide em duas correntes; a primeira é recirculada ao processo para a preparação do pé de cuba, e a outra é retirada do sistema para evitar acumulação. A quantidade de leveduras retiradas do fermentador é a mesma quantidade de leveduras geradas, por balanço de massa:

$$\text{Leveduras}_{\text{Separadas}} = \text{Fermento} + \text{Leveduras}_{\text{retiradas}}$$

$$\text{Leveduras}_{\text{retiradas}} = \text{Biomassa}_{\text{Gerada}}$$

$$\text{Leveduras}_{\text{retiradas}} = \frac{8{,}61\text{Kg} \times 100}{59{,}1} = 14{,}57\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Leveduras}_{\text{Separadas}} = 106{,}95\text{Kg} + 14{,}57\text{Kg} = 121{,}53\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Vinho}_{\text{Fermentado}} = \text{Leveduras}_{\text{Separadas}} + \text{Vinho}_{\text{Centrifugado}} = 676{,}51\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Balanço de etanol no fermentador

$$\text{Etanol}_{\text{pé de cuba}} + \text{Etanol}_{\text{Gerado}} = \text{Etanol}_{\text{Evaporado}} + \text{Etanol}_{\text{Vinho Fermentado}}$$

Para a diluição do leite de leveduras separadas é usada água de saída da torre de lavagem de gases de fermentação. Esta água de lavagem contém etanol recuperado por volatilização do fermentador.

$$\text{Etanol}_{\text{pé de cuba}} = \text{Etanol}_{\text{Água de diluição}} + \text{Etanol}_{\text{Fermento}}$$

A água de lavagem corresponde a $3{,}6\text{m}^3/\text{m}^3$ de etanol produzido:

$$\text{Água}_{\text{Lavagem}} = 3{,}6\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3\text{de etanol}} \times 61{,}91\text{kg} \times \frac{\text{m}^3\text{ de etanol}}{792\text{ g}} = 0{,}281\text{m}^3 \cong 281{,}42\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Recirculação} = 282{,}42\text{Kg} + 0{,}62\text{Kg} = 282{,}04\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\%\,\text{Etanol}_{\text{Recirculação}} = 0{,}22\%$$

$$\text{Água}_{\text{Diluiçao}} = 106{,}95\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Etanol}_{\text{Água de diluição}} = 0{,}22\% \times 106{,}95\text{Kg} = 0{,}23\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$0{,}23\text{Kg} + 61{,}91\text{Kg} = 0{,}62\text{Kg} + \text{Etanol}_{\text{Levedura retirada}} + \text{Etanol}_{\text{Vinho centrifugado}}$$

$$\text{Etanol}_{\text{Vinho centrifugado}} = 61{,}53\text{Kg} - \text{Etanol}_{\text{Levedura retirada}}$$

Assumindo que o grau alcoólico do vinho fermentado é 10°, então:

$$\text{Grau Alcoólico}_{\text{Vinho Fermentado}} = 100 \times \frac{V_{\text{Etanol}}}{V_{\text{Vinho Fermentado}}} = 10$$

$$\text{Seja} = V_{\text{Vinho Fermentado}}(L) \cong 798{,}03kg$$

$$V_{\text{Etanol}} = \frac{798{,}03L \times 10}{100} = 79{,}80L$$

$$\text{Etanol total}_{\text{Vinho fermentado}} = 79{,}80L \times 0{,}789\frac{kg}{L} = 62{,}96\frac{kg}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Etanol}_{\text{Água de diluição}} + \text{Etanol}_{\text{Fermento}} + \text{Etanol}_{\text{Gerado}} = \text{Etanol}_{\text{Evaporado}} + \text{Etanol}_{\text{Vinho Fermentado}}$$

$$0{,}23kg + \text{Etanol}_{\text{Fermento}} + 61{,}91kg = 0{,}62kg + 62{,}96kg$$

$$\text{Etanol}_{\text{Fermento}} = 1{,}44kg; \%\text{Etanol}_{\text{Fermento}} = 1{,}34$$

$$\text{Etanol}_{\text{Levedura separada}} = 1{,}34\% \times 121{,}53kg = 1{,}63kg$$

$$\text{Etanol}_{\text{Vinho centrifugado}} = \text{Etanol}_{\text{Vinho Fermentado}} - \text{Etanol}_{\text{Levedura separada}} = 61{,}33kg$$

Destilação. Nesta etapa é gerado como subproduto o álcool de segunda, em 0,1kg por litro de etanol.

$$\text{Produto}_{\text{cabeça}} = 0{,}1 \times \frac{61{,}33kg}{0{,}789\,{}^{kg}/_{L}} = 7{,}77\frac{kg}{\text{t de cana}}$$

O grau alcoólico deste produto de cabeça é 12% (ajustado para uma eficiência de 99,6% na destilação de acordo com Macedo (2005)):

$$\text{Etanol}_{\text{Produto de cabeça}} = 0{,}12 \times 7{,}77\frac{kg}{\text{t de cana}} \times \frac{0{,}789kg}{L} = 0{,}74\frac{Kg}{\text{t de cana}}$$

Considerando que a vinhaça não arrasta etanol:

$$\text{Etanol}_{\text{Flegma}} = \text{Etanol}_{\text{Vinho centrifugado}} - \text{Etanol}_{\text{Produto de cabeça}} = 60{,}60\frac{Kg}{\text{t de cana}}$$

O grau alcoólico da flegma obtido nesta destilação é 45%

$$\text{Água}_{\text{Flegma}} = \frac{61{,}33}{0{,}789} \times \frac{100}{45} - \frac{61{,}33}{0{,}789} = 93{,}87\frac{kg}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Total}_{\text{Flegma}} = 93{,}87Kg + 60{,}60Kg = 154{,}46\frac{kg}{\text{t de cana}}$$

De acordo com ANA (2008), o vapor utilizado corresponde a 2,5Kg/L de etanol na alimentação:

$$\text{Vapor}_{\text{Destilação}} = 2{,}5\frac{\text{kg de vapor}}{\text{L EtOH}} \times 77{,}73\frac{\text{L EtOH}}{\text{t de cana}} = 194{,}33\frac{\text{kg EtOH}}{\text{t de cana}}$$

Fazendo balanço de materiais na columa de destilação:

$$\text{Vinhaça}_{\text{Destilação}} = \text{Vinho}_{\text{Centrifugado}} + \text{Vapor}_{\text{Destilação}} - \text{Total}_{\text{Flegma}} - \text{Produto}_{\text{cabeça}}$$

$$\text{Vinhaça}_{\text{Destilação}} = 708{,}60 \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Retificação. Na retificação a flegma é concentrada ate 96%V em etanol (etanol hidratado), como subproduto é gerado o óleo fusel em 0,81Kg por tonelada de cana. Este óleo fusel tem 4,52%V de etanol.

$$\text{Etanol}_{\text{Óleo fusel}} = 0{,}0452 \times 0{,}81\text{kg} = 0{,}04 \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Etanol}_{\text{Etanol 96\%}} = 60{,}60\text{Kg} - 0{,}04\text{kg} = 60{,}56 \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Etanol 96\%}} = \frac{60{,}56}{0{,}789} \times \frac{100}{96} - \frac{60{,}56}{0{,}789} = 3{,}20 \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Total}_{\text{Etanol 96\%}} = 60{,}56\text{kg} + 3{,}20\text{kg} = 63{,}76 \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

De acordo com ANA (2008), o vapor utilizado corresponde a 1,0Kg/L de etanol.

$$\text{Vapor}_{\text{Rectificação}} = 1{,}0 \frac{\text{Kg de vapor}}{\text{L EtOH}} \times 76{,}80 \frac{\text{L EtOH}}{\text{t de cana}} = 76{,}80 \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Fazendo balanço de materiais na columa de destilação:

$$\text{Flegmaça}_{\text{Destilação}} = \text{Total}_{\text{Flegma}} + \text{Vapor}_{\text{Rectificação}} - \text{Total}_{\text{Etanol 96\%}} - \text{Óleo fusel}$$

$$\text{Flegmaça}_{\text{Rectificação}} = 166{,}70 \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Destilação azeotrópica. Nesta etapa o etanol hidratado é purificado ate 99,3%V. considerando 100% de recuperação de etanol nesta etapa:

$$\text{Etanol}_{\text{Etanol 99,3\%}} = 60{,}56 \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Etanol 99,3\%}} = \frac{60{,}56}{0{,}789} \times \frac{100}{99{,}3} - \frac{60{,}56}{0{,}789} = 0{,}54 \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Total}_{\text{Etanol 99,3\%}} = 61{,}10 \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}} \approx 77{,}30 \frac{\text{L}}{\text{t de cana}} \approx 91 \frac{\text{L}}{\text{t de cana moida}}$$

Consumo de água

Água de resfriamento. Água de resfriamento é necessária para resfriar os mancais e óleo do sistema de moenda; resfriamento do mosto e resfriamento do fermentador.

$$\text{Água}_{\text{Resfriamento mancais}} = \frac{0{,}035\text{m}^3}{\text{t de cana moida}} \times 849{,}18 \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} = 29{,}72\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Óleo}} = \frac{0{,}130\text{m}^3}{\text{t de cana moida}} \times 849{,}18 \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} = 110{,}39\frac{\text{Kg}}{\text{t de cana}}$$

Para o resfriamento do mosto foi considerado que o mosto é resfriado desde 70°C ate 30°C e o ΔT da água de resfriamento é 17°C. Cp mosto=0,88 cal/gr.°C

$$\text{Água}_{\text{Resfriamento mosto}} = \frac{641{,}31\text{kg}}{\text{t de cana}} \times 0{,}88\frac{\text{Cal}}{\text{gr.°C}} \times \frac{(75-30)°\text{C}}{(45-28)°\text{C}} = 1493{,}88\frac{\text{Kg}}{\text{t de cana}}$$

A quantidade de água utilizada para o condensador barométrico do filtro rotativo é aproximadamente 276 Kg/ton. de cana moída.

$$\text{Água}_{\text{condensador barometrico}} = \frac{276\text{ Kg}}{\text{t de cana moida}} \times \frac{849{,}18\text{Kg}}{\text{t de cana}} \times \frac{1\text{ton}}{1000\text{kg}} = \frac{234{,}35\text{ Kg}}{\text{t de cana}}$$

Para o resfriamento do fermentador foi considerado que a água de resfriamento tem ΔT=4°C

$$Q_{\text{Fermentador}} = \text{Água}_{\text{Resfriamento fermentador}} \times Cp_{\text{água}} \times \Delta T$$

Sendo os calores de reação de hidrolise da sacarose e glicose 7,0 e 23,5 kcal/mol respectivamente e o calor de fermentação 54 kcal/mol. O calor total da fermentação é 20033 kcal.

$$\text{Água}_{\text{Resfriamento fermentador}} = \frac{Q_{\text{Fermentador}}}{Cp_{\text{água}} \times \Delta T} = \frac{20033\text{ kcal}}{1{,}00\frac{\text{kcal}}{\text{kg.°C}} \times 4°\text{C}} = 5008\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

A quantidade de água de resfriamento dos condensadores para o sistema de destilação é aproximadamente 137 kg/L de etanol anidro.

$$\text{Água}_{\text{Resfriamento condensador}} = \frac{137\text{ Kg}}{\text{L Etanol anidro}} \times \frac{77{,}30\text{ L}}{\text{t de cana}} = 10568\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Total resfriamento}} = \frac{17444\text{ kg}}{\text{t de cana}}$$

Água de processo

$$\text{Água}_{\text{Lavagem da cana}} = 1{,}89\frac{\text{m}^3}{\text{t de cana}} = 1889\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Embebição}} = 254{,}76\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Total de preparação de CaO}} = 5{,}56\ \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Balanço do sistema de geração de vapor. A energia necessária para a obtenção do etanol é fornecida pelo vapor gerado pela queima do bagaço.

Queima do bagaço**.** O bagaço total gerado é 233,24 Kg/ton. de cana. O PCI do bagaço úmido é 8000 KJ/Kg

$$\text{Energia}_{\text{Bagaço}} = 233{,}24\text{Kg} \times 8000\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1\,865\,920\ \frac{\text{kJ}}{\text{t de cana}}$$

Geração de vapor**.** O vapor total utilizado é 586 Kg /t de cana. O vapor superaquecido gerado diretamente na caldeira é usado para o funcionamento dos equipamentos mecânicos do processo, na saída destes equipamentos este vapor chamado vapor de escape é dessuperaquecido com água fria. A quantidade de água fria pode ser calculada como 0,028Kg/Kg de vapor saturado.

$$\text{Água}_{\text{Dessuperaquecimento}} = 0{,}028\text{Kg} \times 586{,}02\ \text{Kg} = 16{,}59\ \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Vapor}_{\text{Superaquecimento}} = 586{,}02\ \text{Kg} - 16{,}59 = 569{,}43\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

Considerando que o vapor superaquecido é gerado a 21bar de pressão Hv=3022,2KJ/Kg e o condensado retorna ao sistema de geração de vapor a 60°C HL= 146,55KJ/Kg

$$\text{Eficiencia}_{\text{Caldeira}} = 100 \times \frac{569{,}43\text{kg} \times (3022{,}2\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 146{,}55\frac{\text{kJ}}{\text{kg}})}{1\,865\,920\ \text{KJ}} = 87{,}8\%$$

Consumo de água. O sistema de geração de vapor utiliza água para a lavagem dos gases de combustão, lavagem dos cinzeiros, resfriamento do óleo do turbogerador, e água para dessuperaquecimento.

$$\text{Água}_{\text{Lavagem de cinzeiros}} = 0{,}5\frac{\text{m}^3}{\text{t de vapor}} \times 569{,}43\text{Kg} \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} = 284{,}72\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Lavagem de gases}} = 2\frac{\text{m}^3}{\text{t de vapor}} \times 569{,}43\text{kg} \times \frac{1\text{t}}{1000\text{kg}} = 1138{,}86\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Resfriamento turbogerador}} = \frac{0{,}319\ \text{m}^3}{\text{t de cana moida}} \times \frac{849{,}18\ \text{kg de cana moida}}{\text{t de cana}} \times \frac{1000\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Água}_{\text{Resfriamento turbogerador}} = 207{,}89\frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Dessuperaquecimento}} = 16{,}59\ \frac{\text{kg}}{\text{t de cana}}$$

$$\text{Água}_{\text{Total}} = 1711{,}06\ \frac{\text{Kg}}{\text{ton. de cana}}$$

APÊNDICE A4 BALANÇO DE MASSA E ENERGIA PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

ROTA METÍLICA

PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE SOJA

Balanço de massa.

Para os cálculos de balanço de massa foi escolhido como base 1000 kg de grão de soja colhidos em lavoura e chegam ate a usina.

Recebimento dos grãos de soja na usina**.** Segundo Sheehan (1998), as perdas como, resíduos e finos no recebimento dos grãos de soja é aproximadamente 0,787%.

$$\text{Perdas}_{\text{Recibimento}} = 7{,}87\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Total Soja}_{\text{Procesada}} = 1000\text{Kg} - 7{,}87\text{Kg} = 992{,}13\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

A Tabela 4.1.1 mostra a composição da soja que foi usada para os cálculos deste balanço de massa.

Tabela A.4.1 composição do grão da soja

Componente	%
Óleo	19,0
Fibra	66,0
Casca	2,0
Água (umidade)	13,0
Total	100,0

Fonte: Sheehan (1998)

Secagem dos Grãos. Segundo Sheehan (1998), na etapa de secagem é removida 34,4% da umidade nos grãos de soja.

$$\text{Umidade}_{\text{Removida}} = 0{,}34 \times (0{,}13 \times \text{Total Soja}_{\text{Procesada}})$$

$$\text{Umidade}_{\text{Removida}} = 0{,}34 \times \left(0{,}13 \times 992{,}13\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}\right) = 44{,}34\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Total Soja}_{\text{Seca}} = 947{,}80\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Moagem. Depois da secagem os grãos de soja passam por duas etapas de moagem, removendo totalmente as casas. Nenhuma outra perda de massa é considerada nesta etapa.

$$\text{Perda}_{\text{Cascas}} = 0{,}02 \times \text{Total Soja}_{\text{Procesada}} = 19{,}84 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Total Soja}_{\text{Descascada}} = \text{Total Soja}_{\text{Seca}} - \text{Perda}_{\text{Cascas}} = 927{,}95 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Condicionamento por aquecimento a 60°C. Para facilitar os cálculos foi considerado que as cascas não retêm umidade nem óleo depois da sua separação. De acordo com Sheehan, (1998) nesta etapa é removido 14,29% da umidade ainda contida nos grãos.

$$\text{Umidade}_{\text{Graos secos}} = 0{,}13 \times \text{Total Soja}_{\text{Procesada}} - \text{Umidade}_{\text{Removida}} = 84{,}64 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Umidade}_{\text{Removida Condicionamento}} = 0{,}1429 \times 84{,}64 = 12{,}09 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Total Soja}_{\text{Condicionada}} = \text{Total Soja}_{\text{Descascada}} - \text{Umidade}_{\text{Removida Condicionamento}}$$

$$\text{Total Soja}_{\text{Condicionada}} = 927{,}95\text{Kg} - 12{,}09\text{Kg} = 915{,}86 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Laminação e expansão. Nestas etapas os fluxos de massa são constantes.

$$\text{Total Soja}_{\text{Flaked}} = \text{Total Soja}_{\text{Condicionada}} = 915{,}86 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Extração do óleo de soja. Segundo Sheehan (1998), a quantidade de solvente usado é 1,2 vezes a quantidade de "*Flaked Beans*".

$$\text{Solvente}_{\text{Extração}} = 1{,}2 \times \text{Total Soja}_{\text{Flaked}} = 1099{,}04 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Depois da extração é obtida a fase miscela composto pelo solvente e óleo, e o farelo.

Composição do Farelo. O farelo está composto por fibra, água, solvente e óleo. 50% do solvente adicionado se retém na miscela e o outro 50% no farelo. Segundo Sheehan o teor de óleo no farelo pode ser 0,5%.

Solvente no farelo

$$\text{Solvente}_{\text{Farelo}} = 0{,}5 \times \text{Solvente}_{\text{Extração}} = 0{,}5 \times 1099{,}04\text{Kg} = 549{,}52 \frac{\text{kg de Solvente}}{\text{t de soja}}$$

Água no farelo

$$\text{Umidade}_{\text{Farelo}} = \text{Umidade}_{\text{Graos secos}} - \text{Umidade}_{\text{Removida Condicionamento}}$$

$$\text{Umidade}_{\text{Farelo}} = 84{,}64 - 12{,}09 = 72{,}55 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Fibra no farelo

$$\text{Fibra}_{\text{Farelo}} = 0{,}66 \times \text{Total Soja}_{\text{Procesada}} = 0{,}66 \times 992{,}13\text{Kg} = 654{,}81 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Óleo no farelo

$$\text{Óleo}_{\text{Farelo}} = \frac{0{,}5 \times (\text{Solvente}_{\text{Farelo}} + \text{Umidade}_{\text{Farelo}} + \text{Fibra}_{\text{Farelo}})}{100 - 0{,}5}$$

$$\text{Óleo}_{\text{Farelo}} = \frac{0{,}5 \times (549{,}52\text{Kg} + 72{,}55\text{Kg} + 654{,}81\text{Kg})}{100 - 0{,}5} = 6{,}42 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Total}_{\text{Farelo}} = \text{Solvente}_{\text{Farelo}} + \text{Umidade}_{\text{Farelo}} + \text{Fibra}_{\text{Farelo}} + \text{Óleo}_{\text{Farelo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Farelo}} = 1283{,}29 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Composição da miscela

Solvente na miscela

$$\text{Solvente}_{\text{Miscela}} = 0{,}5 \times 1099{,}04\text{Kg} = 549{,}52 \frac{\text{kg de Solvente}}{\text{t de soja}}$$

Total miscela

$$\text{Total}_{\text{Miscela}} = 915{,}86\text{Kg} + 1099{,}04\text{Kg} - 1283{,}29\text{Kg} = 731{,}61 \frac{\text{kg de Miscela}}{\text{t de soja}}$$

Óleo na miscela

$$\text{Óleo}_{\text{Miscela}} = 731{,}61\text{Kg} - 549{,}52\text{Kg} = 182{,}09 \frac{\text{kg de Óleo}}{\text{t de soja}}$$

Dessolventização do Farelo**.** O farelo separado é dessolventizado para recuperar o solvente e retorna-lo ao processo. O teor de hexano no farelo final é 400ppm (Sheehan,1998). As quantidades de água, óleo e fibra são constantes, variando somente o teor de solvente.

$$\text{Solvente}_{\text{Farelo dessolventizado}} = \frac{(\text{Umidade}_{\text{Farelo}} + \text{Fibra}_{\text{Farelo}} + \text{Óleo}_{\text{Farelo}}) \times 400}{1000000 - 400}$$

$$\text{Solvente}_{\text{Farelo dessolventizado}} = \frac{(72{,}55\text{Kg} + 654{,}81\text{Kg} + 6{,}42\text{Kg}) \times 400}{1000000 - 400}$$

$$\text{Solvente}_{\text{Farelo dessolventizado}} = 0{,}29 \frac{\text{kg de Solvente}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Total}_{\text{Farelo dessolventizado}} = \text{Solvente}_{\text{Farelo dessolventizado}} + \text{Umidade}_{\text{Farelo}} + \text{Fibra}_{\text{Farelo}} + \text{Óleo}_{\text{Farelo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Farelo dessolventizado}} = 734{,}07 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

A miscela é depois introduzida num sistema de recuperação de solvente que consiste dois evaporadores e um Stripper. É considerado 100% de recuperação do óleo.

$$\text{Óleo}_{\text{Extraido}} = \text{Óleo}_{\text{Miscela}} = 182{,}09 \frac{\text{kg de Óleo}}{\text{t de soja}}$$

Reposição do solvente. Uma corrente de solvente deve ser adicionada para repor as perdas por volatilização e as perdas pelo solvente retido no farelo. Segundo Sheehan, 1998 a reposição é 0,0024 vezes a quantidade de Flaked beans.

$$\text{Solvente}_{\text{Reposição}} = 0{,}0024 \times \text{Total Soja}_{\text{Flaked}} = 2{,}20 \frac{\text{kg de Solvente}}{\text{t de soja}}$$

Perda de solvente por volatilização

$$\text{Perda}_{\text{Volatilização}} = \text{Solvente}_{\text{Reposição}} - \text{Solvente}_{\text{Farelo dessolventizado}} 1{,}90 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Degomagem do óleo extraído. A degomagem é feito com água quente. A degomagem tem como objetivo remover as gomas hidratáveis.

$$\text{Água}_{\text{Degomagem}} = 0{,}02 \times \text{Óleo}_{\text{Extraido}} = 0{,}02 \times 182{,}09\text{Kg} = 3{,}64 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de soja}}$$

A composição do óleo bruto extraído encontra-se na Tabela A 4.1.2

Tabela A.4.2 composição do óleo de soja bruto

Componente	%	kg/t de soja
Triglicerídeos	96,0	174,81
Gomas hidratáveis	1,8	3,28
Gomas não hidratáveis	0,2	0,36
Insaponificáveis	1,5	2,73
Ácidos graxos	0,5	0,91
Total	100,0	182,09

Separação das gomas hidratáveis. Depois da adição de água quente, as gomas hidratáveis são separadas por centrifugação. Considera-se que 100% das gomas são removidas, 1% das gomas não hidratáveis, 0,5% dos triglicerídeos, ácidos graxos e insaponificáveis do óleo bruto fica retido nas gomas separadas e 1% da água adicionada fica retido no óleo.

Composição das gomas separadas

Gomas não hidratáveis e hidratáveis

$$\text{Gomas não hidratáveis}_{\text{ Gomas separadas}} = 0{,}01 \times 0{,}36\text{Kg} = 0{,}0036\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Gomas hidratáveis}_{\text{ Gomas separadas}} = 3{,}28\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Água. 85,3% da água adicionada para degomagem fica nas gomas (valor ajustado para obter 0,3% de umidade no óleo degomado, Dorsa (2004).

$$\text{Água}_{\text{ Gomas separadas}} = 0{,}853 \times \text{Água}_{\text{ Degomagem}} = 0{,}853 \times 3{,}64\text{Kg} = 3{,}11\frac{\text{kg de Água}}{\text{t de soja}}$$

Triglicerídeos

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{ Gomas separadas}} = 0{,}005 \times 174{,}81\text{Kg} = 0{,}87\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Ácidos graxos

$$\text{FFA}_{\text{ Gomas separadas}} = 0{,}005 \times 0{,}91\text{Kg} = 0{,}0046\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Insaponificáveis

$$\text{Insaponificáveis}_{\text{ Gomas separadas}} = 0{,}005 \times 2{,}73\text{Kg} = 0{,}0137\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Gomas}_{\text{ Separadas}} = 7{,}28\frac{\text{Kg}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Total}_{\text{ Óleo degomado}} = \text{Óleo}_{\text{ Extraido}} + \text{Água}_{\text{ Degomagem}} - \text{Gomas}_{\text{ Separadas}} = 178{,}45\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Composição do óleo degomado

Triglicerídeos no óleo degomado

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{ Óleo degomado}} = 174{,}81\text{Kg} - \text{Triglicerídeos}_{\text{ Gomas separadas}}$$

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{ Óleo degomado}} = 174{,}81\text{Kg} - 0{,}87\text{Kg} = 173{,}93\frac{\text{Kg}}{\text{t de soja}}$$

Gomas não hidratáveis no óleo degomado

$$\text{Gomas não hidratáveis}_{\text{ Óleo degomado}} = 0{,}364\text{kg} - \text{Gomas não hidratáveis}_{\text{ Gomas separadas}}$$

$$\text{Gomas não hidratáveis}_{\text{Óleo degomado}} = 0{,}364\text{kg} - 0{,}0036\text{kg} = 0{,}36\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Insaponificáveis no óleo degomado

$$\text{Insaponificáveis}_{\text{Óleo degomado}} = 2{,}73\text{Kg} - \text{Insaponificáveis}_{\text{Gomas separadas}}$$

$$\text{Insaponificáveis}_{\text{Óleo degomado}} = 2{,}73\text{kg} - 0{,}0137\text{kg} = 2{,}72\frac{\text{Kg}}{\text{t de soja}}$$

Ácidos graxos no óleo degomado

$$\text{FFA}_{\text{Óleo degomado}} = 0{,}91\text{Kg} - \text{FFA}_{\text{Gomas separadas}} 0{,}91\text{Kg} - 0{,}0046\text{Kg} \cong 0{,}91\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Água no óleo degomado

$$\text{Água}_{\text{Óleo degomado}} = \text{Água}_{\text{Degomagem}} - \text{Água}_{\text{Gomas separadas}} = 0{,}535\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Umidade} = 100 \times \frac{0{,}54\text{Kg}}{178{,}45\text{Kg}} = 0{,}3\%$$

Secagem do óleo degomado. Considera-se que 90% da umidade é removida pela secagem a vácuo.

$$\text{Umidade}_{\text{Removida}} = 0{,}9 \times \text{Água}_{\text{Óleo degomado}} = 0{,}9 \times 0{,}535\text{Kg} = 0{,}509\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Total óleo degomado seco

$$\text{Total}_{\text{Óleo degomado seco}} = \text{Total}_{\text{Óleo degomado}} - \text{Umidade}_{\text{Removida}} = 177{,}94\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Total}_{\text{Óleo degomado seco}} = 177{,}95\text{Kg} - 0{,}509\text{Kg} = 177{,}94\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Composição do óleo degomado seco Depois da secagem, a quantidade de todos componentes não variam com a exceção da umidade.

$$\text{Umidade}_{\text{Óleo degomado seco}} = \text{Água}_{\text{Óleo degomado}} - \text{Umidade}_{\text{Removida}} = 0{,}027\frac{\text{kg}}{\text{t de soja}}$$

Tabela A.4.3 composição do óleo de soja degomado

Componente	kg/t de soja	%
Triglicerídeos	173,93	97,75
Gomas não hidratáveis	0,36	0,20
Gomas hidratáveis	0,0	0,00
Insaponificáveis	2,72	1,53
Ácidos graxos	0,91	0,51
Água	0,027	0,015
Total	177,94	100,00

Consumo de energia térmica

Secagem dos grãos de soja. Sheehan (1998) considera o uso 266 275 Kcal/ton. de soja como gás natural para esta etapa.

$$Q_1 = 266\,275 \frac{\text{kcal}}{\text{t de soja}} \times 4{,}18 \frac{\text{kJ}}{\text{kcal}} = 1\,113\,030 \frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}$$

Condicionamento a 60°C. Sheehan (1998) considera o uso 41 431 Kcal/ton. de soja como vapor saturado a 11,4 bar para esta etapa.

$$Q_2 = 41\,431 \frac{\text{kcal}}{\text{t de soja}} \times 4{,}18 \frac{\text{kJ}}{\text{kcal}} = 173\,182 \frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}$$

Recuperação do óleo na miscela. Sheehan (1998) considera duas etapas de evaporação e um Stripper para a recuperação do óleo nesta etapa. O uso de energia na forma de vapor é 20 814 kcal/t de soja.

$$Q_3 = 20\,814 \frac{\text{kcal}}{\text{t de soja}} \times 4{,}18 \frac{\text{kJ}}{\text{kcal}} = 87\,003 \frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}$$

Processamento do farelo. Esta etapa inclui a dessolventização e secagem do farelo. O consumo de energia nesta etapa segundo Sheehan (1998) é 133 074 kcal/t de soja.

$$Q_4 = 133\,074 \frac{\text{kcal}}{\text{t de soja}} \times 4{,}18 \frac{\text{kJ}}{\text{kcal}} = 556\,249 \frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}$$

Degomagem do óleo. Depois da recuperação do óleo, este é armazenado pronto para a degomagem. O óleo é aquecido ate 90°C e misturado com água a 90°C. O consumo de energia está no aquecimento do óleo e a água para degomagem. Considera-se que o óleo armazenado se encontra a 50°C.

$$\text{Aquecimento}_{\text{óleo}} = \frac{\text{Cp}_{\text{óleo}} \times \Delta T \times \text{Óleo}_{\text{Extraido}}}{\eta}$$

$$\text{Aquecimento}_{\text{óleo}} = \frac{1{,}86\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg.}\,°\text{C}} \times (40°\text{C}) \times 182{,}09\,\frac{\text{kg de óleo}}{\text{t de soja}}}{0{,}9} = 15\,061\,\frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Aquecimento}_{\text{Água}} = \frac{\text{Cp}_{\text{Água}} \times \Delta\text{T} \times \text{Água}_{\text{Lavagem}}}{\eta}$$

$$\text{Aquecimento}_{\text{Água}} = \frac{4{,}18\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg.}\,°\text{C}} \times (90 - 25)°\text{C} \times 3{,}64\,\frac{\text{kg de óleo}}{\text{t de soja}}}{0{,}9} = 1099{,}4\,\frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}$$

$$Q_5 = 15\,061\text{kJ} + 1099{,}4\text{kJ} = 16\,160\,\frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}$$

Secagem do óleo degomado**.** Depois da degomagem, o óleo é aquecido até 110°C. O consumo de energia nesta etapa está no aquecimento do óleo e a geração de vácuo. Segundo Sheehan (1998) o consumo de vapor para a geração de vácuo na etapa de secagem é 546,12kcal/t de óleo.

$$\text{Aquecimento}_{\text{óleo}} = \frac{\text{Cp}_{\text{óleo}} \times \Delta\text{T} \times \text{Total}_{\text{Óleo degomado}}}{\eta}$$

$$\text{Aquecimento}_{\text{óleo}} = \frac{1{,}86\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg.}\,°\text{C}} \times (110 - 90)°\text{C} \times 178{,}45\text{kg}}{0{,}9} = 7379{,}9\,\frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}$$

$$\text{Vapor}_{\text{Vacuo}} = 546{,}12\,\frac{\text{kcal}}{\text{t de óleo}} \times 4{,}18\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg.}\,°\text{C}} \times 0{,}178\,\frac{\text{t de óleo}}{\text{t de soja}} = 406{,}2\,\frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}$$

$$Q_6 = 7\,379{,}9\text{kJ} + 406{,}2\text{kJ} = 7786{,}1\,\frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}$$

Tratamento de efluentes. O consumo de energia nesta etapa segundo Sheehan (1998) é 133 074 kcal/t de soja.

$$Q_7 = 8798\,\frac{\text{kcal}}{\text{t de soja}} \times 4{,}18\,\frac{\text{kJ}}{\text{kcal}} = 36776\,\frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}$$

Tabela A.4.4 Consumo de energia térmica por etapa

Etapa	kJ/t de soja	kJ/t de óleo
Q1	1.113.030	6.255.823
Q2	173.182	973.373
Q3	87.003	489.001
Q4	556.249	3.126.014
Q5	16.160	90.817
Q6	7.765	43.757

Q7	36. 776	206. 672
Q Total	1.990.185	11.184.454

Q1 corresponde à energia na forma de gás natural, o restante corresponde na forma de vapor saturado a 11,4bar.

$$\text{Energia}_{\text{Vapor}} = Q_{\text{Total}} - Q_1 = 877\,155 \frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}} = 4\,929\,443 \frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo}}$$

Consumo de água. O cosumo de água é dividido em três tipos de consumo: 1) consumo direto de água de processo; 2) consumo de água para geração de vapor e 3) cosumo de água de resfriamento.

Consumo direto de água de processo**.** Com base nos cálculos de balanço de materiais, a seguinte tabela mostra o cosumo de água de processo.

Tabela A.4.5 Consumo de água

Consumo de água de processo		
Etapa	kg/t de soja	kg/ t de óleo
Água para degomagem	3,64	20,47

Consumo de água para a geração de vapor. Segundo Sheehan (1998), para a extração de óleo de soja pode ser considerado o uso de vapor saturado a 11,4 bar com 475,1Kcal/Kg (1985,92KJ/Kg) de entalpia de condensação.

$$\text{Água}_{\text{Geração de vapor}} = \frac{\text{Consumo de energia termica total } (\frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo}})}{1985{,}92\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\text{Água}_{\text{Geração de vapor}} = \frac{4\,929\,968\ (\frac{\text{kJ}}{\text{t de B100}})}{1985{,}92\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 2482 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Consumo de água de condensação e resfriamento

Condensação do solvente. De acordo com o balanço apresentado por Sheehan (1998), são condensados 0,591Kg de solvente/Kg. de soja.

$$Q_{\text{Removido}} = \lambda_{\text{vap.ciclohexano}} \times 591 \frac{\text{kg ciclohexano}}{\text{t de soja}}$$

$$Q_{\text{Removido}} = 390 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 591 \frac{\text{kg ciclohexano}}{\text{t de soja}} = 230\,544 \frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}$$

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{Q_{\text{Removido}}}{\eta \times Cp_{\text{Água}} \times \Delta T}$$

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{230\,544 \frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}}{0{,}9 \times 4{,}18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times 50°\text{C}} = 2043 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}} = 11480 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Resfriamento do óleo seco. Depois da etapa de secagem o óleo seco se encontra a 110°C e tem que ser resfriado ate 60°C para a etapa de transesterificação.

$$Q_{\text{Removido}} = 177{,}94 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}} \times 1{,}86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times 50°\text{C} = 16\,558 \frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}$$

Água de resfriamento entra a 20°C e sai a 50°C, ΔT=30°C e a eficiência de troca de calor é 90%.

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{16\,558 \frac{\text{kJ}}{\text{t de soja}}}{0{,}9 \times 4{,}18 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg.°C}} \times 30°\text{C}}$$

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = 146{,}71 \frac{\text{kg}}{\text{t de soja}} \times \frac{1}{0{,}178} = 824{,}5 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

$$F_{\text{Água de resfriamento total}} = 11480 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}} + 824{,}5 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}} = 12304 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

PRODUÇÃO DE BIODIESEL METÍLICO

Balanço de Massa

A composição do óleo de soja usado para a produção de biodiesel foi calculada no apêndice anterior. A Tabela A.4.6 mostra esta composição:

Tabela A.4.6 A composição do óleo de soja

Composição	% Em massa
Gomas não hidratáveis	0,20
Insaponificáveis	1,53
Ácidos graxos	0,51
Triglicerídeos	97,75
Água	0,015
Total	100,00

Etapa de pré-tratamento do óleo

Adição de solução de NaOH 20%. Partindo de 1t de óleo, é adicionado uma solução a 20% em NaOH com 15% de excesso para a neutralização do ácidos graxos. é usada a seguinte formula:

$$\text{NaOH} = 1{,}15 \times \%\text{FFA} \times 1000\text{kg} \times \frac{PM_{\text{NaOH}}}{PM_{\text{FFA}}} = 0{,}83 \frac{\text{kg de NaOH}}{\text{t de óleo}}$$

Onde:

%FFA: teor de ácidos graxos no óleo de soja
PM $_{NaOH}$: Peso molecular do NaOH
PM $_{FFA}$: Peso molecular do FFA

$$NaOH = 1{,}15 \times 0{,}51 \times \frac{1000kg}{100} \times \frac{40}{282} = 0{,}83 \frac{kg\ de\ NaOH}{t\ de\ óleo}$$

A quantidade de água para preparar uma solução a 20% em NaOH é:

$$Água = 0{,}83 \frac{kg\ de\ NaOH}{t\ de\ óleo} \times \frac{100}{20} - 0{,}83 \frac{kg\ de\ NaOH}{t\ de\ óleo} = 3{,}32 \frac{kg\ de\ Água}{t\ de\ óleo}$$

$$Solução\ 20\% = 0{,}83 \frac{kg\ de\ NaOH}{t\ de\ óleo} + 3{,}32 \frac{kg\ de\ Água}{t\ de\ óleo} = 4{,}15\ \frac{kg\ de\ Solução}{t\ de\ óleo}$$

Neutralização dos ácidos graxos**.** Considerando 99,8% de eficiência, para a remoção dos ácidos graxos. Nesta reação de saponificação são formados água e sabão.

Ácidos graxos iniciais

$$FFA_{Inicial} = 1000kg \times \%FFA = 1000 \times \frac{0{,}51}{100} = 5{,}09 \frac{kg\ de\ FFA}{t\ de\ óleo}$$

$$FFA_{Final} = 5{,}09 \frac{kg\ de\ FFA}{t\ de\ óleo} - 0{,}998 \times 5{,}09 \frac{kg\ de\ FFA}{t\ de\ óleo} = 0{,}01 \frac{kg\ de\ FFA}{t\ de\ óleo}$$

$$FFA_{Consumido} = 5{,}09 \frac{kg\ de\ FFA}{t\ de\ óleo} - 0{,}01 \frac{kg\ de\ FFA}{t\ de\ óleo} = 5{,}08 \frac{kg\ de\ FFA}{t\ de\ óleo}$$

$$NaOH_{Consumido} = FFA_{Consumido} \times \frac{PM_{NaOH}}{PM_{FFA}} = 0{,}72 \frac{kg\ de\ NaOH}{t\ de\ óleo}$$

$$NaOH_{Exceso} = 0{,}83 \frac{kg\ de\ NaOH}{t\ de\ óleo} - 0{,}72 \frac{kg\ de\ FFA}{t\ de\ óleo} = 0{,}11 \frac{kg\ de\ NaOH}{t\ de\ óleo}$$

$$Água_{Formada} = FFA_{Consumido} \times \frac{18}{282} = 5{,}08 \frac{kg\ de\ FFA}{t\ de\ óleo} \times \frac{18}{282} = 0{,}32 \frac{kg\ de\ Água}{t\ de\ óleo}$$

$$Sabão_{Formado} = FFA_{Consumido} \times \frac{304}{282} = 5{,}08 \frac{kg\ de\ FFA}{t\ de\ óleo} \times \frac{304}{282} = 5{,}48 \frac{kg\ de\ Água}{t\ de\ óleo}$$

Centrifugação para a separação da borra formada**.** Na separação será considerado que o óleo neutro tem como máximo 600ppm de sabão, contem todo o acido graxo não reagido e que a recuperação de triglicerídeos é 98,5%, a borra separada contem todo o excesso de NaOH, insaponificáveis, gomas e água formada.

Composição do óleo neutro centrifugado

Triglicerídeos no óleo neutro centrifugado

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{óleo neutro}} = 977{,}46 \times \frac{1000\text{kg}}{100} \times 0{,}985 = 962{,}80 \frac{\text{kg de triglicerídeo}}{\text{t de óleo}}$$

Ácidos graxos no óleo neutro centrifugado

$$\text{FFA}_{\text{óleo neutro}} = \text{FFA}_{\text{Final}} = 0{,}01 \frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

Sabão no óleo neutro centrifugado

$$\text{Sabão}_{\text{óleo neutro}} = \frac{(\text{Triglicerídeos}_{\text{óleo neutro}} + \text{FFA}_{\text{óleo neutro}}) \times 600}{1000000 - 600}$$

$$\text{Sabão}_{\text{óleo neutro}} = \frac{(962{,}80 + 0{,}01) \times 600}{1000000 - 600} = 0{,}58 \frac{\text{kg de Sabão}}{\text{t de óleo}}$$

Total óleo neutro

$$\text{Total}_{\text{óleo neutro}} = \text{Triglicerídeos}_{\text{óleo neutro}} + \text{FFA}_{\text{óleo neutro}} + \text{Sabão}_{\text{óleo neutro}}$$

$$\text{Total}_{\text{óleo neutro}} = 962{,}75\text{Kg} + 0{,}01\text{Kg} + 0{,}58\text{Kg} = 963{,}39 \frac{\text{kg de óleo neutro}}{\text{t de óleo}}$$

Composição da borra

$$\text{Borra} = \text{Óleo cru} + \text{solução NaOH} - \text{óleo neutro} = 40{,}82\text{Kg}$$

Gomas na borra

$$\text{Gomas}_{\text{Borra}} = \%\text{Gomas} \times 1000\text{kg} = 0{,}203 \times \frac{1000\text{kg}}{100} = 2{,}03 \frac{\text{kg de Gomas}}{\text{t de óleo}}$$

Insaponificáveis na borra

$$\text{Insaponificáveis}_{\text{Borra}} = \%\text{Insaponificáveis} \times 1000\text{kg} = 1000\text{kg} \times \frac{1{,}53}{100} = 15{,}27 \frac{\text{Kg}}{\text{t de óleo}}$$

Água na borra

$$\text{Água}_{\text{Borra}} = \text{Água}_{\text{Inicial}} + \text{Água}_{\text{Solução NaOH}} + \text{Água}_{\text{Formada}}$$

$$\text{Água}_{\text{Borra}} = 1000\text{kg} \times \frac{0{,}015}{100} + 3{,}32\text{kg} + 0{,}32\text{kg} = 3{,}80 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

NaOH na borra

$$\text{NaOH}_{\text{Borra}} = \text{NaOH}_{\text{Excesso}} = 0{,}11 \frac{\text{kg de NaOH}}{\text{t de óleo}}$$

Sabão na borra

$$\text{Sabão}_{\text{Borra}} = \text{Sabão}_{\text{Formado}} - \text{Sabão}_{\text{óleo neutro}} = 4{,}90 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Triglicerídeos na borra

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Borra}} = \text{Triglicerídeos}_{\text{Inicial}} - \text{Triglicerídeos}_{\text{óleo neutro}} = 14{,}66 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Lavagem do óleo neutro. Foi assumido que na primeira lavagem o teor de sabão baixa ate 100ppm e na lavagem 2 ate 50ppm.

Primeira lavagem. Água de primeira lavagem: 10% volume do óleo neutro. Densidade do óleo: 920 kg/m^3

$$\text{Água}_{\text{Lavagem 1}} = 0{,}1 \times \text{Total}_{\text{Óleo neutro}} 0{,}1 \times 1047{,}16 \frac{\text{L de óleo neutro}}{\text{t de óleo}} = 104{,}72 \frac{\text{kg}}{\text{ton.de óleo}}$$

Composição do óleo neutro da primeira lavagem**.** Para este calculo assumiu-se que 99,5% dos triglicerídeos são recuperados na lavagem, 2% da água de lavagem é absorvida pelo óleo e o teor de sabões é 100ppm.

Triglicerídeos no óleo resultante da primeira lavagem

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Óleo lavado 1}} = 0{,}995 \times \text{Triglicerídeos}_{\text{óleo neutro}} = 957{,}98 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Água no óleo resultante da primeira lavagem

$$\text{Água}_{\text{Óleo lavado 1}} = 0{,}02 \times \text{Água}_{\text{Lavagem 1}} = 2{,}09 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Ácidos graxos no óleo resultante da primeira lavagem

$$\text{FFA}_{\text{Óleo lavado 1}} = \text{FFA}_{\text{óleo neutro}} = 0{,}01 \frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

Sabão no óleo resultante da primeira lavagem

$$\text{Sabão}_{\text{óleo lvado 1}} = \frac{\left(\text{Triglicerídeos}_{\text{óleo lavado 1}} + \text{Água}_{\text{Óleo lavado 1}} + \text{FFA}_{\text{óleo lavado 1}}\right) \times 100}{1000000 - 100}$$

$$\text{Sabão}_{\text{óleo lavado 1}} = \frac{(957{,}93 + 0{,}96 + 0{,}01) \times 100}{1000000 - 100} = 0{,}10 \frac{\text{kg de Sabão}}{\text{t de óleo}}$$

Total óleo resultante da primeira lavagem

$$\text{Total}_{\text{óleo lavado 1}} = 957{,}98\text{Kg} + 2{,}09\text{Kg} + 0{,}01\text{Kg} + 0{,}10\text{Kg} = 960{,}18 \frac{\text{kg de óleo lavado 1}}{\text{t de óleo}}$$

Efluente da primeira lavagem separada

$$\text{Efluente de lavagen}_{\text{Separada 1}} = \text{Total}_{\text{óleo neutro}} + \text{Água}_{\text{Lavagem 1}} - \text{Total}_{\text{óleo lavado 1}}$$

$$\text{Efluente de lavagen}_{\text{Separada}} = 963{,}39\text{kg} + 104{,}72\text{kg} - 960{,}18\text{kg} = 107{,}92\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Segunda Lavagem. 5% volume do óleo neutro.

Água da segunda lavagem

$$\text{Água}_{\text{Lavagem 2}} = 0{,}05 \times \text{Total}_{\text{Óleo lavado 1}} = 52{,}18\frac{\text{kg Água}_{\text{Lavagem 2}}}{\text{t de óleo}}$$

Composição do óleo neutro da segunda lavagem. Para este cálculo considerou-se que 99,5% dos triglicerídeos são recuperados na lavagem, 2% da água de lavagem é absorvida pelo óleo e o teor de sabões no óleo lavado é 50ppm.
Triglicerídeos no óleo da segunda lavagem

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Óleo lavado 2}} = 0{,}995 \times \text{Triglicerídeos}_{\text{óleo lavado 1}} = 953{,}19\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Água no óleo da segunda lavagem

$$\text{Água}_{\text{Óleo lavado 2}} = \text{Água}_{\text{Óleo lavado 1}} + 0{,}02 \times \text{Água}_{\text{Lavagem 2}} = 3{,}14\frac{\text{kg de água}}{\text{t de óleo}}$$

Ácidos graxos no óleo da segunda lavagem

$$\text{FFA}_{\text{Óleo lavado 2}} = \text{FFA}_{\text{Óleo lavado 1}} = 0{,}01\frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

Sabão no óleo da segunda lavagem

$$\text{Sabão}_{\text{óleo lvado 2}} = \frac{\left(\text{Triglicerídeos}_{\text{óleo lavado 2}} + \text{Água}_{\text{Óleo lavado 2}} + \text{FFA}_{\text{óleo lavado 2}}\right) \times 50}{1000000 - 50}$$

$$\text{Sabão}_{\text{óleo lavado 2}} = \frac{(953{,}19 + 2{,}62 + 0{,}01) \times 20}{1000000 - 20} = 0{,}05\frac{\text{kg de Sabão}}{\text{t de óleo}}$$

Total óleo da segunda lavagem

$$\text{Total}_{\text{óleo lavado 2}} = 953{,}19\text{kg} + 3{,}14\text{kg} + 0{,}01\text{kg} + 0{,}05\text{kg} = 956{,}39\frac{\text{kg de óleo lavado 2}}{\text{t de óleo}}$$

Efluente da segunda lavagem

$$\text{Efluente de lavagen}_{\text{Separada 2}} = \text{Total}_{\text{óleo lavado 1}} + \text{Água}_{\text{Lavagem}} - \text{Total}_{\text{óleo lavado 2}}$$

$$\text{Efluente de lavagen}_{\text{Separada 2}} = 960{,}18\text{Kg} + 52{,}18\text{Kg} - 956{,}39\text{Kg} = 55{,}98\frac{\text{Kg}}{\text{ton. de óleo}}$$

Secagem do óleo lavado. Foi considerado que 99% da umidade é removida, e que o teor dos ácidos graxos aumenta 100% devido a reação de hidrólise por causa da alta temperatura para esta etapa (110°C).

Reação de hidrólise: Triglicerídeo + $3H_2O \rightarrow$ Glicerol + 3FFA

Ácidos graxos formados

$$\text{FFA}_{\text{Formado hidrolise}} = 100\% \times \text{FFA}_{\text{Óleo lavado 2}} = 0{,}01 \frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Triglicerídeo consumido}_{\text{hidrólise}} = \text{FFA}_{\text{Formado hidrólise}} \times \frac{\text{PM}_{\text{Triglicerídeo}}}{3 \times \text{PM}_{\text{FFA}}}$$

$$\text{Triglicerídeo consumido}_{\text{hidrólise}} = 0{,}01\text{Kg} \times \frac{884{,}0}{3 \times 282{,}0} = 0{,}0106 \frac{\text{kg de Triglicerídeo}}{\text{tde óleo}}$$

$$\text{Umidade consumida}_{\text{hidrólise}} = \text{FFA}_{\text{Formado hidrolise}} \times \frac{\text{PM}_{\text{H2O}}}{\text{PM}_{\text{FFA}}}$$

$$\text{Umidade consumida}_{\text{hidrolise}} = 0{,}01\text{Kg} \times \frac{18{,}0}{282{,}0} = 0{,}00065 \frac{\text{kg de umidade}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Glicerol}_{\text{Formado hidrolise}} = \text{FFA}_{\text{Formado hidrolise}} \times \frac{\text{PM}_{\text{Glicerol}}}{3 \times \text{PM}_{\text{FFA}}}$$

$$\text{Glicerol}_{\text{Formado hidrolise}} = 0{,}01 \times \frac{92{,}0}{3 \times 282{,}0} = 0{,}0011 \frac{\text{kg de Glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

Umidade removida

$$\text{Umidade}_{\text{Removida}} = 0{,}99 \times \text{Água}_{\text{Óleo lavado 2}} = 3{,}11 \frac{\text{kg de Umidade}}{\text{t de óleo}}$$

Composição do óleo seco

Triglicerídeos

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Óleo seco}} = \text{Triglicerídeo}_{\text{Óleo lavado 2}} - \text{Triglicerídeo consumido}_{\text{hidrolise}}$$

$$\text{Triglicerídeo}_{\text{Óleo seco}} = 953{,}19\text{kg} - 0{,}0106\text{kg} = 953{,}18\text{kg}$$

Sabão

$$\text{Sabão}_{\text{Óleo seco}} = \text{Sabão}_{\text{óleo lavado 2}} = 0{,}05 \frac{\text{kg Sabão}}{\text{t de óleo}}$$

Ácidos graxos

$$\text{FFA}_{\text{Óleo seco}} = \text{FFA}_{\text{óleo lavado 2}} + \text{FFA}_{\text{Formado hidrolise}} = 0{,}02 \frac{\text{Kg de FFA}}{\text{ton. de óleo}}$$

Umidade

$$\text{Umidade}_{\text{Óleo seco}} = \text{Água}_{\text{Óleo lavado 2}} - \text{Umidade}_{\text{Removida}} - \text{Umidade consumida}_{\text{hidrolise}}$$

$$\text{Umidade}_{\text{Óleo seco}} = 3{,}14\text{kg} - 3{,}11\text{kg} - 0{,}00065\text{kg} = 0{,}03\frac{\text{kg de umidade}}{\text{t de óleo}}$$

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Óleo seco}} = \text{Glicerol}_{\text{Formado hidrolise}} = 0{,}0011\frac{\text{kg de glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Óleo seco}} = 953{,}28\frac{\text{kg de óleo seco}}{\text{t de óleo}}$$

Transesterificação com metanol

$$\text{Triglicerídeo} + 3 \times \text{Metanol} \rightarrow \text{Glicerol} + \text{Metilester}$$

Adição do Metanol em relação molar 6:1

$$\text{Metanol}_{6:1} = 6 \times \text{Triglicerídeo}_{\text{Óleo seco}} \times \frac{\text{PM}_{\text{MeOH}}}{\text{PM}_{\text{Triglicerídeo}}}$$

$$\text{Metanol}_{6:1} = 6 \times 953{,}18\text{kg} \times \frac{32{,}0}{884{,}0} = 207{,}03\frac{\text{kg de Metanol}}{\text{t de óleo}}$$

Considerando 99,9%V de pureza a água contida no metanol 6:1 é

$$\text{Água}_{\text{Metanol 99,9\%V}} = \frac{100}{99{,}9} \times \frac{\text{Metanol}_{6:1}}{0{,}792} - \frac{\text{Metanol}_{6:1}}{0{,}792} = 0{,}26\frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Metanol}_{\text{Total 6:1}} = 207{,}03\text{kg} + 0{,}26\text{kg} = 207{,}29\frac{\text{kg de Metanol}}{\text{t de óleo}}$$

Adição do catalisador

$$\text{NaOH}_{\text{Catalisador}} = 1\% \times \text{Total}_{\text{Óleo seco}} = 9{,}53\frac{\text{kg de NaOH}}{\text{t de óleo}}$$

Reação de Transesterificação. Considerando 98% de conversão

$$\text{Triglicerídeo}_{\text{Consumido}} = 0{,}98 \times \text{Triglicerídeo}_{\text{Óleo seco}} = 934{,}12\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Metanol}_{\text{Consumido}} = 3 \times \text{Triglicerídeo}_{\text{Consumido}} \times \frac{\text{PM}_{\text{MeOH}}}{\text{PM}_{\text{Triglicerídeo}}} = 101{,}44\frac{\text{kg de Metanol}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Metanol}_{\text{Excesso}} = 207{,}01\text{Kg} - 101{,}44\text{Kg} = 105{,}58\frac{\text{kg de Metanol}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Glicerol}_{\text{Formado}} = \text{Triglicerídeo}_{\text{Consumido}} \times \frac{\text{PM}_{\text{Glicerol}}}{\text{PM}_{\text{Triglicerídeo}}}$$

$$\text{Glicerol}_{\text{Formado}} = 934{,}12\text{Kg} \times \frac{92{,}0}{884{,}0} = 97{,}22\frac{\text{kg de Glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Metil Ester}_{\text{Formado}} = \text{Triglicerídeo}_{\text{Consumido}} \times \frac{888,0}{884,0} = 938,35 \frac{\text{kg de Metil Ester}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Triglicerídeo}_{\text{Nao consumido}} = \text{Triglicerídeo}_{\text{Óleo seco}} - \text{Triglicerídeo}_{\text{Consumido}}$$

$$\text{Triglicerídeo}_{\text{Nao consumido}} = 953,13\text{kg} - 934,07\text{kg} = 19,06\text{kg}$$

Reação de saponificação. O catalisador adicionado saponifica os ácidos graxos do óleo durante a transesterificação, assumiu-se que os ácidos graxos são reduzidos à metade.

$$\text{FFA}_{\text{Consumido}} = \frac{\text{FFA}_{\text{Óleo seco}}}{2} = \frac{0,02\text{Kg}}{2} = 0,01 \frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Catalisador}_{\text{Consumido}} = \text{FFA}_{\text{Consumido}} \times \frac{40,0}{282,0} = 0,0014 \frac{\text{kg de NaOH}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Sabão}_{\text{Formado}} = \text{FFA}_{\text{Consumido}} \times \frac{304,0}{282,0} = 0,011 \frac{\text{Kg de Sabão}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Água}_{\text{Formada}} = \text{FFA}_{\text{Consumido}} \times \frac{18,0}{282,0} = 0,00065 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Composição da carga no reator no final da Transesterificação

Triglicerídeos

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Carga final}} = \text{Triglicerídeo}_{\text{Não consumido}} = 19,06 \frac{\text{kg de Triglicerídeos}}{\text{t de óleo}}$$

Metil Ésteres

$$\text{Metil Ésteres}_{\text{Carga Final}} = \text{Metil Ester}_{\text{Formado}} = 938,30 \frac{\text{kg de Metil Ésteres}}{\text{t de óleo}}$$

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Carga Final}} = \text{Glicerol}_{\text{Formado}} + \text{Glicerol}_{\text{Formado hidrolise}} = 97,22 \frac{\text{kg de Glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

Metanol

$$\text{Metanol}_{\text{Carga Final}} = \text{Metanol}_{\text{Excesso}} = 105,58 \frac{\text{kg de Metanol}}{\text{t de óleo}}$$

Ácidos graxos

$$\text{FFA}_{\text{Carga Final}} = \text{FFA}_{\text{Óleo seco}} - \text{FFA}_{\text{Consumido}} = 0,02\text{Kg} - 0,01\text{Kg} = 0,010 \frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

Água

$$\text{Água}_{\text{Carga final}} = \text{Umidade}_{\text{Óleo seco}} + \text{Água}_{\text{Metanol 99,9\%V}} + \text{Água}_{\text{Formada}} = 0,29 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Sabão

$$\text{Sabão}_{\text{Carga final}} = \text{Sabão}_{\text{Óleo seco}} + \text{Sabão}_{\text{Formado}} = 0{,}059 \frac{\text{kg de Sabão}}{\text{t de óleo}}$$

Catalisador

$$\text{Catalisador}_{\text{Caga Final}} = \text{NaOH}_{\text{Catalisador}} - \text{NaOH}_{\text{Consumido}} = 9{,}53 \frac{\text{kg de NaOH}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Carga Final}} = \text{Total}_{\text{Óleo seco}} + \text{Metanol}_{\text{Total}} + \text{NaOH}_{\text{Catalisador}} = 1170{,}10 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Decantação das Biodiesel-Glicerol**.** Composição do glicerol bruto: Para a etapa de decantação foram consideradas as seguintes condições: o triglicerídeo se distribui 50% em cada fase, 70% do metanol fica na fase glicerol, e 98% dos ácidos graxos fica também na fase glicerol. Água, sabões e catalisador ficam na fase glicerol. A recuperação do glicerol é 98%.

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Fase Glicerol}} = 0{,}98 \times \text{Glicerol}_{\text{Carga Final}} = 0{,}98 \times 97{,}22\text{kg} = 95{,}27 \frac{\text{kg de Glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

Triglicerídeo

$$\text{Triglicerídeo}_{\text{Fase Glicerol}} = 0{,}5 \times \text{Triglicerídeos}_{\text{Carga final}} 0{,}5 \times 19{,}06\text{kg} = 9{,}53 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Metanol

$$\text{Metanol}_{\text{Fase Glicerol}} = 0{,}7 \times \text{Metanol}_{\text{Carga final}} = 0{,}7 \times 105{,}58\text{kg} = 95{,}27 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Ácidos graxos

$$\text{FFA}_{\text{Fase Glicerol}} = 0{,}9 \times \text{FFA}_{\text{Carga final}} = 0{,}9 \times 0{,}01\text{kg} = 0{,}009 \frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

Água, sabão e catalisador na fase glicerol.

$$\text{Água}_{\text{Fase Glicerol}} = \text{Água}_{\text{Carga final}} = 0{,}29 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Sabão}_{\text{Fase Glicerol}} = \text{Sabão}_{\text{Carga final}} = 0{,}06 \frac{\text{kg de Sabão}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Catalisador}_{\text{Fase Glicerol}} = \text{Catalisador}_{\text{Carga final}} = 9{,}53 \frac{\text{kg de Catalisador}}{\text{t de óleo}}$$

Total fase glicerol decantada

$$\text{Fase Glicerol}_{\text{Separada}} = (\text{Glicerol} + \text{Triglicerídeo} + \text{Metanol} + \text{FFA} + \text{Água} + \text{Sabão} + \text{Catalisador})_{\text{Fase Glicerol}} = 188{,}61\frac{\text{Kg}}{\text{t de óleo}}$$

Composição da fase Biodiesel

Metil Ésteres

$$\text{Metil Ésteres}_{\text{Fase Biodiesel}} = \text{Metil Ésteres}_{\text{Carga Final}} = 938{,}35\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Triglicerídeos

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Fase Biodiesel}} = \text{Triglicerídeos}_{\text{Carga final}} - \text{Triglicerídeo}_{\text{Fase Glicerol}}$$

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Fase Biodiesel}} = 19{,}06\text{kg} - 9{,}53\text{kg} = 9{,}53\frac{\text{kg de Triglicerídeos}}{\text{t de óleo}}$$

Metanol

$$\text{Metanol}_{\text{Fase Biodiesel}} = \text{Metanol}_{\text{Carga final}} - \text{Metanol}_{\text{Fase Glicerol}} = 31{,}68\frac{\text{kg de Metanol}}{\text{t de óleo}}$$

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Fase Biodiesel}} = \text{Glicerol}_{\text{Carga final}} - \text{Glicerol}_{\text{Fase Glicerol}} = 1{,}94\frac{\text{kg de Glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

Ácidos Graxos

$$\text{FFA}_{\text{Fase Biodiesel}} = 0{,}1 \times \text{FFA}_{\text{Carga final}} = 0{,}1 \times 0{,}010\text{Kg} = 0{,}0010\frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

Total fase Biodiesel

$$\text{Total}_{\text{Fase Biodiesel}} = \text{Total}_{\text{Carga Final}} - \text{Fase Glicerol}_{\text{Separada}} = 981{,}50\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Primeira lavagem da fase Biodiesel

Água de primeira lavagem

$$\text{Água}_{\text{Lavagem 1}} = 0{,}1 \times \text{Total}_{\text{Fase Biodiesel}} = 0{,}1 \times 1066{,}85\text{L} = 106{,}68\frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Composição do efluente primeira lavagem. É considerado que a água de lavagem arrasta 90% do glicerol e metanol contido na fase biodiesel. 2% da água de lavagem ficam na fase biodiesel lavado.

Água

$$\text{Água}_{\text{Água de Lavagem 1}} = 0{,}98 \times \text{Água}_{\text{Lavagem 1}} = 0{,}98 \times 106{,}68\text{kg} = 104{,}55\frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Metanol no efluente da primeira lavagem

$$\text{Metanol}_{\text{Água de Lavagem 1}} = 0{,}9 \times \text{Metanol}_{\text{Fase Biodiesel}} = 0{,}9 \times 31{,}68\text{kg} = 28{,}51\frac{\text{Kg}}{\text{ton.de óleo}}$$

Glicerol no efluente da primeira lavagem

$$\text{Glicerol}_{\text{Água de Lavagem 1}} = 0{,}9 \times \text{Glicerol}_{\text{Fase Biodiesel}} = 0{,}9 \times 1{,}94\text{kg} = 1{,}75\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Total efluente da primeira lavagem:

$$\text{Total}_{\text{Efluente da lavagem 1}} = (\text{Água} + \text{Metanol} + \text{Glicerol})_{\text{Lavagem 1}} = 134{,}81\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Composição do Biodiesel da primeira lavagem

Metil Ésteres

$$\text{Metil Ésteres}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{Metil Ésteres}_{\text{Fase Biodiesel}} = 938{,}35\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Triglicerídeos

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{Triglicerídeos}_{\text{Fase Biodiesel}} = 9{,}53\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Metanol

$$\text{Metanol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{Metanol}_{\text{Fase Biodiesel}} - \text{Metanol}_{\text{Água de Lavagem 1}}$$

$$\text{Metanol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 31{,}68\text{Kg} - 28{,}51\text{Kg} = 3{,}17\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{Glicerol}_{\text{Fase Biodiesel}} - \text{Glicerol}_{\text{Água de Lavagem 1}}$$

$$\text{Glicerol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 1{,}94\text{Kg} - 1{,}75\text{Kg} = 0{,}19\frac{\text{kg de Glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

Água

$$\text{Água}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 0{,}02 \times \text{Água}_{\text{Lavagem 1}} = 0{,}02 \times 106{,}68\text{Kg} = 2{,}13\frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Ácidos graxos

$$\text{FFA}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{FFA}_{\text{Fase Biodiesel}} = 0{,}001\frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{Total}_{\text{Fase Biodiesel}} + \text{Água}_{\text{Lavagem 1}} - \text{Total}_{\text{Água de lavagem separada 1}}$$

$$\text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 981{,}50\text{Kg} + 106{,}68\text{Kg} - 134{,}81\text{Kg} = 953{,}37\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Segunda lavagem da fase Biodiesel

Água da segunda lavagem

$$\text{Água}_{\text{Lavagem 2}} = 0{,}05 \times \text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 0{,}05 \times 1036{,}28\text{Kg} = 51{,}81 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Composição do efluente da segunda lavagem. É considerado que a água de lavagem arrasta 90% do glicerol e metano contido na fase biodiesel. 2% da água de lavagem é arrastada à fase biodiesel lavado.

Água

$$\text{Água}_{\text{Água de Lavagem 2}} = 0{,}98 \times \text{Água}_{\text{Lavagem 2}} = 0{,}98 \times 51{,}81\text{Kg} = 50{,}78 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Metanol

$$\text{Metanol}_{\text{Água de Lavagem 2}} = 0{,}9 \times \text{Metanol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 0{,}9 \times 3{,}17\text{kg} = 2{,}85 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Água de Lavagem 2}} = 0{,}9 \times \text{Glicerol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 0{,}9 \times 0{,}19\text{kg} = 0{,}17 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Efluente da segunda lavagem}} = (\text{Água} + \text{Metanol} + \text{Glicerol})_{\text{Lavagem 2}} = 53{,}80 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Composição do Biodiesel da segunda lavagem

Metil Ésteres

$$\text{Metil Ésteres}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = \text{Metil Ésteres}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 938{,}30 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Triglicerídeos

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{Triglicerídeos}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 9{,}53 \frac{\text{kg de Triglicerídeos}}{\text{t de óleo}}$$

Metanol

$$\text{Metanol}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = \text{Metanol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} - \text{Metanol}_{\text{Água de Lavagem 2}}$$

$$\text{Metanol}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = 0{,}32 \frac{\text{kg de Metanol}}{\text{t de óleo}}$$

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = \text{Glicerol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} - \text{Glicerol}_{\text{Água de Lavagem 2}}$$

$$\text{Glicerol}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = 0{,}019 \frac{\text{kg de Glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

Água

$$\text{Água}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = \text{Água}_{\text{Biodiesel lavado 1}} + 0{,}02 \times \text{Água}_{\text{Lavagem 2}}$$

$$\text{Água}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = 2{,}13\text{kg} + 0{,}02 \times 51{,}81\text{kg} = 3{,}17 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Ácidos graxos

$$\text{FFA}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = \text{FFA}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 0{,}001 \frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

Total Biodiesel da segunda lavagem

$$\text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = \text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 1}} + \text{Água}_{\text{Lavagem 2}} - \text{Total}_{\text{Água de lavagem separada 2}}$$

$$\text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = 953{,}37\text{kg} + 51{,}81\text{kg} - 53{,}80\text{kg} = 951{,}39 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Secagem do biodiesel lavado**.** É considerada uma remoção de 90% de umidade e metanol.

Composição da umidade removida

Água

$$\text{Água}_{\text{Umidade condensada}} = 0{,}9 \times \text{Água}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = 0{,}9 \times 3{,}17\text{kg} = 2{,}85 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Metanol

$$\text{Metanol}_{\text{Umidade condensada}} = 0{,}9 \times \text{Metanol}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = 0{,}29 \frac{\text{kg de Metanol}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Umidade removida}} = 2{,}85\text{Kg} + 0{,}29\text{Kg} = 3{,}14 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Composição do biodiesel seco: Todos os componentes ficam invariáveis a exceção da umidade e o metanol.

Umidade

$$\text{Umidade}_{\text{Biodiesel seco}} = \text{Água}_{\text{Biodiesel lavado 2}} - \text{Água}_{\text{Umidade condensada}} = 0{,}32 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Metanol

$$\text{Metanol}_{\text{Biodiesel seco}} = \text{Metanol}_{\text{Biodiesel lavado 2}} - \text{Metanol}_{\text{Umidade condensada}}$$

$$\text{Metanol}_{\text{Biodiesel seco}} = 0{,}032 \frac{\text{kg de Metanol}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Biodiesel seco}} = \text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 2}} - \text{Total}_{\text{Umidade condensada}} = 948{,}25 \frac{\text{Kg}}{\text{t de óleo cru}}$$

Tabela A.4.7 A composição do biodiesel seco

Componente	kg/t de óleo cru	% em massa
Metil Éster	938,35	98,97
Triglicerídeo	9,53	1,00
Glicerol	0,02	0,01
Metanol	0,032	0,011
Água	0,32	0,14
FFA	0,0010	0,001
Total	948,25	100,00

Recuperação do Metanol. As duas correntes de água de lavagem separadas são misturadas com a fase glicerol para recuperar o metanol e retorna-lo ao processo.

Composição da mistura para a recuperação de metanol

Destilação da mistura total. É considerado que a recuperação do metanol é 100% em mistura com água que representa 99% da água contida na mistura total.

Composição do destilado 1:

Metanol

$$\text{Metanol}_{\text{Destilado 1}} = \text{Metanol}_{\text{Mistura total}} = 105{,}27 \frac{\text{kg de Biodiesel seco}}{\text{t de óleo cru}}$$

Água

$$\text{Água}_{\text{Destilado 1}} = 0{,}99 \times \text{Água}_{\text{Mistura total}} = 0{,}99 \times 155{,}62\text{Kg} = 154{,}07 \frac{\text{Kg}}{\text{t de óleo cru}}$$

$$\text{Total}_{\text{Destilado 1}} = 105{,}27\text{Kg} + 154{,}07\text{Kg} = 259{,}33 \frac{\text{Kg}}{\text{t de óleo cru}}$$

Retificação do Destilado 1**:** A recuperação do metanol é 100% com 99,9% de pureza.

Composição do Destilado 2

Metanol no Destilado 2

$$\text{Metanol}_{\text{Destilado 2}} = \text{Metanol}_{\text{Destilado 1}} = 105{,}27 \frac{\text{kg de Biodiesel seco}}{\text{t de óleo cru}}$$

Água no Destilado 2:

$$\text{Água}_{\text{Destilado 2}} = \frac{100}{99,9} \times \frac{\text{Metanol}_{\text{Destilado 2}}}{0,792} - \frac{\text{Metanol}_{\text{Destilado 2}}}{0,792}$$

$$\text{Água}_{\text{Destilado 2}} = \frac{100}{99,9} \times \frac{105,47\text{kg}}{0,792} - \frac{105,47\text{kg}}{0,792} = 0,13 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo cru}}$$

$$\text{Total}_{\text{Destilado 2}} = 105,27\text{Kg} + 0,13\text{Kg} = 105,40 \frac{\text{kg de Destilado 2}}{\text{t de óleo cru}}$$

Corrente do reboiler

Considerando que sua composição é só água

$$\text{Fondos}_{\text{Retificação}} = \text{Total}_{\text{Destilado 1}} - \text{Total}_{\text{Destilado 2}} = 153,93 \frac{\text{kg de Fondos}}{\text{t de óleo cru}}$$

Alimentação bruta de metanol 99,9%V

$$\text{Metanol}_{\text{Bruto}} = \text{Metanol}_{\text{Total 6:1}} - \text{Total}_{\text{Destilado 2}} = 101,89 \frac{\text{kg de Metanol}}{\text{t de óleo cru}}$$

Balanço de Energia (Base 1000 Kg de óleo cru)

Aquecimento do óleo cru para o pré-tratamento

$$Q_1 = \frac{\text{Cp}_{\text{óleo cru}} \times F \times \Delta T}{\eta}$$

Onde:

$\text{Cp}_{\text{óleo cru}}$: Capacidade calórica do óleo, 1,86KJ/Kg.°C
F: 1000 Kg de óleo cru
ΔT: 70°C-20°C
η: Eficiência da troca de calor

$$Q_1 = \frac{1,86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo cru}} \times 50°\text{C}}{0,9} = 93050 \frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo cru}}$$

Aquecimento da água de lavagem do óleo neutro. É adicionada água de lavagem a 80°C, então o ΔT= 80°C-20°C=60°C. Na seguinte formula foi calculado o calor requerido para esquentar a água necessária nas duas etapas de lavagem.

$$Q_2 = \frac{\text{Cp}_{\text{Água}} \times \left(\text{Água}_{\text{Lavagem 1}} + \text{Água}_{\text{Lavagem 2}}\right) \times \Delta T}{\eta}$$

$$Q_2 = \frac{4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times \left(\frac{104,72\text{kg} + 52,18\text{kg}}{\text{t de óleo}}\right) \times 60°\text{C}}{0,9} = 43723 \frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo cru}}$$

Aquecimento do óleo lavado para a etapa de secagem. Depois da etapa de lavagem o óleo é aquecido ate 110°C para remover a umidade. ΔT = 110°C-70°C=40°C.

$$Q_3 = \frac{Cp_{\text{Água}} \times Total_{\text{óleo Lavado 2}} \times \Delta T}{\eta} = \frac{1{,}86\frac{KJ}{Kg.\,°C} \times 956{,}39\frac{Kg}{\text{t de óleo}} \times 40°C}{0{,}9}$$

$$Q_3 = 79104\frac{kJ}{\text{t de óleo cru}}$$

Vapor para a geração de vácuo no secador de óleo neutro. Segundo Sheehan 1998, é necessário 959,21Kcal/ton. de biodiesel.

$$Q_4 = 959{,}21\frac{kcal}{\text{t B100}} \times 0{,}948\frac{\text{t B100}}{\text{t de óleo cru}} \times 4{,}18\frac{1kJ}{1kcal} = 3802\frac{kJ}{\text{t de óleo cru}}$$

Transesterificação. Segundo Sheehan 1998, é necessário 25605 Kcal/ton. de biodiesel.

$$Q_5 = 25605\frac{kcal}{\text{t de B100}} \times 0{,}948\frac{\text{t de B100}}{\text{t de óleo cru}} \times 4{,}18\frac{1kJ}{1kcal} = 101490\frac{kJ}{\text{t de óleo cru}}$$

Aquecimento de água para a lavagem da fase Biodiesel: É adicionada água de lavagem a 80°C, então o ΔT= 80°C-20°C=60°C. Na seguinte formula foi calculado o calor requerido para esquentar a água necessária nas duas etapas de lavagem.

$$Q_6 = \frac{Cp_{\text{Água}} \times \left(Água_{\text{Lavagem 1}} + Água_{\text{Lavagem 2}}\right) \times \Delta T}{\eta}$$

$$Q_6 = \frac{4{,}18\frac{KJ}{Kg.\,°C} \times \left(\frac{106{,}68kg + 51{,}81kg}{\text{t de óleo}}\right) \times 60°C}{0{,}9} = 44168\frac{kJ}{\text{t de óleo cru}}$$

Aquecimento da fase biodiesel para a etapa de lavagem. Depois da etapa de separação do biodiesel, este se encontra a 50°C e logo é aquecido ate 80°C para a lavagem com água a 80°C. ΔT = 80°C-50°C=30°C.

$$Q_7 = \frac{Cp_{\text{Biodiesel}} \times Total_{\text{Fase Biodiesel}} \times \Delta T}{\eta}$$

$$Q_7 = \frac{2{,}15\frac{kJ}{kg.\,°C} \times 981{,}50\frac{kg}{\text{t de óleo}} \times 30°C}{0{,}9} = 70341\frac{kJ}{\text{t de óleo cru}}$$

Aquecimento do biodiesel lavado para a etapa de secagem. Depois da etapa de lavagem do biodiesel, este se encontra a 70°C e é logo aquecido ate 110°C para remover a umidade. ΔT = 110°C-70°C=40°C.

$$Q_8 = \frac{Cp_{\text{Biodiesel}} \times Total_{\text{Biodiesel lavado 2}} \times \Delta T}{\eta}$$

$$Q_8 = \frac{2{,}15\frac{kJ}{kg.°C} \times 951{,}39\frac{kg}{t\ de\ óleo} \times 40°C}{0{,}9} = 90910\frac{kJ}{t\ de\ óleo\ cru}$$

Uso de vapor para a geração de vácuo no secador de Biodiesel Segundo Sheehan 1998, é necessário 546,12Kcal/ton. de biodiesel.

$$Q_9 = 546{,}12\frac{kcal}{t\ de\ B100} \times 0{,}948\frac{t\ de\ B100}{t\ \ de\ óleo\ cru} \times 4{,}18\frac{1kJ}{1kcal} = 2165\frac{kJ}{t\ de\ óleo\ cru}$$

Destilação da fase Glicerol. Segundo a simulação ASPEN o reboiler para esta destilação precisa-se de 114 761 kcal/ton. de óleo cru.

$$Q_{10} = \frac{114761\frac{Kcal}{ton.\ de\ óleo} \times 4{,}18\frac{1KJ}{1Kcal}}{0{,}9} = 533000\frac{kJ}{t\ de\ óleo\ cru}$$

Retificação do metanol. Segundo a simulação ASPEN o reboiler para esta destilação é necessária 79 112 kcal/t de óleo cru.

$$Q_{11} = \frac{79112\frac{kcal}{t\ de\ óleo} \times 4{,}18\frac{1kJ}{1kcal}}{0{,}9} = 367386\frac{kJ}{t\ de\ óleo\ cru}$$

Total energia térmica requerida:

Tabela A.4.8 Consumo de energia por etapa

Etapa	kJ/t de óleo	kJ/t de B100
Q_1	93 050	98 128
Q_2	43 723	46 109
Q_3	79 104	83 421
Q_4	3 802	4 009
Q_5	101 490	107 029
Q_6	44 168	46 579
Q_7	70 341	74 180
Q_8	90 910	95 872
Q_9	2 165	2 283
Q_{10}	533 000	562 090
Q_{11}	367 386	387 437
Total	1 429 139	1 507 137

Consumo de água. O cosumo de água é dividido em três tipos de consumo: 1) consumo direto de água de processo; 2) consumo de água para geração de vapor e 3) cosumo de água de resfriamento.

Consumo direto de água de processo. Com base nos cálculos de balanço de materiais, a seguinte tabela mostra o cosumo de água de processo.

Tabela A.4.9 Consumo de água de processo por etapa

Consumo de água de processo		
Etapa	kg/t de óleo	kg/ t de B100
Preparação de solução de NaOH 20%	3,32	3,50
Lavagem1 do óleo neutro	104,72	110,43
Lavagem 2 do óleo neutro	52,18	55,03
Lavagem1 da fase biodiesel	106,68	112,51
Lavagem 2 do fase biodiesel	51,81	54,64
Total água de processo	318,72	336,11

Consumo de água para a geração de vapor. Segundo Sheehan (1998), para a produção de biodiesel pode ser considerado o uso de vapor saturado a 11,4 bar com 475,1kcal/kg (1985,92kJ/kg) de entalpia de condensação.

$$\text{Água}_{\text{Geração de vapor}} = \frac{\text{Consumo de energia termica total } (\frac{\text{kJ}}{\text{t de B100}})}{1985{,}92\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\text{Água}_{\text{Geração de vapor}} = \frac{1\,507\,137\ (\frac{\text{kJ}}{\text{t de B100}})}{1985{,}92\ \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}} = 759\frac{\text{kg}}{\text{t de B100}}$$

Consumo de água para resfriamento

Resfriamento do óleo seco. Depois da etapa de secagem o óleo seco se encontra a 110°C e tem que ser resfriado ate 65°C para a etapa de transesterificação.

$$Q_{\text{Removido}} = 953{,}28\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}} \times 1{,}86\frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times 45°\text{C} = 79\,833\frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo}}$$

Assumiu-se que a água de resfriamento entra a 20°C e sai a 50°C, ΔT=30°C e a eficiência de trocamento de calor é 90%.

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{79\,833\text{kJ} \times 1{,}05\frac{\text{t de óleo}}{\text{t de biodiesel}}}{0{,}9 \times 4{,}18\frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times 30°\text{C}} = 745{,}97\frac{\text{kg}}{\text{t de biodiesel}}$$

Água de resfriamento para o condensado da coluna de destilação 1: O calor removido no condensador 1 segundo a simulação ASPEN é 453038,25kJ/t de óleo

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{Q_{\text{Removido do condensador 1}}}{\eta \times Cp_{\text{Água}} \times \Delta T}$$

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{453038{,}25\text{KJ} \times 1{,}05 \frac{\text{t de óleo}}{\text{t de biodiesel}}}{0{,}9 \times 4{,}18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times 30°\text{C}} = 4234{,}0 \frac{\text{kg}}{\text{t de biodiesel}}$$

Água de resfriamento para o condensado da coluna de destilação 2. O calor removido no condensador 2 segundo a simulação ASPEN é 315206,03KJ/ton. de óleo

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{Q_{\text{Removido do condensador 1}}}{\eta \times Cp_{\text{Água}} \times \Delta T}$$

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{315206{,}03\text{kJ} \times 1{,}05 \frac{\text{t de óleo}}{\text{t de biodiesel}}}{0{,}9 \times 4{,}18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times 30°\text{C}} = 2945{,}84 \frac{\text{kg}}{\text{t de biodiesel}}$$

Resfriamento do Biodiesel seco. Depois da etapa de secagem o óleo seco se encontra a 110°C e tem que ser resfriado ate 40°C para seu armazenamento. ΔT= 70°C.

$$Q_{\text{Removido}} = 948{,}25 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}} \times 1{,}86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times 70°\text{C} = 123\,528 \frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo}}$$

Assumiu-se que a água de resfriamento entra a 20°C e sai a 50°C, ΔT=30°C e a eficiência de trocamento de calor é 90%.

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{123\,528\text{KJ} \times 1{,}05 \frac{\text{t de óleo}}{\text{t de biodiesel}}}{0{,}9 \times 4{,}18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times 30°\text{C}} = 1154 \frac{\text{kg de água}}{\text{t de biodiesel}}$$

Total água de resfriamento

$$\text{Total}_{\text{Água resfriamento}} = 9079 \frac{\text{kg de água}}{\text{t de Biodiesel}}$$

Total consumo de água

$$\text{Total}_{\text{Consumo de água}} = \text{Água}_{\text{Processo}} + \text{Água}_{\text{Vapor}} + \text{Água}_{\text{Resfriamento}}$$

$$\text{Total}_{\text{Consumo de água}} = 10174 \frac{\text{Kg de água}}{\text{t de Biodiesel}} = 10{,}17 \frac{\text{m}^3}{\text{t de Biodiesel}}$$

Geração de efluentes líquidos

Tabela A.4.10 Geração de efluentes líquidos por etapa

Etapa	kg/t de óleo	kg/t de Biodiesel
Efluente da lavagem 1 do óleo neutro	107,92	113,81
Efluente da lavagem 2 do óleo neutro	55,98	59,03
Efluente da secagem do óleo neutro	3,11	3,28
Efluente da secagem do Biodiesel	3,14	3,31
Efluente da coluna de retificação (reboiler)	153,93	162,33
Total efluente gerado	324,07	341,76

$$\text{Total}_{\text{Efluente Liquido}} = 341{,}76 \frac{\text{kg}}{\text{t de Biodiesel}}$$

Tabela A.4.11 Resumo do balanço de massa e energia para a produção de BMS

Entrada/Saída	Unidade/t de Biodiesel
Óleo degomado de soja	1055 Kg
Metanol	107 Kg
NaOH (Catalisador e Neutralizador)	10,9 Kg
Vapor saturado a 11,4bares	758,9 Kg
Água de processo	0,34 m3
Água para geração de vapor	0,76 m3
Água de resfriamento	9,08 m3
Consumo de água total	10,17 m3
Borra produzida	43,0 Kg
Glicerol produzido	124,3 Kg
Efluente produzido	0,34 m3

ROTA ETÍLICA

PRODUÇÃO DE BIODIESEL ETÍLICO

Balanço de Massa

Ambas as rotas metílica e etílica têm em comum a etapa de pré-tratamento do óleo de soja. Por este motivo os cálculos partirão desde a etapa de transesterificação. A Tabela A.4.13 mostra a composição do óleo de soja pré-tratado pronto para transesterificação com etanol.

Tabela A.4.12 Composição do óleo de soja

Composição	Kg
Triglicerídeo	953,18 Kg
Sabão	0,05 Kg
FFA	0,02 Kg
Água	0,031 Kg
Glicerol	0,001 Kg
Total	953,28 Kg
Umidade	0,0032 %

Transesterificação

$$\text{Triglicerídeo} + 3 \times \text{Etanol} \rightarrow \text{Glicerol} + \text{Metilester}$$

Adição do etanol em relação molar 6:1

$$\text{Etanol}_{6:1} = 6 \times \text{Triglicerídeo}_{\text{Óleo seco}} \times \frac{PM_{EtOH}}{PM_{\text{Triglicerídeo}}}$$

$$\text{Etanol}_{6:1} = 6 \times 953{,}28\text{Kg} \times \frac{46{,}0}{884{,}0} = 297{,}60 \frac{\text{kg de Metanol}}{\text{t de óleo}}$$

Água contida no etanol 6:1. Considerando 99,3%V de pureza.

$$\text{Água}_{\text{Etanol 99,3\%V}} = \frac{100}{99{,}3} \times \frac{\text{Etanol}_{6:1}}{0{,}789} - \frac{\text{Etanol}_{6:1}}{0{,}789} = 2{,}66 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Etanol}_{\text{Total 6:1}} = \text{Etanol}_{6:1} + \text{Água}_{\text{Etanol 99,3\%V}} = 297{,}60\text{Kg} + 2{,}66\text{Kg} = 300{,}26 \frac{\text{Kg}}{\text{ton.de óleo}}$$

Adição do catalisador

$$\text{NaOH}_{\text{Catalisador}} = 1\% \times \text{Total}_{\text{Óleo seco}} = 0{,}01 \times 953{,}24 = 9{,}53 \frac{\text{kg de NaOH}}{\text{t de óleo}}$$

Reação de Transesterificação

Consumo de triglicerídeo assumindo 98% de conversão:

$$\text{Triglicerídeo}_{\text{Consumido}} = 0{,}98 \times \text{Triglicerídeo}_{\text{Óleo seco}} = 934{,}12 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Etanol}_{\text{Consumido}} = 3 \times \text{Triglicerídeo}_{\text{Consumido}} \times \frac{PM_{EtOH}}{PM_{\text{Triglicerídeo}}}$$

$$\text{Etanol}_{\text{Consumido}} = 3 \times 934{,}12\text{Kg} \times \frac{46{,}0}{884{,}0} = 145{,}82 \frac{\text{kg de Etanol}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Etanol}_{\text{Excesso}} = 297{,}60\text{kg} - 145{,}82\text{kg} = 151{,}78 \frac{\text{kg de Etanol}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Glicerol}_{\text{Formado}} = \text{Triglicerídeo}_{\text{Consumido}} \times \frac{PM_{\text{Glicerol}}}{PM_{\text{Triglicerídeo}}}$$

$$\text{Glicerol}_{\text{Formado}} = 934{,}12\text{kg} \times \frac{92{,}0}{884{,}0} = 97{,}22 \frac{\text{kg de Glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Etil Ester}_{\text{Formado}} = \text{Triglicerídeo}_{\text{Consumido}} \times \frac{888{,}0}{884{,}0} = 982{,}73 \frac{\text{kg de Etil Ester}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Triglicerídeo}_{\text{Nao consumido}} = \text{Triglicerídeo}_{\text{Óleo seco}} - \text{Triglicerídeo}_{\text{Consumido}}$$

$$\text{Triglicerídeo}_{\text{Nao consumido}} = 953{,}18\text{kg} - 934{,}12\text{kg} = 19{,}06\text{kg}$$

Reação de saponificação. O catalisador adicionado saponifica os ácidos graxos do óleo seco durante a transesterificação, foi assumido que os ácidos graxos são reduzidos à metade.

$$\text{FFA}_{\text{Consumido}} = \frac{\text{FFA}_{\text{Óleo seco}}}{2} = \frac{0{,}02\text{kg}}{2} = 0{,}01 \frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Catalisador}_{\text{Consumido}} = \text{FFA}_{\text{Consumido}} \times \frac{40{,}0}{282{,}0} = 0{,}0014 \frac{\text{kg de Catalisador}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Sabão}_{\text{Formado}} = \text{FFA}_{\text{Consumido}} \times \frac{304{,}0}{282{,}0} = 0{,}011 \frac{\text{kg de Sabão}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Água}_{\text{Formada}} = \text{FFA}_{\text{Consumido}} \times \frac{18{,}0}{282{,}0} = 0{,}00065 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Composição da carga no reator no final da Transesterificação

Triglicerídeos

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Carga final}} = \text{Triglicerídeo}_{\text{Não consumido}} = 19{,}06 \frac{\text{kg de Triglicerídeos}}{\text{t de óleo}}$$

Etil Ésteres

$$\text{Etil Ésteres}_{\text{Carga Final}} = \text{Etil Ester}_{\text{Formado}} = 982{,}73 \frac{\text{Kg de Metil Ésteres}}{\text{ton. de óleo}}$$

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Carga Final}} = \text{Glicerol}_{\text{Formado}} + \text{Glicerol}_{\text{Formado hidrolise}} = 97{,}22 \frac{\text{Kg de Glicerol}}{\text{ton. de óleo}}$$

Etanol

$$\text{Etanol}_{\text{Carga Final}} = \text{Etanol}_{\text{Excesso}} = 151{,}78 \frac{\text{Kg de Etanol}}{\text{ton. de óleo}}$$

Ácidos graxos

$$\text{FFA}_{\text{Carga Final}} = \text{FFA}_{\text{Óleo seco}} - \text{FFA}_{\text{Consumido}} = 0{,}02\text{Kg} - 0{,}01\text{Kg} = 0{,}010 \frac{\text{Kg de FFA}}{\text{ton. de óleo}}$$

Água

$$\text{Água}_{\text{Carga final}} = \text{Umidade}_{\text{Óleo seco}} + \text{Água}_{\text{Metanol 99,9\%V}} + \text{Água}_{\text{Formada}} = 2{,}69 \frac{\text{Kg}}{\text{t de óleo}}$$

Sabão

$$\text{Sabão}_{\text{Carga final}} = \text{Sabão}_{\text{Óleo seco}} + \text{Sabão}_{\text{Formado}} = 0{,}05\text{Kg} + 0{,}011\text{Kg} = 0{,}059 \frac{\text{kg}}{\text{t .de óleo}}$$

Catalisador

$$\text{Catalisador}_{\text{Caga Final}} = \text{NaOH}_{\text{Catalisador}} - \text{Catalisador}_{\text{Consumido}} = 9{,}53 \frac{\text{kg de NaOH}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Carga Final}} = \text{Total}_{\text{Óleo seco}} + \text{Metanol}_{\text{Total}} + \text{NaOH}_{\text{Catalisador}} = 1263{,}08 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Decantação das duas fases: Biodiesel-Glicerol. Composição do glicerol bruto: Para a etapa de separação das duas fases foram consideradas as seguintes condições: o triglicerídeo se distribui 50% em cada fase, 70% do etanol fica na fase glicerol, 90% dos ácidos graxos fica também na fase glicerol. Água, sabões e catalisador ficam na fase glicerol. A recuperação do glicerol é 98%.

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Fase Glicerol}} = 0{,}98 \times \text{Glicerol}_{\text{Carga Final}} = 0{,}9 \times 97{,}22\text{kg} = 95{,}27 \frac{\text{kg de Glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

Triglicerídeo

$$\text{Triglicerídeo}_{\text{Fase Glicerol}} = 0{,}5 \times \text{Triglicerídeos}_{\text{Carga final}} = 9{,}53 \frac{\text{kg de Triglicerídeo}}{\text{t de óleo}}$$

Etanol

$$\text{Etanol}_{\text{Fase Glicerol}} = 0{,}7 \times \text{Etanol}_{\text{Carga final}} = 0{,}7 \times 151{,}78\text{kg} = 106{,}24 \frac{\text{kg de Etanol}}{\text{t de óleo}}$$

Ácidos graxos

$$\text{FFA}_{\text{Fase Glicerol}} = 0{,}9 \times \text{FFA}_{\text{Carga final}} = 0{,}9 \times 0{,}01\text{kg} = 0{,}009 \frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

Água, sabão e catalisador na fase glicerol

$$\text{Água}_{\text{Fase Glicerol}} = \text{Água}_{\text{Carga final}} = 2{,}69 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Sabão}_{\text{Fase Glicerol}} = \text{Sabão}_{\text{Carga final}} = 0{,}059 \frac{\text{kg de Sabão}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Catalisador}_{\text{Fase Glicerol}} = \text{Catalisador}_{\text{Carga final}} = 9{,}53 \frac{\text{kg de Catalisador}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Fase Glicerol}_{\text{Separada}} = 223{,}34 \frac{\text{kg de Fase Glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

Composição da fase Biodiesel

Etil Ésteres na fase biodiesel

$$\text{Etil Ésteres}_{\text{Fase Biodiesel}} = \text{Etil Ésteres}_{\text{Carga Final}} = 982{,}73 \frac{\text{kg de Etil Ésteres}}{\text{t de óleo}}$$

Triglicerídeos

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Fase Biodiesel}} = \text{Triglicerídeos}_{\text{Carga final}} - \text{Triglicerídeo}_{\text{Fase Glicerol}}$$

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Fase Biodiesel}} = 19{,}06\text{kg} - 9{,}53\text{kg} = 9{,}53 \frac{\text{kg de Triglicerídeos}}{\text{t de óleo}}$$

Etanol

$$\text{Etanol}_{\text{Fase Biodiesel}} = \text{Etanol}_{\text{Carga final}} - \text{Etanol}_{\text{Fase Glicerol}} = 45{,}53 \frac{\text{kg de Etanol}}{\text{t de óleo}}$$

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Fase Biodiesel}} = \text{Glicerol}_{\text{Carga final}} - \text{Glicerol}_{\text{Fase Glicerol}} = 1{,}94 \frac{\text{kg de Glicerol}}{\text{ton. de óleo}}$$

Ácidos Graxos

$$\text{FFA}_{\text{Fase Biodiesel}} = \text{FFA}_{\text{Carga final}} - \text{FFA}_{\text{Fase Glicerol}} = 0{,}0010 \frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Fase Biodiesel}} = \text{Total}_{\text{Carga Final}} - \text{Fase Glicerol}_{\text{Separada}}$$

$$\text{Total}_{\text{Fase Biodiesel}} = 1263{,}08\text{Kg} - 223{,}34\text{Kg} = 1039{,}74 \frac{\text{kg de Fase Biodiesel}}{\text{t de óleo}}$$

Primeira lavagem da fase Biodiesel

Água da primeira lavagem

$$\text{Água}_{\text{Lavagem 1}} = 0{,}1 \times \text{Total}_{\text{Fase Biodiesel}} = 0{,}1 \times 1181{,}52\text{kg} = 118{,}15 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Composição da água da primeira lavagem: É considerado que a água de lavagem arrasta 90% do glicerol e etanol contido na fase biodiesel. 2% da água de lavagem ficam na fase biodiesel lavado.

Água na água da primeira lavagem

$$\text{Água}_{\text{Água de Lavagem 1}} = 0{,}98 \times \text{Água}_{\text{Lavagem 1}} = 0{,}98 \times 118{,}15\text{kg} = 115{,}79 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Etanol

$$\text{Etanol}_{\text{Água de Lavagem 1}} = 0{,}9 \times \text{Etanol}_{\text{Fase Biodiesel}} = 0{,}9 \times 45{,}53\text{kg} = 40{,}98 \frac{\text{kg de Etanol}}{\text{t de óleo}}$$

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Água de Lavagem 1}} = 0{,}9 \times \text{Glicerol}_{\text{Fase Biodiesel}} = 0{,}9 \times 9{,}72\text{kg} = 8{,}75 \frac{\text{kg de Glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Efluente da primeira lavagem}} = 115{,}79\text{Kg} + 40{,}98\text{Kg} + 1{,}75\text{Kg} = 158{,}52 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Composição do Biodiesel da primeira lavagem

Etil Ésteres

$$\text{Etil Ésteres}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{Etil Ésteres}_{\text{Fase Biodiesel}} = 982{,}73 \frac{\text{kg de Etil Ésteres}}{\text{t de óleo}}$$

Triglicerídeos

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{Triglicerídeos}_{\text{Fase Biodiesel}} = 9{,}53 \frac{\text{kg de Triglicerídeos}}{\text{t de óleo}}$$

Etanol

$$\text{Etanol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{Etanol}_{\text{Fase Biodiesel}} - \text{Etanol}_{\text{Água de Lavagem 1}}$$

$$\text{Etanol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 45{,}53\text{Kg} - 40{,}98\text{Kg} = 4{,}55 \frac{\text{kg de Etanol}}{\text{t de óleo}}$$

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{Glicerol}_{\text{Fase Biodiesel}} - \text{Glicerol}_{\text{Água de Lavagem 1}}$$

$$\text{Glicerol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 1{,}94\text{kg} - 1{,}75\text{kg} = 0{,}19 \frac{\text{kg de Glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

Água

$$\text{Água}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 0{,}02 \times \text{Água}_{\text{Lavagem 1}} = 0{,}01 \times 118{,}15\text{kg} = 2{,}36 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Ácidos graxos

$$\text{FFA}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{FFA}_{\text{Fase Biodiesel}} = 0{,}001 \frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{Total}_{\text{Fase Biodiesel}} + \text{Água}_{\text{Lavagem 1}} - \text{Total}_{\text{Água de lavagem separada 1}}$$

$$\text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 1039{,}37\text{Kg} + 118{,}15\text{Kg} - 158{,}52\text{Kg} = 999{,}37 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Segunda lavagem da fase Biodiesel

Água da segunda lavagem

$$\text{Água}_{\text{Lavagem 2}} = 0{,}05 \times \text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 0{,}05 \times 1135{,}65\text{L} = 56{,}78 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Composição da água de segunda lavagem. É considerado que a água de lavagem arrasta 90% do glicerol e metano contido na fase biodiesel. 2% da água de lavagem ficam na fase biodiesel lavado.

Água

$$\text{Água}_{\text{Água de Lavagem 2}} = 0{,}98 \times \text{Água}_{\text{Lavagem 2}} = 0{,}99 \times 49{,}79\text{kg} = 55{,}56 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Etanol

$$\text{Etanol}_{\text{Água de Lavagem 2}} = 0{,}9 \times \text{Etanol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 0{,}9 \times 4{,}55\text{kg} = 4{,}10 \frac{\text{kg de Etanol}}{\text{t de óleo}}$$

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Água de Lavagem 2}} = 0{,}9 \times \text{Glicerol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 0{,}9 \times 0{,}19\text{kg} = 0{,}17 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Água de lavagem separada 2}} = (\text{Água} + \text{Etanol} + \text{Glicerol})_{\text{Lavagem 1}} = 59{,}92 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Composição do Biodiesel da segunda lavagem

Etil Ésteres

$$\text{Etil Ésteres}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = \text{Etil Ésteres}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 982{,}73 \frac{\text{kg de Etil Ésteres}}{\text{t de óleo}}$$

Triglicerídeos

$$\text{Triglicerídeos}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = \text{Triglicerídeos}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 9{,}53\frac{\text{kg de Triglicerídeos}}{\text{t de óleo}}$$

Etanol

$$\text{Etanol}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = \text{Etanol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} - \text{Etanol}_{\text{Água de Lavagem 2}}$$

$$\text{Etanol}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = 4{,}55\text{kg} - 4{,}10\text{kg} = 0{,}46\frac{\text{kg de Etanol}}{\text{t de óleo}}$$

Glicerol

$$\text{Glicerol}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = \text{Glicerol}_{\text{Biodiesel lavado 1}} - \text{Glicerol}_{\text{Água de Lavagem 2}}$$

$$\text{Glicerol}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = 0{,}19\text{Kg} - 0{,}17\text{kg} = 0{,}019\frac{\text{kg de Glicerol}}{\text{t de óleo}}$$

Água

$$\text{Água}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = \text{Água}_{\text{Biodiesel lavado 1}} + 0{,}02 \times \text{Água}_{\text{Lavagem 2}} = 1{,}52\frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Ácidos graxos

$$\text{FFA}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = \text{FFA}_{\text{Biodiesel lavado 1}} = 0{,}001\frac{\text{kg de FFA}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = \text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 1}} + \text{Água}_{\text{Lavagem 2}} - \text{Total}_{\text{Água de lavagem separada 2}}$$

$$\text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = 999{,}37\text{Kg} + 56{,}78\text{Kg} - 59{,}92\text{Kg} = 994{,}02\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Secagem do biodiesel lavado. Remoção de 90% de umidade e metanol.

Composição da umidade removida

Água

$$\text{Água}_{\text{Umidade removida}} = 0{,}9 \times \text{Água}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = 0{,}9 \times 3{,}50\text{kg} = 3{,}15\frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Etanol

$$\text{Etanol}_{\text{Umidade condensada}} = 0{,}9 \times \text{Etanol}_{\text{Biodiesel lavado 2}} = 0{,}9 \times 0{,}46\text{kg} = 0{,}41\frac{\text{kg de Etanol}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Umidade condensada}} = 1{,}36\text{kg} + 0{,}14\text{kg} = 1{,}50\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}}$$

Composição do biodiesel seco. Todos os componentes ficam invariáveis com exceção da umidade e do metanol

Umidade

$$\text{Umidade}_{\text{Biodiesel seco}} = \text{Água}_{\text{Biodiesel lavado 2}} - \text{Água}_{\text{Umidade condensada}} = 0{,}35\frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo}}$$

Etanol

$$\text{Etanol}_{\text{Biodiesel seco}} = \text{Etanol}_{\text{Biodiesel lavado 2}} - \text{Etanol}_{\text{Umidade condensada}} = 0{,}05\frac{\text{kg de Etanol}}{\text{t de óleo}}$$

$$\text{Total}_{\text{Biodiesel seco}} = \text{Total}_{\text{Biodiesel lavado 2}} - \text{Total}_{\text{Umidade condensada}}$$

$$\text{Total}_{\text{Biodiesel seco}} = 996{,}23\text{kg} - 3{,}56\text{kg} = 992{,}68\frac{\text{kg de Biodiesel seco}}{\text{t de óleo cru}}$$

Tabela A.4.13 Composição do biodiesel seco

Componente	kg/t de óleo cru	% em massa
Etil Éster	982,73	99,01
Triglicerídeo	9,53	0,96
Glicerol	0,02	0,01
Etanol	0,05	0,002
Água	0,35	0,02
FFA	0,001	0,0001
Total	992,68	100,00

Recuperação do Etanol. As duas correntes de água de lavagem separada é misturado com a fase glicerol decantada para recuperar o etanol e retorna-lo ao processo.

Composição da mistura para a recuperação do etanol

Destilação da mistura total**.** É considerado que a recuperação do etanol é 100% em mistura com água. Segundo o resultado da simulação a quantidade de água no etanol recuperado representa 97,13% da água contida na mistura total.

Composição do destilado 1

Etanol

$$\text{Etanol}_{\text{Destilado 1}} = \text{Etanol}_{\text{Mistura total}} = 151{,}32\frac{\text{kg de Etanol}}{\text{t de óleo cru}}$$

Água

$$\text{Água}_{\text{Destilado 1}} = 0{,}9713 \times \text{Água}_{\text{Mistura total}} = 0{,}9713 \times 176{,}13\text{kg} = 169{,}13\frac{\text{kg de água}}{\text{t de óleo cru}}$$

$$\text{Total}_{\text{Destilado 1}} = \text{Etanol}_{\text{Mistura total}} + \text{Água}_{\text{Destilado 1}}$$

$$\text{Total}_{\text{Destilado 1}} = 151{,}32\text{kg} + 169{,}13\text{kg} = 320{,}45\frac{\text{kg de Destilado 1}}{\text{t de óleo cru}}$$

Retificação do Destilado 1**.** A recuperação do etanol é 99,84% com 95%V de pureza (resultado da simulação)

Composição do Destilado 2.

Etanol

$$\text{Etanol}_{\text{Destilado 2}} = 0{,}9984 \times \text{Etanol}_{\text{Destilado 1}} = 151{,}08 \frac{\text{kg de Etanol}}{\text{t de óleo cru}}$$

Água

$$\text{Água}_{\text{Destilado 2}} = \frac{100}{95} \times \frac{\text{Etanol}_{\text{Destilado 2}}}{0{,}789} - \frac{\text{Etanol}_{\text{Destilado 2}}}{0{,}789}$$

$$\text{Água}_{\text{Destilado 2}} = \frac{100}{99{,}9} \times \frac{151{,}08\text{Kg}}{0{,}789} - \frac{151{,}08\text{Kg}}{0{,}789} = 11{,}58 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo cru}}$$

$$\text{Total}_{\text{Destilado 2}} = \text{Etanol}_{\text{Destilado 1}} + \text{Água}_{\text{Destilado 2}} = 162{,}66 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo cru}}$$

Corrente do reboiler na retificação. Considerando que sua composição é unicamente água

$$\text{Fondos}_{\text{Retificação}} = \text{Total}_{\text{Destilado 1}} - \text{Total}_{\text{Destilado 2}} = 157{,}79 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo cru}}$$

Destilação azeotropica: É considerado 100% de recuperação do etanol com 99,3%V de pureza.

$$\text{Etanol}_{\text{Destilado 3}} = \text{Etanol}_{\text{Destilado 2}} = 151{,}08 \frac{\text{kg de Etanol}}{\text{t de óleo cru}}$$

$$\text{Água}_{\text{Destilado 3}} = \frac{100}{99{,}3} \times \frac{151{,}08\text{kg}}{0{,}789} - \frac{151{,}08\text{kg}}{0{,}789} = 1{,}35 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo cru}}$$

Alimentação bruta de Etanol 99,3%V

$$\text{Etanol}_{\text{Bruto}} = \text{Etanol}_{\text{Total 6:1}} - \text{Total}_{\text{Destilado 3}} = 146{,}52 \frac{\text{kg}}{\text{t de óleo cru}}$$

$$\text{Água}_{\text{Etanol bruto}} = \frac{100}{99{,}3} \times \frac{146{,}22\text{kg}}{0{,}789} - \frac{146{,}22\text{kg}}{0{,}789} = 1{,}31 \frac{\text{kg de Água}}{\text{t de óleo cru}}$$

$$\text{Total}_{\text{Etanol bruto}} = \text{Etanol}_{\text{Bruto}} + \text{Água}_{\text{Etanol bruto}}$$

$$\text{Total}_{\text{Etanol bruto}} = 146{,}52\text{kg} + 1{,}31\text{kg} = 147{,}83 \frac{\text{kg de Destilado 2}}{\text{t de óleo cru}}$$

Balanço de Energia (Base 1000 Kg de óleo cru)

Igualmente como na rota metílica o consumo de energia até a etapa de pré-tratamento do óleo de soja é a mesma, mas é necessário focar nas seguintes diferenças, pois o rendimento é diferente:

Uso de vapor para a geração de vácuo no secador de óleo neutro. Segundo Sheehan (1998), é necessário 959,21kcal/t de biodiesel.

$$Q_4 = 959{,}21\frac{\text{kcal}}{\text{t B100}} \times 0{,}9927\frac{\text{t B100}}{\text{t de óleo cru}} \times 4{,}18\frac{1\text{kJ}}{1\text{kcal}} = 3980\frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo cru}}$$

Transesterificação. Segundo Sheehan (1998), é necessário 25605 Kcal/ton. de biodiesel.

$$Q_5 = 25605\frac{\text{kcal}}{\text{t B100}} \times 0{,}9925\frac{\text{t B100}}{\text{t de óleo cru}} \times 4{,}18\frac{1\text{KJ}}{1\text{Kcal}} = 106245\frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo cru}}$$

Aquecimento de água para a lavagem da fase Biodiesel. É adicionada água de lavagem a 80°C, então o ΔT= 80°C-20°C=60°C. Na seguinte formula foi calculado o calor requerido para esquentar a água necessária nas duas etapas de lavagem.

$$Q_6 = \frac{\text{Cp}_{\text{Água}} \times \left(\text{Água}_{\text{Lavagem 1}} + \text{Água}_{\text{Lavagem 2}}\right) \times \Delta T}{\eta}$$

$$Q_6 = \frac{4{,}18\frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times \left(\frac{118{,}15\text{kg} + 56{,}78\text{kg}}{\text{t de óleo}}\right) \times 60°\text{C}}{0{,}9} = 48748\frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo cru}}$$

Aquecimento da fase biodiesel para a etapa de lavagem. Depois da etapa de separação do biodiesel, este se encontra a 50°C e logo é aquecido ate 80°C para a lavagem com água a 80°C. ΔT = 80°C-50°C=30°C.

$$Q_7 = \frac{2{,}15\frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times 1039{,}7\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}} \times 30°\text{C}}{0{,}9} = 74515\frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo cru}}$$

Aquecimento do biodiesel lavado para a etapa de secagem. Depois da etapa de lavagem do biodiesel, este se encontra a 70°C e logo é aquecido ate 110°C para remover a umidade. ΔT = 110°C-70°C=40°C.

$$Q_8 = \frac{2{,}15\frac{\text{KJ}}{\text{Kg.°C}} \times 996{,}23\frac{\text{Kg}}{\text{t de óleo}} \times 40°\text{C}}{0{,}9} = 95\,196\frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo cru}}$$

Vapor para a geração de vácuo no secador de Biodiesel. Segundo Sheehan (1998), é necessário 546,12kcal/ton. de biodiesel.

$$Q_9 = 546{,}12\frac{\text{kcal}}{\text{t B100}} \times 0{,}9927\frac{\text{t B100}}{\text{t de óleo cru}} \times 4{,}18\frac{1\text{kJ}}{1\text{kcal}} = 2266\frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo cru}}$$

Destilação da fase Glicerol. Segundo a simulação ASPEN o reboiler para esta destilação precisa 235 802 Kcal/ton. de óleo cru.

$$Q_{10} = \frac{235\,802 \frac{\text{kcal}}{\text{t de óleo}} \times 4{,}18 \frac{1\text{kJ}}{1\text{kcal}}}{0{,}9} = 1\,091\,826 \frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo cru}}$$

Retificação do etanol. Segundo a simulação ASPEN o reboiler para esta destilação precisa 174 075 kcal/t de óleo cru.

$$Q_{11} = \frac{174\,075 \frac{\text{kcal}}{\text{t de óleo}} \times 4{,}18 \frac{1\text{kJ}}{1\text{kcal}}}{0{,}9} = 193\,417 \frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo cru}}$$

Destilação azeotropica. Segundo resultado da simulação:

$$Q_{12} = \frac{216\,287 \frac{\text{kcal}}{\text{t de óleo}} \times 4{,}18 \frac{1\text{KJ}}{1\text{kcal}}}{0{,}9} = 904\,080 \frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo cru}}$$

Total energia térmica requerida:

Tabela A.4.14 Consumo de energia por etapa

Etapa	kJ/t de óleo	kJ/t de B100
Q1	93.050	93.737
Q2	43.771	44.094
Q3	79.104	79.688
Q4	3.980	4.009
Q5	106.245	107.029
Q6	48.748	49.108
Q7	74.515	75.064
Q8	95.196	95.898
Q9	2.266	2.283
Q10	1.091.826	1.099.882
Q11	808.482	814.447
Q12	904.080	910.751
Total	3.351.263	3.375.991

O cosumo de água é dividido em três tipos de consumo: 1) consumo direto de água de processo; 2) consumo de água para geração de vapor e 3) cosumo de água de resfriamento.

Consumo direto de água de processo. Baseado nos cálculos de balance de materiais, a seguinte tabela resume o cosumo de água de processo.

Tabela A.4.15 Consumo de água de processo por etapa

Etapa	kg/t de óleo	kg/t de B100
Preparação de solução de NaOH 20%	3,32	3,35
Lavagem1 do óleo neutro	104,72	105,49
Lavagem 2 do óleo neutro	52,36	52,74
Lavagem1 da fase biodiesel	118,15	119,02
Lavagem 2 do fase biodiesel	56,78	57,20
Total água de processo	335,33	337,80

Consumo de água para a geração de vapor. Segundo Sheehan (1998), para a produção de biodiesel pode ser considerado o uso de vapor saturado a 11,4bar com 475,1kcal/kg (1985,92kJ/kg) de entalpia de condensação.

$$\text{Água}_{\text{Geração de vapor}} = \frac{\text{Consumo de energia termica total } (\frac{\text{kJ}}{\text{t de B100}})}{1985{,}92\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\text{Água}_{\text{Geração de vapor}} = \frac{3\,375\,991\ (\frac{\text{kJ}}{\text{t de B100}})}{1985{,}92\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 1700\frac{\text{kg}}{\text{t de B100}}$$

Consumo de água para resfriamento

Resfriamento do óleo seco. Depois da etapa de secagem o óleo seco se encontra a 110°C e tem que ser resfriado ate 65°C para a etapa de transesterificação.

$$Q_{\text{Removido}} = 953{,}24\frac{\text{kg}}{\text{t de óleo}} \times 1{,}86\frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times 45°\text{C} = 79\,833\frac{\text{kJ}}{\text{t de óleo}}$$

Assumiu-se que a água de resfriamento entra a 20°C e sai a 50°C, ΔT=30°C e a eficiência de trocamento de calor é 90%.

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{79\,833\text{kJ} \times 1{,}01\frac{\text{t de óleo}}{\text{t de biodiesel}}}{0{,}9 \times 4{,}18\frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times 30°\text{C}} = 712{,}58\frac{\text{kg}}{\text{t de biodiesel}}$$

Água de resfriamento para o condensado da coluna de destilação 1. O calor removido no condensador 1 segundo a simulação ASPEN é 943 058 kJ/t de óleo

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{Q_{\text{Removido do condensador 1}}}{\eta \times Cp_{\text{Água}} \times \Delta T}$$

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{943\,058\text{kJ} \times 1{,}01\frac{\text{t de óleo}}{\text{t de biodiesel}}}{0{,}9 \times 4{,}18\frac{\text{kJ}}{\text{kg.°C}} \times 30°\text{C}} = 8419\frac{\text{kg}}{\text{t de biodiesel}}$$

Água de resfriamento para o condensado da coluna de destilação 2. O calor removido no condensador 2 segundo a simulação ASPEN é 706 311 KJ/ton. de óleo

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{Q_{\text{Removido do condensador 1}}}{\eta \times Cp_{\text{Água}} \times \Delta T}$$

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{706\,311 KJ \times 1{,}05 \frac{\text{ton. de óleo}}{\text{ton. de biodiesel}}}{0{,}9 \times 4{,}18 \frac{KJ}{Kg.\,°C} \times 30°C} = 6305{,}43 \frac{Kg}{\text{t de biodiesel}}$$

Água de resfriamento para o condensado da coluna de destilação 3. O calor removido no condensador 3 segundo a simulação ASPEN é 144 432 kJ/t de óleo

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{144\,432 kJ \times 1{,}05 \frac{\text{t de óleo}}{\text{t de biodiesel}}}{0{,}9 \times 4{,}18 \frac{kJ}{kg.\,°C} \times 30°C} = 1289{,}38 \frac{kg}{\text{t de biodiesel}}$$

Resfriamento do Biodiesel seco. Depois da etapa de secagem o óleo seco se encontra a 110°C e tem que ser resfriado ate 40°C para seu armazenamento. ΔT= 85°C.

$$Q_{\text{Removido}} = 992{,}52 \frac{kg}{\text{t de óleo}} \times 1{,}86 \frac{kJ}{kg.\,°C} \times 70°C = 1145{,}81 \frac{kJ}{\text{t de óleo}}$$

Assumiu-se que a água de resfriamento entra a 20°C e sai a 50°C, ΔT=30°C e a eficiência de troca de calor é 90%.

$$F_{\text{Água de resfriamento}} = \frac{1145{,}81 kJ \times 1{,}01 \frac{\text{t de óleo}}{\text{t de biodiesel}}}{0{,}9 \times 4{,}18 \frac{kJ}{kg.\,°C} \times 30°C} = 1154{,}26 \frac{\text{kg de água}}{\text{t de biodiesel}}$$

$$\text{Total}_{\text{Água resfriamento}} = \text{Resfriamento}_{\text{Óleo seco}} + \text{Resfriamento}_{\text{Condensador 1}} + \text{Resfriamento}_{\text{Condensador 2}} + \text{Resfriamento}_{\text{B100 seco}}$$

$$\text{Total}_{\text{Água resfriamento}} = 17878{,}16 \frac{\text{kg de água}}{\text{t de Biodiesel}}$$

$$\text{Total}_{\text{Consumo de água}} = \text{Água}_{\text{Processo}} + \text{Água}_{\text{Vapor}} + \text{Água}_{\text{Resfriamento}}$$

$$\text{Total}_{\text{Consumo de água}} = 19915{,}93 \frac{\text{kg de água}}{\text{t de Biodiesel}} = 19{,}92 \frac{m^3}{\text{t de Biodiesel}}$$

Geração de efluentes líquidos

Tabela A.4.16 Geração de efluentes líquidos

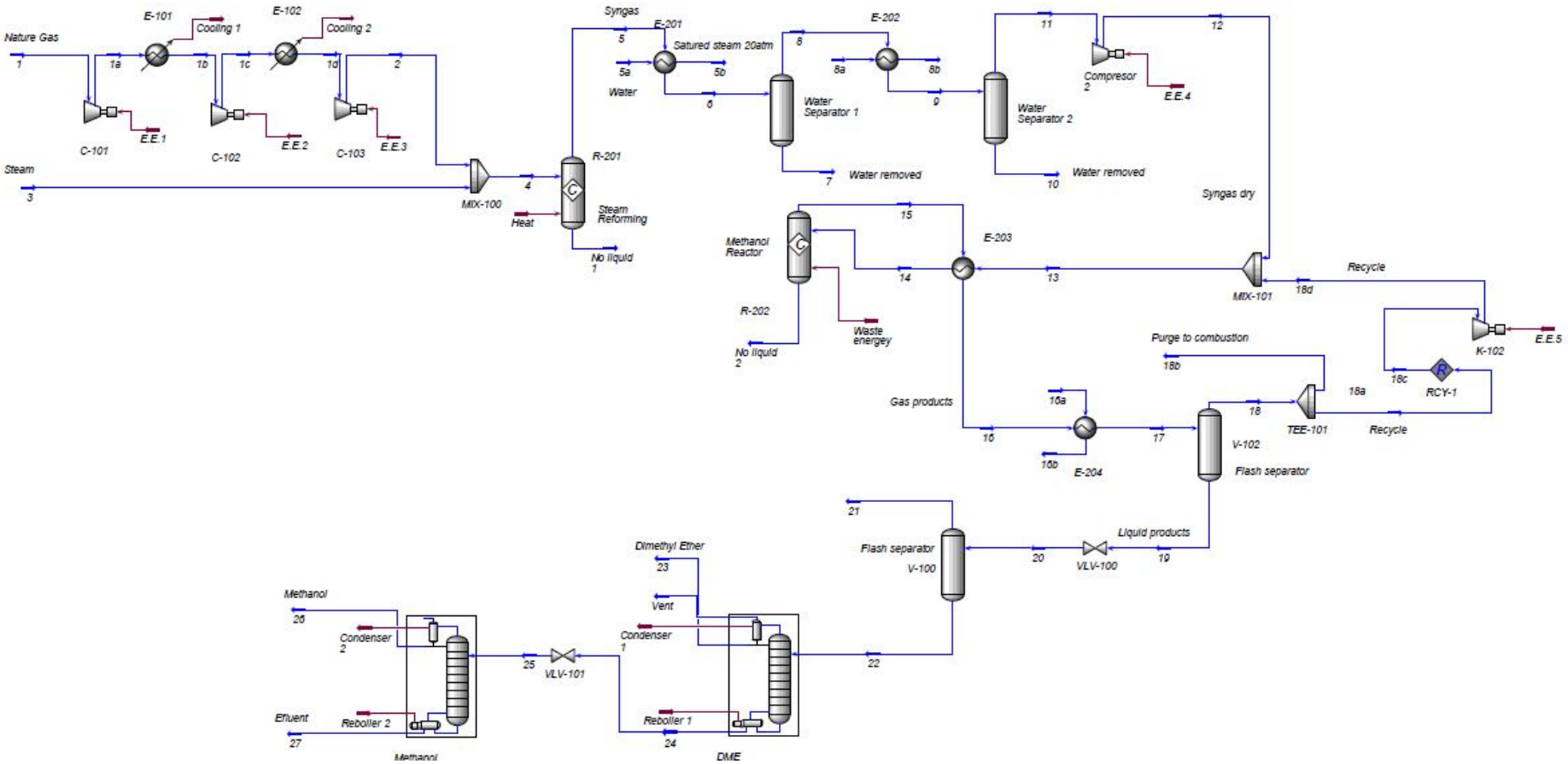
Etapa	kg/t de óleo	kg/t de Biodiesel
Água de lavagem 1 do óleo neutro	107,92	108,71
Água de lavagem 2 do óleo neutro	56,67	57,09
Água de secagem do óleo neutro	3,11	3,13
Água de secagem do Biodiesel	3,56	3,58
Fundos da coluna 1 (destilação)	0,00	0,00
Fundos da coluna 2 (retificação)	157,79	158,95
Fundos da coluna 3 (desidratação)	10,23	10,31
Total Efluente	339,28	341,78

$$\text{Total}_{\text{Efluente Liquido}} = 305{,}39 \frac{\text{kg}}{\text{t de Biodiesel}}$$

Tabela A.4.17 Resumo do balanço de massa e energia para a produção de Biodiesel Etílico

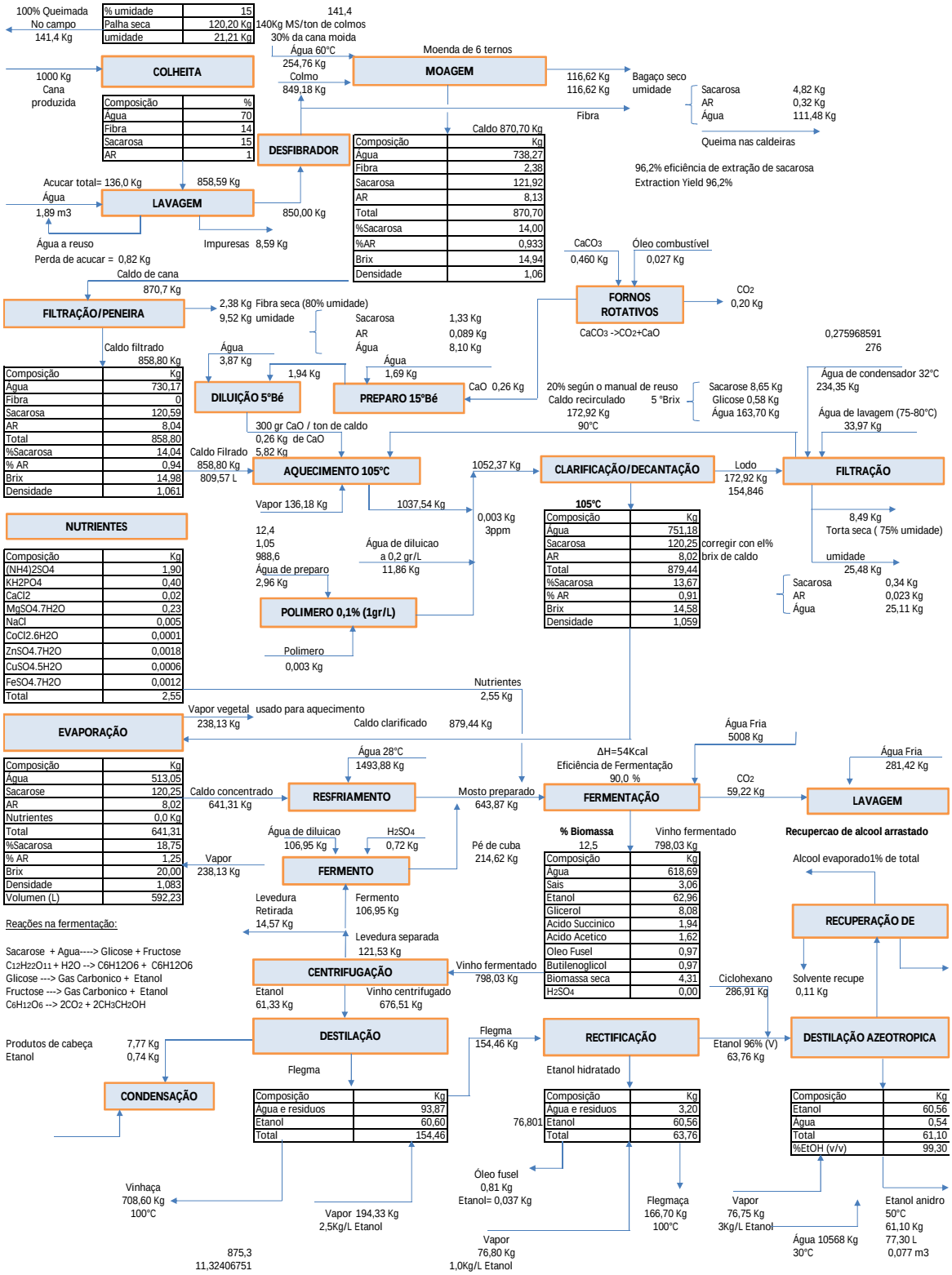
Entrada/Saída	Unidade/t de Biodiesel
Óleo degomado de soja	1008 kg
Etanol	188 L
NaOH (Catalisador e Neutralizador)	10,44 kg
Vapor saturado a 11,4bares	1700 kg
Água de processo	0,30 m^3
Água para geração de vapor	1,70 m^3
Água de resfriamento	17,87 m^3
Consumo de água total	20,19 m^3
Borra produzida	40,77 kg
Glicerol produzido	120,60 kg
Efluente produzido	0,30 m^3

APÊNDICE 5 FLUXOGRAMA DE PRODUCAO DE METANOL EM AMBIENTE ASPEN



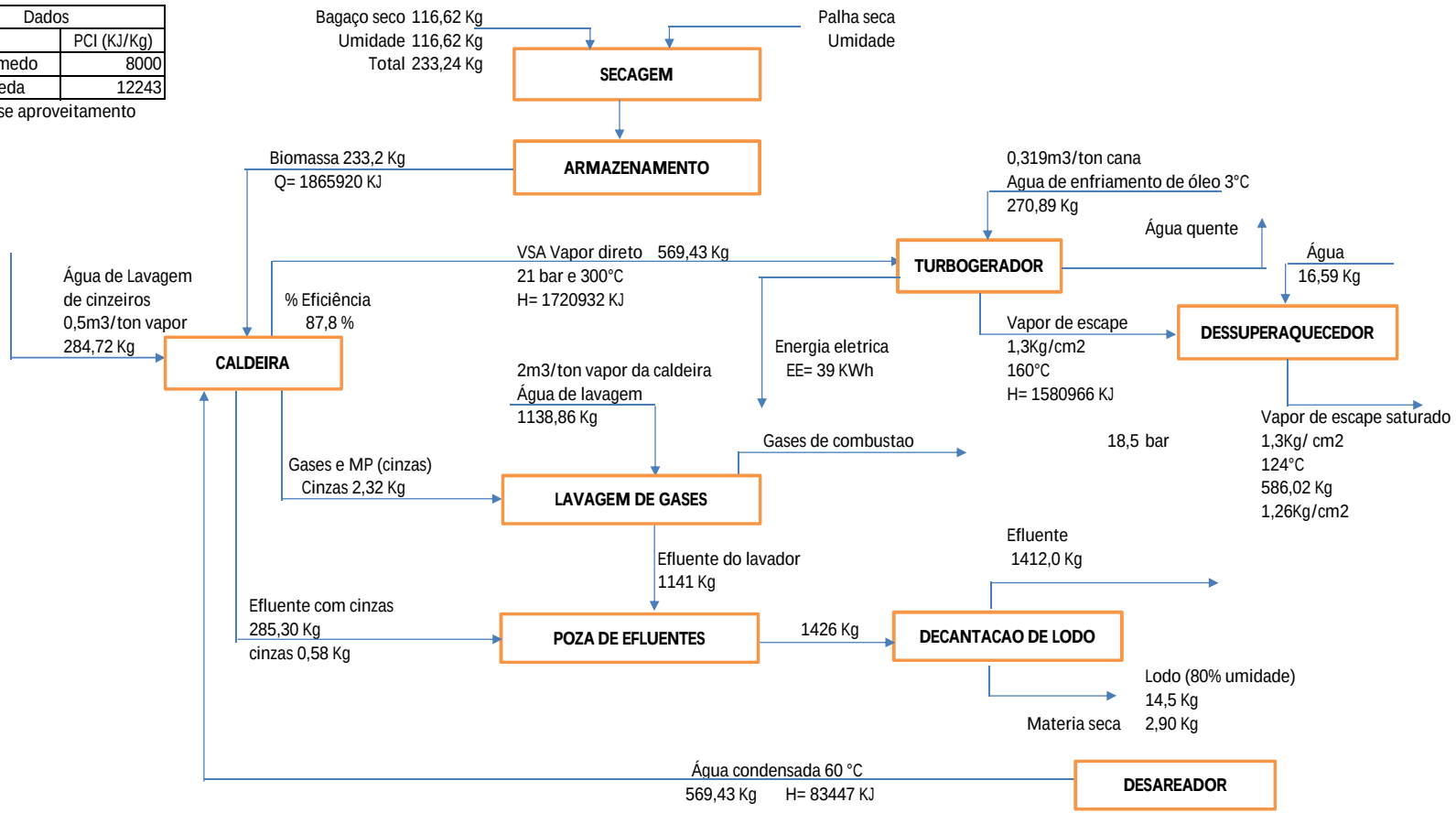
APÊNDICE A6 COMPOSICAO DAS CORRENTES DO FLUXOGRAMA DE PRODUCAO DE METANOL 217

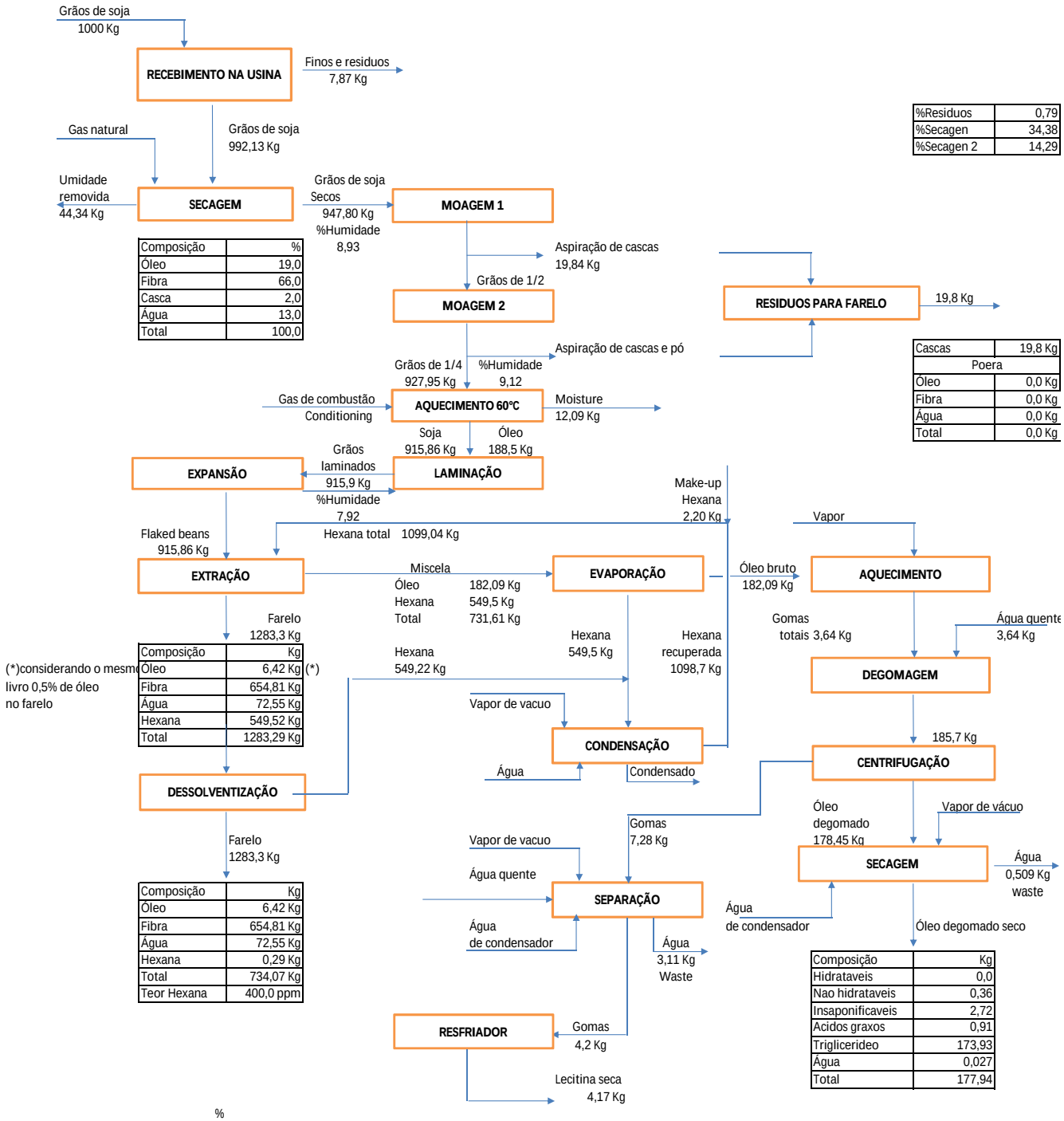
Material Streams												
		1	1a	1b	1c	1d	2	3	4	5	5a	5b
Vapour Fraction		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9854	1,0000	0,0000	1,0000
Temperature	C	25,00	149,2	45,00	137,9	50,00	135,9	213,0	200,7	880,0	35,00	213,0
Pressure	kPa	101,3	350,0	350,0	900,0	850,0	2026	2026	2026	2026	2026	2026
Molar Flow	kgmole/h	58,33	58,33	58,33	58,33	58,33	58,33	208,7	267,0	365,9	310,2	310,2
Mass Flow	kg/h	1000	1000	1000	1000	1000	1000	3759	4759	4759	5588	5588
Liquid Volume Flow	m3/h	3,181	3,181	3,181	3,181	3,181	3,181	3,767	6,948	9,985	5,600	5,600
Heat Flow	kJ/h	-4,390e+006	-4,104e+006	-4,347e+006	-4,132e+006	-4,336e+006	-4,137e+006	-4,930e+007	-5,344e+007	-3,466e+007	-8,813e+007	-7,329e+007
		6	7	8	8a	8b	9	10	11	12	13	14
Vapour Fraction		0,6656	0,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,9384	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Temperature	C	110,0	110,0	110,0	35,00	50,00	60,00	60,00	60,00	186,5	80,21	250,0
Pressure	kPa	2026	2026	2026	101,3	51,32	2026	2026	2026	5066	5066	5046
Molar Flow	kgmole/h	365,9	122,4	243,5	877,6	877,6	243,5	14,99	228,5	228,5	933,6	933,6
Mass Flow	kg/h	4759	2206	2553	1,581e+004	1,581e+004	2553	270,4	2282	2282	6053	6053
Liquid Volume Flow	m3/h	9,985	2,213	7,772	15,84	15,84	7,772	0,2712	7,501	7,501	31,02	31,02
Heat Flow	kJ/h	-4,950e+007	-3,404e+007	-1,546e+007	-2,494e+008	-2,484e+008	-1,646e+007	-4,229e+006	-1,223e+007	-1,135e+007	-2,156e+007	-1,660e+007
		15	16	No liquid 1	No liquid 2	17	16a	16b	18	19	18b	18a
Vapour Fraction		1,0000	0,9750	0,0000	0,0000	0,9140	0,0000	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000
Temperature	C	260,0	108,3	880,0	260,0	45,00	35,00	50,00	45,00	45,00	45,00	45,00
Pressure	kPa	5046	5046	2026	5046	5046	101,3	101,3	5046	5046	5046	5046
Molar Flow	kgmole/h	834,6	834,6	0,0000	0,0000	834,6	3213	3213	762,9	71,75	57,21	705,6
Mass Flow	kg/h	6053	6053	0,0000	0,0000	6053	5,788e+004	5,788e+004	4078	1975	305,9	3772
Liquid Volume Flow	m3/h	27,84	27,84	0,0000	0,0000	27,84	58,00	58,00	25,45	2,393	1,909	23,54
Heat Flow	kJ/h	-2,038e+007	-2,533e+007	0,0000	0,0000	-2,900e+007	-9,130e+008	-9,093e+008	-1,103e+007	-1,797e+007	-8,276e+005	-1,021e+007
		18c	20	21	22	23	24	25	26	Vent	27	18d
Vapour Fraction		1,0000	0,0044	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1464	0,0000	1,0000	0,0000	1,0000
Temperature	C	45,00	45,09	45,09	45,09	119,0	147,5	105,0	99,15	119,0	138,3	45,46
Pressure	kPa	5046	1135	1135	1135	1135	1135	344,5	344,5	1135	344,5	5066
Molar Flow	kgmole/h	705,0	71,75	0,3143	71,44	1,779e-002	70,43	70,43	47,63	0,9896	22,80	705,0


100% Queimada
No campo
141,4 Kg
% umidade 15
Palha seca 120,20 Kg
umidade 21,21 Kg
141,4
140Kg MS/ton de colmos
30% da cana moida
Água 60°C
254,76 Kg
Colmo
849,18 Kg
COLHEITA
MOAGEM
Moenda de 6 ternos
1000 Kg
Cana
produzida
Composição %
Água 70
Fibra 14
Sacarosa 15
AR 1
116,62 Kg
116,62 Kg
Bagaço seco
umidade
Sacarosa 4,82 Kg
AR 0,32 Kg
Água 111,48 Kg
Fibra
Queima nas caldeiras
Caldo 870,70 Kg
DESFIBRADOR
Composição Kg
Água 738,27
Fibra 2,38
Sacarosa 121,92
AR 8,13
Total 870,70
%Sacarosa 14,00
%AR 0,933
Brix 14,94
Densidade 1,06
96,2% eficiência de extração de sacarosa
Extraction Yield 96,2%
Acucar total= 136,0 Kg
858,59 Kg
Água
1,89 m3
LAVAGEM
850,00 Kg
Água a reuso
Impuresas 8,59 Kg
Perda de acucar = 0,82 Kg
CaCO3
0,460 Kg
Óleo combustível
0,027 Kg
Caldo de cana
870,7 Kg
FILTRAÇÃO/PENEIRA
2,38 Kg Fibra seca (80% umidade)
9,52 Kg umidade
Sacarosa 1,33 Kg
AR 0,089 Kg
Água 8,10 Kg
FORNOS ROTATIVOS
CO2
0,20 Kg
CaCO3 ->CO2+CaO
0,275968591
276
Caldo filtrado
858,80 Kg
Composição Kg
Água 730,17
Fibra 0
Sacarosa 120,59
AR 8,04
Total 858,80
%Sacarosa 14,04
% AR 0,94
Brix 14,98
Densidade 1,061
Água
3,87 Kg
1,94 Kg
Água
1,69 Kg
DILUIÇÃO 5°Bé
PREPARO 15°Bé
CaO 0,26 Kg
20% según o manual de reuso
Caldo recirculado
172,92 Kg
90°C
5 °Brix
Sacarose 8,65 Kg
Glicose 0,58 Kg
Água 163,70 Kg
Água de condensador 32°C
234,35 Kg
Água de lavagem (75-80°C)
33,97 Kg
300 gr CaO / ton de caldo
0,26 Kg de CaO
NUTRIENTES
Composição Kg
(NH4)2SO4 1,90
KH2PO4 0,40
CaCl2 0,02
MgSO4.7H2O 0,23
NaCl 0,005
CoCl2.6H2O 0,0001
ZnSO4.7H2O 0,0018
CuSO4.5H2O 0,0006
FeSO4.7H2O 0,0012
Total 2,55
Caldo Filrado
858,80 Kg
809,57 L
5,82 Kg
AQUECIMENTO 105°C
Vapor 136,18 Kg
1037,54 Kg
1052,37 Kg
CLARIFICAÇÃO/DECANTAÇÃO
Lodo
172,92 Kg
154,846
FILTRAÇÃO
105°C
Composição Kg
Água 751,18
Sacarosa 120,25
AR 8,02
Total 879,44
%Sacarosa 13,67
% AR 0,91
Brix 14,58
Densidade 1,059
corregir con el% brix de caldo
8,49 Kg
Torta seca (75% umidade)
umidade
25,48 Kg
Sacarosa 0,34 Kg
AR 0,023 Kg
Água 25,11 Kg
0,003 Kg
3ppm
12,4
1,05
988,6
Água de preparo
2,96 Kg
Água de diluicao
a 0,2 gr/L
11,86 Kg
POLIMERO 0,1% (1gr/L)
Polimero
0,003 Kg
Nutrientes
2,55 Kg
Vapor vegetal usado para aquecimento
238,13 Kg
Caldo clarificado 879,44 Kg
EVAPORAÇÃO
Água Fria
5008 Kg
Água 28°C
1493,88 Kg
ΔH=54Kcal
Eficiência de Fermentação
90,0 %
Água Fria
281,42 Kg
Composição Kg
Água 513,05
Sacarose 120,25
AR 8,02
Nutrientes 0,0 Kg
Total 641,31
%Sacarosa 18,75
% AR 1,25
Brix 20,00
Densidade 1,083
Volumen (L) 592,23
Caldo concentrado
641,31 Kg
RESFRIAMENTO
Mosto preparado
643,87 Kg
FERMENTAÇÃO
CO2
59,22 Kg
LAVAGEM
Recupercao de alcool arrastado
Água de diluicao
106,95 Kg
H2SO4
0,72 Kg
Vapor
238,13 Kg
FERMENTO
Pé de cuba
214,62 Kg
% Biomassa
12,5
Vinho fermentado
798,03 Kg
Composição Kg
Água 618,69
Sais 3,06
Etanol 62,96
Glicerol 8,08
Acido Succinico 1,94
Acido Acetico 1,62
Oleo Fusel 0,97
Butilenoglicol 0,97
Biomassa seca 4,31
H2SO4 0,00
Alcool evaporado1% de total
RECUPERAÇÃO DE
Levedura
Retirada
14,57 Kg
Fermento
106,95 Kg
Levedura separada
121,53 Kg
Reações na fermentação:
Sacarose + Agua----> Glicose + Fructose
C12H22O11 + H2O --> C6H12O6 + C6H12O6
Glicose ---> Gas Carbonico + Etanol
Fructose ---> Gas Carbonico + Etanol
C6H12O6 --> 2CO2 + 2CH3CH2OH
CENTRIFUGAÇÃO
Vinho fermentado
798,03 Kg
Ciclohexano
286,91 Kg
Solvente recupe
0,11 Kg
Etanol
61,33 Kg
Vinho centrifugado
676,51 Kg
Produtos de cabeça
Etanol
7,77 Kg
0,74 Kg
DESTILAÇÃO
Flegma
154,46 Kg
RECTIFICAÇÃO
Etanol 96% (V)
63,76 Kg
DESTILAÇÃO AZEOTROPICA
Flegma
Composição Kg
Água e residuos 93,87
Etanol 60,60
Total 154,46
Etanol hidratado
Composição Kg
Água e residuos 3,20
Etanol 60,56
Total 63,76
Composição Kg
Etanol 60,56
Água 0,54
Total 61,10
%EtOH (v/v) 99,30
CONDENSAÇÃO
Vinhaça
708,60 Kg
100°C
Vapor 194,33 Kg
2,5Kg/L Etanol
875,3
11,32406751
Óleo fusel
0,81 Kg
Etanol= 0,037 Kg
76,801
Vapor
76,80 Kg
1,0Kg/L Etanol
Flegmaça
166,70 Kg
100°C
Vapor
76,75 Kg
3Kg/L Etanol
Água 10568 Kg
30°C
Etanol anidro
50°C
61,10 Kg
77,30 L
0,077 m3

Dados	
Residuo	PCI (KJ/Kg)
Bagaco umedo	8000
Palha umeda	12243

Fonte: Tese aproveitamento





%Residuos	0,79
%Secagen	34,38
%Secagen 2	14,29

Composição	%
Óleo	19,0
Fibra	66,0
Casca	2,0
Água	13,0
Total	100,0

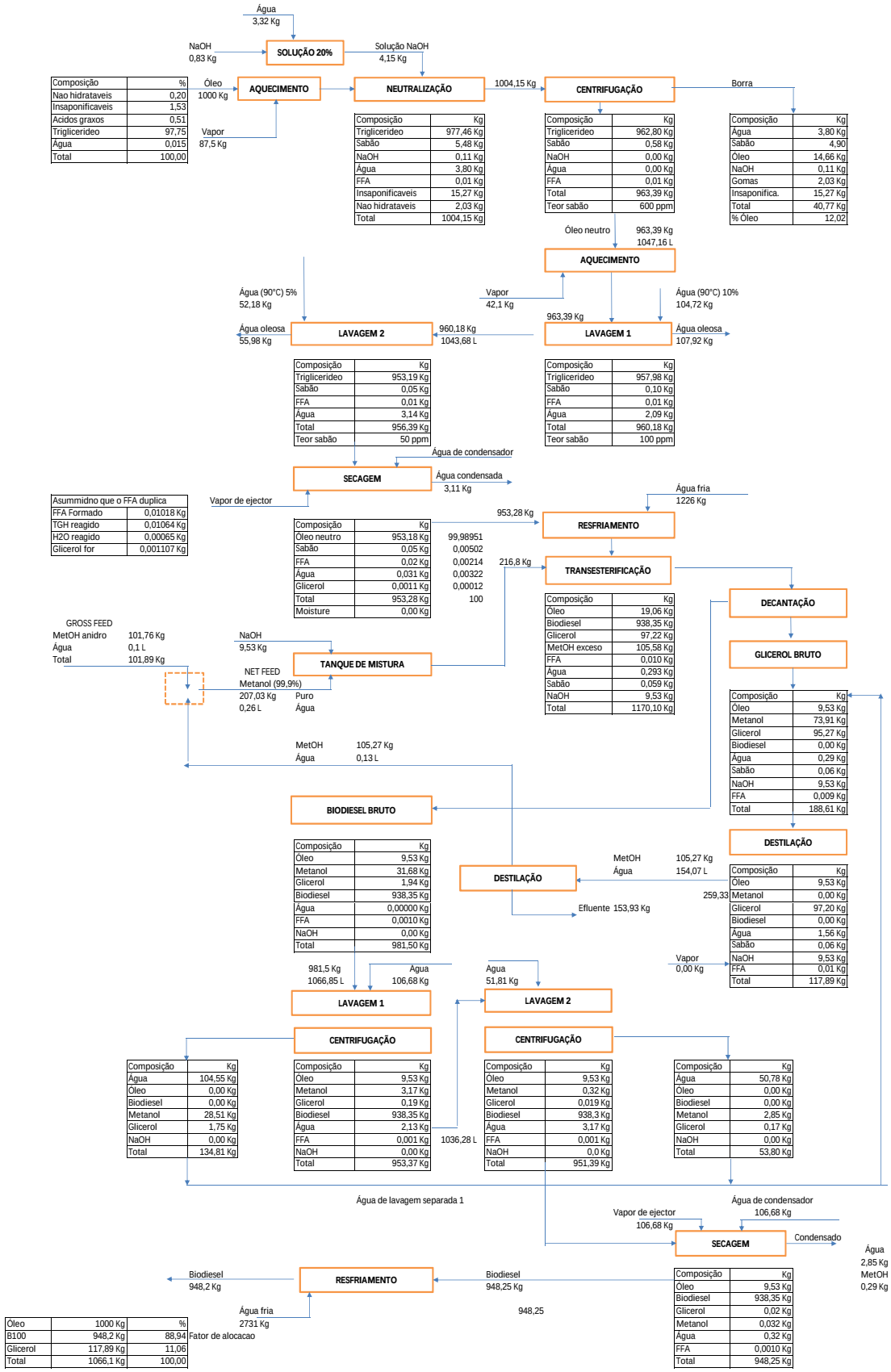
Cascas	19,8 Kg
Poera	
Óleo	0,0 Kg
Fibra	0,0 Kg
Água	0,0 Kg
Total	0,0 Kg

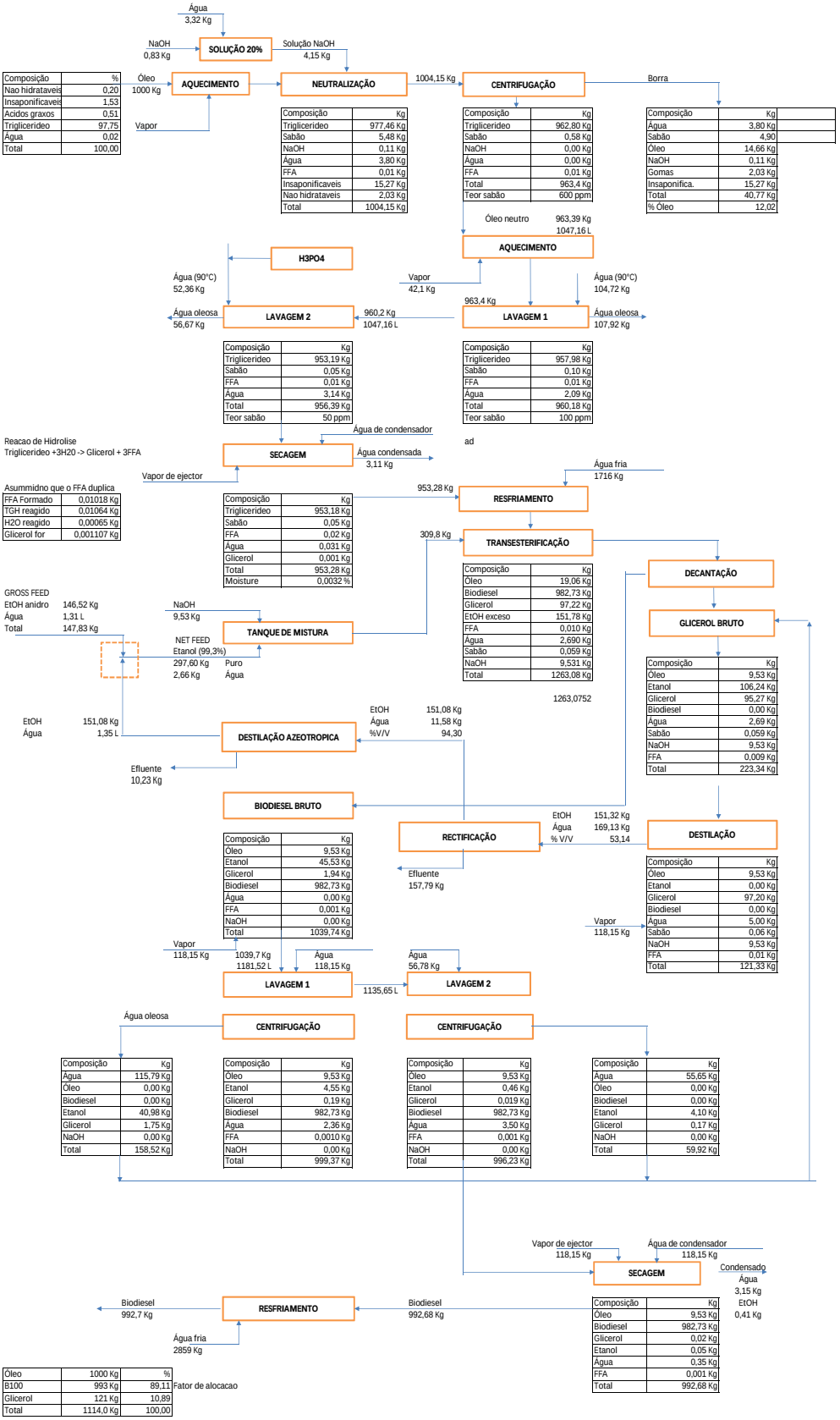
Composição	Kg
Óleo	6,42 Kg
Fibra	654,81 Kg
Água	72,55 Kg
Hexana	549,52 Kg
Total	1283,29 Kg

Composição	Kg
Óleo	6,42 Kg
Fibra	654,81 Kg
Água	72,55 Kg
Hexana	0,29 Kg
Total	734,07 Kg
Teor Hexana	400,0 ppm

Composição	Kg
Hidrataveis	0,0
Nao hidrataveis	0,36
Insaponificaveis	2,72
Acidos graxos	0,91
Triglicerideo	173,93
Água	0,027
Total	177,94

		%	
Óleo	177,9 Kg	19,01	Fator de alocacao
Farelo	753,9 Kg	80,54	
Lecitina	4,2 Kg	0,45	
Total	936,0 Kg	100,00	


Água
3,32 Kg
NaOH
0,83 Kg
SOLUÇÃO 20%
Solução NaOH
4,15 Kg
Composição | %
Nao hidrataveis | 0,20
Insaponificaveis | 1,53
Acidos graxos | 0,51
Triglicerideo | 97,75
Água | 0,015
Total | 100,00
Óleo
1000 Kg
AQUECIMENTO
Vapor
87,5 Kg
NEUTRALIZAÇÃO
1004,15 Kg
CENTRIFUGAÇÃO
Borra
Composição | Kg
Triglicerideo | 977,46 Kg
Sabão | 5,48 Kg
NaOH | 0,11 Kg
Água | 3,80 Kg
FFA | 0,01 Kg
Insaponificaveis | 15,27 Kg
Nao hidrataveis | 2,03 Kg
Total | 1004,15 Kg
Composição | Kg
Triglicerideo | 962,80 Kg
Sabão | 0,58 Kg
NaOH | 0,00 Kg
Água | 0,00 Kg
FFA | 0,01 Kg
Total | 963,39 Kg
Teor sabão | 600 ppm
Composição | Kg
Água | 3,80 Kg
Sabão | 4,90
Óleo | 14,66 Kg
NaOH | 0,11 Kg
Gomas | 2,03 Kg
Insaponifica. | 15,27 Kg
Total | 40,77 Kg
% Óleo | 12,02
Óleo neutro
963,39 Kg
1047,16 L
AQUECIMENTO
Água (90°C) 5%
52,18 Kg
Vapor
42,1 Kg
Água (90°C) 10%
104,72 Kg
963,39 Kg
Água oleosa
55,98 Kg
LAVAGEM 2
960,18 Kg
1043,68 L
LAVAGEM 1
Água oleosa
107,92 Kg
Composição | Kg
Triglicerideo | 953,19 Kg
Sabão | 0,05 Kg
FFA | 0,01 Kg
Água | 3,14 Kg
Total | 956,39 Kg
Teor sabão | 50 ppm
Composição | Kg
Triglicerideo | 957,98 Kg
Sabão | 0,10 Kg
FFA | 0,01 Kg
Água | 2,09 Kg
Total | 960,18 Kg
Teor sabão | 100 ppm
Água de condensador
SECAGEM
Água condensada
3,11 Kg
Asummidno que o FFA duplica
FFA Formado | 0,01018 Kg
TGH reagido | 0,01064 Kg
H2O reagido | 0,00065 Kg
Glicerol for | 0,001107 Kg
Vapor de ejector
Água fria
1226 Kg
953,28 Kg
RESFRIAMENTO
Composição | Kg
Óleo neutro | 953,18 Kg
Sabão | 0,05 Kg
FFA | 0,02 Kg
Água | 0,031 Kg
Glicerol | 0,0011 Kg
Total | 953,28 Kg
Moisture | 0,00 Kg
99,98951
0,00502
0,00214
0,00322
0,00012
100
216,8 Kg
TRANSESTERIFICAÇÃO
Composição | Kg
Óleo | 19,06 Kg
Biodiesel | 938,35 Kg
Glicerol | 97,22 Kg
MetOH exceso | 105,58 Kg
FFA | 0,010 Kg
Água | 0,293 Kg
Sabão | 0,059 Kg
NaOH | 9,53 Kg
Total | 1170,10 Kg
DECANTAÇÃO
GLICEROL BRUTO
Composição | Kg
Óleo | 9,53 Kg
Metanol | 73,91 Kg
Glicerol | 95,27 Kg
Biodiesel | 0,00 Kg
Água | 0,29 Kg
Sabão | 0,06 Kg
NaOH | 9,53 Kg
FFA | 0,009 Kg
Total | 188,61 Kg
GROSS FEED
MetOH anidro | 101,76 Kg
Água | 0,1 L
Total | 101,89 Kg
NaOH
9,53 Kg
TANQUE DE MISTURA
NET FEED
Metanol (99,9%)
207,03 Kg
0,26 L
Puro
Água
MetOH
105,27 Kg
Água
0,13 L
BIODIESEL BRUTO
Composição | Kg
Óleo | 9,53 Kg
Metanol | 31,68 Kg
Glicerol | 1,94 Kg
Biodiesel | 938,35 Kg
Água | 0,00000 Kg
FFA | 0,0010 Kg
NaOH | 0,00 Kg
Total | 981,50 Kg
DESTILAÇÃO
MetOH
105,27 Kg
Água
154,07 L
259,33
Efluente 153,93 Kg
DESTILAÇÃO
Composição | Kg
Óleo | 9,53 Kg
Metanol | 0,00 Kg
Glicerol | 97,20 Kg
Biodiesel | 0,00 Kg
Água | 1,56 Kg
Sabão | 0,06 Kg
NaOH | 9,53 Kg
FFA | 0,01 Kg
Total | 117,89 Kg
Vapor
0,00 Kg
981,5 Kg
1066,85 L
Água
106,68 Kg
Água
51,81 Kg
LAVAGEM 1
LAVAGEM 2
CENTRIFUGAÇÃO
CENTRIFUGAÇÃO
Composição | Kg
Água | 104,55 Kg
Óleo | 0,00 Kg
Biodiesel | 0,00 Kg
Metanol | 28,51 Kg
Glicerol | 1,75 Kg
NaOH | 0,00 Kg
Total | 134,81 Kg
Composição | Kg
Óleo | 9,53 Kg
Metanol | 3,17 Kg
Glicerol | 0,19 Kg
Biodiesel | 938,35 Kg
Água | 2,13 Kg
FFA | 0,001 Kg
NaOH | 0,00 Kg
Total | 953,37 Kg
1036,28 L
Composição | Kg
Óleo | 9,53 Kg
Metanol | 0,32 Kg
Glicerol | 0,019 Kg
Biodiesel | 938,3 Kg
Água | 3,17 Kg
FFA | 0,001 Kg
NaOH | 0,0 Kg
Total | 951,39 Kg
Composição | Kg
Água | 50,78 Kg
Óleo | 0,00 Kg
Biodiesel | 0,00 Kg
Metanol | 2,85 Kg
Glicerol | 0,17 Kg
NaOH | 0,00 Kg
Total | 53,80 Kg
Água de lavagem separada 1
Vapor de ejector
106,68 Kg
Água de condensador
106,68 Kg
SECAGEM
Condensado
Água
2,85 Kg
MetOH
0,29 Kg
Biodiesel
948,2 Kg
RESFRIAMENTO
Biodiesel
948,25 Kg
Água fria
2731 Kg
948,25
Composição | Kg
Óleo | 9,53 Kg
Biodiesel | 938,35 Kg
Glicerol | 0,02 Kg
Metanol | 0,032 Kg
Água | 0,32 Kg
FFA | 0,0010 Kg
Total | 948,25 Kg
Óleo | 1000 Kg | %
B100 | 948,2 Kg | 88,94
Glicerol | 117,89 Kg | 11,06
Total | 1066,1 Kg | 100,00
Fator de alocacao


Água
3,32 Kg
NaOH
0,83 Kg
SOLUÇÃO 20%
Solução NaOH
4,15 Kg
Composição | %
Nao hidrataveis | 0,20
Insaponificaveis | 1,53
Acidos graxos | 0,51
Triglicerideo | 97,75
Água | 0,02
Total | 100,00
Óleo
1000 Kg
AQUECIMENTO
Vapor
NEUTRALIZAÇÃO
1004,15 Kg
CENTRIFUGAÇÃO
Borra
Composição | Kg
Triglicerideo | 977,46 Kg
Sabão | 5,48 Kg
NaOH | 0,11 Kg
Água | 3,80 Kg
FFA | 0,01 Kg
Insaponificaveis | 15,27 Kg
Nao hidrataveis | 2,03 Kg
Total | 1004,15 Kg
Composição | Kg
Triglicerideo | 962,80 Kg
Sabão | 0,58 Kg
NaOH | 0,00 Kg
Água | 0,00 Kg
FFA | 0,01 Kg
Total | 963,4 Kg
Teor sabão | 600 ppm
Composição | Kg
Água | 3,80 Kg
Sabão | 4,90
Óleo | 14,66 Kg
NaOH | 0,11 Kg
Gomas | 2,03 Kg
Insaponifica. | 15,27 Kg
Total | 40,77 Kg
% Óleo | 12,02
Óleo neutro
963,39 Kg
1047,16 L
AQUECIMENTO
H3PO4
Água (90°C)
52,36 Kg
Vapor
42,1 Kg
963,4 Kg
Água (90°C)
104,72 Kg
Água oleosa
56,67 Kg
LAVAGEM 2
960,2 Kg
1047,16 L
LAVAGEM 1
Água oleosa
107,92 Kg
Composição | Kg
Triglicerideo | 953,19 Kg
Sabão | 0,05 Kg
FFA | 0,01 Kg
Água | 3,14 Kg
Total | 956,39 Kg
Teor sabão | 50 ppm
Composição | Kg
Triglicerideo | 957,98 Kg
Sabão | 0,10 Kg
FFA | 0,01 Kg
Água | 2,09 Kg
Total | 960,18 Kg
Teor sabão | 100 ppm
Água de condensador
ad
Reacao de Hidrolise
Triglicerideo +3H20 -> Glicerol + 3FFA
SECAGEM
Água condensada
3,11 Kg
Vapor de ejector
Água fria
1716 Kg
Asummidno que o FFA duplica
FFA Formado | 0,01018 Kg
TGH reagido | 0,01064 Kg
H2O reagido | 0,00065 Kg
Glicerol for | 0,001107 Kg
Composição | Kg
Triglicerideo | 953,18 Kg
Sabão | 0,05 Kg
FFA | 0,02 Kg
Água | 0,031 Kg
Glicerol | 0,001 Kg
Total | 953,28 Kg
Moisture | 0,0032 %
953,28 Kg
RESFRIAMENTO
309,8 Kg
TRANSESTERIFICAÇÃO
Composição | Kg
Óleo | 19,06 Kg
Biodiesel | 982,73 Kg
Glicerol | 97,22 Kg
EtOH exceso | 151,78 Kg
FFA | 0,010 Kg
Água | 2,690 Kg
Sabão | 0,059 Kg
NaOH | 9,531 Kg
Total | 1263,08 Kg
1263,0752
DECANTAÇÃO
GLICEROL BRUTO
Composição | Kg
Óleo | 9,53 Kg
Etanol | 106,24 Kg
Glicerol | 95,27 Kg
Biodiesel | 0,00 Kg
Água | 2,69 Kg
Sabão | 0,059 Kg
NaOH | 9,53 Kg
FFA | 0,009 Kg
Total | 223,34 Kg
GROSS FEED
EtOH anidro | 146,52 Kg
Água | 1,31 L
Total | 147,83 Kg
NaOH
9,53 Kg
TANQUE DE MISTURA
NET FEED
Etanol (99,3%)
297,60 Kg
2,66 Kg
Puro
Água
EtOH | 151,08 Kg
Água | 1,35 L
DESTILAÇÃO AZEOTROPICA
EtOH | 151,08 Kg
Água | 11,58 Kg
%V/V | 94,30
Efluente
10,23 Kg
BIODIESEL BRUTO
Composição | Kg
Óleo | 9,53 Kg
Etanol | 45,53 Kg
Glicerol | 1,94 Kg
Biodiesel | 982,73 Kg
Água | 0,00 Kg
FFA | 0,001 Kg
NaOH | 0,00 Kg
Total | 1039,74 Kg
RECTIFICAÇÃO
EtOH | 151,32 Kg
Água | 169,13 Kg
% V/V | 53,14
DESTILAÇÃO
Efluente
157,79 Kg
Composição | Kg
Óleo | 9,53 Kg
Etanol | 0,00 Kg
Glicerol | 97,20 Kg
Biodiesel | 0,00 Kg
Água | 5,00 Kg
Sabão | 0,06 Kg
NaOH | 9,53 Kg
FFA | 0,01 Kg
Total | 121,33 Kg
Vapor
118,15 Kg
Vapor
118,15 Kg
1039,7 Kg
1181,52 L
Água
118,15 Kg
Água
56,78 Kg
LAVAGEM 1
1135,65 L
LAVAGEM 2
Água oleosa
CENTRIFUGAÇÃO
CENTRIFUGAÇÃO
Composição | Kg
Água | 115,79 Kg
Óleo | 0,00 Kg
Biodiesel | 0,00 Kg
Etanol | 40,98 Kg
Glicerol | 1,75 Kg
NaOH | 0,00 Kg
Total | 158,52 Kg
Composição | Kg
Óleo | 9,53 Kg
Etanol | 4,55 Kg
Glicerol | 0,19 Kg
Biodiesel | 982,73 Kg
Água | 2,36 Kg
FFA | 0,0010 Kg
NaOH | 0,00 Kg
Total | 999,37 Kg
Composição | Kg
Óleo | 9,53 Kg
Etanol | 0,46 Kg
Glicerol | 0,019 Kg
Biodiesel | 982,73 Kg
Água | 3,50 Kg
FFA | 0,001 Kg
NaOH | 0,00 Kg
Total | 996,23 Kg
Composição | Kg
Água | 55,65 Kg
Óleo | 0,00 Kg
Biodiesel | 0,00 Kg
Etanol | 4,10 Kg
Glicerol | 0,17 Kg
NaOH | 0,00 Kg
Total | 59,92 Kg
Vapor de ejector
118,15 Kg
Água de condensador
118,15 Kg
SECAGEM
Condensado
Água
3,15 Kg
EtOH
0,41 Kg
Composição | Kg
Óleo | 9,53 Kg
Biodiesel | 982,73 Kg
Glicerol | 0,02 Kg
Etanol | 0,05 Kg
Água | 0,35 Kg
FFA | 0,001 Kg
Total | 992,68 Kg
Biodiesel
992,7 Kg
RESFRIAMENTO
Biodiesel
992,68 Kg
Água fria
2859 Kg
Óleo | 1000 Kg | %
B100 | 993 Kg | 89,11
Glicerol | 121 Kg | 10,89
Total | 1114,0 Kg | 100,00
Fator de alocacao

Entradas/ Saídas	uni	Transporte de 1Kg de petroleo importado	Produção de 1Kg de diesel (a)	Produção de 1Kg de óleo combustível(b)	Produção de 0,00819 Kg de diesel (a)	Queima de 0,00819 Kg de diesel (a)	Produção de 0,0955 Kg de óleo combustível (b)	Queima de 0,0955 Kg de óleo combustível (b)	Total transporte 1Kg x 13000Km
Energia total	MJ			3,78E-01		3,28E-01	3,61E-02	4,03E+00	4,40E+00
Energia nao renovavel	MJ			3,78E-01		3,28E-01	3,61E-02	4,03E+00	4,40E+00
Energia renovavel	MJ			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Petroleo	Kg		1,03E+00	1,01E+00	8,44E-03		9,65E-02		1,05E-01
Carvao	Kg		5,10E-03		4,18E-05				4,18E-05
Gas Natural	Kg		6,19E-02		5,07E-04				5,07E-04
Uranio	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Combustíveis renovaveis	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Reservas Bioticas	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Rocha Fosfatica	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Rocha potassica	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Rocha metamorfica	Kg				0,00E+00				0,00E+00
S elementar	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Materias secundarios	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Água	Kg		2,10E-01		1,72E-03				1,72E-03
Emissoes atmosfericas									
CO2	Kg	2,32E-02	2,84E-01		2,33E-03	2,61E-02		3,16E-01	3,68E-01
CH4	Kg				0,00E+00	1,86E-06		1,25E-05	1,44E-05
CO	Kg	7,00E-05	8,00E-05		6,55E-07	5,71E-05		6,05E-05	1,88E-04
N2O	Kg				0,00E+00	9,31E-07		1,37E-06	2,30E-06
NH3	Kg				0,00E+00				0,00E+00
NOx	Kg	4,40E-04	2,90E-03		2,38E-05	2,29E-04		2,06E-04	8,98E-04
COV	Kg			1,76E-04	0,00E+00		1,68E-05		1,68E-05
Hidrocarbonetos	Kg	4,00E-05	2,90E-03		2,38E-05	4,76E-06		3,47E-06	7,20E-05
MP	Kg		3,40E-04		2,78E-06	3,81E-06		2,34E-05	3,00E-05
SOx	Kg		1,80E-03		1,47E-05	8,19E-07		1,91E-03	1,93E-03
H2S	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Metil carptano	Kg				0,00E+00				0,00E+00
HCl	Kg		5,00E-06		4,10E-08				4,10E-08
Cl2	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Diclorometano	Kg				0,00E+00				0,00E+00
HF	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Dimetil Eter	Kg								0,00E+00
Metanol	Kg								0,00E+00
Etanol	Kg								0,00E+00
Ciclohexano	Kg								0,00E+00
Radioatividade para o ar	KBq								0,00E+00
Efluentes liquidos									
Efluentes liquidos	Kg				0,00E+00				0,00E+00
DQO	Kg		1,00E-05		8,19E-08				8,19E-08
DBO	Kg		5,00E-06		4,10E-08				4,10E-08
Na+	Kg				0,00E+00				0,00E+00
K+	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Ca+2	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Mg+2	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Cl-	Kg		1,00E-05		8,19E-08				8,19E-08
(PO3)4-	Kg				0,00E+00				0,00E+00
NO3-	Kg								0,00E+00
Hg	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Sólidos suspensos totais	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Hidrocarbonetos	Kg		2,00E-05		1,64E-07				1,64E-07
Óleos e graxas	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Compostos de nitrogenio	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Compostos de exofre	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Radioatividade para a água	Kg								0,00E+00
Residuos solidos									
Residuos no solo	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Residuos de mineracao	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Residuos processuais	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Residuos solidos oleosos	Kg			1,40E-02	0,00E+00		1,34E-03		1,34E-03
Catalisador usado	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Residuos Inertes	Kg		2,20E-03		1,80E-05				1,80E-05
Nao especificados	Kg				0,00E+00				0,00E+00
Total residuo solido	Kg	0,00E+00	2,20E-03	1,40E-02	1,80E-05	0,00E+00	1,34E-03	0,00E+00	1,36E-03

Produtos	Densidade	Produção (m3)									
		2006		2007		2008		2009		2010	
	(Kg/m3)	m3	Kg	m3	Kg	m3	Kg	m3	Kg	m3	Kg
Total Geral		106.852.000	86.946.620.000	110.012.000	89.318.304.000	104.411.000	86.213.778.000	104.160.819	85.881.510.128	106.784.269	88.243.615.972
Energeticos		90.496.000	73.567.184.000	92.389.000	74.999.373.000	87.670.000	72.286.438.000	89.174.855	73.469.225.494	89.514.812	73.583.262.694
Gasolina A	742	21.330.000	15.826.860.000	21.599.000	16.026.458.000	20.216.000	15.000.272.000	19.774.389	14.672.596.638	21.506.208	15.957.606.336
Gasolina de aviação	726	65.000	47.190.000	62.000	45.012.000	68.000	49.368.000	52.746	38.293.596	90.104	65.415.504
GLP 1	552	11.384.000	6.283.968.000	11.993.000	6.620.136.000	7.943.000	4.384.536.000	7.856.804	4.336.955.808	7.653.682	4.224.832.464
Óleo Combustível	1013	15.112.000	15.308.456.000	15.390.000	15.590.070.000	14.962.000	15.156.506.000	14.053.755	14.236.453.815	13.883.271	14.063.753.523
Óleo Diesel	852	38.660.000	32.938.320.000	39.089.000	33.303.828.000	40.649.000	34.632.948.000	42.898.461	36.549.488.772	41.429.263	35.297.732.076
QAV	799	3.748.000	2.994.652.000	4.026.000	3.216.774.000	3.793.000	3.030.607.000	4.380.983	3.500.405.417	4.664.552	3.726.977.048
Querosene Iluminante	799	38.000	30.362.000	25.000	19.975.000	23.000	18.377.000	19.016	15.193.784	25.457	20.340.143
Outros	864	159.000	137.376.000	205.000	177.120.000	16.000	13.824.000	138.701	119.837.664	262.275	226.605.600
Não energeticos		16.356.000	13.379.436.000	17.623.000	14.318.931.000	16.741.000	13.927.340.000	14.985.964	12.412.284.634	17.269.457	14.660.353.278
Asfalto	1025	1.865.000	1.911.625.000	1.680.000	1.722.000.000	2.126.000	2.179.150.000	2.089.926	2.142.174.150	2.767.281	2.836.463.025
Coque	1040	2.373.000	2.467.920.000	2.563.000	2.665.520.000	2.811.000	2.923.440.000	3.084.025	3.207.386.000	3.056.971	3.179.249.840
Nafta	702	8.626.000	6.055.452.000	9.245.000	6.489.990.000	8.134.000	5.710.068.000	8.402.282	5.898.401.964	7.311.298	5.132.531.196
Óleo Lubrificante	875	786.000	687.750.000	645.000	564.375.000	756.000	661.500.000	593.794	519.569.750	603.154	527.759.750
Parafina	820	134.000	109.880.000	130.000	106.600.000	130.000	106.600.000	105.594	86.587.080	94.196	77.240.720
Solventes	741	613.000	454.233.000	1.078.000	798.798.000	478.000	354.198.000	451.794	334.779.354	504.687	373.973.067
Outros	864	1.959.000	1.692.576.000	2.282.000	1.971.648.000	2.306.000	1.992.384.000	258.549	223.386.336	2.931.870	2.533.135.680
%Diesel (m/m)		37,88		37,29		40,17		42,56		40,00	
Relação Petróleo/óleo diesel		2,64		2,68		2,49		2,35		2,50	
% Óleo combustível (m/m)		17,61		17,45		17,58		16,58		15,94	
Relação Petróleo/óleo combustível		5,68		5,73		5,69		6,03		6,27	

% Diesel médio	39,58
% Óleo combustível médio	17,03
Relação Petróleo/óleo diesel	2,53
Relação Petróleo/óleo diesel	5,88

		Produção de 1Kg de Petróleo Processado				
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 1Kg de petroleo nacional e importado	Transporte de 0,217 Kg de petroleo importado	Refino de 1kg de petroleo nacional e importado	Geração de 0,0039 MJ de EE	Total 1Kg de petróleo processado
Energia total	MJ	3,24E-04	9,56E-01	3,66E+00	6,23E-03	4,62E+00
Energia nao renovavel	MJ	3,24E-04	9,56E-01	3,66E+00	8,72E-04	4,62E+00
Energia renovavel	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,36E-03	5,36E-03
Petroleo	Kg	1,09E+00	2,28E-02		4,76E-06	1,11E+00
Carvão	Kg	4,66E-05	9,08E-06		5,05E-05	1,06E-04
Gas natural	Kg	4,24E-02	1,10E-04		2,99E-06	4,25E-02
Uranio	Kg	1,14E-08	0,00E+00		7,08E-10	1,21E-08
Combustíveis renovaveis	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	Kg		0,00E+00		1,91E-05	1,91E-05
Rocha Fosfatica	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha potassica	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
S elementar	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	Kg		0,00E+00		3,54E-06	3,54E-06
Água	Kg	2,25E-01	3,74E-04	2,13E+00	4,56E-04	2,36E+00
		Emissoes atmosfericas				
CO2	Kg	1,63E-01	8,00E-02	1,59E-01	1,35E-04	4,02E-01
CH4	Kg	2,58E-03	3,12E-06	3,80E-05	2,12E-06	2,62E-03
CO	Kg	3,23E-04	4,09E-05	2,64E-05	5,87E-07	3,91E-04
N2O	Kg		5,00E-07		4,32E-08	5,44E-07
NH3	Kg		0,00E+00		2,36E-14	2,36E-14
NOx	Kg		1,95E-04	5,84E-06	2,26E-06	2,03E-04
COVNM	Kg		3,65E-06	9,56E-04	2,86E-08	9,60E-04
Hidrocarbonetos	Kg		1,56E-05	1,99E-08	2,95E-09	1,57E-05
MP	Kg	1,21E-04	6,52E-06	1,02E-05	2,64E-07	1,38E-04
SOx	Kg		4,19E-04	4,88E-06	4,57E-07	4,24E-04
H2S	Kg		0,00E+00	2,09E-07	0,00E+00	2,09E-07
Metil carptano	Kg		0,00E+00	1,00E-08	0,00E+00	1,00E-08
HCl	Kg		8,90E-09		0,00E+00	8,90E-09
Cl2	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
HF	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	Kg					
Metanol	Kg					
Etanol	Kg					
Ciclohexano	Kg					
Radioatividade para o ar	kBq		0,00E+00		3,84E-05	3,84E-05
Efluentes liquidos		Efluentes liquidos				
Efluentes liquidos	Kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
DBO	Kg	3,34E-05	1,78E-08		2,75E-10	3,34E-05
DQO	Kg	2,06E-04	8,90E-09		5,11E-10	2,06E-04
Na+	Kg		0,00E+00	1,63E-05	0,00E+00	1,63E-05
K+	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	Kg		1,78E-08	2,43E-05	2,36E-13	2,43E-05
(PO3)4-	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
NO3-	Kg					
Hg	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	Kg		0,00E+00		1,97E-10	1,97E-10
Sólidos suspensos totais	Kg	1,06E-04	0,00E+00		3,93E-10	1,06E-04
Hidrocarbonetos	Kg	1,94E-06	3,56E-08		1,18E-10	1,98E-06
Óleos e graxas	Kg		0,00E+00		5,50E-10	5,50E-10
Compostos de nitrogenio	Kg		0,00E+00		1,77E-11	1,77E-11
Compostos de exofre	Kg		0,00E+00		1,77E-12	1,77E-12
Radioatividade para a água	kBq		0,00E+00		5,94E-05	5,94E-05
Residuos solidos		Residuos solidos				
Residuos no solo	Kg		0,00E+00		5,27E-05	5,27E-05
Residuos de mineracao	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos processuais	Kg		0,00E+00		4,21E-05	4,21E-05
Residuos solidos oleosos	Kg		2,91E-04		0,00E+00	2,91E-04
Catalisador usado	Kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	Kg		3,92E-06		0,00E+00	3,92E-06
Nao especificados	Kg	3,48E-10	0,00E+00		0,00E+00	3,48E-10
Total residuo solido	Kg	3,48E-10	2,95E-04	0,00E+00	9,47E-05	3,89E-04

		Produção de 1Kg de Óleo Diesel			Produção de 1Kg de Óleo Combustivel		
		APÊNDICE B.3	Total sem	Total com alocação F= 0,3958	APÊNDICE B.3	Total sem	Total com alocação 0,1670
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 2,53Kg de petroleo	alocação		Produção de 5,88Kg de petroleo	alocação	
Energia total	MJ	1,17E+01	1,170E+01	4,63E+00	2,72E+01	2,718E+01	4,63E+00
Energia nao renovavel	MJ	1,17E+01	1,169E+01	4,63E+00	2,71E+01	2,715E+01	4,62E+00
Energia renovavel	MJ	1,36E-02	1,356E-02	5,37E-03	3,15E-02	3,149E-02	5,36E-03
Petroleo	kg	2,82E+00	2,82E+00	1,12E+00	6,55E+00	6,55E+00	1,12E+00
Carvão	kg	2,69E-04	2,69E-04	1,06E-04	6,24E-04	6,24E-04	1,06E-04
Gas natural	kg	1,08E-01	1,08E-01	4,26E-02	2,50E-01	2,50E-01	4,26E-02
Uranio	kg	3,07E-08	3,07E-08	1,21E-08	7,12E-08	7,12E-08	1,21E-08
Combustíveis renovaveis	kg						
Reservas bioticas	kg	4,85E-05	4,85E-05	1,92E-05	1,13E-04	1,13E-04	1,92E-05
Rocha Fosfatica	kg						
Rocha potassica	kg						
Rocha metamorfica	kg						
S elementar	kg						
Materias secundarios	kg	8,96E-06	8,96E-06	3,55E-06	2,08E-05	2,08E-05	3,54E-06
Água	kg	5,97E+00	5,97E+00	2,36E+00	1,39E+01	1,39E+01	2,36E+00
		Emissoes atmosfericas			Emissoes atmosfericas		
CO2	kg	1,02E+00	1,02E+00	4,03E-01	2,36E+00	2,36E+00	4,02E-01
CH4	kg	6,64E-03	6,64E-03	2,63E-03	1,54E-02	1,54E-02	2,63E-03
CO	kg	9,90E-04	9,90E-04	3,92E-04	2,30E-03	2,30E-03	3,92E-04
N2O	kg	1,38E-06	1,38E-06	5,45E-07	3,20E-06	3,20E-06	5,45E-07
NH3	kg	5,97E-14	5,97E-14	2,36E-14	1,39E-13	1,39E-13	2,36E-14
NOx	kg	5,15E-04	5,15E-04	2,04E-04	1,20E-03	1,20E-03	2,04E-04
COVNM	kg	2,43E-03	2,43E-03	9,62E-04	5,64E-03	5,64E-03	9,61E-04
Hidrocarbonetos	kg	3,97E-05	3,97E-05	1,57E-05	9,21E-05	9,21E-05	1,57E-05
MP	kg	3,49E-04	3,49E-04	1,38E-04	8,11E-04	8,11E-04	1,38E-04
SOx	kg	1,07E-03	1,07E-03	4,25E-04	2,49E-03	2,49E-03	4,25E-04
H2S	kg	5,29E-07	5,29E-07	2,09E-07	1,23E-06	1,23E-06	2,09E-07
Metil carptano	kg	2,53E-08	2,53E-08	1,00E-08	5,88E-08	5,88E-08	1,00E-08
HCl	kg	2,25E-08	2,25E-08	8,92E-09	5,23E-08	5,23E-08	8,91E-09
Cl2	kg						
Diclorometano	kg						
HF	kg						
Dimetil Eter	kg						
Metanol	kg						
Etanol	kg						
Ciclohexano	kg						
Radioatividade para o ar	kBq	9,73E-05	9,73E-05	3,85E-05	2,26E-04	2,26E-04	3,85E-05
Efluentes liquidos					Efluentes liquidos		
Efluentes liquidos	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
DBO	kg	8,46E-05	8,46E-05	3,35E-05	1,97E-04	1,97E-04	3,35E-05
DQO	kg	5,22E-04	5,22E-04	2,06E-04	1,21E-03	1,21E-03	2,06E-04
Na+	kg	4,13E-05	4,13E-05	1,63E-05	9,59E-05	9,59E-05	1,63E-05
K+	kg						
Ca+2	kg						
Mg+2	kg	0,00E+00			0,00E+00		
Cl-	kg	6,16E-05	6,16E-05	2,44E-05	1,43E-04	1,43E-04	2,44E-05
(PO3)4-	kg						
NO3-	kg						
Hg	kg						
Solidos dissolvidos totais	kg		0,00E+00				
Sólidos suspensos totais	kg	2,68E-04	2,68E-04	1,06E-04	6,23E-04	6,23E-04	1,06E-04
Hidrocarbonetos	kg	5,00E-06	5,00E-06	1,98E-06	1,16E-05	1,16E-05	1,98E-06
Óleos e graxas	kg		0,00E+00				
Compostos de nitrogenio	kg		0,00E+00				
Compostos de exofre	kg		0,00E+00				
Radioatividade para a água	kBq	1,50E-04	1,50E-04	5,95E-05	3,49E-04	3,49E-04	5,95E-05
Residuos solidos					Residuos solidos		
Residuos no solo	kg	1,33E-04	1,33E-04	5,28E-05	3,10E-04	3,10E-04	5,28E-05
Residuos de mineracao	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos processuais	kg	1,07E-04	1,07E-04	4,22E-05	2,47E-04	2,47E-04	4,21E-05
Residuos solidos oleosos	kg	7,36E-04	7,36E-04	2,91E-04	1,71E-03	1,71E-03	2,91E-04
Catalisador usado	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg	9,92E-06	9,92E-06	3,92E-06	2,30E-05	2,30E-05	3,92E-06
Nao especificados	kg	8,81E-10	8,81E-10	3,49E-10	2,05E-09	2,05E-09	3,49E-10
Total residuo solido	kg	9,86E-04	9,86E-04	3,90E-04	2,29E-03	2,29E-03	3,90E-04

		Processamento de 1Kg de Petróleo pela REPAR					1Kg de Res. Asfatico	Total 1Kg
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 1Kg de petroleo	APENDICE B.1 Transporte de 0,3075 Kg de petroleo importado	Refino de 1 kg de petroleo	Geração de 0,004 MJ de EE	Total 1Kg de petróleo processado	35,61Kg de Petroleo	Alocacao 2,81%
Energia total	MJ	3,24E-04	1,35E+00	3,66E+00	6,23E-03	5,02E+00	1,79E+02	5,02E+00
Energia nao renovavel	MJ	3,24E-04	1,35E+00	3,66E+00	8,72E-04	5,01E+00	1,79E+02	5,01E+00
Energia renovavel	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,36E-03	5,36E-03	1,91E-01	5,36E-03
Petroleo	kg	1,09E+00	3,23E-02	1,00E+00	4,76E-06	2,12E+00	7,56E+01	2,12E+00
Carvão	kg	4,66E-05	1,28E-05	0,00E+00	5,05E-05	1,10E-04	3,91E-03	1,10E-04
Gas natural	kg	4,24E-02	1,56E-04	0,00E+00	2,99E-06	4,26E-02	1,52E+00	4,26E-02
Uranio	kg	1,14E-08	0,00E+00	0,00E+00	7,08E-10	1,21E-08	4,31E-07	1,21E-08
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,91E-05	1,91E-05	6,82E-04	1,91E-05
Rocha Fosfatica	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rocha potassica	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
S elementar	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,54E-06	3,54E-06	1,26E-04	3,54E-06
Água	kg	2,25E-01	5,29E-04	2,13E+00	4,56E-04	2,36E+00	8,40E+01	2,36E+00
Emissoes atmosfericas								
CO2	kg	1,63E-01	1,13E-01	1,59E-01	1,35E-04	4,35E-01	1,55E+01	4,35E-01
CH4	kg	2,58E-03	4,42E-06	3,80E-05	2,12E-06	2,62E-03	9,35E-02	2,62E-03
CO	kg	3,23E-04	5,79E-05	2,64E-05	5,87E-07	4,08E-04	1,45E-02	4,08E-04
N2O	kg	0,00E+00	7,08E-07	0,00E+00	4,32E-08	7,51E-07	2,68E-05	7,51E-07
NH3	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,36E-14	2,36E-14	8,40E-13	2,36E-14
NOx	kg	0,00E+00	2,76E-04	5,84E-06	2,26E-06	2,84E-04	1,01E-02	2,84E-04
COVNM	kg	0,00E+00	5,17E-06	9,56E-04	2,86E-08	9,61E-04	3,42E-02	9,61E-04
Hidrocarbonetos	kg	0,00E+00	2,21E-05	1,99E-08	2,95E-09	2,22E-05	7,89E-04	2,22E-05
MP	kg	1,21E-04	9,22E-06	1,02E-05	2,64E-07	1,41E-04	5,01E-03	1,41E-04
SOx	kg	0,00E+00	5,92E-04	4,88E-06	4,57E-07	5,98E-04	2,13E-02	5,98E-04
H2S	kg	0,00E+00	0,00E+00	2,09E-07	0,00E+00	2,09E-07	7,44E-06	2,09E-07
Metil carptano	kg	0,00E+00	0,00E+00	1,00E-08	0,00E+00	1,00E-08	3,56E-07	1,00E-08
HCl	kg	0,00E+00	1,26E-08	0,00E+00	0,00E+00	1,26E-08	4,48E-07	1,26E-08
Cl2	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HF	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Metanol	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para o ar	kBq	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,84E-05	3,84E-05	1,37E-03	3,84E-05
Efluentes liquidos								
Efluentes liquidos	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
DBO	kg	3,34E-05	2,52E-08	0,00E+00	2,75E-10	3,34E-05	1,19E-03	3,34E-05
DQO	kg	2,06E-04	1,26E-08	0,00E+00	5,11E-10	2,06E-04	7,34E-03	2,06E-04
Na+	kg	0,00E+00	0,00E+00	1,63E-05	0,00E+00	1,63E-05	5,81E-04	1,63E-05
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg	0,00E+00	2,52E-08	2,43E-05	2,36E-13	2,43E-05	8,66E-04	2,43E-05
(PO3)4-	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NO3-	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Hg	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-10	1,97E-10	7,00E-09	1,97E-10
Sólidos suspensos totais	kg	1,06E-04	0,00E+00	0,00E+00	3,93E-10	1,06E-04	3,78E-03	1,06E-04
Hidrocarbonetos	kg	1,94E-06	5,04E-08	0,00E+00	1,18E-10	1,99E-06	7,09E-05	1,99E-06
Óleos e graxas	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,50E-10	5,50E-10	1,96E-08	5,50E-10
Compostos de nitrogenio	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,77E-11	1,77E-11	6,30E-10	1,77E-11
Compostos de exofre	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,77E-12	1,77E-12	6,30E-11	1,77E-12
Radioatividade para a água	kBq	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,94E-05	5,94E-05	2,11E-03	5,94E-05
Residuos solidos								
Residuos no solo	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,27E-05	5,27E-05	1,88E-03	5,27E-05
Residuos de mineracao	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos processuais	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,21E-05	4,21E-05	1,50E-03	4,21E-05
Residuos solidos oleosos	kg	0,00E+00	4,11E-04	0,00E+00	0,00E+00	4,11E-04	1,46E-02	4,11E-04
Catalisador usado	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg	0,00E+00	5,54E-06	0,00E+00	0,00E+00	5,54E-06	1,97E-04	5,54E-06
Nao especificados	kg	3,48E-10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,48E-10	1,24E-08	3,48E-10
Total residuo solido	kg	3,48E-10	4,17E-04	0,00E+00	9,47E-05	5,12E-04	1,82E-02	5,12E-04

		Processamento de 1Kg de Petróleo pela RELAM					1Kg de Nafta	Total 1Kg
		Produção de 1Kg de	APENDICE B.1	Refino de 1 kg de	Geração de 0,0039	Total 1Kg de petróleo	10,98Kg de Petroleo	Alocacao 9,11%
			Transporte de 0,038Kg					
Entradas/ Saídas	uni	petroleo	de petroleo importado	petroleo	MJ de EE	processado		
Energia total	MJ	3,24E-04	1,67E-01	3,66E+00	6,23E-03	3,83E+00	4,21E+01	3,83E+00
Energia nao renovavel	MJ	3,24E-04	1,67E-01	3,66E+00	8,72E-04	3,83E+00	4,20E+01	3,83E+00
Energia renovavel	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,36E-03	5,36E-03	5,88E-02	5,36E-03
Petroleo	kg	1,09E+00	3,99E-03	1,00E+00	4,76E-06	2,09E+00	2,30E+01	2,09E+00
Carvão	kg	4,66E-05	1,59E-06	0,00E+00	5,05E-05	9,87E-05	1,08E-03	9,87E-05
Gas natural	kg	4,24E-02	1,93E-05	0,00E+00	2,99E-06	4,24E-02	4,66E-01	4,24E-02
Uranio	kg	1,14E-08	0,00E+00	0,00E+00	7,08E-10	1,21E-08	1,33E-07	1,21E-08
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,91E-05	1,91E-05	2,10E-04	1,91E-05
Rocha Fosfatica	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rocha potassica	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
S elementar	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,54E-06	3,54E-06	3,88E-05	3,54E-06
Água	kg	2,25E-01	6,54E-05	2,13E+00	4,56E-04	2,36E+00	2,59E+01	2,36E+00
Emissoes atmosfericas								
CO2	kg	1,63E-01	1,40E-02	1,59E-01	1,35E-04	3,36E-01	3,69E+00	3,36E-01
CH4	kg	2,58E-03	5,47E-07	3,80E-05	2,12E-06	2,62E-03	2,88E-02	2,62E-03
CO	kg	3,23E-04	7,16E-06	2,64E-05	5,87E-07	3,57E-04	3,92E-03	3,57E-04
N2O	kg	0,00E+00	8,76E-08	0,00E+00	4,32E-08	1,31E-07	1,44E-06	1,31E-07
NH3	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,36E-14	2,36E-14	2,59E-13	2,36E-14
NOx	kg	0,00E+00	3,42E-05	5,84E-06	2,26E-06	4,23E-05	4,64E-04	4,23E-05
COVNM	kg	0,00E+00	6,40E-07	9,56E-04	2,86E-08	9,57E-04	1,05E-02	9,57E-04
Hidrocarbonetos	kg	0,00E+00	2,74E-06	1,99E-08	2,95E-09	2,76E-06	3,03E-05	2,76E-06
MP	kg	1,21E-04	1,14E-06	1,02E-05	2,64E-07	1,33E-04	1,46E-03	1,33E-04
SOx	kg	0,00E+00	7,33E-05	4,88E-06	4,57E-07	7,86E-05	8,63E-04	7,86E-05
H2S	kg	0,00E+00	0,00E+00	2,09E-07	0,00E+00	2,09E-07	2,29E-06	2,09E-07
Metil carptano	kg	0,00E+00	0,00E+00	1,00E-08	0,00E+00	1,00E-08	1,10E-07	1,00E-08
HCl	kg	0,00E+00	1,56E-09	0,00E+00	0,00E+00	1,56E-09	1,71E-08	1,56E-09
Cl2	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HF	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Metanol	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para o ar	kBq	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,84E-05	3,84E-05	4,22E-04	3,84E-05
Efluentes liquidos								
Efluentes liquidos	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
DBO	kg	3,34E-05	3,12E-09	0,00E+00	2,75E-10	3,34E-05	3,67E-04	3,34E-05
DQO	kg	2,06E-04	1,56E-09	0,00E+00	5,11E-10	2,06E-04	2,26E-03	2,06E-04
Na+	kg	0,00E+00	0,00E+00	1,63E-05	0,00E+00	1,63E-05	1,79E-04	1,63E-05
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg	0,00E+00	3,12E-09	2,43E-05	2,36E-13	2,43E-05	2,67E-04	2,43E-05
(PO3)4-	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NO3-	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Hg	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,97E-10	1,97E-10	2,16E-09	1,97E-10
Sólidos suspensos totais	kg	1,06E-04	0,00E+00	0,00E+00	3,93E-10	1,06E-04	1,16E-03	1,06E-04
Hidrocarbonetos	kg	1,94E-06	6,23E-09	0,00E+00	1,18E-10	1,95E-06	2,14E-05	1,95E-06
Óleos e graxas	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,50E-10	5,50E-10	6,04E-09	5,50E-10
Compostos de nitrogenio	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,77E-11	1,77E-11	1,94E-10	1,77E-11
Compostos de exofre	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,77E-12	1,77E-12	1,94E-11	1,77E-12
Radioatividade para a água	kBq	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,94E-05	5,94E-05	6,52E-04	5,94E-05
Residuos solidos								
Residuos no solo	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,27E-05	5,27E-05	5,78E-04	5,27E-05
Residuos de mineracao	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos processuais	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,21E-05	4,21E-05	4,62E-04	4,21E-05
Residuos solidos oleosos	kg	0,00E+00	5,09E-05	0,00E+00	0,00E+00	5,09E-05	5,59E-04	5,09E-05
Catalisador usado	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg	0,00E+00	6,85E-07	0,00E+00	0,00E+00	6,85E-07	7,52E-06	6,85E-07
Nao especificados	kg	3,48E-10	5,16E-05	0,00E+00	0,00E+00	5,16E-05	5,66E-04	5,16E-05
Total residuo solido	kg	3,48E-10	1,03E-04	0,00E+00	9,47E-05	1,98E-04	2,17E-03	1,98E-04

		Produção de 1kg de Petróleo Processado					1kg de Hexano	Total 1kg
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 1kg de petroleo nacional e importado	Transporte de 0,217 kg de petroleo importado	Refino de 1kg de petroleo nacional e importado	Geração de 0,0039 MJ de EE	Total 1kg de petróleo processado	236 kg de Petróleo	Alocação 0,42%
Energia total	MJ	3,24E-04	9,56E-01	3,66E+00	6,23E-03	4,62E+00	1,09E+03	4,62E+00
Energia nao renovavel	MJ	3,24E-04	9,56E-01	3,66E+00	8,72E-04	4,62E+00	1,09E+03	4,62E+00
Energia renovavel	MJ	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,36E-03	5,36E-03	1,26E+00	5,36E-03
Petroleo	Kg	1,09E+00	2,28E-02		4,76E-06	1,11E+00	2,63E+02	1,11E+00
Carvão	kg	4,66E-05	9,08E-06		5,05E-05	1,06E-04	2,50E-02	1,06E-04
Gas natural	kg	4,24E-02	1,10E-04		2,99E-06	4,25E-02	1,00E+01	4,25E-02
Uranio	kg	1,14E-08	0,00E+00		7,08E-10	1,21E-08	2,86E-06	1,21E-08
Combustíveis renovaveis	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg		0,00E+00		1,91E-05	1,91E-05	4,52E-03	1,91E-05
Rocha Fosfatica	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rocha potassica	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
S elementar	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	kg		0,00E+00		3,54E-06	3,54E-06	8,35E-04	3,54E-06
Agua	kg	2,25E-01	3,74E-04	2,13E+00	4,56E-04	2,36E+00	5,57E+02	2,36E+00
Emissões atmosfericas								
CO2	kg	1,63E-01	8,00E-02	1,59E-01	1,35E-04	4,02E-01	9,48E+01	4,02E-01
CH4	kg	2,58E-03	3,12E-06	3,80E-05	2,12E-06	2,62E-03	6,19E-01	2,62E-03
CO	kg	3,23E-04	4,09E-05	2,64E-05	5,87E-07	3,91E-04	9,22E-02	3,91E-04
N2O	kg		5,00E-07		4,32E-08	5,44E-07	1,28E-04	5,44E-07
NH3	kg		0,00E+00		2,36E-14	2,36E-14	5,57E-12	2,36E-14
NOx	kg		1,95E-04	5,84E-06	2,26E-06	2,03E-04	4,80E-02	2,03E-04
COVNM	kg		3,65E-06	9,56E-04	2,86E-08	9,60E-04	2,26E-01	9,60E-04
Hidrocarbonetos	kg		1,56E-05	1,99E-08	2,95E-09	1,57E-05	3,70E-03	1,57E-05
MP	kg	1,21E-04	6,52E-06	1,02E-05	2,64E-07	1,38E-04	3,26E-02	1,38E-04
SOx	kg		4,19E-04	4,88E-06	4,57E-07	4,24E-04	1,00E-01	4,24E-04
H2S	kg		0,00E+00	2,09E-07	0,00E+00	2,09E-07	4,93E-05	2,09E-07
Metil carptano	kg		0,00E+00	1,00E-08	0,00E+00	1,00E-08	2,36E-06	1,00E-08
HCl	kg		8,90E-09		0,00E+00	8,90E-09	2,10E-06	8,90E-09
Cl2	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HF	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg						0,00E+00	0,00E+00
Metanol	kg						0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg						0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg						0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para o ar	kBq		0,00E+00		3,84E-05	3,84E-05	9,06E-03	3,84E-05
Efluentes liquidos								
Efluentes liquidos	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
DBO	kg	3,34E-05	1,78E-08		2,75E-10	3,34E-05	7,89E-03	3,34E-05
DQO	kg	2,06E-04	8,90E-09		5,11E-10	2,06E-04	4,86E-02	2,06E-04
Na+	kg		0,00E+00	1,63E-05	0,00E+00	1,63E-05	3,85E-03	1,63E-05
K+	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg		1,78E-08	2,43E-05	2,36E-13	2,43E-05	5,74E-03	2,43E-05
(PO3)4-	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NO3-	kg						0,00E+00	0,00E+00
Hg	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	kg		0,00E+00		1,97E-10	1,97E-10	4,64E-08	1,97E-10
Sólidos suspensos totais	kg	1,06E-04	0,00E+00		3,93E-10	1,06E-04	2,50E-02	1,06E-04
Hidrocarbonetos	kg	1,94E-06	3,56E-08		1,18E-10	1,98E-06	4,66E-04	1,98E-06
Óleos e graxas	kg		0,00E+00		5,50E-10	5,50E-10	1,30E-07	5,50E-10
Compostos de nitrogenio	kg		0,00E+00		1,77E-11	1,77E-11	4,17E-09	1,77E-11
Compostos de exofre	kg		0,00E+00		1,77E-12	1,77E-12	4,17E-10	1,77E-12
Radioatividade para a água	kBq		0,00E+00		5,94E-05	5,94E-05	1,40E-02	5,94E-05
Residuos solidos				Residuos solidos				
Residuos no solo	kg		0,00E+00		5,27E-05	5,27E-05	1,24E-02	5,27E-05
Residuos de mineracao	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos processuais	kg		0,00E+00		4,21E-05	4,21E-05	9,93E-03	4,21E-05
Residuos solidos oleosos	kg		2,91E-04		0,00E+00	2,91E-04	6,86E-02	2,91E-04
Catalisador usado	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg		3,92E-06		0,00E+00	3,92E-06	9,24E-04	3,92E-06
Nao especificados	kg	3,48E-10	0,00E+00		0,00E+00	3,48E-10	8,21E-08	3,48E-10
Total residuo solido	kg	3,48E-10	2,95E-04	0,00E+00	9,47E-05	3,89E-04	9,19E-02	3,89E-04

Entradas/ Saídas	uni	APENDICE B.5 504 Kg de Resíduo Asfaltico	Separação de 618 Kg de ar	Produção de 567Kg de amonia	3486MJ de Eletricidade	APENDICE B.4 209Kg de Óleo combustível	APENDICE A.1 Queima do óleo combustível	Produção de 1 t de ureia	Total 1t Ureia	Total 1kg Ureia
Energia total	MJ	2,53E+03			5,52E+03	9,67E+02	8,82E+03		1,78E+04	1,78E+01
Energia nao renovavel	MJ	2,53E+03			7,73E+02	9,66E+02	8,82E+03		1,31E+04	1,31E+01
Energia renovavel	MJ	2,70E+00			4,75E+03	1,12E+00	0,00E+00		4,75E+03	4,75E+00
Petroleo	kg	1,07E+03			4,22E+00	2,33E+02			1,31E+03	1,31E+00
Carvão	kg	5,54E-02			4,48E+01	2,22E-02			4,48E+01	4,48E-02
Gas natural	kg	2,15E+01			2,65E+00	8,90E+00			3,30E+01	3,30E-02
Uranio	kg	6,11E-06			6,27E-04	2,53E-06			6,36E-04	6,36E-07
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg	9,66E-03			1,70E+01	4,01E-03			1,70E+01	1,70E-02
Rocha Fosfatica	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Rocha potassica	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
S elementar	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	kg	1,78E-03			3,14E+00	7,41E-04			3,14E+00	3,14E-03
Água	kg	1,19E+03	1,67E+00	7,25E+00	4,04E+02	4,94E+02		7,61E+00	2,10E+03	2,10E+00
Emissões atmosfericas										
CO2	kg	2,19E+02	1,76E+02		1,20E+02	8,41E+01	6,92E+02	1,66E+01	1,31E+03	1,31E+00
CH4	kg	1,32E+00		1,40E-02	1,88E+00	5,49E-01	2,74E-02		3,79E+00	3,79E-03
CO	kg	2,06E-01		1,26E-01	5,21E-01	8,18E-02	1,32E-01	4,99E-04	1,07E+00	1,07E-03
N2O	kg	3,79E-04			3,83E-02	1,14E-04	3,00E-03		4,18E-02	4,18E-05
NH3	kg	1,19E-11			2,09E-08	4,94E-12	0,00E+00		2,09E-08	2,09E-11
NOx	kg	1,43E-01	3,22E-01	6,80E-01	2,00E+00	4,26E-02	4,50E-01	4,67E-02	3,69E+00	3,69E-03
COVNM	kg	4,85E-01	2,78E-02		2,54E-02	2,01E-01	0,00E+00		7,39E-01	7,39E-04
Hidrocarbonetos	kg	1,12E-02			2,61E-03	3,28E-03	7,59E-03		2,47E-02	2,47E-05
MP	kg	7,10E-02	4,63E-02	2,65E-01	2,34E-01	2,89E-02	5,12E-02	9,43E-01	1,64E+00	1,64E-03
SOx	kg	3,01E-01	6,98E-01	1,40E-02	4,06E-01	8,88E-02	4,18E+00		5,69E+00	5,69E-03
H2S	kg	1,05E-04		7,93E-04	0,00E+00	4,37E-05			9,42E-04	9,42E-07
Metilcarptano	kg	5,04E-06			0,00E+00	2,09E-06			7,14E-06	7,14E-09
HCl	kg	6,35E-06			0,00E+00	1,86E-06			8,21E-06	8,21E-09
Cl2	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
HF	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Metanol	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para o ar	KBq	1,94E-02			3,41E+01	8,04E-03			3,41E+01	3,41E-02
Efluentes Liquidos										
Efluentes Liquidos	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
DBO	kg	0,00E+00	1,00E-01		2,44E-04	7,00E-03			1,07E-01	1,07E-04
DQO	kg	1,94E-02			4,53E-04	4,31E-02			6,29E-02	6,29E-05
Na+	kg	0,00E+00			0,00E+00	3,41E-03			3,41E-03	3,41E-06
K+	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	1,69E-02			0,00E+00	0,00E+00			1,69E-02	1,69E-05
Mg+2	kg	1,04E-01			0,00E+00	0,00E+00			1,04E-01	1,04E-04
Cl-	kg	8,22E-03			2,09E-07	5,09E-03			1,33E-02	1,33E-05
(PO3)4-	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
NO3-	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Hg	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	kg	1,23E-02			1,74E-04	0,00E+00			1,24E-02	1,24E-05
Sólidos suspensos totais	kg	0,00E+00			3,49E-04	2,22E-02			2,25E-02	2,25E-05
Hidrocarbonetos	kg	0,00E+00			1,05E-04	4,14E-04			5,18E-04	5,18E-07
Óleos e graxas	kg	0,00E+00			4,88E-04	0,00E+00			4,88E-04	4,88E-07
Compostos de N	kg	9,91E-08		5,67E-02	1,57E-05	0,00E+00		1,68E-01	2,25E-01	2,25E-04
Compostos de S	kg	5,35E-02			1,57E-06	0,00E+00			5,35E-02	5,35E-05
Radioatividade para a água	KBq	1,00E-03			5,26E+01	1,24E-02			5,26E+01	5,26E-02
Residuos solidos										
Residuos no solo	kg	0,00E+00				1,10E-02			1,10E-02	1,10E-05
Residuos de mineracao	kg	2,78E-07				0,00E+00			2,78E-07	2,78E-10
Residuos processuais	kg	8,92E-09				8,80E-03			8,80E-03	8,80E-06
Residuos solidos oleosos	kg	8,92E-10				6,09E-02			6,09E-02	6,09E-05
Catalisador usado	kg	2,99E-02		1,13E-01		0,00E+00			1,43E-01	1,43E-04
Residuos Inertes	kg	0,00E+00				8,20E-04			8,20E-04	8,20E-07
Nao especificados	kg	2,66E-02				7,28E-08			2,66E-02	2,66E-05
Total residuo solido	kg	5,65E-02	0,00E+00	1,13E-01	0,00E+00	8,15E-02	0,00E+00	0,00E+00	2,51E-01	2,51E-04

		Produção de Amonia			Produção de Ureia			Total 1t Ureia	Total 1kg Ureia
Entradas/ Saídas	uni	Gas Natural materia prima e combustível	Queima de GN para geracao de vapor e EE	Produção de amonia	Produção de ureia	Gas Natural combustivel	Queima de GN para geracao de vapor e EE		
Energia total	MJ	1,87E+00	5,73E+03			6,84E-01	5,99E+03	1,17E+04	1,17E+01
Energia nao renovavel	MJ	1,87E+00	5,73E+03			6,84E-01	5,99E+03	1,17E+04	1,17E+01
Energia renovavel	MJ	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Petroleo	kg							0,00E+00	0,00E+00
Carvao	kg							0,00E+00	0,00E+00
Gas natural	kg	4,44E+02				1,62E+02		6,06E+02	6,06E-01
Uranio	kg							0,00E+00	0,00E+00
Combustíveis renovaveis	kg							0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg							0,00E+00	0,00E+00
Rocha Fosfatica	kg							0,00E+00	0,00E+00
Rocha potassica	kg							0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	kg							0,00E+00	0,00E+00
S elementar	kg							0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	kg							0,00E+00	0,00E+00
Água	kg	8,48E+00		7,25E+00	7,61E+00	3,11E+00		2,65E+01	2,65E-02
Emissoes atmosfericas									
CO2	kg	3,60E+01	3,83E+02		1,66E+01	1,32E+01	4,00E+02	8,49E+02	8,49E-01
CH4	kg	6,46E-01		9,35E-03		2,36E-01		8,92E-01	8,92E-04
CO	kg	1,21E-04	7,54E-03	4,76E-02	4,99E-04	4,45E-05	7,88E-03	6,37E-02	6,37E-05
N2O	kg							0,00E+00	0,00E+00
NH3	kg							0,00E+00	0,00E+00
NOx	kg	1,15E-01	1,04E+00	5,67E-01	4,67E-02	4,21E-02	1,09E+00	2,90E+00	2,90E-03
COVNM	kg							0,00E+00	0,00E+00
Hidrocarbonetos	kg	7,88E-05				2,88E-05		1,08E-04	1,08E-07
MP	kg	7,02E-03		2,83E-01	9,43E-01	2,57E-03		1,24E+00	1,24E-03
SOx	kg	4,16E-01	1,36E-02	5,67E-03		1,52E-01	1,42E-02	6,01E-01	6,01E-04
H2S	kg	1,36E-07				4,97E-08		1,85E-07	1,85E-10
Metilcarptano	kg							0,00E+00	0,00E+00
HCl	kg							0,00E+00	0,00E+00
Cl2	kg							0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg							0,00E+00	0,00E+00
HF	kg							0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg							0,00E+00	0,00E+00
Metanol	kg							0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg							0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg							0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para o ar	KBq							0,00E+00	0,00E+00
Efluentes Liquidos									
Efluentes Liquidos	kg							0,00E+00	0,00E+00
DBO	kg							0,00E+00	0,00E+00
DQO	kg							0,00E+00	0,00E+00
Na+	kg							0,00E+00	0,00E+00
K+	kg							0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg							0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg							0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg							0,00E+00	0,00E+00
(PO3)4-	kg							0,00E+00	0,00E+00
NO3-	kg							0,00E+00	0,00E+00
Hg	kg							0,00E+00	0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	kg							0,00E+00	0,00E+00
Sólidos suspensos totais	kg							0,00E+00	0,00E+00
Hidrocarbonetos	kg							0,00E+00	0,00E+00
Óleos e graxas	kg							0,00E+00	0,00E+00
Compostos de N	kg	5,04E-07			1,68E-01	1,84E-07		1,68E-01	1,68E-04
Compostos de S	kg	7,02E-05				2,57E-05		9,59E-05	9,59E-08
Radioatividade para a água	KBq							0,00E+00	0,00E+00
Residuos solidos									
Residuos no solo	kg							0,00E+00	0,00E+00
Residuos de mineracao	kg							0,00E+00	0,00E+00
Residuos processuais	kg	8,96E-06				3,28E-06		1,22E-05	1,22E-08
Residuos solidos oleosos	kg							0,00E+00	0,00E+00
Catalisador usado	kg							0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg							0,00E+00	0,00E+00
Nao especificados	kg							0,00E+00	0,00E+00
Total residuo solido	kg	8,96E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,28E-06		1,22E-05	1,22E-08

APÊNDICE B.10 INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE CICLOHEXANO

		Produção de 1Kg de Nafta			
		APENDICE B.6	Produção 1,12Kg de Benzeno	Produção 1,0Kg de	Total 1Kg de Ciclohexano
Entradas/ Saídas	uni	Produção 1,98Kg de Nafta		Ciclohexano	
Energia total	MJ	7,60E+00			7,60E+00
Energia nao renovavel	MJ	7,59E+00			7,59E+00
Energia renovavel	MJ	1,06E-02			1,06E-02
Petroleo	kg	4,15E+00			4,15E+00
Carvão	kg	1,96E-04			1,96E-04
Gas natural	kg	8,41E-02			8,41E-02
Uranio	kg	2,40E-08			2,40E-08
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00			0,00E+00
Reservas bioticas	kg	3,80E-05			3,80E-05
Rocha fosfatica bruta	kg	0,00E+00			0,00E+00
Rocha Potasica	kg	0,00E+00			0,00E+00
Rocha metamorfica	kg	0,00E+00			0,00E+00
S elementar	kg	0,00E+00			0,00E+00
Materias secundarios	kg	7,01E-06			7,01E-06
Água	kg	4,68E+00			4,68E+00
Emissões atmosfericas					
CO2	kg	6,66E-01	2,76E+00	4,28E-01	3,85E+00
CH4	kg	5,20E-03			5,20E-03
CO	kg	7,08E-04	8,15E-04	1,10E-04	1,63E-03
N2O	kg	2,59E-07			2,59E-07
NH3	kg	4,68E-14			4,68E-14
NOx	kg	8,38E-05	2,95E-03	4,10E-04	3,44E-03
COVNM	kg	1,90E-03		1,60E-04	2,06E-03
Hidrocarbonetos	kg	5,47E-06	2,34E-03	7,00E-05	2,42E-03
MP	kg	2,63E-04	7,91E-05		3,42E-04
SOx	kg	1,56E-04	3,88E-04		5,43E-04
H2S	kg	4,14E-07			4,14E-07
Metil carptano	kg	1,98E-08			1,98E-08
HCl	kg	3,09E-09			3,09E-09
Cl2	kg	0,00E+00			0,00E+00
Diclorometano	kg	0,00E+00			0,00E+00
HF	kg	0,00E+00			0,00E+00
Dimetil Eter	kg	0,00E+00			0,00E+00
Metanol	kg	0,00E+00			0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00			0,00E+00
Ciclohexano	kg	0,00E+00			0,00E+00
Radioatividade para o ar	kBq	7,61E-05			7,61E-05
Efluentes liquidos					
Efluentes liquidos	kg	0,00E+00			0,00E+00
DBO	kg	6,62E-05	5,96E-05		1,26E-04
DQO	kg	4,08E-04			4,08E-04
Na+	kg	3,23E-05	4,61E-04		4,94E-04
K+	kg	0,00E+00			0,00E+00
Ca+2	kg	0,00E+00			0,00E+00
Mg+2	kg	0,00E+00			0,00E+00
Cl-	kg	4,82E-05			4,82E-05
(PO3)4-	kg	0,00E+00			0,00E+00
NO3-	kg	0,00E+00			0,00E+00
Hg	kg	0,00E+00			0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	kg	3,90E-10			3,90E-10
Sólidos suspensos totais	kg	2,10E-04			2,10E-04
Hidrocarbonetos	kg	3,86E-06	2,34E-03		2,34E-03
Óleos e graxas	kg	1,09E-09			1,09E-09
Compostos de nitrogenio	kg	3,51E-11			3,51E-11
Compostos de exofre	kg	3,51E-12	1,34E-04		1,34E-04
Radioatividade para a água	kBq	1,18E-04			1,18E-04
Residuos solidos					
Residuos no solo	kg	1,04E-04			1,04E-04
Residuos de mineracao	kg	0,00E+00			0,00E+00
Residuos processuais	kg	8,34E-05			8,34E-05
Residuos solidos oleosos	kg	1,01E-04			1,01E-04
Catalisador usado	kg	0,00E+00			0,00E+00
Residuos Inertes	kg	1,36E-06			1,36E-06
Nao especificados	kg	1,02E-04			1,02E-04
Total residuo solido	kg	3,92E-04	0,00E+00	0,00E+00	3,92E-04

		PRODUÇÃO DE 1t DE CALCAREO				TRANSPORTE DO CALCARIO ATE A LAVOURA DA SOJA		Total para	Total para 1Kg
			APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1		30,27 Kg de Diesel para	Queima de 30,27 Kg de	1000Kg de	
Entradas/ Saídas	uni	1t de calcareo	1,22 Kg de diesel	Queima de 1,22Kg de diesel	23,4 MJ de EE	transporte	diesel	calcareo	de calcareo
Energia total	MJ	6,16E-01	7,46E-03	4,01E+01	3,71E+01	1,85E-01	1,21E+03	1,29E+03	1,29E+00
Energia nao renovavel	MJ	6,16E-01	7,46E-03	4,01E+01	5,19E+00	1,85E-01	1,21E+03	1,26E+03	1,26E+00
Energia renovavel	MJ	0,00E+00	2,12E-09	0,00E+00	3,19E+01	5,27E-08	0,00E+00	3,19E+01	3,19E-02
Petroleo	kg		0,00E+00		2,83E-02	0,00E+00		2,83E-02	2,83E-05
Carvão	kg		3,36E-06		3,00E-01	8,33E-05		3,01E-01	3,01E-04
Gas natural	kg		0,00E+00		1,78E-02	0,00E+00		1,78E-02	1,78E-05
Uranio	kg		0,00E+00		4,21E-06	0,00E+00		4,21E-06	4,21E-09
Combustíveis renovaveis	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg		0,00E+00		1,14E-01	0,00E+00		1,14E-01	1,14E-04
Rocha fosfatica bruta	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha Potasica	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	kg	1,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		1,00E+00	1,00E-03
S elementar	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	kg		4,60E-04		2,11E-02	1,14E-02		3,29E-02	3,29E-05
Água	kg		6,86E-05		2,71E+00	1,70E-03		2,72E+00	2,72E-03
Emissões atmosfericas									
CO2	kg		4,14E-15	3,89E+00	8,04E-01	1,03E-13	0,00E+00	4,69E+00	4,69E-03
CH4	kg		3,57E-05	0,00E+00	1,26E-02	8,85E-04	0,00E+00	1,35E-02	1,35E-05
CO	kg		1,68E-04	8,51E-03	3,50E-03	4,18E-03	0,00E+00	1,64E-02	1,64E-05
N2O	kg		2,75E-06	0,00E+00	2,57E-04	6,82E-05	0,00E+00	3,28E-04	3,28E-07
NH3	kg		2,42E-05	0,00E+00	1,40E-10	6,01E-04		6,25E-04	6,25E-07
NOx	kg		7,44E-05	3,40E-02	1,35E-02	1,85E-03	0,00E+00	4,94E-02	4,94E-05
COVNM	kg		3,67E-08	0,00E+00	1,70E-04	9,10E-07		1,71E-04	1,71E-07
Hidrocarbonetos	kg		1,75E-09	7,09E-04	1,76E-05	4,35E-08	0,00E+00	7,27E-04	7,27E-07
MP	kg	1,61E-01	1,56E-09	5,67E-04	1,57E-03	3,87E-08	0,00E+00	1,63E-01	1,63E-04
SOx	kg		0,00E+00	1,22E-03	2,72E-03	0,00E+00	0,00E+00	3,94E-03	3,94E-06
H2S	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Metil carptano	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
HCl	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl2	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
HF	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg		6,74E-06		0,00E+00	1,67E-04		1,74E-04	1,74E-07
Metanol	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg		5,86E-06		0,00E+00	1,45E-04		1,51E-04	1,51E-07
Radioatividade para o ar	KBq		3,61E-05		2,29E-01	8,97E-04		2,30E-01	2,30E-04
Efluentes liquidos									
Efluentes liquidos	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
DBO	kg		0,00E+00		1,64E-06	0,00E+00		1,64E-06	1,64E-09
DQO	kg		0,00E+00		3,04E-06	0,00E+00		3,04E-06	3,04E-09
Na+	kg		4,27E-06		0,00E+00	1,06E-04		1,10E-04	1,10E-07
K+	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg		3,45E-11		1,40E-09	8,56E-10		2,29E-09	2,29E-12
(PO3)4-	kg		1,86E-05		0,00E+00	4,61E-04		4,80E-04	4,80E-07
NO3-	kg		3,47E-07		0,00E+00	8,60E-06		8,95E-06	8,95E-09
Hg	kg		9,66E-11		0,00E+00	2,40E-09		2,49E-09	2,49E-12
Solidos dissolvidos totais	kg		3,10E-12		1,17E-06	7,70E-11		1,17E-06	1,17E-09
Sólidos suspensos totais	kg		3,10E-13		2,34E-06	7,70E-12		2,34E-06	2,34E-09
Hidrocarbonetos	kg		1,04E-05		7,02E-07	2,58E-04		2,70E-04	2,70E-07
Óleos e graxas	kg		0,00E+00		3,28E-06	0,00E+00		3,28E-06	3,28E-09
Compostos de nitrogenio	kg		9,24E-06		1,05E-07	2,29E-04		2,39E-04	2,39E-07
Compostos de exofre	kg		0,00E+00		1,05E-08	0,00E+00		1,05E-08	1,05E-11
Radioatividade para a água	KBq		7,38E-06		3,53E-01	1,83E-04		3,54E-01	3,54E-04
Residuos solidos									
Residuos no solo	kg		0,00E+00		3,14E-01	0,00E+00		3,14E-01	3,14E-04
Residuos de mineracao	kg		6,87E-07		0,00E+00	1,70E-05		1,77E-05	1,77E-08
Residuos processuais	kg		6,11E-11		2,50E-01	1,52E-09		2,50E-01	2,50E-04
Residuos solidos oleosos	kg		6,83E-05		0,00E+00	1,70E-03		1,76E-03	1,76E-06
Catalisador usado	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Nao especificados	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Total residuo solido	kg	0,00E+00	6,90E-05	0,00E+00	5,64E-01	1,71E-03	0,00E+00	5,66E-01	5,66E-04

APÊNDICE B12 INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO E USO DO CALCARIO NA CULTURA DA CANA

		PRODUÇÃO DE 1TON DE CALCAREO				TRANSPORTE DO CALCARIO ATE A LAVOURA DA CANA		Total para	Total para
			APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1		Diesel para transporte de	Queima de 231 Kg de diesel	1000Kg de	1Kg de
Entradas/ Saídas	uni	1t de calcareo	1,22 Kg de diesel	Queima de 1,22Kg de diesel	23,4 MJ de EE	1ton calcareo		calcareo	calcareo
Energia total	MJ	6,16E-01	7,46E-03	4,89E+01	3,71E+01	1,58E-01	1,03E+03	1,12E+03	1,12E+00
Energia nao renovavel	MJ	6,16E-01	7,46E-03	4,89E+01	5,19E+00	1,58E-01	1,03E+03	1,09E+03	1,09E+00
Energia renovavel	MJ	0,00E+00	2,12E-09	0,00E+00	3,19E+01	4,49E-08	0,00E+00	3,19E+01	3,19E-02
Petroleo	kg		0,00E+00		2,83E-02	0,00E+00		2,83E-02	2,83E-05
Carvão	kg		3,36E-06		3,00E-01	7,10E-05		3,01E-01	3,01E-04
Gas natural	kg		0,00E+00		1,78E-02	0,00E+00		1,78E-02	1,78E-05
Uranio	kg		0,00E+00		4,21E-06	0,00E+00		4,21E-06	4,21E-09
Combustíveis renovaveis	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg		0,00E+00		1,14E-01	0,00E+00		1,14E-01	1,14E-04
Rocha fosfatica bruta	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha Potasica	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	kg	1,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		1,00E+00	1,00E-03
S elementar	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	kg		4,60E-04		2,11E-02	9,73E-03		3,13E-02	3,13E-05
Água	kg		6,86E-05		2,71E+00	1,45E-03		2,72E+00	2,72E-03
Emissões atmosfericas									
CO2	kg		4,14E-15	3,89E+00	8,04E-01	8,75E-14	0,00E+00	4,69E+00	4,69E-03
CH4	kg		3,57E-05	0,00E+00	1,26E-02	7,54E-04	0,00E+00	1,34E-02	1,34E-05
CO	kg		1,68E-04	8,51E-03	3,50E-03	3,56E-03	0,00E+00	1,57E-02	1,57E-05
N2O	kg		2,75E-06	0,00E+00	2,57E-04	5,81E-05	0,00E+00	3,18E-04	3,18E-07
NH3	kg		2,42E-05	0,00E+00	1,40E-10	5,12E-04		5,36E-04	5,36E-07
NOx	kg		7,44E-05	3,40E-02	1,35E-02	1,57E-03	0,00E+00	4,92E-02	4,92E-05
COVNM	kg		3,67E-08	0,00E+00	1,70E-04	7,75E-07		1,71E-04	1,71E-07
Hidrocarbonetos	kg		1,75E-09	7,09E-04	1,76E-05	3,71E-08	0,00E+00	7,27E-04	7,27E-07
MP	kg	1,61E-01	1,56E-09	5,67E-04	1,57E-03	3,30E-08	0,00E+00	1,63E-01	1,63E-04
SOx	kg		0,00E+00	1,22E-03	2,72E-03	0,00E+00	0,00E+00	3,94E-03	3,94E-06
H2S	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Metil carptano	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
HCl	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl2	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
HF	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg		6,74E-06		0,00E+00	1,43E-04		1,49E-04	1,49E-07
Metanol	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg		5,86E-06		0,00E+00	1,24E-04		1,30E-04	1,30E-07
Radioatividade para o ar	KBq		3,61E-05		2,29E-01	7,64E-04		2,29E-01	2,29E-04
Efluentes liquidos									
Efluentes liquidos	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
DBO	kg		0,00E+00		1,64E-06	0,00E+00		1,64E-06	1,64E-09
DQO	kg		0,00E+00		3,04E-06	0,00E+00		3,04E-06	3,04E-09
Na+	kg		4,27E-06		0,00E+00	9,02E-05		9,45E-05	9,45E-08
K+	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg		3,45E-11		1,40E-09	7,29E-10		2,17E-09	2,17E-12
(PO3)4-	kg		1,86E-05		0,00E+00	3,93E-04		4,12E-04	4,12E-07
NO3-	kg		3,47E-07		0,00E+00	7,33E-06		7,68E-06	7,68E-09
Hg	kg		9,66E-11		0,00E+00	2,04E-09		2,14E-09	2,14E-12
Solidos dissolvidos totais	kg		3,10E-12		1,17E-06	6,56E-11		1,17E-06	1,17E-09
Sólidos suspensos totais	kg		3,10E-13		2,34E-06	6,56E-12		2,34E-06	2,34E-09
Hidrocarbonetos	kg		1,04E-05		7,02E-07	2,20E-04		2,31E-04	2,31E-07
Óleos e graxas	kg		0,00E+00		3,28E-06	0,00E+00		3,28E-06	3,28E-09
Compostos de nitrogenio	kg		9,24E-06		1,05E-07	1,95E-04		2,05E-04	2,05E-07
Compostos de exofre	kg		0,00E+00		1,05E-08	0,00E+00		1,05E-08	1,05E-11
Radioatividade para a água	KBq		7,38E-06		3,53E-01	1,56E-04		3,54E-01	3,54E-04
Residuos solidos									
Residuos no solo	kg		0,00E+00		3,14E-01	0,00E+00		3,14E-01	3,14E-04
Residuos de mineracao	kg		6,87E-07		0,00E+00	1,45E-05		1,52E-05	1,52E-08
Residuos processuais	kg		6,11E-11		2,50E-01	1,29E-09		2,50E-01	2,50E-04
Residuos solidos oleosos	kg		6,83E-05		0,00E+00	1,44E-03		1,51E-03	1,51E-06
Catalisador usado	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Nao especificados	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Total residuo solido	kg	0,00E+00	6,90E-05	0,00E+00	5,64E-01	1,46E-03	0,00E+00	5,65E-01	5,65E-04

APÊNDICE B13 INVENTÁRIO DO SUBSISTEMA DE PRODUÇÃO DE NaOH

		Produção de 1kg de NaOH						
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 1t de NaOH	Produção de 10,4 GJ de EE	APÊNDICE B.4 Produção de 102 Kg de óleo combustível	APÊNDICE A.1 Queima de 102 Kg de óleo combustível	Total 1t de NaOH sem alocacao	Total 1t de NaOH alocacao F= 0,552	Total 1 Kg de NaOH
Energia total	MJ		1,65E+04	4,73E+02	4,31E+03	2,13E+04	1,11E+04	1,11E+01
Energia nao renovavel	MJ		2,31E+03	4,72E+02	4,31E+03	7,09E+03	3,70E+03	3,70E+00
Energia renovavel	MJ		1,42E+04	5,48E-01	0,00E+00	1,42E+04	7,40E+03	7,40E+00
Petroleo	kg		1,26E+01	1,14E+02		1,26E+02	6,60E+01	6,60E-02
Carvão	kg		1,34E+02	1,09E-02		1,34E+02	6,97E+01	6,97E-02
Gas natural	kg		7,90E+00	4,35E+00		1,23E+01	6,40E+00	6,40E-03
Uranio	kg		1,87E-03	1,24E-06		1,87E-03	9,78E-04	9,78E-07
Combustíveis renovaveis	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg		5,06E+01	1,96E-03		5,06E+01	2,64E+01	2,64E-02
Rocha fosfatica bruta	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rocha Potasica	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
S elementar	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	kg		9,36E+00	3,62E-04		9,36E+00	4,89E+00	4,89E-03
Água	kg	4,38E+02	1,21E+03	2,41E+02		1,89E+03	9,84E+02	9,84E-01
Emissoes atmosfericas								
CO2	kg		3,57E+02	4,11E+01	3,38E+02	7,36E+02	3,84E+02	3,84E-01
CH4	kg		5,61E+00	2,68E-01	1,34E-02	5,89E+00	3,08E+00	3,08E-03
CO	kg		1,55E+00	4,00E-02	6,47E-02	1,66E+00	8,66E-01	8,66E-04
N2O	kg		1,14E-01	5,56E-05	1,47E-03	1,16E-01	6,05E-02	6,05E-05
NH3	kg		6,24E-08	2,41E-12		6,24E-08	3,26E-08	3,26E-11
NOx	kg		5,98E+00	2,08E-02	2,20E-01	6,22E+00	3,25E+00	3,25E-03
COVNM	kg		7,57E-02	9,81E-02		1,74E-01	9,07E-02	9,07E-05
Hidrocarbonetos	kg		7,80E-03	1,60E-03	3,71E-03	1,31E-02	6,84E-03	6,84E-06
MP	kg		6,99E-01	1,41E-02	2,50E-02	7,38E-01	3,85E-01	3,85E-04
SOx	kg		1,21E+00	4,34E-02	2,04E+00	3,30E+00	1,72E+00	1,72E-03
H2S	kg		0,00E+00	2,14E-05		2,14E-05	1,12E-05	1,12E-08
Metil carptano	kg		0,00E+00	1,02E-06		1,02E-06	5,34E-07	5,34E-10
HCl	kg		0,00E+00	9,10E-07		9,10E-07	4,75E-07	4,75E-10
Cl2	kg	2,35E-02	0,00E+00	0,00E+00		2,35E-02	1,23E-02	1,23E-05
Diclorometano	kg	3,29E-02	0,00E+00	0,00E+00		3,29E-02	1,72E-02	1,72E-05
HF	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Metanol	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para o ar	kBq		1,02E+02	3,93E-03		1,02E+02	5,30E+01	5,30E-02
Efluentes liquidos								
Efluentes liquidos	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
DBO	kg		7,28E-04	3,42E-03		4,14E-03	2,16E-03	2,16E-06
DQO	kg		1,35E-03	2,11E-02		2,24E-02	1,17E-02	1,17E-05
Na+	kg		0,00E+00	1,67E-03		1,67E-03	8,70E-04	8,70E-07
K+	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg	4,72E-03	6,24E-07	2,49E-03		7,21E-03	3,76E-03	3,76E-06
(PO3)4-	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NO3-	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Hg	kg	2,67E-04	0,00E+00	0,00E+00		2,67E-04	1,39E-04	1,39E-07
Solidos dissolvidos totais	kg		5,20E-04	0,00E+00		5,20E-04	2,71E-04	2,71E-07
Sólidos suspensos totais	kg		1,04E-03	1,08E-02		1,19E-02	6,20E-03	6,20E-06
Hidrocarbonetos	kg		3,12E-04	2,02E-04		5,14E-04	2,68E-04	2,68E-07
Óleos e graxas	kg		1,46E-03	0,00E+00		1,46E-03	7,60E-04	7,60E-07
Compostos de nitrogenio	kg		4,68E-05	0,00E+00		4,68E-05	2,44E-05	2,44E-08
Compostos de exofre	kg		4,68E-06	0,00E+00		4,68E-06	2,44E-06	2,44E-09
Radioatividade para a água	kBq		1,57E+02	6,07E-03		1,57E+02	8,20E+01	8,20E-02
Residuos solidos								
Residuos no solo	kg		1,39E+02	5,39E-03		1,39E+02	7,28E+01	7,28E-02
Residuos de mineracao	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos processuais	kg		1,11E+02	4,30E-03		1,11E+02	5,81E+01	5,81E-02
Residuos solidos oleosos	kg		0,00E+00	2,97E-02		2,97E-02	1,55E-02	1,55E-05
Catalisador usado	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg		0,00E+00	4,00E-04		4,00E-04	2,09E-04	2,09E-07
Nao especificados	kg		0,00E+00	3,56E-08		3,56E-08	1,86E-08	1,86E-11
Total residuo solido	kg	0,00E+00	2,51E+02	3,98E-02	0,00E+00	2,51E+02	1,31E+02	1,31E-01

		Etapa de mineração		Transporte do Mineral		Produção do SSP			Total 1Kg SSP
Entradas/ Saídas	uni	Mineração	Concentração	0,007Kg de Diesel	Queima de 0,007Kg de Diesel	H2SO4	0,75MJ de Energia Eletrica	1Kg de SSP	
Energia total	MJ			3,44E-02	2,98E-01		1,19E+00		1,52E+00
Energia nao renovavel	MJ			3,44E-02	2,98E-01		1,66E-01		4,99E-01
Energia renovavel	MJ			3,99E-05	0,00E+00		1,02E+00		1,02E+00
Petroleo	kg			8,29E-03			9,08E-04		9,20E-03
Carvao	kg			7,91E-07			9,63E-03		9,63E-03
Gas natural	kg			3,17E-04			5,70E-04		8,87E-04
Uranio	kg			9,02E-11			1,35E-07		1,35E-07
Combustíveis renovaveis	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
Reservas Bioticas	kg			1,43E-07			3,65E-03		3,65E-03
Rocha Fosfatica	kg			0,00E+00			0,00E+00	4,85E+00	4,85E+00
Rocha potassica	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
Rocha metamorfica	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
S elementar	kg			0,00E+00		1,18E-01	0,00E+00		1,18E-01
Materias secundarios	kg			2,64E-08			6,75E-04		6,75E-04
Água	kg	5,37E-01	7,48E+00	1,76E-02		5,18E-01	8,70E-02	1,43E+00	1,01E+01
Emissões atmosfericas									
CO2	kg			2,99E-03	2,37E-02		2,58E-02		5,24E-02
CH4	kg			1,95E-05	0,00E+00		4,05E-04		4,24E-04
CO	kg			2,91E-06	5,19E-05		1,12E-04		1,67E-04
N2O	kg			4,05E-09	0,00E+00		8,24E-06		8,25E-06
NH3	kg			1,76E-16	0,00E+00		4,50E-12		4,50E-12
NOx	kg			1,51E-06	2,07E-04		4,31E-04		6,40E-04
COVNM	kg			7,15E-06	0,00E+00		5,46E-06		1,26E-05
Hidrocarbonetos	kg			1,17E-07	4,32E-06		5,63E-07		5,00E-06
MP	kg			1,03E-06	3,46E-06		5,04E-05		5,49E-05
SOx	kg			3,16E-06	7,43E-06	9,50E-04	8,73E-05		1,05E-03
H2S	kg			1,56E-09			0,00E+00		1,56E-09
Metilcarptano	kg			7,45E-11			0,00E+00		7,45E-11
HCl	kg			6,63E-11			0,00E+00		6,63E-11
Cl2	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
Diclorometano	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
HF	kg			0,00E+00			0,00E+00	1,10E-05	1,10E-05
Dimetil Eter	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
Metanol	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
Etanol	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
Ciclohexano	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
Radioatividade para o ar	Kbq			2,86E-07			7,33E-03		7,33E-03
Efluentes Liquidos									
Efluentes Liquidos	kg		8,01E+00	0,00E+00			0,00E+00		8,01E+00
DBO	kg			2,49E-07			5,25E-08		3,01E-07
DQO	kg			1,53E-06			9,75E-08		1,63E-06
Na+	kg			1,21E-07			0,00E+00		1,21E-07
K+	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
Ca+2	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
Mg+2	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
Cl-	kg			1,81E-07			4,50E-11		1,81E-07
(PO3)4-	kg			0,00E+00			0,00E+00	1,99E-03	1,99E-03
NO3-	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
Hg	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	kg		7,71E+00	0,00E+00			3,75E-08		7,71E+00
Sólidos suspensos totais	kg			7,90E-07			7,50E-08		8,65E-07
Hidrocarbonetos	kg			1,47E-08			2,25E-08		3,72E-08
Óleos e graxas	kg			0,00E+00			1,05E-07		1,05E-07
Compostos de N	kg			0,00E+00			3,38E-09		3,38E-09
Compostos de S	kg			0,00E+00			3,38E-10		3,38E-10
Radioatividade para a água	KBq			4,42E-07			1,13E-02		1,13E-02
Residuos solidos									
Residuos no solo	kg			3,92E-07			1,01E-02		1,01E-02
Residuos de mineracao	kg		1,43E+00	0,00E+00			0,00E+00		1,43E+00
Residuos processuais	kg			3,13E-07			8,03E-03		8,03E-03
Residuos solidos oleosos	kg			2,17E-06			0,00E+00		2,17E-06
Catalisador usado	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00
Residuos Inertes	kg			2,92E-08			0,00E+00		2,92E-08
Nao especificados	kg			2,59E-12			0,00E+00		2,59E-12
Total residuo solido	kg	0,00E+00	1,43E+00	2,90E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,81E-02	0,00E+00	1,45E+00

		Produção de 1Kg de KCl				
Entradas/ Saídas	uni	85,57 Kg de Diesel	64,58 Kg de gás natural	Produção de 1ton de K2O	Total 1ton de K2O	Total 1Kg de K2O
Energia total	MJ	3,96E+02	2,80E-01	5,81E+03	6,20E+03	6,20E+00
Energia nao renovavel	MJ	3,96E+02	2,80E-01	5,81E+03	6,20E+03	6,20E+00
Energia renovavel	MJ	4,59E-01	0,00E+00	0,00E+00	4,59E-01	4,59E-04
Petroleo	kg	9,55E+01			9,55E+01	9,55E-02
Carvão	kg	9,10E-03			9,10E-03	9,10E-06
Gas natural	kg	3,65E+00			3,65E+00	3,65E-03
Uranio	kg	1,04E-06			1,04E-06	1,04E-09
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg	1,64E-03			1,64E-03	1,64E-06
Rocha Fosfatica	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Rocha potassica	kg	0,00E+00		1,19E+03	1,19E+03	1,19E+00
Rocha metamorfica	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
S elementar	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	kg	3,03E-04		1,19E+03	1,19E+03	1,19E+00
Água	kg	2,02E+02		1,04E+03	1,24E+03	1,24E+00
Emissoes atmosfericas						
CO2	kg	3,45E+01	5,40E+00	5,77E+02	6,17E+02	6,17E-01
CH4	kg	2,25E-01	9,69E-02	9,16E-01	1,24E+00	1,24E-03
CO	kg	3,35E-02	1,82E-05	1,23E+00	1,27E+00	1,27E-03
N2O	kg	4,66E-05			4,66E-05	4,66E-08
NH3	kg	2,02E-12			2,02E-12	2,02E-15
NOx	kg	1,74E-02	1,72E-02	2,89E+00	2,92E+00	2,92E-03
COVNM	kg	8,23E-02			8,23E-02	8,23E-05
Hidrocarbonetos	kg	1,34E-03	1,18E-05	6,57E-01	6,58E-01	6,58E-04
MP	kg	1,18E-02	1,05E-03	1,30E+00	1,31E+00	1,31E-03
SOx	kg	3,64E-02	6,23E-02	2,20E+00	2,30E+00	2,30E-03
H2S	kg	1,79E-05	2,03E-08		1,79E-05	1,79E-08
Metil carptano	kg	8,58E-07			8,58E-07	8,58E-10
HCl	kg	7,63E-07			7,63E-07	7,63E-10
Cl2	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
HF	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Metanol	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para o ar	kBq	3,29E-03			3,29E-03	3,29E-06
Efluentes liquidos						
Efluentes liquidos	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
DBO	kg	2,87E-03		1,26E-02	1,55E-02	1,55E-05
DQO	kg	1,77E-02		6,32E-03	2,40E-02	2,40E-05
Na+	kg	1,40E-03		4,65E+01	4,65E+01	4,65E-02
K+	kg	0,00E+00		1,02E+00	1,02E+00	1,02E-03
Ca+2	kg	0,00E+00		1,32E+00	1,32E+00	1,32E-03
Mg+2	kg	0,00E+00		7,64E+00	7,64E+00	7,64E-03
Cl-	kg	2,09E-03		7,96E+01	7,96E+01	7,96E-02
(PO3)4-	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
NO3-	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Hg	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Sólidos suspensos totais	kg	9,09E-03			9,09E-03	9,09E-06
Hidrocarbonetos	kg	1,69E-04			1,69E-04	1,69E-07
Óleos e graxas	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Compostos de nitrogenio	kg	0,00E+00	7,56E-08	3,79E-04	3,79E-04	3,79E-07
Compostos de exofre	kg	0,00E+00	1,05E-05	7,90E+00	7,90E+00	7,90E-03
Radioatividade para a água	kBq	5,09E-03			5,09E-03	5,09E-06
Residuos solidos						
Residuos no solo	kg	4,52E-03			4,52E-03	4,52E-06
Residuos de mineracao	kg	0,00E+00		2,89E+03	2,89E+03	2,89E+00
Residuos processuais	kg	3,61E-03	1,34E-06		3,61E-03	3,61E-06
Residuos solidos oleosos	kg	2,49E-02			2,49E-02	2,49E-05
Catalisador usado	kg	0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg	3,36E-04			3,36E-04	3,36E-07
Nao especificados	kg	2,98E-08			2,98E-08	2,98E-11
Total residuo solido	kg	3,34E-02	1,34E-06	2,89E+03	2,89E+03	2,89E+00

		APÊNDICE B.8	Transporte de Ureia ate o misturador		APÊNDICE B.14	Transporte de KCl ate o misturador		APÊNDICE B.13	Transporte de SSP ate o misturador		Total	Transporte de NPK ate Lavoura		Total produção e
			APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1		APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1		APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1	Produção de	APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1	
Entradas/ Saídas	uni	Produção de ureia	1,13 Kg Diesel	Queima de 1,13Kg de Diesel	Produçãode de KCl	8,16Kg de Diesel	Queima de 8,16Kg de Diesel	Produçãode de SSP	11,4Kg de Diesel	Queima de 11,4Kg de Diesel	NPK	7,19Kg de Diesel	Queima de 7,19Kg Diesel	uso de de 1Kg NPK
Energia total	MJ	4,38E+01	6,93E-03	4,54E+01	4,24E+02	4,99E-02	3,27E+02	1,95E+02	6,97E-02	4,57E+02	1,49E+03	4,40E-02	2,88E+02	1,00E+01
Energia nao renovavel	MJ	4,38E+01	6,93E-03	4,54E+01	4,24E+02	4,99E-02	3,27E+02	6,41E+01	6,97E-02	4,57E+02	1,36E+03	4,40E-02	2,88E+02	9,27E+00
Energia renovavel	MJ	0,00E+00	1,97E-09	0,00E+00	5,35E-02	1,42E-08	0,00E+00	1,31E+02	1,98E-08	0,00E+00	1,31E+02	1,25E-08	0,00E+00	7,35E-01
Petroleo	kg	0,00E+00	0,00E+00		1,11E+01	0,00E+00		1,24E+00	0,00E+00		1,24E+01	0,00E+00		6,95E-02
Carvão	kg	0,00E+00	3,12E-06		1,06E-03	2,25E-05		1,23E+00	3,14E-05		1,23E+00	1,98E-05		6,93E-03
Gas natural	kg	0,00E+00	0,00E+00		4,25E-01	0,00E+00		1,16E-01	0,00E+00		5,41E-01	0,00E+00		3,04E-03
Uranio	kg	0,00E+00	0,00E+00		1,21E-07	0,00E+00		1,73E-05	0,00E+00		1,74E-05	0,00E+00		9,79E-08
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Reservas bioticas	kg	0,00E+00	0,00E+00		1,91E-04	0,00E+00		4,67E-01	0,00E+00		4,68E-01	0,00E+00		2,63E-03
Rocha Fosfatica	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		6,20E+02	0,00E+00		6,20E+02	0,00E+00		3,49E+00
Rocha potassica	kg	0,00E+00	0,00E+00		1,32E+02	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		1,32E+02	0,00E+00		7,40E-01
Rocha metamorfica	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
S elementar	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Materias secundarios	kg	0,00E+00	4,27E-04		7,03E-01	3,08E-03		1,55E+01	4,30E-03		1,62E+01	2,71E-03		9,11E-02
Água	kg	1,62E-01	6,37E-05		1,38E+02	4,59E-04		1,29E+03	6,41E-04		1,43E+03	4,04E-04		8,03E+00
Emissoes atmosfericas														
CO2	kg	5,29E+00	3,84E-15	3,61E+00	9,77E+01	2,77E-14	2,60E+01	6,73E+00	3,87E-14	3,63E+01	1,76E+02	2,44E-14	2,60E+01	1,13E+00
CH4	kg	5,67E-03	3,31E-05	0,00E+00	1,27E-01	2,38E-04	0,00E+00	5,44E-02	3,33E-04	0,00E+00	1,88E-01	2,10E-04	0,00E+00	1,06E-03
CO	kg	9,98E-04	1,56E-04	7,90E-03	2,05E-01	1,13E-03	5,69E-02	2,14E-02	1,57E-03	7,95E-02	3,75E-01	9,92E-04	5,69E-02	2,43E-03
N2O	kg	6,90E-06	2,55E-06	0,00E+00	3,41E-06	1,84E-05	0,00E+00	1,05E-03	2,57E-05	0,00E+00	1,11E-03	1,62E-05	0,00E+00	6,34E-06
NH3	kg	0,00E+00	2,25E-05	0,00E+00	2,36E-13	1,62E-04	0,00E+00	5,76E-10	2,26E-04	0,00E+00	4,11E-04	1,43E-04	0,00E+00	3,11E-06
NOx	kg	7,89E-03	6,91E-05	3,16E-02	5,83E-01	4,97E-04	2,28E-01	8,19E-02	6,95E-04	3,18E-01	1,25E+00	4,38E-04	2,28E-01	8,32E-03
COVNM	kg	0,00E+00	3,41E-08	0,00E+00	9,59E-03	2,45E-07	0,00E+00	1,67E-03	3,43E-07	0,00E+00	1,13E-02	2,16E-07	0,00E+00	6,33E-05
Hidrocarbonetos	kg	1,88E-06	1,63E-09	6,59E-04	7,80E-02	1,17E-08	4,74E-03	6,41E-04	1,64E-08	6,63E-03	9,07E-02	1,03E-08	4,74E-03	5,37E-04
MP	kg	7,39E-03	1,45E-09	5,27E-04	1,49E-01	1,04E-08	3,79E-03	7,03E-03	1,46E-08	5,30E-03	1,73E-01	9,20E-09	3,79E-03	9,95E-04
SOx	kg	4,93E-03	0,00E+00	1,13E-03	2,62E-01	0,00E+00	8,16E-03	1,37E-01	0,00E+00	1,14E-02	4,25E-01	0,00E+00	8,16E-03	2,43E-03
H2S	kg	1,18E-09	0,00E+00		2,09E-06	0,00E+00		2,11E-07	0,00E+00		2,30E-06	0,00E+00		1,29E-08
Metil carptano	kg	0,00E+00	0,00E+00		9,99E-08	0,00E+00		1,01E-08	0,00E+00		1,10E-07	0,00E+00		6,19E-10
HCl	kg	0,00E+00	0,00E+00		8,89E-08	0,00E+00		8,97E-09	0,00E+00		9,79E-08	0,00E+00		5,50E-10
Cl2	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Diclorometano	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
HF	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		1,41E-03	0,00E+00		1,41E-03	0,00E+00		7,91E-06
Dimetil Eter	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Metanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Ciclohexano	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Radioatividade para o ar	kBq	0,00E+00	3,36E-05		3,84E-04	2,42E-04		9,38E-01	3,38E-04		9,39E-01	2,13E-04		5,28E-03
Efluentes liquidos														
Efluentes liquidos	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		1,03E+03	0,00E+00		1,03E+03	0,00E+00		5,76E+00
DBO	kg	0,00E+00	0,00E+00		3,34E-04	0,00E+00		4,04E-05	0,00E+00		3,74E-04	0,00E+00		2,10E-06
DQO	kg	0,00E+00	0,00E+00		2,06E-03	0,00E+00		2,20E-04	0,00E+00		2,28E-03	0,00E+00		1,28E-05
Na+	kg	0,00E+00	3,96E-06		1,63E-04	2,85E-05		1,64E-05	3,99E-05		2,52E-04	2,51E-05		1,56E-06
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Ca+2	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Mg+2	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Cl-	kg	0,00E+00	3,20E-11		2,43E-04	2,31E-10		2,45E-05	3,22E-10		2,68E-04	2,03E-10		1,50E-06
(PO3)4-	kg	0,00E+00	1,73E-05		0,00E+00	1,24E-04		2,55E-01	1,74E-04		2,55E-01	1,10E-04		1,43E-03
NO3-	kg	0,00E+00	3,22E-07		0,00E+00	2,32E-06		0,00E+00	3,24E-06		5,88E-06	2,04E-06		4,45E-08
Hg	kg	0,00E+00	8,97E-11		0,00E+00	6,46E-10		0,00E+00	9,02E-10		1,64E-09	5,69E-10		1,24E-11
Solidos dissolvidos totais	kg	0,00E+00	2,88E-12		1,96E-09	2,08E-11		9,86E+02	2,90E-11		9,86E+02	1,83E-11		5,54E+00
Sólidos suspensos totais	kg	0,00E+00	2,88E-13		1,06E-03	2,08E-12		1,16E-04	2,90E-12		1,18E-03	1,83E-12		6,61E-06
Hidrocarbonetos	kg	0,00E+00	9,67E-06		1,97E-05	6,96E-05		4,87E-06	9,73E-05		2,01E-04	6,14E-05		1,48E-06
Óleos e graxas	kg	0,00E+00	0,00E+00		5,50E-09	0,00E+00		1,34E-05	0,00E+00		1,34E-05	0,00E+00		7,56E-08
Compostos de nitrogenio	kg	1,00E-03	8,58E-06		1,77E-10	6,18E-05		4,32E-07	8,64E-05		1,16E-03	5,45E-05		6,81E-06
Compostos de exofre	kg	0,00E+00	0,00E+00		1,77E-11	0,00E+00		4,32E-08	0,00E+00		4,32E-08	0,00E+00		2,43E-10
Radioatividade para a água	kBq	0,00E+00	6,85E-06		5,93E-04	4,93E-05		1,45E+00	6,90E-05		1,45E+00	4,35E-05		8,15E-03
Residuos solidos														
Residuos no solo	kg	0,00E+00	0,00E+00		5,26E-04	0,00E+00		1,29E+00	0,00E+00		1,29E+00	0,00E+00		7,23E-03
Residuos de mineracao	kg	0,00E+00	6,38E-07		0,00E+00	4,59E-06		1,84E+02	6,42E-06		1,84E+02	4,05E-06		1,03E+00
Residuos processuais	kg	1,04E-10	5,67E-11		4,20E-04	4,08E-10		1,03E+00	5,71E-10		1,03E+00	3,60E-10		5,77E-03
Residuos solidos oleosos	kg	0,00E+00	6,34E-05		2,91E-03	4,57E-04		5,98E-05	6,38E-04		4,12E-03	4,03E-04		2,54E-05
Catalisador usado	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Residuos Inertes	kg	0,00E+00	0,00E+00		3,91E-05	0,00E+00		5,31E-05	0,00E+00		9,22E-05	0,00E+00		5,19E-07
Nao especificados	kg	0,00E+00	0,00E+00		3,48E-09	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		3,48E-09	0,00E+00		1,96E-11
Total residuo solido	kg	1,04E-10	6,41E-05	0,00E+00	3,89E-03	4,61E-04	0,00E+00	1,86E+02	6,45E-04	0,00E+00	1,86E+02	4,07E-04	0,00E+00	1,04E+00

		Crescimento de	Produtos Químicos:	APÊNDICE B.10	APÊNDICE B.15	Emissões pela	Emissões pela	Diesel nas operações agricolas		Transporte dos grãos de soja da lavoura ate usina		Total 1 ton de soja	1 Kg de soja
Entradas/ Saídas	uni	1000 Kg de soja	Herbicidas, inseticidas	294Kg de Calcario	178Kg de NPK	aplicação de ureia	erosão do solo	15,74Kg de Diesel	Quiema de 15,74Kg de diesel	5,47Kg de Diesel	Quiema de 5,47Kg de diesel		
Energia total	MJ		2,20E+01	3,80E+02	1,78E+03			7,29E+01	6,31E+02	2,53E+01	2,19E+02	3,13E+03	3,13E+00
Energia nao renovavel	MJ		2,20E+01	3,70E+02	1,65E+03			7,28E+01	6,31E+02	2,53E+01	2,19E+02	2,99E+03	2,99E+00
Energia renovavel	MJ		0,00E+00	9,37E+00	1,31E+02			8,45E-02	0,00E+00	2,93E-02	0,00E+00	1,40E+02	1,40E-01
Petroleo	kg			8,32E-03	1,24E+01			1,76E+01		6,10E+00		3,60E+01	3,60E-02
Carvao	kg			8,83E-02	1,23E+00			1,67E-03		5,82E-04		1,32E+00	1,32E-03
Gas natural	kg			5,23E-03	5,41E-01			6,70E-01		2,33E-01		1,45E+00	1,45E-03
Uranio	kg			1,24E-06	1,74E-05			1,91E-07		6,63E-08		1,89E-05	1,89E-08
Combustíveis renovaveis	kg			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00			
Reservas Bioticas	kg			3,35E-02	4,68E-01			3,02E-04		1,05E-04		5,01E-01	5,01E-04
Rocha fosfatica bruta	kg			0,00E+00	6,20E+02			0,00E+00		0,00E+00		6,20E+02	6,20E-01
Rocha Potasica	kg			0,00E+00	1,32E+02			0,00E+00		0,00E+00		1,32E+02	1,32E-01
Rocha metamorfica	kg			2,94E-01	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00		2,94E-01	2,94E-04
S elementar	kg			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00			
Materias secundarios	kg			9,68E-03	1,62E+01			5,58E-05		1,94E-05		1,62E+01	1,62E-02
Água	kg			7,98E-01	1,43E+03			3,72E+01		1,29E+01		1,48E+03	1,48E+00
Emissões atmosfericas													
CO2	kg	-3,10E+03	2,20E+01	1,38E+00	2,02E+02	4,37E+00	8,43E+01	6,33E+00	5,01E+01	2,20E+00	1,74E+01	-2,71E+03	-2,71E+00
CH4	kg			3,98E-03	1,88E-01			4,14E-02	3,58E-03	1,44E-02	0,00E+00	2,51E-01	2,51E-04
CO	kg			4,81E-03	4,33E-01			6,16E-03	1,10E-01	2,14E-03	3,81E-02	5,94E-01	5,94E-04
N2O	kg			9,65E-05	1,13E-03	3,47E-02		8,57E-06	1,79E-03	2,98E-06	0,00E+00	3,77E-02	3,77E-05
NH3	kg			1,84E-04	5,53E-04	4,17E-01		3,72E-13	0,00E+00	1,29E-13	0,00E+00	4,17E-01	4,17E-04
NOx	kg			1,45E-02	1,48E+00	7,29E-03		3,21E-03	4,39E-01	1,11E-03	1,53E-01	2,10E+00	2,10E-03
COVNM	kg			5,04E-05	1,13E-02			1,51E-02	0,00E+00	5,26E-03	0,00E+00	3,17E-02	3,17E-05
Hidrocarbonetos	kg			2,14E-04	9,54E-02			2,47E-04	9,15E-03	8,58E-05	3,18E-03	1,08E-01	1,08E-04
MP	kg			4,80E-02	1,77E-01			2,18E-03	7,32E-03	7,56E-04	2,54E-03	2,38E-01	2,38E-04
SOx	kg			1,16E-03	4,33E-01			6,69E-03	1,57E-02	2,32E-03	5,47E-03	4,64E-01	4,64E-04
H2S	kg			0,00E+00	2,30E-06			3,30E-06		1,15E-06		6,74E-06	6,74E-09
Metil carptano	kg			0,00E+00	1,10E-07			1,58E-07		5,48E-08		3,23E-07	3,23E-10
HCl	kg			0,00E+00	9,79E-08			1,40E-07		4,88E-08		2,87E-07	2,87E-10
Cl2	kg			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
HF	kg			0,00E+00	1,41E-03			0,00E+00		0,00E+00		1,41E-03	1,41E-06
Dimetil Eter	kg			5,11E-05	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00		5,11E-05	5,11E-08
Metanol	kg			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg			4,45E-05	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00		4,45E-05	4,45E-08
Radioatividade para o ar	KBq			6,75E-02	9,39E-01			6,06E-04		2,10E-04		1,01E+00	1,01E-03
Efluentes Liquidos													
Efluentes Liquidos	kg			0,00E+00	1,03E+03			0,00E+00		0,00E+00		1,03E+03	1,03E+00
DBO	kg			4,82E-07	3,74E-04			5,27E-04		1,83E-04		1,08E-03	1,08E-06
DQO	kg			8,94E-07	2,28E-03			3,25E-03		1,13E-03		6,66E-03	6,66E-06
Na+	kg			3,24E-05	2,77E-04			2,57E-04		8,93E-05		6,56E-04	6,56E-07
K+	kg			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg			6,74E-10	2,68E-04			3,83E-04		1,33E-04		7,84E-04	7,84E-07
(PO3)4-	kg	1,86E+00		1,41E-04	2,55E-01			0,00E+00		0,00E+00		2,11E+00	2,11E-03
NO3-	kg	4,95E+00		2,63E-06	7,92E-06			0,00E+00		0,00E+00		4,95E+00	4,95E-03
Hg	kg			7,33E-10	2,21E-09			0,00E+00		0,00E+00		2,94E-09	2,94E-12
Solidos dissolvidos totais	kg			3,44E-07	9,86E+02			0,00E+00		0,00E+00		9,86E+02	9,86E-01
Sólidos suspensos totais	kg			6,88E-07	1,18E-03			1,67E-03		5,81E-04		3,43E-03	3,43E-06
Hidrocarbonetos	kg			7,92E-05	2,63E-04			3,12E-05		1,08E-05		3,84E-04	3,84E-07
Óleos e graxas	kg			9,63E-07	1,34E-05			0,00E+00		0,00E+00		1,44E-05	1,44E-08
Compostos de N	kg			7,02E-05	1,21E-03			0,00E+00		0,00E+00		1,28E-03	1,28E-06
Compostos de S	kg			3,10E-09	4,32E-08			0,00E+00		0,00E+00		4,63E-08	4,63E-11
Radioatividade para a água	KBq			1,04E-01	1,45E+00			9,36E-04		3,25E-04		1,56E+00	1,56E-03
Residuos solidos													
Residuos no solo	kg			9,22E-02	1,29E+00			8,31E-04		2,89E-04		1,38E+00	1,38E-03
Residuos de mineracao	kg			5,21E-06	1,84E+02			0,00E+00		0,00E+00		1,84E+02	1,84E-01
Residuos processuais	kg			7,36E-02	1,03E+00			6,63E-04		2,30E-04		1,10E+00	1,10E-03
Residuos solidos oleosos	kg			5,18E-04	4,53E-03			4,58E-03		1,59E-03		1,12E-02	1,12E-05
Catalisador usado	kg			0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg			0,00E+00	9,22E-05			6,18E-05		2,15E-05		1,75E-04	1,75E-07
Nao especificados	kg			0,00E+00	3,48E-09			5,49E-09		1,91E-09		1,09E-08	1,09E-11
Total residuo solido	kg	0,00E+00	0,00E+00	1,66E-01	1,86E+02	0,00E+00	0,00E+00	6,14E-03	0,00E+00	2,13E-03	0,00E+00	1,86E+02	1,86E-01

Entradas/ Saidas	uni	1 t de óleo de soja	1661 MJ de Energia Eletrica	APÊNDICE B.9 12,35kg de hexano	170kg Gas natural	APÊNDICE A.1 Quiema de 170kg de GN	APÊNDICE B.4 192kg de Óleo combustivel	APÊNDICE A.1 Queima de 192,17kg de óleo combustivel	Total 1 ton de óleo de soja	1 kg de óleo de soja
Energia total	MJ		2,63E+03	5,71E+01	7,38E-01	6,26E+03	8,90E+02	8,11E+03	1,79E+04	1,79E+01
Energia nao renovavel	MJ		3,68E+02	5,70E+01	7,38E-01	6,26E+03	8,89E+02	8,11E+03	1,57E+04	1,57E+01
Energia renovavel	MJ		2,26E+03	6,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	1,03E+00	0,00E+00	2,26E+03	2,26E+00
Petroleo	kg		2,01E+00	1,38E+01			2,14E+02		2,30E+02	2,30E-01
Carvao	kg		2,13E+01	1,31E-03			2,04E-02		2,13E+01	2,13E-02
Gas natural	kg		1,26E+00	5,25E-01			8,18E+00		9,97E+00	9,97E-03
Uranio	kg		2,99E-04	1,50E-07			2,33E-06		3,01E-04	3,01E-07
Combustíveis renovaveis	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Reservas Bioticas	kg		8,09E+00	2,36E-04			3,68E-03		8,09E+00	8,09E-03
Rocha fosfatica bruta	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha Potasica	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
S elementar	kg			0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	kg		1,49E+00	4,37E-05			6,81E-04		1,50E+00	1,50E-03
Água	kg	1,48E+04	1,93E+02	2,91E+01	3,35E+00		4,54E+02		1,55E+04	1,55E+01
Emissoes atmosfericas										
CO2	kg		5,70E+01	4,96E+00	1,42E+01	3,54E+02	7,73E+01	6,36E+02	1,14E+03	1,14E+00
CH4	kg		8,96E-01	3,24E-02	2,55E-01	8,13E-04	5,05E-01	2,52E-02	1,71E+00	1,71E-03
CO	kg		2,48E-01	4,83E-03	4,80E-05	1,19E-01	7,52E-02	1,22E-01	5,69E-01	5,69E-04
N2O	kg		1,83E-02	6,72E-06		1,25E-03	1,05E-04	2,76E-03	2,24E-02	2,24E-05
NH3	kg		9,97E-09	2,91E-13		0,00E+00	4,54E-12	0,00E+00	9,97E-09	9,97E-12
NOx	kg		9,55E-01	2,51E-03	4,54E-02	5,38E-01	3,91E-02	3,84E+00	5,42E+00	5,42E-03
COVNM	kg		1,21E-02	1,19E-02		0,00E+00	1,85E-01	0,00E+00	2,09E-01	2,09E-04
Hidrocarbonetos	kg		1,25E-03	1,94E-04	3,11E-05	2,16E-04	3,02E-03	6,98E-03	1,17E-02	1,17E-05
MP	kg		1,12E-01	1,70E-03	2,77E-03	8,76E-03	2,66E-02	4,71E-02	1,99E-01	1,99E-04
SOx	kg		1,93E-01	5,24E-03	1,64E-01	3,22E-02	8,16E-02	3,84E+00	4,32E+00	4,32E-03
H2S	kg		0,00E+00	2,58E-06	5,36E-08		4,02E-05		4,29E-05	4,29E-08
Metil carptano	kg		0,00E+00	1,24E-07			1,92E-06		2,05E-06	2,05E-09
HCl	kg		0,00E+00	1,10E-07			1,71E-06		1,82E-06	1,82E-09
Cl2	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
HF	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Metanol	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	1,24,E+01	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		1,24E+01	1,24E-02
Radioatividade para o ar	KBq		1,62E+01	4,74E-04			7,39E-03		1,62E+01	1,62E-02
Efluentes Liquidos										
Efluentes Liquidos	kg	4,58E+02	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		4,58E+02	4,58E-01
DBO	kg		1,16E-04	4,13E-04			6,43E-03		6,96E-03	6,96E-06
DQO	kg		2,16E-04	2,54E-03			3,97E-02		4,24E-02	4,24E-05
Na+	kg		0,00E+00	2,01E-04			3,14E-03		3,34E-03	3,34E-06
K+	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg		9,97E-08	3,00E-04			4,68E-03		4,98E-03	4,98E-06
(PO3)4-	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
NO3-	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Hg	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	kg		8,30E-05	2,43E-09			0,00E+00		8,30E-05	8,30E-08
Sólidos suspensos totais	kg		1,66E-04	1,31E-03			2,04E-02		2,19E-02	2,19E-05
Hidrocarbonetos	kg		4,98E-05	2,44E-05			3,80E-04		4,55E-04	4,55E-07
Óleos e graxas	kg		2,33E-04	6,80E-09			0,00E+00		2,33E-04	2,33E-07
Compostos de N	kg		7,47E-06	2,19E-10	1,99E-07		0,00E+00		7,67E-06	7,67E-09
Compostos de S	kg		7,47E-07	2,19E-11	2,77E-05		0,00E+00		2,85E-05	2,85E-08
Radioatividade para a água	KBq		2,51E+01	7,33E-04			1,14E-02		2,51E+01	2,51E-02
Residuos solidos										
Residuos no solo	kg		2,23E+01	6,51E-04			1,01E-02		2,23E+01	2,23E-02
Residuos de mineracao	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos processuais	kg		1,78E+01	5,20E-04			8,10E-03		1,78E+01	1,78E-02
Residuos solidos oleosos	kg		0,00E+00	3,59E-03			5,60E-02		5,95E-02	5,95E-05
Catalisador usado	kg		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg		0,00E+00	4,84E-05			7,54E-04		8,02E-04	8,02E-07
Nao especificados	kg		0,00E+00	4,30E-09			6,70E-08		7,13E-08	7,13E-11
Total residuo solido	kg	0,00E+00	4,00E+01	4,81E-03	0,00E+00	0,00E+00	7,49E-02	0,00E+00	4,01E+01	4,01E-02

Entradas/ Saídas	uni	Produção de 1000kg de Metanol	Produção de 865kg de GN	APÊNDICE A.1 Queima de 252kg de GN	Queima de 163,4kg de gases de purga	Geração de 1077 MJ de EE	Total 1000kg de Metanol	Total 1kg de Metanol
Energia total	MJ		3,38E+00	4,50E+03	1,27E+04	1,33E+02	1,74E+04	1,74E+01
Energia nao renovavel	MJ		3,38E+00	4,50E+03	1,27E+04	1,33E+02	1,74E+04	1,74E+01
Energia renovavel	MJ		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,02E-01	1,02E-01	1,02E-04
Petroleo	kg					1,08E+00	1,08E+00	1,08E-03
Carvao	kg					6,38E-02	6,38E-02	6,38E-05
Gas natural	kg		8,01E+02			1,51E-05	8,01E+02	8,01E-01
Uranio	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Combustiveis renovaveis	kg					4,09E-01	4,09E-01	4,09E-04
Reservas Bioticas	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rocha fosfatica bruta	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rocha Potasica	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
S elementar	kg					7,56E-02	7,56E-02	7,56E-05
Materias secundarios	kg					9,74E+00	9,74E+00	9,74E-03
Água	kg	5,70E+04	1,53E+01			0,00E+00	5,70E+04	5,70E+01
Emissões atmosfericas								
CO2	kg		6,50E+01	2,55E+02	3,02E+02	2,06E+01	6,42E+02	6,42E-01
CH4	kg		1,17E+00	5,85E-04	1,06E+00	3,24E-01	2,55E+00	2,55E-03
CO	kg		2,19E-04	8,55E-02	6,90E-03	8,96E-02	1,82E-01	1,82E-04
N2O	kg			9,00E-04		6,59E-03	7,49E-03	7,49E-06
NH3	kg					3,60E-09	3,60E-09	3,60E-12
NOx	kg		2,08E-01	2,32E-02		3,45E-01	5,76E-01	5,76E-04
COVNM	kg					4,37E-03	4,37E-03	4,37E-06
Hidrocarbonetos	kg		1,42E-04	1,56E-04		4,50E-04	7,48E-04	7,48E-07
MP	kg		1,27E-02	6,30E-03		4,03E-02	5,93E-02	5,93E-05
SOx	kg		7,51E-01	2,32E-02		6,98E-02	8,44E-01	8,44E-04
H2S	kg		2,45E-07			0,00E+00	2,45E-07	2,45E-10
Metil carptano	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HCl	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cl2	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
HF	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Metanol	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para o ar	KBq					5,86E+00	5,86E+00	5,86E-03
Efluentes liquidos								
Efluentes liquidos	kg	2,57E+02				0,00E+00	2,57E+02	2,57E-01
DBO	kg					4,20E-05	4,20E-05	4,20E-08
DQO	kg					7,80E-05	7,80E-05	7,80E-08
Na+	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
K+	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg					3,60E-08	3,60E-08	3,60E-11
(PO3)4-	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
NO3-	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Hg	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	kg					3,00E-05	3,00E-05	3,00E-08
Sólidos suspensos totais	kg					6,00E-05	6,00E-05	6,00E-08
Hidrocarbonetos	kg					1,80E-05	1,80E-05	1,80E-08
Óleos e graxas	kg					8,40E-05	8,40E-05	8,40E-08
Compostos de N	kg		9,10E-07			2,70E-06	3,61E-06	3,61E-09
Compostos de S	kg		1,27E-04			2,70E-07	1,27E-04	1,27E-07
Radioatividade para a água	KBq					9,06E+00	9,06E+00	9,06E-03
Residuos solidos								
Residuos no solo	kg					8,04E+00	8,04E+00	8,04E-03
Residuos de mineracao	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos processuais	kg					6,42E+00	6,42E+00	6,42E-03
Residuos solidos oleosos	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Catalisador usado	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Nao especificados	kg					0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Total residuo solido	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,45E+01	1,45E+01	1,45E-02

		APÊNDICE B.7	Transporte de Ureia ate o misturador		APÊNDICE B.14	Transporte de KCl ate o misturador		APÊNDICE B.13	Transporte de SSP ate o misturador		Total Produção	Transporte de NPK ate Lavoura		Total uso de
			APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1		APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1		APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1		APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1	
Entradas/ Saídas	uni	Produção de ureia	0,57 Kg Diesel	Queima de 0,57Kg de Diesel	Produçãode de KCl	Diesel	Queima de Diesel	Produçãode de SSP	Diesel	Queima de Diesel	de NPK	Diesel	Queima de Diesel	1Kg NPK
Energia total	MJ	2,38E+01	4,63E-04	3,03E+00	1,34E+01	2,60E-03	1,70E+01	3,84E+00	2,92E-04	1,91E+00	6,30E+01	9,49E-04	6,22E+00	1,15E+01
Energia nao renovavel	MJ	2,38E+01	4,63E-04	3,03E+00	1,34E+01	2,60E-03	1,70E+01	1,26E+00	2,92E-04	1,91E+00	6,04E+01	9,49E-04	6,22E+00	1,11E+01
Energia renovavel	MJ	3,53E-02	1,32E-10	0,00E+00	1,69E-03	7,40E-10	0,00E+00	2,57E+00	8,30E-11	0,00E+00	2,61E+00	2,70E-10	0,00E+00	4,34E-01
Petroleo	kg	2,24E+00	0,00E+00		3,51E-01	0,00E+00		2,44E-02	0,00E+00		2,61E+00	0,00E+00		4,35E-01
Carvão	kg	3,46E-02	2,08E-07		3,34E-05	1,17E-06		2,43E-02	1,31E-07		5,89E-02	4,27E-07		9,79E-03
Gas natural	kg	4,69E-02	0,00E+00		1,34E-02	0,00E+00		2,28E-03	0,00E+00		6,25E-02	0,00E+00		1,04E-02
Uranio	kg	4,96E-07	0,00E+00		3,81E-09	0,00E+00		3,40E-07	0,00E+00		8,40E-07	0,00E+00		1,40E-07
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Reservas bioticas	kg	1,31E-02	0,00E+00		6,03E-06	0,00E+00		9,20E-03	0,00E+00		2,23E-02	0,00E+00		3,71E-03
Rocha Fosfatica	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		1,22E+01	0,00E+00		1,22E+01	0,00E+00		2,03E+00
Rocha potassica bruta	kg	0,00E+00	0,00E+00		4,15E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		4,15E+00	0,00E+00		6,89E-01
Rocha metamorfica	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
S elementar	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Materias secundarios	kg	2,42E-03	2,86E-05		2,22E-02	1,60E-04		3,05E-01	1,80E-05		3,30E-01	5,86E-05		5,49E-02
Água	kg	2,81E+00	4,25E-06		4,36E+00	2,39E-05		2,54E+01	2,68E-06		3,26E+01	8,73E-06		5,41E+00
Emissoes atmosfericas														
CO2	kg	2,01E+00	2,57E-16	2,41E-01	3,08E+00	1,44E-15	1,35E+00	1,33E-01	1,62E-16	1,52E-01	6,96E+00	5,26E-16	4,95E-01	1,24E+00
CH4	kg	4,30E-03	2,21E-06	0,00E+00	4,01E-03	1,24E-05	0,00E+00	1,07E-03	1,39E-06	0,00E+00	9,39E-03	4,54E-06	0,00E+00	1,56E-03
CO	kg	1,37E-03	1,04E-05	5,28E-04	6,47E-03	5,87E-05	2,97E-03	4,21E-04	6,58E-06	3,33E-04	1,22E-02	2,14E-05	1,08E-03	2,21E-03
N2O	kg	3,63E-05	1,71E-07	0,00E+00	1,07E-07	9,58E-07	0,00E+00	2,08E-05	1,07E-07	0,00E+00	5,84E-05	3,50E-07	0,00E+00	9,77E-06
NH3	kg	1,61E-11	1,50E-06	0,00E+00	7,43E-15	8,44E-06	0,00E+00	1,13E-11	9,46E-07	0,00E+00	1,09E-05	3,08E-06	0,00E+00	2,32E-06
NOx	kg	4,21E-03	4,62E-06	2,11E-03	1,84E-02	2,59E-05	1,19E-02	1,61E-03	2,91E-06	1,33E-03	3,95E-02	9,47E-06	4,33E-03	7,30E-03
COVNM	kg	1,03E-03	2,27E-09	0,00E+00	3,02E-04	1,28E-08	0,00E+00	3,28E-05	1,43E-09	0,00E+00	1,37E-03	4,67E-09	0,00E+00	2,27E-04
Hidrocarbonetos	kg	4,13E-05	1,09E-10	4,40E-05	2,46E-03	6,11E-10	2,47E-04	1,26E-05	6,86E-11	2,77E-05	2,83E-03	2,23E-10	9,02E-05	4,86E-04
MP	kg	9,91E-04	9,69E-11	3,52E-05	4,70E-03	5,44E-10	1,98E-04	1,39E-04	6,10E-11	2,22E-05	6,08E-03	1,99E-10	7,22E-05	1,02E-03
SOx	kg	9,76E-03	0,00E+00	7,57E-05	8,26E-03	0,00E+00	4,25E-04	2,69E-03	0,00E+00	4,77E-05	2,13E-02	0,00E+00	1,55E-04	3,56E-03
H2S	kg	1,88E-06	0,00E+00		6,58E-08	0,00E+00		4,15E-09	0,00E+00		1,95E-06	0,00E+00		3,24E-07
Metil carptano	kg	1,05E-08	0,00E+00		3,15E-09	0,00E+00		1,99E-10	0,00E+00		1,39E-08	0,00E+00		2,31E-09
HCl	kg	1,33E-08	0,00E+00		2,80E-09	0,00E+00		1,77E-10	0,00E+00		1,62E-08	0,00E+00		2,70E-09
H2S	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Diclorometano	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
HF	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		2,77E-05	0,00E+00		2,77E-05	0,00E+00		4,61E-06
Dimetil Eter	kg	0,00E+00	4,18E-07		0,00E+00	2,35E-06		0,00E+00	2,63E-07		3,03E-06	8,57E-07		6,46E-07
Metanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Ciclohexano	kg	0,00E+00	3,64E-07		0,00E+00	2,04E-06		0,00E+00	2,29E-07		2,64E-06	7,46E-07		5,62E-07
Radioatividade para o ar	kBq	2,63E-02	2,24E-06		1,21E-05	1,26E-05		1,85E-02	1,41E-06		4,48E-02	4,60E-06		7,44E-03
Efluentes liquidos														
Efluentes liquidos	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		2,02E+01	0,00E+00		2,02E+01	0,00E+00		3,36E+00
DBO	kg	2,04E-06	0,00E+00		1,05E-05	0,00E+00		7,96E-07	0,00E+00		1,34E-05	0,00E+00		2,22E-06
DQO	kg	4,08E-05	0,00E+00		6,49E-05	0,00E+00		4,34E-06	0,00E+00		1,10E-04	0,00E+00		1,83E-05
Na+	kg	0,00E+00	2,65E-07		5,13E-06	1,49E-06		3,24E-07	1,67E-07		7,38E-06	5,43E-07		1,32E-06
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Ca+2	kg	3,52E-05	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		3,52E-05	0,00E+00		5,85E-06
Mg+2	kg	2,17E-04	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		2,17E-04	0,00E+00		3,61E-05
Cl-	kg	1,72E-05	2,14E-12		7,66E-06	1,20E-11		4,83E-07	1,35E-12		2,53E-05	4,39E-12		4,21E-06
(PO3)4-	kg	0,00E+00	1,15E-06		0,00E+00	6,48E-06		5,01E-03	7,27E-07		5,02E-03	2,37E-06		8,35E-04
NO3-	kg	0,00E+00	2,15E-08		0,00E+00	1,21E-07		0,00E+00	1,35E-08		1,56E-07	4,41E-08		3,32E-08
Hg	kg	0,00E+00	5,99E-12		0,00E+00	3,37E-11		0,00E+00	3,77E-12		4,34E-11	1,23E-11		9,26E-12
Solidos dissolvidos totais	kg	2,58E-05	1,93E-13		6,19E-11	1,08E-12		1,94E+01	1,21E-13		1,94E+01	3,95E-13		3,23E+00
Sólidos suspensos totais	kg	2,69E-07	1,93E-14		3,34E-05	1,08E-13		2,29E-06	1,21E-14		3,59E-05	3,95E-14		5,97E-06
Hidrocarbonetos	kg	8,06E-08	6,46E-07		6,22E-07	3,63E-06		9,59E-08	4,07E-07		5,48E-06	1,33E-06		1,13E-06
Óleos e graxas	kg	3,76E-07	0,00E+00		1,73E-10	0,00E+00		2,65E-07	0,00E+00		6,41E-07	0,00E+00		1,07E-07
Compostos de nitrogenio	kg	1,23E-08	5,73E-07		5,57E-12	3,22E-06		8,51E-09	3,61E-07		4,18E-06	1,18E-06		8,90E-07
Compostos de exofre	kg	1,12E-04	0,00E+00		5,57E-13	0,00E+00		8,51E-10	0,00E+00		1,12E-04	0,00E+00		1,86E-05
Radioatividade para a água	kBq	4,06E-02	4,58E-07		1,87E-05	2,57E-06		2,85E-02	2,88E-07		6,91E-02	9,39E-07		1,15E-02
Residuos solidos														
Residuos no solo	kg	3,60E-02	0,00E+00		1,66E-05	0,00E+00		2,53E-02	0,00E+00		6,13E-02	0,00E+00		1,02E-02
Residuos de mineracao	kg	1,86E-11	4,26E-08		0,00E+00	2,39E-07		3,61E+00	2,69E-08		3,61E+00	8,74E-08		6,01E-01
Residuos processuais	kg	2,87E-02	3,79E-12		1,32E-05	2,13E-11		2,02E-02	2,39E-12		4,90E-02	7,77E-12		8,14E-03
Residuos solidos oleosos	kg	6,25E-05	4,24E-06		9,16E-05	2,38E-05		1,18E-06	2,67E-06		1,86E-04	8,69E-06		3,24E-05
Catalisador usado	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00
Residuos Inertes	kg	5,55E-05	0,00E+00		1,23E-06	0,00E+00		1,05E-06	0,00E+00		5,78E-05	0,00E+00		9,60E-06
Nao especificados	kg	0,00E+00	0,00E+00		1,10E-10	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		1,10E-10	0,00E+00		1,82E-11
Total residuo solido	kg	6,48E-02	4,28E-06	0,00E+00	1,23E-04	2,40E-05	0,00E+00	3,66E+00	2,70E-06	0,00E+00	3,72E+00	8,78E-06	0,00E+00	6,19E-01

		Crescimento de	Mudas	Herbicida e	APÊNDICE B.11	APÊNDICE B.19	Emissões pela	Diesel nas operacões agricolas		Emissões por	Queima de	Diesel no transporte da cana até usina		Total 1 ton	1 kg de cana	2725 kg de cana
								APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1			APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1			
Entradas/ Saídas	uni	1000kg de cana		Inseticida	20,80kg Calcareo	6,02kg de NPK	erosão do solo	1,09kg de Diesel	Quiema de 1,09kg de diesel	aplicação de ureia	141,41kg de palha	0,581 kg de Diesel	Quiema de 0,581 kg diesel	de cana	produzida	produzida
Energia total	MJ		4,66E+00	1,01E+01	2,33E+01	5,54E+01		5,07E+00	4,39E+01			2,69E+00	2,33E+01	1,68E+02	1,68,E-01	4,14E+02
Energia nao renovavel	MJ		4,66E+00	1,01E+01	2,26E+01	5,33E+01		5,06E+00	4,39E+01			2,69E+00	2,33E+01	1,66E+02	1,66,E-01	4,07E+02
Energia renovavel	MJ		0,00E+00	0,00E+00	6,63E-01	2,09E+00		5,87E-03	0,00E+00			3,12E-03	0,00E+00	2,76E+00	2,76,E-03	6,79E+00
Petroleo	kg				5,89E-04	2,09E+00		1,22E+00				6,48E-01		3,96E+00	3,96,E-03	9,74E+00
Carvao	kg				6,25E-03	4,71E-02		1,16E-04				6,18E-05		5,35E-02	5,35,E-05	1,32E-01
Gas natural	kg				3,70E-04	5,00E-02		4,66E-02				2,48E-02		1,22E-01	1,22,E-04	2,99E-01
Uranio	kg				8,76E-08	6,72E-07		1,33E-08				7,05E-09		7,80E-07	7,80,E-10	1,92E-06
Combustiveis renovaveis	kg				0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00				0,00E+00				
Reservas Bioticas	kg				2,37E-03	1,78E-02		2,10E-05				1,11E-05		2,02E-02	2,02,E-05	4,98E-02
Rocha fosfatica bruta	kg				0,00E+00	9,76E+00		0,00E+00				0,00E+00		9,76E+00	9,76,E-03	2,40E+01
Rocha Potasica	kg				0,00E+00	3,31E+00		0,00E+00				0,00E+00		3,31E+00	3,31,E-03	8,15E+00
Rocha metamorfica	kg				2,08E-02	0,00E+00		0,00E+00				0,00E+00		2,08E-02	2,08,E-05	5,11E-02
S elementar	kg				0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00				0,00E+00				
Materias secundarios	kg				6,50E-04	2,64E-01		3,88E-06				2,06E-06		2,65E-01	2,65,E-04	6,51E-01
Água	kg				5,65E-02	2,60E+01		2,59E+00				1,37E+00		3,01E+01	3,01,E-02	7,39E+01
Emissoes atmosfericas																
CO2	kg	-6,08E+02	3,54E-01	7,64E-01	9,75E-02	5,96E+00	2,20E+00	4,40E-01	3,49E+00	1,55E+00	1,67E+02	2,34E-01	1,85E+00	-4,24E+02	-4,24,E-01	-1,04E+03
CH4	kg				2,79E-04	7,51E-03		2,88E-03	3,22E-02		3,25E-01	1,53E-03	0,00E+00	3,69E-01	3,69,E-04	9,07E-01
CO	kg				3,27E-04	1,06E-02		4,29E-04	7,63E-03		6,82E+00	2,28E-04	4,05E-03	6,84E+00	6,84,E-03	1,68E+01
N2O	kg				6,61E-06	4,70E-05		5,96E-07	1,61E-02	1,23E-02	5,11E-03	3,17E-07	0,00E+00	3,36E-02	3,36,E-05	8,25E-02
NH3	kg				1,11E-05	1,12E-05		2,59E-14	0,00E+00	1,48E-01		1,37E-14	0,00E+00	1,48E-01	1,48,E-04	3,63E-01
NOx	kg				1,02E-03	3,51E-02		2,23E-04	3,05E-02	2,59E-03	8,84E-02	1,18E-04	1,62E-02	1,74E-01	1,74,E-04	4,28E-01
COVNM	kg				3,56E-06	1,09E-03		1,05E-03	0,00E+00			5,59E-04	0,00E+00	2,71E-03	2,71,E-06	6,66E-03
Hidrocarbonetos	kg				1,51E-05	2,34E-03		1,72E-05	6,36E-04			9,12E-06	3,38E-04	3,35E-03	3,35,E-06	8,24E-03
MP	kg				3,39E-03	4,92E-03		1,51E-04	5,09E-04		0,00E+00	8,04E-05	2,70E-04	9,33E-03	9,33,E-06	2,29E-02
SOx	kg				8,20E-05	1,71E-02		4,65E-04	1,09E-03			2,47E-04	5,81E-04	1,96E-02	1,96,E-05	4,82E-02
H2S	kg				0,00E+00	1,56E-06		2,29E-07				1,22E-07		1,91E-06	1,91,E-09	4,69E-06
Metil carptano	kg				0,00E+00	1,11E-08		1,10E-08				5,82E-09		2,79E-08	2,79,E-11	6,86E-08
HCl	kg				0,00E+00	1,30E-08		9,76E-09				5,18E-09		2,79E-08	2,79,E-11	6,87E-08
Cl2	kg				0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00				0,00E+00		0,00E+00	0,00,E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg				0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00				0,00E+00		0,00E+00	0,00,E+00	0,00E+00
HF	kg				0,00E+00	2,22E-05		0,00E+00				0,00E+00		2,22E-05	2,22,E-08	5,45E-05
Dimetil Eter	kg				3,10E-06	3,11E-06		0,00E+00				0,00E+00		6,21E-06	6,21,E-09	1,53E-05
Metanol	kg				0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00				0,00E+00		0,00E+00	0,00,E+00	0,00E+00
Etanol	kg				0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00				0,00E+00		0,00E+00	0,00,E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg				2,70E-06	2,70E-06		0,00E+00				0,00E+00		5,40E-06	5,40,E-09	1,33E-05
Radioatividade para o ar	KBq				4,77E-03	3,58E-02		4,21E-05				2,24E-05		4,06E-02	4,06,E-05	1,00E-01
Efluentes Liquidos																
Efluentes Liquidos	kg				0,00E+00	1,61E+01		0,00E+00				0,00E+00		1,61E+01	1,61,E-02	3,97E+01
DBO	kg				3,41E-08	1,07E-05		3,66E-05				1,95E-05		6,68E-05	6,68,E-08	1,64E-04
DQO	kg				6,32E-08	8,80E-05		2,26E-04				1,20E-04		4,34E-04	4,34,E-07	1,07E-03
Na+	kg				1,96E-06	6,33E-06		1,79E-05				9,49E-06		3,57E-05	3,57,E-08	8,77E-05
K+	kg				0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00				0,00E+00		0,00E+00	0,00,E+00	0,00E+00
Ca+2	kg				0,00E+00	2,81E-05		0,00E+00				0,00E+00		2,81E-05	2,81,E-08	6,92E-05
Mg+2	kg				0,00E+00	1,73E-04		0,00E+00				0,00E+00		1,73E-04	1,73,E-07	4,27E-04
Cl-	kg				4,51E-11	2,02E-05		2,67E-05				1,42E-05		6,11E-05	6,11,E-08	1,50E-04
(PO3)4-	kg				8,56E-06	4,02E-03		0,00E+00				0,00E+00		4,03E-03	4,03,E-06	9,90E-03
NO3-	kg				1,60E-07	1,60E-07		0,00E+00				0,00E+00		3,19E-07	3,19,E-10	7,86E-07
Hg	kg				4,45E-11	4,45E-11		0,00E+00				0,00E+00		8,90E-11	8,90,E-14	2,19E-10
Solidos dissolvidos totais	kg				2,43E-08	1,55E+01		0,00E+00				0,00E+00		1,55E+01	1,55,E-02	3,82E+01
Sólidos suspensos totais	kg				4,86E-08	2,87E-05		1,16E-04				6,17E-05		2,07E-04	2,07,E-07	5,09E-04
Hidrocarbonetos	kg				4,81E-06	5,44E-06		2,17E-06				1,15E-06		1,36E-05	1,36,E-08	3,34E-05
Óleos e graxas	kg				6,81E-08	5,12E-07		0,00E+00				0,00E+00		5,80E-07	5,80,E-10	1,43E-06
Compostos de N	kg				4,26E-06	4,28E-06		0,00E+00				0,00E+00		8,54E-06	8,54,E-09	2,10E-05
Compostos de S	kg				2,19E-10	8,93E-05		0,00E+00				0,00E+00		8,93E-05	8,93,E-08	2,20E-04
Radioatividade para a água	KBq				7,35E-03	5,53E-02		6,51E-05				3,46E-05		6,27E-02	6,27,E-05	1,54E-01
Residuos solidos																
Residuos no solo	kg				6,52E-03	4,90E-02		5,78E-05				3,07E-05		5,56E-02	5,56,E-05	1,37E-01
Residuos de mineracao	kg				3,16E-07	2,89E+00		0,00E+00				0,00E+00		2,89E+00	2,89,E-03	7,11E+00
Residuos processuais	kg				5,21E-03	3,92E-02		4,61E-05				2,45E-05		4,44E-02	4,44,E-05	1,09E-01
Residuos solidos oleosos	kg				3,15E-05	1,56E-04		3,19E-04				1,69E-04		6,75E-04	6,75,E-07	1,66E-03
Catalisador usado	kg				0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00				0,00E+00		0,00E+00	0,00,E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg				0,00E+00	4,62E-05		4,29E-06				2,28E-06		5,28E-05	5,28,E-08	1,30E-04
Nao especificados	kg				0,00E+00	8,76E-11		3,82E-10				2,03E-10		6,72E-10	6,72,E-13	1,65E-09
Total residuo solido	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,18E-02	2,98E+00		4,27E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,27E-04	0,00E+00	2,99E+00	2,99E-03	7,36E+00

Entradas/ Saídas	uni	Producao 1000L de EtOH	APÊNDICE B.11 6,48kg de Calcareo	APÊNDICE B.9 1,41kg de Ciclohexano	9,05kg de H_2SO_4	APÊNDICE B.4 0,38kg de Óleo combustível	APÊNDICE A.1 Quiema de 0,38kg de óleo combustível	APÊNDICE A.1 Queima de 3284kg de bagaço	Total 1000L de EtOH	Total 1L de EtOH	Total 208 L de EtOH
Energia total	MJ		1,90E-01	1,07E+01		1,62E+00	1,48E+01	2,41E+04	2,42E+04	2,42E+01	4,59,E+03
Energia nao renovavel	MJ		1,69E-04	1,07E+01		1,62E+00	1,48E+01	0,00E+00	2,71E+01	2,71E-02	5,15,E+00
Energia renovavel	MJ		1,79E-03	1,50E-02		1,88E-03	0,00E+00	2,41E+04	2,41E+04	2,41E+01	4,59,E+03
Petroleo	kg		1,06E-04	5,85E+00		3,90E-01			6,25E+00	6,25E-03	1,19,E+00
Carvao	kg		2,51E-08	2,76E-04		3,72E-05			3,13E-04	3,13E-07	5,95,E-05
Gas natural	kg		0,00E+00	1,19E-01		1,49E-02			1,33E-01	1,33E-04	2,54,E-02
Uranio	kg		6,79E-04	3,38E-08		4,24E-09			6,79E-04	6,79E-07	1,29,E-04
Combustiveis renovaveis	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00					
Reservas Bioticas	kg		0,00E+00	5,35E-05		6,71E-06			6,02E-05	6,02E-08	1,14,E-05
Rocha fosfatica bruta	kg		5,96E-03	0,00E+00		0,00E+00					
Rocha Potasica	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00					
Rocha metamorfica	kg		1,86E-04	0,00E+00		0,00E+00			1,86E-04	1,86E-07	3,54,E-05
S elementar	kg		1,62E-02	0,00E+00	3,07E+00	0,00E+00			3,09E+00	3,09E-03	5,87,E-01
Materias secundarios	kg		0,00E+00	9,89E-06		1,24E-06			1,11E-05	1,11E-08	2,12,E-06
Água	kg	3,557E+04	2,79E-02	6,59E+00		8,27E-01			3,56E+04	3,56E+01	6,76,E+03
Emissoes atmosfericas											
CO2	kg	7,69E+02	9,38E-05	5,43E+00		1,41E-01	1,16E+00	2,15E+03	2,92E+03	2,92E+00	5,56,E+02
CH4	kg		1,89E-06	7,33E-03		9,20E-04	4,58E-05	6,64E-01	6,72E-01	6,72E-04	1,28,E-01
CO	kg		3,19E-06	2,30E-03		1,37E-04	2,22E-04	2,26E+01	2,26E+01	2,26E-02	4,30,E+00
N2O	kg		2,93E-04	3,66E-07		1,91E-07	5,02E-06	9,05E-02	9,08E-02	9,08E-05	1,73,E-02
NH3	kg		1,02E-06	6,59E-14		8,27E-15	0,00E+00	0,00E+00	1,02E-06	1,02E-09	1,94,E-07
NOx	kg		4,33E-06	4,85E-03		7,13E-05	7,00E-03	2,26E+00	2,28E+00	2,28E-03	4,33,E-01
COVNM	kg		9,72E-04	2,90E-03		3,36E-04	0,00E+00	0,00E+00	4,21E-03	4,21E-06	8,00,E-04
Hidrocarbonetos	kg		2,35E-05	3,41E-03		5,49E-06	1,27E-05	0,00E+00	3,45E-03	3,45E-06	6,56,E-04
MP	kg		0,00E+00	4,82E-04		4,84E-05	8,57E-05	2,55E+01	2,55E+01	2,55E-02	4,85,E+00
SOx	kg		0,00E+00	7,66E-04	2,48E-02	1,49E-04	7,00E-03		3,27E-02	3,27E-05	6,22,E-03
H2S	kg		0,00E+00	5,84E-07		7,33E-08			6,57E-07	6,57E-10	1,25,E-07
Metil carptano	kg		0,00E+00	2,80E-08		3,51E-09			3,15E-08	3,15E-11	5,98,E-09
HCl	kg		0,00E+00	4,35E-09		3,12E-09			7,47E-09	7,47E-12	1,42,E-09
Cl2	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00	0,00,E+00
Diclorometano	kg		8,89E-07	0,00E+00		0,00E+00			8,89E-07	8,89E-10	1,69,E-07
HF	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00	0,00,E+00
Dimetil Eter	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00	0,00,E+00
Metanol	kg		7,74E-07	0,00E+00		0,00E+00			7,74E-07	7,74E-10	1,47,E-07
Etanol	kg		1,37E-03	0,00E+00		0,00E+00			1,37E-03	1,37E-06	2,60,E-04
Ciclohexano	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00	0,00,E+00
Radioatividade para o ar	KBq		0,00E+00	1,07E-04		1,35E-05			1,21E-04	1,21E-07	2,30,E-05
Efluentes Liquidos											
Efluentes Liquidos	kg		1,81E-08	0,00E+00		0,00E+00			1,81E-08	1,81E-11	3,45,E-09
DBO	kg		5,63E-07	1,77E-04		1,17E-05			1,90E-04	1,90E-07	3,61,E-05
DQO	kg		0,00E+00	5,76E-04		7,22E-05			6,48E-04	6,48E-07	1,23,E-04
Na+	kg		0,00E+00	6,96E-04		5,71E-06			7,02E-04	7,02E-07	1,33,E-04
K+	kg		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00			0,00E+00	0,00E+00	0,00,E+00
Ca+2	kg		1,29E-11	0,00E+00		0,00E+00			1,29E-11	1,29E-14	2,46,E-12
Mg+2	kg		2,45E-06	0,00E+00		0,00E+00			2,45E-06	2,45E-09	4,67,E-07
Cl-	kg		4,57E-08	6,79E-05		8,52E-06			7,65E-05	7,65E-08	1,45,E-05
(PO3)4-	kg		1,27E-11	0,00E+00		0,00E+00			1,27E-11	1,27E-14	2,42,E-12
NO3-	kg		6,97E-09	0,00E+00		0,00E+00			6,97E-09	6,97E-12	1,33,E-09
Hg	kg		1,39E-08	0,00E+00		0,00E+00			1,39E-08	1,39E-11	2,65,E-09
Solidos dissolvidos totais	kg		1,38E-06	5,49E-10		0,00E+00			1,38E-06	1,38E-09	2,62,E-07
Sólidos suspensos totais	kg		1,95E-08	2,96E-04		3,72E-05			3,33E-04	3,33E-07	6,34,E-05
Hidrocarbonetos	kg		1,22E-06	3,31E-03		6,93E-07			3,31E-03	3,31E-06	6,29,E-04
Óleos e graxas	kg		6,27E-11	1,54E-09		0,00E+00			1,60E-09	1,60E-12	3,04,E-10
Compostos de N	kg		2,11E-03	4,94E-11		0,00E+00			2,11E-03	2,11E-06	4,00,E-04
Compostos de S	kg		0,00E+00	1,90E-04		0,00E+00			1,90E-04	1,90E-07	3,60,E-05
Radioatividade para a água	KBq		1,87E-03	1,66E-04		2,08E-05			2,05E-03	2,05E-06	3,91,E-04
Residuos solidos											
Residuos no solo	kg		1,49E-03	1,47E-04		1,85E-05			1,66E-03	1,66E-06	3,15,E-04
Residuos de mineracao	kg		9,01E-06	0,00E+00		0,00E+00			9,01E-06	9,01E-09	1,71,E-06
Residuos processuais	kg		0,00E+00	1,18E-04	7,07E-02	1,47E-05			7,08E-02	7,08E-05	1,35,E-02
Residuos solidos oleosos	kg		0,00E+00	1,42E-04		1,02E-04			2,44E-04	2,44E-07	4,64,E-05
Catalisador usado	kg		0,00E+00	0,00E+00	5,41E-01	0,00E+00			5,41E-01	5,41E-04	1,03,E-01
Residuos Inertes	kg		3,37E-03	1,92E-06		1,37E-06			3,37E-03	3,37E-06	6,41,E-04
Nao especificados	kg		0,00E+00	1,44E-04		1,22E-10			1,44E-04	1,44E-07	2,74,E-05
Total residuo solido	kg	0,00E+00	4,87E-03	5,53E-04	6,12E-01	1,36E-04	0,00E+00	0,00E+00	6,17E-01	6,17E-04	1,17E-01

		Produção de óleo de soja			Produção de 1t de BMS						Distribuição do BMS		Alocação 88,96%	Total 1 kg de BMS
		APÊNDICE B.16	APÊNDICE B.17	Alocação 19,01%	APÊNDICE B.18	104MJ de Energia Eletrica	APÊNDICE B.12	APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1		APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1		
Entradas/ Saídas	uni	5927kg de Soja	1055kg de Óleo de soja	Total óleo de soja	107kg de Metanol		10,93kg de NaOH	57,52kg de Óleo combustivel	Queima de óleo combustível	Producao de 1t de BMS	19,91kg de Diesel	Queima de diesel	Total 1t de BMS	
Energia total	MJ	1,86E+04	1,89E+04	7,12E+03	1,86E+03	1,65E+02	1,21E+02	2,72E+02	2,48E+03		9,22E+01	7,98E+02	8,90E+02	8,90E-01
Energia nao renovavel	MJ	1,77E+04	1,65E+04	6,51E+03	1,86E+03	2,31E+01	4,04E+01	2,72E+02	2,48E+03		9,21E+01	7,98E+02	8,90E+02	8,90E-01
Energia renovavel	MJ	8,31E+02	2,39E+03	6,12E+02	1,09E-02	1,42E+02	8,08E+01	3,15E-01	0,00E+00		1,07E-01	0,00E+00	1,07E-01	1,07E-04
Petroleo	kg	2,14E+02	2,43E+02	8,67E+01	1,16E-01	1,26E-01	7,21E-01	6,55E+01			2,22E+01		2,22E+01	2,22E-02
Carvao	kg	7,85E+00	2,25E+01	5,77E+00	6,86E-03	1,34E+00	7,62E-01	6,25E-03			2,12E-03		2,12E-03	2,12E-06
Gas natural	kg	8,59E+00	1,05E+01	3,63E+00	8,61E+01	7,91E-02	6,99E-02	2,50E+00			8,48E-01		8,48E-01	8,48E-04
Uranio	kg	1,12E-04	3,18E-04	8,17E-05	0,00E+00	1,87E-05	1,07E-05	7,12E-07			2,42E-07		2,42E-07	2,42E-10
Combustiveis renovaveis	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,39E-02		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Reservas Bioticas	kg	2,97E+00	8,53E+00	2,19E+00	0,00E+00	5,07E-01	2,89E-01	1,13E-03			3,82E-04		3,82E-04	3,82E-07
Rocha fosfatica bruta	kg	3,67E+03	0,00E+00	6,98E+02	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha Potasica	kg	7,80E+02	0,00E+00	1,48E+02	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	kg	1,74E+00	0,00E+00	3,31E-01	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
S elementar	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,12E-03		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	kg	9,61E+01	1,58E+00	1,86E+01	1,05E+00	9,36E-02	5,34E-02	2,08E-04			7,06E-05		7,06E-05	7,06E-08
Água	kg	8,76E+03	1,63E+04	4,77E+03	6,12E+03	1,21E+01	1,08E+01	1,39E+02		3,361E+02	4,71E+01		4,71E+01	4,71E-02
Emissoes atmosfericas														
CO2	kg	-1,61E+04	1,21E+03	-2,82E+03	6,90E+01	3,57E+00	4,20E+00	2,36E+01	1,94E+02		8,01E+00	6,34E+01	7,14E+01	7,14E-02
CH4	kg	1,49E+00	1,81E+00	6,27E-01	2,74E-01	5,61E-02	3,36E-02	1,54E-01	7,69E-03		5,23E-02	4,53E-03	5,69E-02	5,69E-05
CO	kg	3,52E+00	6,00E-01	7,83E-01	1,96E-02	1,55E-02	9,46E-03	2,30E-02	3,72E-02		7,80E-03	1,39E-01	1,47E-01	1,47E-04
N2O	kg	2,24E-01	2,36E-02	4,70E-02	8,05E-04	1,14E-03	6,61E-04	3,20E-05	8,43E-04		1,08E-05	2,26E-03	2,27E-03	2,27E-06
NH3	kg	2,47E+00	1,05E-08	4,70E-01	3,87E-10	6,24E-10	3,56E-10	1,39E-12			4,71E-13		4,71E-13	4,71E-16
NOx	kg	1,24E+01	5,72E+00	3,45E+00	6,19E-02	5,98E-02	3,55E-02	1,20E-02	1,27E-01		4,06E-03	5,56E-01	5,60E-01	5,60E-04
COVNM	kg	1,88E-01	2,20E-01	7,75E-02	4,69E-04	7,57E-04	9,92E-04	5,65E-02			1,91E-02		1,91E-02	1,91E-05
Hidrocarbonetos	kg	6,42E-01	1,23E-02	1,24E-01	8,03E-05	7,80E-05	7,48E-05	9,22E-04	2,13E-03		3,13E-04	1,16E-02	1,19E-02	1,19E-05
MP	kg	1,41E+00	2,09E-01	3,08E-01	6,37E-03	6,99E-03	4,21E-03	8,12E-03	1,44E-02		2,75E-03	9,26E-03	1,20E-02	1,20E-05
SOx	kg	2,75E+00	4,56E+00	1,39E+00	9,06E-02	1,21E-02	1,88E-02	2,50E-02	1,18E+00		8,46E-03	1,99E-03	1,05E-02	1,05E-05
H2S	kg	4,00E-05	4,52E-05	1,62E-05	2,63E-08	0,00E+00	1,22E-07	1,23E-05			4,17E-06		4,17E-06	4,17E-09
Metil carptano	kg	1,91E-06	2,16E-06	7,74E-07	0,00E+00	0,00E+00	5,83E-09	5,88E-07			2,00E-07		2,00E-07	2,00E-10
HCl	kg	1,70E-06	1,92E-06	6,89E-07	0,00E+00	0,00E+00	5,19E-09	5,24E-07			1,78E-07		1,78E-07	1,78E-10
Cl2	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,34E-04	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,88E-04	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
HF	kg	8,34E-03	0,00E+00	1,59E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg	3,03E-04	0,00E+00	5,76E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Metanol	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	2,64E-04	1,30E+01	2,48E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para o ar	KBq	5,97E+00	1,71E+01	4,39E+00	6,30E-01	1,02E+00	5,80E-01	2,26E-03			7,66E-04		7,66E-04	7,66E-07
Efluentes Liquidos														
Efluentes Liquidos	kg	6,08E+03	4,83E+02	1,25E+03	2,76E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		3,28E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
DBO	kg	6,43E-03	7,34E-03	2,62E-03	4,51E-06	7,28E-06	2,36E-05	1,97E-03			6,67E-04		6,67E-04	6,67E-07
DQO	kg	3,95E-02	4,47E-02	1,60E-02	8,38E-06	1,35E-05	1,28E-04	1,21E-02			4,11E-03		4,11E-03	4,11E-06
Na+	kg	3,89E-03	3,52E-03	1,41E-03	0,00E+00	0,00E+00	9,51E-06	9,59E-04			3,25E-04		3,25E-04	3,25E-07
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg	4,65E-03	5,25E-03	1,88E-03	3,87E-09	6,24E-09	4,11E-05	1,43E-03			4,85E-04		4,85E-04	4,85E-07
(PO3)4-	kg	1,25E+01	0,00E+00	2,38E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
NO3-	kg	2,93E+01	0,00E+00	5,58E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Hg	kg	1,74E-08	0,00E+00	3,31E-09	0,00E+00	0,00E+00	1,52E-06	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	kg	5,84E+03	8,76E-05	1,11E+03	3,22E-06	5,20E-06	2,97E-06	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Sólidos suspensos totais	kg	2,03E-02	2,31E-02	8,25E-03	6,44E-06	1,04E-05	6,78E-05	6,24E-03			2,12E-03		2,12E-03	2,12E-06
Hidrocarbonetos	kg	2,27E-03	4,79E-04	5,24E-04	1,93E-06	3,12E-06	2,93E-06	1,16E-04			3,94E-05		3,94E-05	3,94E-08
Óleos e graxas	kg	8,54E-05	2,45E-04	6,28E-05	9,02E-06	1,46E-05	8,31E-06	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Compostos de N	kg	7,60E-03	8,09E-06	1,45E-03	3,88E-07	4,68E-07	2,67E-07	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Compostos de S	kg	2,74E-07	3,00E-05	5,76E-06	1,37E-05	4,68E-08	2,67E-08	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para a água	KBq	9,22E+00	2,65E+01	6,78E+00	9,73E-01	1,57E+00	8,96E-01	3,49E-03			1,18E-03		1,18E-03	1,18E-06
Residuos solidos														
Residuos no solo	kg	8,18E+00	2,35E+01	6,02E+00	8,64E-01	1,39E+00	7,95E-01	3,10E-03			1,05E-03		1,05E-03	1,05E-06
Residuos de mineracao	kg	1,09E+03	0,00E+00	2,07E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos processuais	kg	6,53E+00	1,88E+01	4,81E+00	6,90E-01	1,11E+00	6,35E-01	2,48E-03			8,39E-04		8,39E-04	8,39E-07
Residuos solidos oleosos	kg	6,65E-02	6,28E-02	2,46E-02	0,00E+00	0,00E+00	1,70E-04	1,71E-02			5,80E-03		5,80E-03	5,80E-06
Catalisador usado	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg	1,04E-03	8,46E-04	3,58E-04	0,00E+00	0,00E+00	2,28E-06	2,30E-04			7,81E-05		7,81E-05	7,81E-08
Nao especificados	kg	6,44E-08	7,52E-08	2,65E-08	0,00E+00	0,00E+00	2,03E-10	2,05E-08			6,94E-09		6,94E-09	6,94E-12
Total residuo solido	kg	1,10E+03	4,23E+01	2,18E+02	1,55E+00	2,51E+00	1,43E+00	2,29E-02	0,00E+00	0,00E+00	7,77E-03	0,00E+00	7,77E-03	7,77E-06

		Produção de óleo de soja			Produção de etanol anidro			Produção de 1ton de BES					Distribuição do BMS		Alocação 88,96%	Total 1 kg de
		APÊNDICE B.16	APÊNDICE B.17	Alocação 19,01%	APÊNDICE B.20	APÊNDICE B.21	Alocação 19,01%	104MJ de	APÊNDICE B.12	APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1	Producao de 1t	APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1		
Entradas/ Saídas	uni	5662kg de Soja	1008kg de Óleo de soja	Total óleo de soja	2647kg de cana	188L de Etanol anidro	Total Etanol anidro	Energia Eletrica	10,44kg de NaOH	130kg de Óleo combustivel	Queima de óleo combustível	de BMS	19,91kg de Diesel	Queima de diesel	Total 1t de BMS	BES
Energia total	MJ	1,77E+04	1,81E+04	6,81E+03	4,14E+02	4,59E+03	4,41E+03	1,65E+02	1,16E+02	6,09E+02	5,56E+03		9,22E+01	7,98E+02	8,90E+02	8,90E-01
Energia nao renovavel	MJ	1,69E+04	1,58E+04	6,22E+03	4,07E+02	5,15E+00	3,63E+02	2,31E+01	3,86E+01	6,09E+02	5,56E+03		9,21E+01	7,98E+02	8,90E+02	8,90E-01
Energia renovavel	MJ	7,94E+02	2,28E+03	5,84E+02	6,79E+00	4,59E+03	4,04E+03	1,42E+02	7,72E+01	7,06E-01	0,00E+00		1,07E-01	0,00E+00	1,07E-01	1,07E-04
Petroleo	kg	2,04E+02	2,32E+02	8,28E+01	9,74E+00	1,19E+00	9,61E+00	1,26E-01	6,89E-01	1,47E+02			2,22E+01		2,22E+01	2,22E-02
Carvao	kg	7,50E+00	2,15E+01	5,51E+00	1,32E-01	5,95E-05	1,16E-01	1,34E+00	7,28E-01	1,40E-02			2,12E-03		2,12E-03	2,12E-06
Gas natural	kg	8,20E+00	1,00E+01	3,47E+00	2,99E-01	2,54E-02	2,86E-01	7,91E-02	6,68E-02	5,60E+00			8,48E-01		8,48E-01	8,48E-04
Uranio	kg	1,07E-04	3,04E-04	7,81E-05	1,92E-06	1,29E-04	1,15E-04	1,87E-05	1,02E-05	1,60E-06			2,42E-07		2,42E-07	2,42E-10
Combustiveis renovaveis	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Reservas Bioticas	kg	2,84E+00	8,15E+00	2,09E+00	4,98E-02	1,14E-05	4,38E-02	5,07E-01	2,76E-01	2,52E-03			3,82E-04		3,82E-04	3,82E-07
Rocha fosfatica bruta	kg	3,51E+03	0,00E+00	6,67E+02	2,40E+01	0,00E+00	2,11E+01		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha Potasica	kg	7,45E+02	0,00E+00	1,42E+02	8,15E+00	0,00E+00	7,17E+00		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	kg	1,66E+00	0,00E+00	3,16E-01	5,11E-02	3,54E-05	4,50E-02		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
S elementar	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,87E-01	5,17E-01		0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	kg	9,18E+01	1,51E+00	1,77E+01	6,51E-01	2,12E-06	5,72E-01	9,36E-02	5,10E-02	4,66E-04			7,06E-05		7,06E-05	7,06E-08
Água	kg	8,37E+03	1,56E+04	4,56E+03	7,39E+01	6,76E+03	6,01E+03	1,21E+01	1,03E+01	3,11E+02		3,378E+02	4,71E+01		4,71E+01	4,71E-02
Emissoes atmosfericas																
CO2	kg	-1,53E+04	1,15E+03	-2,70E+03	-1,04E+03	5,56E+02	-4,28E+02	3,57E+00	4,01E+00	5,29E+01	4,36E+02		8,01E+00	6,34E+01	7,14E+01	7,14E-02
CH4	kg	1,42E+00	1,73E+00	5,99E-01	9,07E-01	1,28E-01	9,11E-01	5,61E-02	3,21E-02	3,46E-01	1,72E-02		5,23E-02	4,53E-03	5,69E-02	5,69E-05
CO	kg	3,36E+00	5,73E-01	7,48E-01	1,68E+01	4,30E+00	1,86E+01	1,55E-02	9,04E-03	5,15E-02	8,33E-02		7,80E-03	1,39E-01	1,47E-01	1,47E-04
N2O	kg	2,14E-01	2,25E-02	4,49E-02	8,25E-02	1,73E-02	8,78E-02	1,14E-03	6,31E-04	7,17E-05	1,89E-03		1,08E-05	2,26E-03	2,27E-03	2,27E-06
NH3	kg	2,36E+00	1,00E-08	4,49E-01	3,63E-01	1,94E-07	3,20E-01	6,24E-10	3,40E-10	3,11E-12			4,71E-13		4,71E-13	4,71E-16
NOx	kg	1,19E+01	5,46E+00	3,30E+00	4,28E-01	4,33E-01	7,57E-01	5,98E-02	3,39E-02	2,68E-02	2,83E-01		4,06E-03	5,56E-01	5,60E-01	5,60E-04
COVNM	kg	1,79E-01	2,10E-01	7,41E-02	6,66E-03	8,00E-04	6,56E-03	7,57E-04	9,47E-04	1,27E-01			1,91E-02		1,91E-02	1,91E-05
Hidrocarbonetos	kg	6,13E-01	1,18E-02	1,19E-01	8,24E-03	6,56E-04	7,83E-03	7,80E-05	7,14E-05	2,07E-03	4,78E-03		3,13E-04	1,16E-02	1,19E-02	1,19E-05
MP	kg	1,35E+00	2,00E-01	2,94E-01	2,29E-02	4,85E+00	4,28E+00	6,99E-03	4,02E-03	1,82E-02	3,22E-02		2,75E-03	9,26E-03	1,20E-02	1,20E-05
SOx	kg	2,63E+00	4,35E+00	1,33E+00	4,82E-02	6,22E-03	4,79E-02	1,21E-02	1,80E-02	5,59E-02	2,63E+00		8,46E-03	1,99E-03	1,05E-02	1,05E-05
H2S	kg	3,82E-05	4,32E-05	1,55E-05	4,69E-06	1,25E-07	4,24E-06	0,00E+00	1,16E-07	2,75E-05			4,17E-06		4,17E-06	4,17E-09
Metil carptano	kg	1,83E-06	2,06E-06	7,39E-07	6,86E-08	5,98E-09	6,56E-08	0,00E+00	5,57E-09	1,32E-06			2,00E-07		2,00E-07	2,00E-10
HCl	kg	1,62E-06	1,84E-06	6,58E-07	6,87E-08	1,42E-09	6,17E-08	0,00E+00	4,96E-09	1,17E-06			1,78E-07		1,78E-07	1,78E-10
Cl2	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,28E-04	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,69E-07	1,49E-07	0,00E+00	1,79E-04	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
HF	kg	7,97E-03	0,00E+00	1,51E-03	5,45E-05	0,00E+00	4,80E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg	2,89E-04	0,00E+00	5,50E-05	1,53E-05	0,00E+00	1,34E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Metanol	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,47E-07	1,29E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,60E-04	2,29E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	2,52E-04	1,24E+01	2,37E+00	1,33E-05	0,00E+00	1,17E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para o ar	KBq	5,70E+00	1,64E+01	4,19E+00	1,00E-01	2,30E-05	8,79E-02	1,02E+00	5,54E-01	5,06E-03			7,66E-04		7,66E-04	7,66E-07
Efluentes Liquidos																
Efluentes Liquidos	kg	5,80E+03	4,61E+02	1,19E+03	3,97E+01	3,45E-09	3,49E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
DBO	kg	6,14E-03	7,01E-03	2,50E-03	1,64E-04	3,61E-05	1,76E-04	7,28E-06	2,26E-05	4,41E-03			6,67E-04		6,67E-04	6,67E-07
DQO	kg	3,77E-02	4,27E-02	1,53E-02	1,07E-03	1,23E-04	1,05E-03	1,35E-05	1,22E-04	2,72E-02			4,11E-03		4,11E-03	4,11E-06
Na+	kg	3,71E-03	3,36E-03	1,34E-03	8,77E-05	1,33E-04	1,95E-04	0,00E+00	9,08E-06	2,15E-03			3,25E-04		3,25E-04	3,25E-07
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,92E-05	2,46E-12	6,09E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,27E-04	4,67E-07	3,76E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg	4,44E-03	5,02E-03	1,80E-03	1,50E-04	1,45E-05	1,45E-04	6,24E-09	3,93E-05	3,21E-03			4,85E-04		4,85E-04	4,85E-07
(PO3)4-	kg	1,20E+01	0,00E+00	2,28E+00	9,90E-03	2,42E-12	8,71E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
NO3-	kg	2,80E+01	0,00E+00	5,33E+00	7,86E-07	1,33E-09	6,92E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Hg	kg	1,66E-08	0,00E+00	3,16E-09	2,19E-10	2,65E-09	2,52E-09	0,00E+00	1,46E-06	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	kg	5,58E+03	8,37E-05	1,06E+03	3,82E+01	2,62E-07	3,36E+01	5,20E-06	2,83E-06	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Sólidos suspensos totais	kg	1,94E-02	2,20E-02	7,88E-03	5,09E-04	6,34E-05	5,03E-04	1,04E-05	6,47E-05	1,40E-02			2,12E-03		2,12E-03	2,12E-06
Hidrocarbonetos	kg	2,17E-03	4,58E-04	5,00E-04	3,34E-05	6,29E-04	5,83E-04	3,12E-06	2,80E-06	2,60E-04			3,94E-05		3,94E-05	3,94E-08
Óleos e graxas	kg	8,15E-05	2,34E-04	6,00E-05	1,43E-06	3,04E-10	1,26E-06	1,46E-05	7,93E-06	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Compostos de N	kg	7,26E-03	7,73E-06	1,38E-03	2,10E-05	4,00E-04	3,71E-04	4,68E-07	2,55E-07	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Compostos de S	kg	2,62E-07	2,87E-05	5,50E-06	2,20E-04	3,60E-05	2,25E-04	4,68E-08	2,55E-08	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para a água	KBq	8,80E+00	2,53E+01	6,48E+00	1,54E-01	3,91E-04	1,36E-01	1,57E+00	8,56E-01	7,82E-03			1,18E-03		1,18E-03	1,18E-06
Residuos solidos																
Residuos no solo	kg	7,81E+00	2,24E+01	5,75E+00	1,37E-01	3,15E-04	1,21E-01	1,39E+00	7,60E-01	6,94E-03			1,05E-03		1,05E-03	1,05E-06
Residuos de mineracao	kg	1,04E+03	0,00E+00	1,98E+02	7,11E+00	1,71E-06	6,25E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos processuais	kg	6,24E+00	1,79E+01	4,59E+00	1,09E-01	1,35E-02	1,08E-01	1,11E+00	6,06E-01	5,54E-03			8,39E-04		8,39E-04	8,39E-07
Residuos solidos oleosos	kg	6,35E-02	6,00E-02	2,35E-02	1,66E-03	4,64E-05	1,50E-03	0,00E+00	1,62E-04	3,83E-02			5,80E-03		5,80E-03	5,80E-06
Catalisador usado	kg	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,03E-01	9,05E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00			0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg	9,93E-04	8,08E-04	3,42E-04	1,30E-04	6,41E-04	6,78E-04	0,00E+00	2,18E-06	5,16E-04			7,81E-05		7,81E-05	7,81E-08
Nao especificados	kg	6,16E-08	7,18E-08	2,54E-08	1,65E-09	2,74E-05	2,41E-05	0,00E+00	1,94E-10	4,59E-08			6,94E-09		6,94E-09	6,94E-12
Total residuo solido	kg	1,05E+03	4,04E+01	2,08E+02	7,36E+00	1,17E-01	6,57E+00	2,51E+00	1,37E+00	5,13E-02	0,00E+00	0,00E+00	7,77E-03	0,00E+00	7,77E-03	7,77E-06

		APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1	Total 1 t de Diesel	Total 1kg de Diesel
Entradas/ Saídas	uni	Produção de diesel	Combustão do Diesel		
Energia total	MJ	4,63E+03		4,63E+03	4,63E+00
Energia nao renovavel	MJ	4,63E+03		4,63E+03	4,63E+00
Energia renovavel	MJ	5,37E+00		5,37E+00	5,37E-03
Petroleo	kg	1,12E+03		1,12E+03	1,12E+00
Carvão	kg	1,06E-01		1,06E-01	1,06E-04
Gas natural	kg	4,26E+01		4,26E+01	4,26E-02
Uranio	kg	1,21E-05		1,21E-05	1,21E-08
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg	1,92E-02		1,92E-02	1,92E-05
Rocha Fosfatica	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha potassica	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Rocha metamorfica	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
S elementar	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Materias secundarios	kg	3,55E-03		3,55E-03	3,55E-06
Água	kg	2,36E+03		2,36E+03	2,36E+00
Emissões atmosfericas					
CO2	kg	4,03E+02	3,19E+03	3,59E+03	3,59E+00
CH4	kg	2,63E+00	2,27E-01	2,86E+00	2,86E-03
CO	kg	3,92E-01	6,98E+00	7,37E+00	7,37E-03
N2O	kg	5,45E-04	1,14E-01	1,14E-01	1,14E-04
NH3	kg	2,36E-11		2,36E-11	2,36E-14
NOx	kg	2,04E-01	2,79E+01	2,81E+01	2,81E-02
COVNM	kg	9,62E-01		9,62E-01	9,62E-04
Hidrocarbonetos	kg	1,57E-02	5,81E-01	5,97E-01	5,97E-04
MP	kg	1,38E-01	4,65E-01	6,03E-01	6,03E-04
SOx	kg	4,25E-01	1,00E-01	5,25E-01	5,25E-04
H2S	kg	2,09E-04		2,09E-04	2,09E-07
Metil carptano	kg	1,00E-05		1,00E-05	1,00E-08
HCl	kg	8,92E-06		8,92E-06	8,92E-09
Cl2	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Diclorometano	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
HF	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Dimetil Eter	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Metanol	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para o ar	kg	3,85E-02		3,85E-02	3,85E-05
Efluentes Liquidos					
Efluentes Liquidos	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
DBO	kg	3,35E-02		3,35E-02	3,35E-05
DQO	kg	2,06E-01		2,06E-01	2,06E-04
Na+	kg	1,63E-02		1,63E-02	1,63E-05
K+	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg	2,44E-02		2,44E-02	2,44E-05
(PO3)4-	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
NO3-	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Hg	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Solidos dissolvidos totais	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Sólidos suspensos totais	kg	1,06E-01		1,06E-01	1,06E-04
Hidrocarbonetos	kg	1,98E-03		1,98E-03	1,98E-06
Óleos e graxas	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Compostos de nitrogenio	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Compostos de exofre	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Radioatividade para a água	KBq	5,95E-02		5,95E-02	5,95E-05
Residuos solidos					
Residuos no solo	kg	5,28E-02		5,28E-02	5,28E-05
Residuos de mineracao	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos processuais	kg	4,22E-02		4,22E-02	4,22E-05
Residuos solidos oleosos	kg	2,91E-01		2,91E-01	2,91E-04
Catalisador usado	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg	3,92E-03		3,92E-03	3,92E-06
Residuos nao especificados	kg	3,49E-07		3,49E-07	3,49E-10
Total residuos solidos	kg	3,90E-01		3,90E-01	3,90E-04

		APÊNDICE B.22	APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1	Total 853,6kg de B5	Total 1kg de B5
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 44,2kg de BMS (*)	Produção 809,4kg de Diesel	Combustão do B5		
Energia total	MJ	5,13E+02	3,75E+03		4,26E+03	4,99E+00
Energia nao renovavel	MJ	4,80E+02	3,74E+03		4,22E+03	4,95E+00
Energia renovavel	MJ	3,28E+01	4,34E+00		3,72E+01	4,36E-02
Petroleo	kg	7,01E+00	9,03E+02		9,10E+02	1,07E+00
Carvão	kg	3,10E-01	8,61E-02		3,96E-01	4,64E-04
Gas natural	kg	3,67E+00	3,45E+01		3,82E+01	4,47E-02
Uranio	kg	4,41E-06	9,82E-06		1,42E-05	1,67E-08
Combustíveis renovaveis	kg	1,73E-03	0,00E+00		1,73E-03	2,03E-06
Reservas bioticas	kg	1,17E-01	1,55E-02		1,33E-01	1,56E-04
Rocha Fosfatica	kg	2,75E+01	0,00E+00		2,75E+01	3,22E-02
Rocha potassica	kg	5,83E+00	0,00E+00		5,83E+00	6,83E-03
Rocha metamorfica	kg	1,30E-02	0,00E+00		1,30E-02	1,53E-05
S elementar	kg	3,20E-04	0,00E+00		3,20E-04	3,74E-07
Materias secundarios	kg	7,78E-01	2,87E-03		7,81E-01	9,15E-04
Água	kg	8,37E+02	1,91E+03		2,75E+03	3,22E+00
Emissoes atmosfericas						
CO2	kg	-9,63E+01	3,26E+02	2,70E+03	2,93E+03	3,44E+00
CH4	kg	4,79E-02	2,13E+00	1,84E-01	2,36E+00	2,76E-03
CO	kg	4,14E-02	3,17E-01	5,76E+00	6,12E+00	7,17E-03
N2O	kg	2,09E-03	4,41E-04	9,75E-02	1,00E-01	1,17E-04
NH3	kg	1,85E-02	1,91E-11		1,85E-02	2,17E-05
NOx	kg	1,72E-01	1,65E-01	2,39E+01	2,43E+01	2,84E-02
COVNM	kg	6,21E-03	7,78E-01		7,85E-01	9,19E-04
Hidrocarbonetos	kg	5,55E-03	1,27E-02	4,69E-01	4,88E-01	5,71E-04
MP	kg	1,42E-02	1,12E-01	3,85E-01	5,11E-01	5,98E-04
SOx	kg	1,07E-01	3,44E-01	8,09E-02	5,32E-01	6,23E-04
H2S	kg	1,31E-06	1,70E-04		1,71E-04	2,00E-07
Metil carptano	kg	6,27E-08	8,11E-06		8,17E-06	9,58E-09
HCl	kg	5,58E-08	7,22E-06		7,28E-06	8,52E-09
Cl2	kg	5,28E-06	0,00E+00		5,28E-06	6,18E-09
Diclorometano	kg	7,39E-06	0,00E+00		7,39E-06	8,65E-09
HF	kg	6,24E-05	0,00E+00		6,24E-05	7,31E-08
Dimetil Eter	kg	2,27E-06	0,00E+00		2,27E-06	2,66E-09
Metanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	9,74E-02	0,00E+00		9,74E-02	1,14E-04
Radioatividade para o ar	KBq	2,60E-01	3,12E-02		2,92E-01	3,42E-04
Efluentes Liquidos						
Efluentes Liquidos	kg	6,36E+01	0,00E+00		6,36E+01	7,45E-02
DBO	kg	2,11E-04	2,71E-02		2,73E-02	3,20E-05
DQO	kg	1,29E-03	1,67E-01		1,68E-01	1,97E-04
Na+	kg	1,08E-04	1,32E-02		1,33E-02	1,56E-05
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg	1,53E-04	1,97E-02		1,99E-02	2,33E-05
(PO3)4-	kg	9,37E-02	0,00E+00		9,37E-02	1,10E-04
NO3-	kg	2,19E-01	0,00E+00		2,19E-01	2,57E-04
Hg	kg	6,01E-08	0,00E+00		6,01E-08	7,04E-11
Solidos dissolvidos totais	kg	4,37E+01	0,00E+00		4,37E+01	5,12E-02
Sólidos suspensos totais	kg	6,67E-04	8,60E-02		8,67E-02	1,02E-04
Hidrocarbonetos	kg	2,72E-05	1,60E-03		1,63E-03	1,91E-06
Óleos e graxas	kg	3,73E-06	0,00E+00		3,73E-06	4,37E-09
Compostos de nitrogenio	kg	5,69E-05	0,00E+00		5,69E-05	6,67E-08
Compostos de exofre	kg	7,67E-07	0,00E+00		7,67E-07	8,98E-10
Radioatividade para a água	KBq	4,02E-01	4,82E-02		4,51E-01	5,28E-04
Residuos solidos						
Residuos no solo	kg	3,57E-01	4,27E-02		4,00E-01	4,68E-04
Residuos de mineracao	kg	8,14E+00	0,00E+00		8,14E+00	9,53E-03
Residuos processuais	kg	2,85E-01	3,41E-02		3,19E-01	3,74E-04
Residuos solidos oleosos	kg	1,90E-03	2,36E-01		2,38E-01	2,79E-04
Catalisador usado	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg	2,67E-05	3,18E-03		3,20E-03	3,75E-06
Residuos nao especificados	kg	2,17E-09	2,82E-07		2,84E-07	3,33E-10
Total residuos solidos	kg	8,78E+00	3,16E-01	0,00E+00	9,10E+00	1,07E-02

(*) Sendo as densidades do óleo diesel e BMS, 852Kg/m3 e 884,8Kg/m3 respetivamente, 1000L da mistura B5 corresponde a 809,4Kg de óleo diesel e 44,2Kg de BMS.

		APÊNDICE B.22	APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1	Total 855,3 kg de B10	Total 1kg de B10
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 88,5 kg de BMS (*)	Produção766,8 kg de Diesel	Combustão do B10		
Energia total	MJ	1,03E+03	3,55E+03		4,58E+03	5,35E+00
Energia nao renovavel	MJ	9,60E+02	3,55E+03		4,51E+03	5,27E+00
Energia renovavel	MJ	6,57E+01	4,12E+00		6,98E+01	8,16E-02
Petroleo	kg	1,40E+01	8,56E+02		8,70E+02	1,02E+00
Carvão	kg	6,20E-01	8,16E-02		7,02E-01	8,21E-04
Gas natural	kg	7,34E+00	3,27E+01		4,00E+01	4,68E-02
Uranio	kg	8,82E-06	9,30E-06		1,81E-05	2,12E-08
Combustíveis renovaveis	kg	3,46E-03	0,00E+00		3,46E-03	4,04E-06
Reservas bioticas	kg	2,35E-01	1,47E-02		2,50E-01	2,92E-04
Rocha Fosfatica	kg	5,50E+01	0,00E+00		5,50E+01	6,43E-02
Rocha potassica	kg	1,17E+01	0,00E+00		1,17E+01	1,36E-02
Rocha metamorfica	kg	2,61E-02	0,00E+00		2,61E-02	3,05E-05
S elementar	kg	6,39E-04	0,00E+00		6,39E-04	7,47E-07
Materias secundarios	kg	1,56E+00	2,72E-03		1,56E+00	1,82E-03
Água	kg	1,67E+03	1,81E+03		3,49E+03	4,08E+00
Emissoes atmosfericas						
CO2	kg	-1,93E+02	3,09E+02	2,69E+03	2,81E+03	3,28E+00
CH4	kg	9,58E-02	2,02E+00	1,74E-01	2,29E+00	2,67E-03
CO	kg	8,29E-02	3,00E-01	5,59E+00	5,97E+00	6,98E-03
N2O	kg	4,18E-03	4,18E-04	9,82E-02	1,03E-01	1,20E-04
NH3	kg	3,70E-02	1,81E-11		3,70E-02	4,33E-05
NOx	kg	3,44E-01	1,56E-01	2,41E+01	2,46E+01	2,88E-02
COVNM	kg	1,24E-02	7,38E-01		7,50E-01	8,77E-04
Hidrocarbonetos	kg	1,11E-02	1,20E-02	4,45E-01	4,68E-01	5,47E-04
MP	kg	2,84E-02	1,06E-01	3,73E-01	5,08E-01	5,94E-04
SOx	kg	2,14E-01	3,26E-01	7,67E-02	6,17E-01	7,21E-04
H2S	kg	2,62E-06	1,61E-04		1,63E-04	1,91E-07
Metil carptano	kg	1,25E-07	7,68E-06		7,81E-06	9,13E-09
HCl	kg	1,12E-07	6,84E-06		6,95E-06	8,13E-09
Cl2	kg	1,06E-05	0,00E+00		1,06E-05	1,23E-08
Diclorometano	kg	1,48E-05	0,00E+00		1,48E-05	1,73E-08
HF	kg	1,25E-04	0,00E+00		1,25E-04	1,46E-07
Dimetil Eter	kg	4,53E-06	0,00E+00		4,53E-06	5,30E-09
Metanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	1,95E-01	0,00E+00		1,95E-01	2,28E-04
Radioatividade para o ar	KBq	5,21E-01	2,95E-02		5,50E-01	6,43E-04
Efluentes Liquidos						
Efluentes Liquidos	kg	1,27E+02	0,00E+00		1,27E+02	1,49E-01
DBO	kg	4,23E-04	2,57E-02		2,61E-02	3,05E-05
DQO	kg	2,59E-03	1,58E-01		1,61E-01	1,88E-04
Na+	kg	2,16E-04	1,25E-02		1,27E-02	1,49E-05
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg	3,07E-04	1,87E-02		1,90E-02	2,22E-05
(PO3)4-	kg	1,87E-01	0,00E+00		1,87E-01	2,19E-04
NO3-	kg	4,39E-01	0,00E+00		4,39E-01	5,13E-04
Hg	kg	1,20E-07	0,00E+00		1,20E-07	1,40E-10
Solidos dissolvidos totais	kg	8,74E+01	0,00E+00		8,74E+01	1,02E-01
Sólidos suspensos totais	kg	1,33E-03	8,15E-02		8,28E-02	9,68E-05
Hidrocarbonetos	kg	5,45E-05	1,52E-03		1,57E-03	1,84E-06
Óleos e graxas	kg	7,46E-06	0,00E+00		7,46E-06	8,72E-09
Compostos de nitrogenio	kg	1,14E-04	0,00E+00		1,14E-04	1,33E-07
Compostos de exofre	kg	1,53E-06	0,00E+00		1,53E-06	1,79E-09
Radioatividade para a água	kg	8,05E-01	4,56E-02		8,50E-01	9,94E-04
Residuos solidos						
Residuos no solo	kg	7,14E-01	4,05E-02		7,55E-01	8,82E-04
Residuos de mineracao	kg	1,63E+01	0,00E+00		1,63E+01	1,90E-02
Residuos processuais	kg	5,70E-01	3,23E-02		6,03E-01	7,05E-04
Residuos solidos oleosos	kg	3,81E-03	2,23E-01		2,27E-01	2,66E-04
Catalisador usado	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg	5,34E-05	3,01E-03		3,06E-03	3,58E-06
Residuos nao especificados	kg	4,33E-09	2,67E-07		2,72E-07	3,18E-10
Total residuos solidos	kg	1,76E+01	2,99E-01	0,00E+00	1,79E+01	2,09E-02

(*) Sendo as densidades do óleo diesel e BMS, 852Kg/m3 e 884,8Kg/m3 respetivamente, 1000L da mistura B10 corresponde a 766,8 Kg de óleo diesel e 88,5 Kg de BMS.

APÊNDICE B28 INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B15 (ROTA METÍLICA)

		APÊNDICE B.22	APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1	Total 857kg de B5	Total 1kg de B15
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 132,7kg de BMS (*)	Produção 724,2 kg de Diesel	Combustão do B15		
Energia total	MJ	1,54E+03	3,35E+03		4,89E+03	5,71E+00
Energia nao renovavel	MJ	1,44E+03	3,35E+03		4,79E+03	5,59E+00
Energia renovavel	MJ	9,85E+01	3,89E+00		1,02E+02	1,20E-01
Petroleo	kg	2,10E+01	8,08E+02		8,29E+02	9,68E-01
Carvão	kg	9,31E-01	7,70E-02		1,01E+00	1,18E-03
Gas natural	kg	1,10E+01	3,09E+01		4,19E+01	4,89E-02
Uranio	kg	1,32E-05	8,79E-06		2,20E-05	2,57E-08
Combustíveis renovaveis	kg	5,19E-03	0,00E+00		5,19E-03	6,05E-06
Reservas bioticas	kg	3,52E-01	1,39E-02		3,66E-01	4,27E-04
Rocha Fosfatica	kg	8,24E+01	0,00E+00		8,24E+01	9,62E-02
Rocha potassica	kg	1,75E+01	0,00E+00		1,75E+01	2,04E-02
Rocha metamorfica	kg	3,91E-02	0,00E+00		3,91E-02	4,56E-05
S elementar	kg	9,59E-04	0,00E+00		9,59E-04	1,12E-06
Materias secundarios	kg	2,33E+00	2,57E-03		2,34E+00	2,73E-03
Água	kg	2,51E+03	1,71E+03		4,22E+03	4,93E+00
Emissoes atmosfericas	kg					
CO2	kg	-2,89E+02	2,92E+02	2,68E+03	2,68E+03	3,13E+00
CH4	kg	1,44E-01	1,90E+00	1,65E-01	2,21E+00	2,58E-03
CO	kg	1,24E-01	2,84E-01	5,42E+00	5,83E+00	6,80E-03
N2O	kg	6,26E-03	3,95E-04	9,89E-02	1,06E-01	1,23E-04
NH3	kg	5,55E-02	1,71E-11		5,55E-02	6,48E-05
NOx	kg	5,16E-01	1,48E-01	2,43E+01	2,49E+01	2,91E-02
COVNM	kg	1,86E-02	6,97E-01		7,15E-01	8,35E-04
Hidrocarbonetos	kg	1,66E-02	1,14E-02	4,21E-01	4,49E-01	5,24E-04
MP	kg	4,26E-02	1,00E-01	3,62E-01	5,05E-01	5,89E-04
SOx	kg	3,21E-01	3,08E-01	7,24E-02	7,02E-01	8,19E-04
H2S	kg	3,93E-06	1,52E-04		1,56E-04	1,82E-07
Metil carptano	kg	1,88E-07	7,26E-06		7,45E-06	8,69E-09
HCl	kg	1,67E-07	6,46E-06		6,63E-06	7,73E-09
Cl2	kg	1,58E-05	0,00E+00		1,58E-05	1,85E-08
Diclorometano	kg	2,22E-05	0,00E+00		2,22E-05	2,59E-08
HF	kg	1,87E-04	0,00E+00		1,87E-04	2,18E-07
Dimetil Eter	kg	6,80E-06	0,00E+00		6,80E-06	7,94E-09
Metanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	2,92E-01	0,00E+00		2,92E-01	3,41E-04
Radioatividade para o ar	KBq	7,81E-01	2,79E-02		8,09E-01	9,44E-04
Efluentes Liquidos						
Efluentes Liquidos	kg	1,91E+02	0,00E+00		1,91E+02	2,23E-01
DBO	kg	6,34E-04	2,43E-02		2,49E-02	2,90E-05
DQO	kg	3,88E-03	1,50E-01		1,53E-01	1,79E-04
Na+	kg	3,24E-04	1,18E-02		1,22E-02	1,42E-05
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg	4,60E-04	1,76E-02		1,81E-02	2,11E-05
(PO3)4-	kg	2,81E-01	0,00E+00		2,81E-01	3,28E-04
NO3-	kg	6,58E-01	0,00E+00		6,58E-01	7,68E-04
Hg	kg	1,80E-07	0,00E+00		1,80E-07	2,10E-10
Solidos dissolvidos totais	kg	1,31E+02	0,00E+00		1,31E+02	1,53E-01
Sólidos suspensos totais	kg	2,00E-03	7,69E-02		7,89E-02	9,21E-05
Hidrocarbonetos	kg	8,17E-05	1,43E-03		1,52E-03	1,77E-06
Óleos e graxas	kg	1,12E-05	0,00E+00		1,12E-05	1,31E-08
Compostos de nitrogenio	kg	1,71E-04	0,00E+00		1,71E-04	1,99E-07
Compostos de exofre	kg	2,30E-06	0,00E+00		2,30E-06	2,68E-09
Radioatividade para a água	KBq	1,21E+00	4,31E-02		1,25E+00	1,46E-03
Residuos solidos						
Residuos no solo	kg	1,07E+00	3,82E-02		1,11E+00	1,29E-03
Residuos de mineracao	kg	2,44E+01	0,00E+00		2,44E+01	2,85E-02
Residuos processuais	kg	8,55E-01	3,05E-02		8,86E-01	1,03E-03
Residuos solidos oleosos	kg	5,71E-03	2,11E-01		2,17E-01	2,53E-04
Catalisador usado	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg	8,02E-05	2,84E-03		2,92E-03	3,41E-06
Residuos nao especificados	kg	6,50E-09	2,53E-07		2,59E-07	3,02E-10
Total residuos solidos	kg	2,63E+01	2,83E-01	0,00E+00	2,66E+01	3,11E-02

(*) Sendo as densidades do óleo diesel e BMS, 852Kg/m3 e 884,8Kg/m3 respetivamente, 1000L da mistura B15 corresponde a 724,2 Kg de óleo diesel e 132,7 Kg de BMS.

		APÊNDICE B.22	APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1	Total 859Kg de B5	Total 1Kg de B20
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 177Kg de BMS (*)	Produção 681,6 Kg de Diesel	Combustão do B20		
Energia total	MJ	2,05E+03	3,16E+03		5,21E+03	6,07E+00
Energia nao renovavel	MJ	1,92E+03	3,15E+03		5,07E+03	5,91E+00
Energia renovavel	MJ	1,31E+02	3,66E+00		1,35E+02	1,57E-01
Petroleo	kg	2,80E+01	7,61E+02		7,89E+02	9,18E-01
Carvão	kg	1,24E+00	7,25E-02		1,31E+00	1,53E-03
Gas natural	kg	1,47E+01	2,90E+01		4,37E+01	5,09E-02
Uranio	kg	1,76E-05	8,27E-06		2,59E-05	3,02E-08
Combustíveis renovaveis	kg	6,92E-03	0,00E+00		6,92E-03	8,05E-06
Reservas bioticas	kg	4,70E-01	1,31E-02		4,83E-01	5,62E-04
Rocha Fosfatica	kg	1,10E+02	0,00E+00		1,10E+02	1,28E-01
Rocha potassica	kg	2,33E+01	0,00E+00		2,33E+01	2,72E-02
Rocha metamorfica	kg	5,21E-02	0,00E+00		5,21E-02	6,07E-05
S elementar	kg	1,28E-03	0,00E+00		1,28E-03	1,49E-06
Materias secundarios	kg	3,11E+00	2,42E-03		3,11E+00	3,63E-03
Água	kg	3,35E+03	1,61E+03		4,96E+03	5,78E+00
Emissoes atmosfericas	kg					
CO2	kg	-3,85E+02	2,74E+02	2,67E+03	2,56E+03	2,98E+00
CH4	kg	1,92E-01	1,79E+00	1,54E-01	2,14E+00	2,49E-03
CO	kg	1,66E-01	2,67E-01	5,33E+00	5,76E+00	6,71E-03
N2O	kg	8,35E-03	3,71E-04	9,96E-02	1,08E-01	1,26E-04
NH3	kg	7,40E-02	1,61E-11		7,40E-02	8,62E-05
NOx	kg	6,89E-01	1,39E-01	2,44E+01	2,53E+01	2,94E-02
COVNM	kg	2,48E-02	6,56E-01		6,80E-01	7,92E-04
Hidrocarbonetos	kg	2,22E-02	1,07E-02	3,94E-01	4,27E-01	4,97E-04
MP	kg	5,69E-02	9,43E-02	3,59E-01	5,10E-01	5,94E-04
SOx	kg	4,28E-01	2,90E-01	6,82E-02	7,86E-01	9,16E-04
H2S	kg	5,24E-06	1,43E-04		1,48E-04	1,72E-07
Metil carptano	kg	2,51E-07	6,83E-06		7,08E-06	8,25E-09
HCl	kg	2,23E-07	6,08E-06		6,30E-06	7,34E-09
Cl2	kg	2,11E-05	0,00E+00		2,11E-05	2,46E-08
Diclorometano	kg	2,95E-05	0,00E+00		2,95E-05	3,44E-08
HF	kg	2,50E-04	0,00E+00		2,50E-04	2,91E-07
Dimetil Eter	kg	9,07E-06	0,00E+00		9,07E-06	1,06E-08
Metanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	3,90E-01	0,00E+00		3,90E-01	4,54E-04
Radioatividade para o ar	KBq	1,04E+00	2,62E-02		1,07E+00	1,24E-03
Efluentes Liquidos						
Efluentes Liquidos	kg	2,54E+02	0,00E+00		2,54E+02	2,96E-01
DBO	kg	8,45E-04	2,28E-02		2,37E-02	2,76E-05
DQO	kg	5,18E-03	1,41E-01		1,46E-01	1,70E-04
Na+	kg	4,32E-04	1,11E-02		1,16E-02	1,35E-05
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg	6,14E-04	1,66E-02		1,72E-02	2,01E-05
(PO3)4-	kg	3,75E-01	0,00E+00		3,75E-01	4,37E-04
NO3-	kg	8,78E-01	0,00E+00		8,78E-01	1,02E-03
Hg	kg	2,40E-07	0,00E+00		2,40E-07	2,80E-10
Solidos dissolvidos totais	kg	1,75E+02	0,00E+00		1,75E+02	2,04E-01
Sólidos suspensos totais	kg	2,67E-03	7,24E-02		7,51E-02	8,74E-05
Hidrocarbonetos	kg	1,09E-04	1,35E-03		1,46E-03	1,70E-06
Óleos e graxas	kg	1,49E-05	0,00E+00		1,49E-05	1,74E-08
Compostos de nitrogenio	kg	2,28E-04	0,00E+00		2,28E-04	2,65E-07
Compostos de exofre	kg	3,07E-06	0,00E+00		3,07E-06	3,57E-09
Radioatividade para a água	kg	1,61E+00	4,05E-02		1,65E+00	1,92E-03
Residuos solidos						
Residuos no solo	kg	1,43E+00	3,60E-02		1,46E+00	1,71E-03
Residuos de mineracao	kg	3,25E+01	0,00E+00		3,25E+01	3,79E-02
Residuos processuais	kg	1,14E+00	2,87E-02		1,17E+00	1,36E-03
Residuos solidos oleosos	kg	7,62E-03	1,99E-01		2,06E-01	2,40E-04
Catalisador usado	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg	1,07E-04	2,68E-03		2,78E-03	3,24E-06
Residuos nao especificados	kg	8,66E-09	2,38E-07		2,46E-07	2,87E-10
Total residuos solidos	kg	3,51E+01	2,66E-01	0,00E+00	3,54E+01	4,12E-02

(*) Sendo as densidades do óleo diesel e BMS, 852Kg/m3 e 884,8Kg/m3 respetivamente, 1000L da mistura B20 corresponde a 681,6 Kg de óleo diesel e 177 Kg de BMS.

		APÊNDICE B.22	APÊNDICE B.4	APÊNDICE A.1	Total 868,4kg de B5	Total 1kg de B50
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 442,4kg de BMS (*)	Produção 426 kg de Diesel	Combustão do B50		
Energia total	MJ	5,13E+03	1,97E+03		7,10E+03	8,18E+00
Energia nao renovavel	MJ	4,80E+03	1,97E+03		6,77E+03	7,79E+00
Energia renovavel	MJ	3,28E+02	2,29E+00		3,31E+02	3,81E-01
Petroleo	kg	7,01E+01	4,75E+02		5,45E+02	6,28E-01
Carvão	kg	3,10E+00	4,53E-02		3,15E+00	3,62E-03
Gas natural	kg	3,67E+01	1,82E+01		5,49E+01	6,32E-02
Uranio	kg	4,41E-05	5,17E-06		4,93E-05	5,68E-08
Combustíveis renovaveis	kg	1,73E-02	0,00E+00		1,73E-02	1,99E-05
Reservas bioticas	kg	1,17E+00	8,17E-03		1,18E+00	1,36E-03
Rocha Fosfatica	kg	2,75E+02	0,00E+00		2,75E+02	3,16E-01
Rocha potassica	kg	5,83E+01	0,00E+00		5,83E+01	6,72E-02
Rocha metamorfica	kg	1,30E-01	0,00E+00		1,30E-01	1,50E-04
S elementar	kg	3,20E-03	0,00E+00		3,20E-03	3,68E-06
Materias secundarios	kg	7,78E+00	1,51E-03		7,78E+00	8,96E-03
Água	kg	8,37E+03	1,01E+03		9,38E+03	1,08E+01
Emissoes atmosfericas						
CO2	kg	-9,63E+02	1,71E+02	2,60E+03	1,81E+03	2,09E+00
CH4	kg	4,79E-01	1,12E+00	1,13E-01	1,71E+00	1,97E-03
CO	kg	4,14E-01	1,67E-01	4,36E+00	4,95E+00	5,69E-03
N2O	kg	2,09E-02	2,32E-04	1,04E-01	1,25E-01	1,44E-04
NH3	kg	1,85E-01	1,01E-11		1,85E-01	2,13E-04
NOx	kg	1,72E+00	8,68E-02	2,55E+01	2,73E+01	3,14E-02
COVNM	kg	6,21E-02	4,10E-01		4,72E-01	5,43E-04
Hidrocarbonetos	kg	5,55E-02	6,69E-03	2,88E-01	3,51E-01	4,04E-04
MP	kg	1,42E-01	5,89E-02	2,94E-01	4,95E-01	5,70E-04
SOx	kg	1,07E+00	1,81E-01	4,26E-02	1,29E+00	1,49E-03
H2S	kg	1,31E-05	8,92E-05		1,02E-04	1,18E-07
Metil carptano	kg	6,27E-07	4,27E-06		4,90E-06	5,64E-09
HCl	kg	5,58E-07	3,80E-06		4,36E-06	5,02E-09
Cl2	kg	5,28E-05	0,00E+00		5,28E-05	6,07E-08
Diclorometano	kg	7,39E-05	0,00E+00		7,39E-05	8,50E-08
HF	kg	6,24E-04	0,00E+00		6,24E-04	7,18E-07
Dimetil Eter	kg	2,27E-05	0,00E+00		2,27E-05	2,61E-08
Metanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	9,74E-01	0,00E+00		9,74E-01	1,12E-03
Radioatividade para o ar	KBq	2,60E+00	1,64E-02		2,62E+00	3,02E-03
Efluentes Liquidos						
Efluentes Liquidos	kg	6,36E+02	0,00E+00		6,36E+02	7,32E-01
DBO	kg	2,11E-03	1,43E-02		1,64E-02	1,89E-05
DQO	kg	1,29E-02	8,80E-02		1,01E-01	1,16E-04
Na+	kg	1,08E-03	6,96E-03		8,04E-03	9,26E-06
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg	1,53E-03	1,04E-02		1,19E-02	1,37E-05
(PO3)4-	kg	9,37E-01	0,00E+00		9,37E-01	1,08E-03
NO3-	kg	2,19E+00	0,00E+00		2,19E+00	2,53E-03
Hg	kg	6,01E-07	0,00E+00		6,01E-07	6,92E-10
Solidos dissolvidos totais	kg	4,37E+02	0,00E+00		4,37E+02	5,03E-01
Sólidos suspensos totais	kg	6,67E-03	4,53E-02		5,19E-02	5,98E-05
Hidrocarbonetos	kg	2,72E-04	8,44E-04		1,12E-03	1,28E-06
Óleos e graxas	kg	3,73E-05	0,00E+00		3,73E-05	4,29E-08
Compostos de nitrogenio	kg	5,69E-04	0,00E+00		5,69E-04	6,56E-07
Compostos de exofre	kg	7,67E-06	0,00E+00		7,67E-06	8,83E-09
Radioatividade para a água	KBq	4,02E+00	2,53E-02		4,05E+00	4,66E-03
Residuos solidos						
Residuos no solo	kg	3,57E+00	2,25E-02		3,59E+00	4,14E-03
Residuos de mineracao	kg	8,14E+01	0,00E+00		8,14E+01	9,37E-02
Residuos processuais	kg	2,85E+00	1,80E-02		2,87E+00	3,30E-03
Residuos solidos oleosos	kg	1,90E-02	1,24E-01		1,43E-01	1,65E-04
Catalisador usado	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg	2,67E-04	1,67E-03		1,94E-03	2,23E-06
Residuos nao especificados	kg	2,17E-08	1,49E-07		1,70E-07	1,96E-10
Total residuos solidos	kg	8,78E+01	1,66E-01	0,00E+00	8,80E+01	1,01E-01

(*) Sendo as densidades do óleo diesel e BMS, 852Kg/m3 e 884,8Kg/m3 respetivamente, 1000L da mistura B20 corresponde a 426 Kg de óleo diesel e 442,4 Kg de BMS.

APÊNDICE B31 INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO E USO DE B100 (ROTA METÍLICA)

		APÊNDICE B.22	APÊNDICE A.1	Total 1t de B100	Total 1kg de B100
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 1t de BMS (*)	Combustão do B100		
Energia total	MJ	1,16E+04		1,16E+04	1,16E+01
Energia nao renovavel	MJ	1,08E+04		1,08E+04	1,08E+01
Energia renovavel	MJ	7,43E+02		7,43E+02	7,43E-01
Petroleo	kg	1,58E+02		1,58E+02	1,58E-01
Carvão	kg	7,01E+00		7,01E+00	7,01E-03
Gas natural	kg	8,30E+01		8,30E+01	8,30E-02
Uranio	kg	9,97E-05		9,97E-05	9,97E-08
Combustíveis renovaveis	kg	3,91E-02		3,91E-02	3,91E-05
Reservas bioticas	kg	2,65E+00		2,65E+00	2,65E-03
Rocha Fosfatica	kg	6,21E+02		6,21E+02	6,21E-01
Rocha potassica	kg	1,32E+02		1,32E+02	1,32E-01
Rocha metamorfica	kg	2,95E-01		2,95E-01	2,95E-04
S elementar	kg	7,22E-03		7,22E-03	7,22E-06
Materias secundarios	kg	1,76E+01		1,76E+01	1,76E-02
Água	kg	1,89E+04		1,89E+04	1,89E+01
Emissoes atmosfericas					
CO2	kg	-2,18E+03	2,82E+03	6,41E+02	6,41E-01
CH4	kg	1,08E+00	7,42E-02	1,16E+00	1,16E-03
CO	kg	9,36E-01	3,62E+00	4,56E+00	4,56E-03
N2O	kg	4,72E-02	1,25E-01	1,73E-01	1,73E-04
NH3	kg	4,18E-01		4,18E-01	4,18E-04
NOx	kg	3,89E+00	3,08E+01	3,47E+01	3,47E-02
COVNM	kg	1,40E-01		1,40E-01	1,40E-04
Hidrocarbonetos	kg	1,25E-01	2,11E-01	3,37E-01	3,37E-04
MP	kg	3,21E-01	2,46E-01	5,67E-01	5,67E-04
SOx	kg	2,42E+00	0,00E+00	2,42E+00	2,42E-03
H2S	kg	2,96E-05		2,96E-05	2,96E-08
Metil carptano	kg	1,42E-06		1,42E-06	1,42E-09
HCl	kg	1,26E-06		1,26E-06	1,26E-09
Cl2	kg	1,19E-04		1,19E-04	1,19E-07
Diclorometano	kg	1,67E-04		1,67E-04	1,67E-07
HF	kg	1,41E-03		1,41E-03	1,41E-06
Dimetil Eter	kg	5,12E-05		5,12E-05	5,12E-08
Metanol	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Etanol	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ciclohexano	kg	2,20E+00		2,20E+00	2,20E-03
Radioatividade para o ar	KBq	5,89E+00		5,89E+00	5,89E-03
Efluentes Liquidos					
Efluentes Liquidos	kg	1,44E+03		1,44E+03	1,44E+00
DBO	kg	4,78E-03		4,78E-03	4,78E-06
DQO	kg	2,93E-02		2,93E-02	2,93E-05
Na+	kg	2,44E-03		2,44E-03	2,44E-06
K+	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Mg+2	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Cl-	kg	3,47E-03		3,47E-03	3,47E-06
(PO3)4-	kg	2,12E+00		2,12E+00	2,12E-03
NO3-	kg	4,96E+00		4,96E+00	4,96E-03
Hg	kg	1,36E-06		1,36E-06	1,36E-09
Solidos dissolvidos totais	kg	9,88E+02		9,88E+02	9,88E-01
Sólidos suspensos totais	kg	1,51E-02		1,51E-02	1,51E-05
Hidrocarbonetos	kg	6,16E-04		6,16E-04	6,16E-07
Óleos e graxas	kg	8,43E-05		8,43E-05	8,43E-08
Compostos de nitrogenio	kg	1,29E-03		1,29E-03	1,29E-06
Compostos de exofre	kg	1,73E-05		1,73E-05	1,73E-08
Radioatividade para a água	KBq	9,10E+00		9,10E+00	9,10E-03
Residuos solidos					
Residuos no solo	kg	8,07E+00		8,07E+00	8,07E-03
Residuos de mineracao	kg	1,84E+02		1,84E+02	1,84E-01
Residuos processuais	kg	6,45E+00		6,45E+00	6,45E-03
Residuos solidos oleosos	kg	4,30E-02		4,30E-02	4,30E-05
Catalisador usado	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos Inertes	kg	6,04E-04		6,04E-04	6,04E-07
Residuos nao especificados	kg	4,89E-08		4,89E-08	4,89E-11
Total residuos solidos	kg	1,98E+02	0,00E+00	1,98E+02	1,98E-01

		APÊNDICE B.21	APÊNDICE B.2	APÊNDICE D.1	Total 853,5 kg de B5	Total 1kg de B5
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 44,1 kg de BES (*)	Produção de 809,4kg de Diesel	Combustão do B5		
Energia total	MJ	7,32E+02	3,75E+03		4,48E+03	5,25E+00
Energia nao renovavel	MJ	5,42E+02	3,74E+03		4,29E+03	5,02E+00
Energia renovavel	MJ	1,90E+02	4,34E+00		1,95E+02	2,28E-01
Petroleo	kg	1,04E+01	9,03E+02		9,14E+02	1,07E+00
Carvão	kg	3,03E-01	8,61E-02		3,89E-01	4,55E-04
Gas natural	kg	4,10E-01	3,45E+01		3,49E+01	4,09E-02
Uranio	kg	8,80E-06	9,82E-06		1,86E-05	2,18E-08
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg	1,15E-01	1,55E-02		1,30E-01	1,52E-04
Rocha Fosfatica	kg	2,70E+01	0,00E+00		2,70E+01	3,17E-02
Rocha potassica	kg	5,84E+00	0,00E+00		5,84E+00	6,84E-03
Rocha metamorfica	kg	1,42E-02	0,00E+00		1,42E-02	1,66E-05
S elementar	kg	2,03E-02	0,00E+00		2,03E-02	2,38E-05
Materias secundarios	kg	7,25E-01	2,87E-03		7,28E-01	8,52E-04
Água	kg	1,21E+03	1,91E+03		3,13E+03	3,66E+00
Emissões atmosfericas						
CO2	kg	-1,00E+02	3,26E+02	2,70E+03	2,93E+03	3,43E+00
CH4	kg	7,95E-02	2,13E+00	1,84E-01	2,39E+00	2,80E-03
CO	kg	7,71E-01	3,17E-01	5,76E+00	6,85E+00	8,03E-03
N2O	kg	5,46E-03	4,41E-04	9,75E-02	1,03E-01	1,21E-04
NH3	kg	3,02E-02	1,91E-11		3,02E-02	3,54E-05
NOx	kg	2,00E-01	1,65E-01	2,39E+01	2,43E+01	2,85E-02
COVNM	kg	9,04E-03	7,78E-01		7,88E-01	9,23E-04
Hidrocarbonetos	kg	5,77E-03	1,27E-02	4,69E-01	4,88E-01	5,71E-04
MP	kg	1,83E-01	1,12E-01	3,84E-01	6,79E-01	7,96E-04
SOx	kg	1,61E-01	3,44E-01	8,09E-02	5,86E-01	6,87E-04
H2S	kg	2,04E-06	1,70E-04		1,72E-04	2,01E-07
Metil carptano	kg	9,23E-08	8,11E-06		8,20E-06	9,61E-09
HCl	kg	8,23E-08	7,22E-06		7,30E-06	8,56E-09
Cl2	kg	5,03E-06	0,00E+00		5,03E-06	5,89E-09
Diclorometano	kg	7,04E-06	0,00E+00		7,04E-06	8,25E-09
HF	kg	6,13E-05	0,00E+00		6,13E-05	7,19E-08
Dimetil Eter	kg	2,69E-06	0,00E+00		2,69E-06	3,15E-09
Metanol	kg	5,08E-09	0,00E+00		5,08E-09	5,95E-12
Etanol	kg	8,97E-06	0,00E+00		8,97E-06	1,05E-08
Ciclohexano	kg	9,29E-02	0,00E+00		9,29E-02	1,09E-04
Radioatividade para o ar	KBq	2,30E-01	3,12E-02		2,61E-01	3,06E-04
Efluentes Liquidos						
Efluentes Liquidos	kg	6,15E+01	0,00E+00		6,15E+01	7,21E-02
DBO	kg	3,09E-04	2,71E-02		2,74E-02	3,21E-05
DQO	kg	1,89E-03	1,67E-01		1,69E-01	1,98E-04
Na+	kg	1,59E-04	1,32E-02		1,34E-02	1,57E-05
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	2,39E-06	0,00E+00		2,39E-06	2,80E-09
Mg+2	kg	1,47E-05	0,00E+00		1,47E-05	1,73E-08
Cl-	kg	2,25E-04	1,97E-02		2,00E-02	2,34E-05
(PO3)4-	kg	8,97E-02	0,00E+00		8,97E-02	1,05E-04
NO3-	kg	2,09E-01	0,00E+00		2,09E-01	2,45E-04
Hg	kg	5,73E-08	0,00E+00		5,73E-08	6,72E-11
Solidos dissolvidos totais	kg	4,30E+01	0,00E+00		4,30E+01	5,03E-02
Sólidos suspensos totais	kg	9,74E-04	8,60E-02		8,70E-02	1,02E-04
Hidrocarbonetos	kg	5,47E-05	1,60E-03		1,66E-03	1,94E-06
Óleos e graxas	kg	3,29E-06	0,00E+00		3,29E-06	3,85E-09
Compostos de nitrogenio	kg	6,88E-05	0,00E+00		6,88E-05	8,06E-08
Compostos de exofre	kg	9,04E-06	0,00E+00		9,04E-06	1,06E-08
Radioatividade para a água	KBq	3,55E-01	4,82E-02		4,03E-01	4,73E-04
Residuos solidos						
Residuos no solo	kg	3,15E-01	4,27E-02		3,58E-01	4,19E-04
Residuos processuais	kg	8,00E+00	0,00E+00		8,00E+00	9,37E-03
Residuos de mineracao	kg	2,52E-01	3,41E-02		2,86E-01	3,35E-04
Enxofre	kg	2,75E-03	2,36E-01		2,39E-01	2,80E-04
Catalisador usado	kg	3,55E-03	0,00E+00		3,55E-03	4,16E-06
Residuos nao especificados	kg	6,38E-05	3,18E-03		3,24E-03	3,80E-06
Residuos Inertes	kg	9,50E-07	2,82E-07		1,23E-06	1,44E-09
Residuos solidos oleosos	kg	8,57E+00	3,16E-01		8,89E+00	1,04E-02
Total residuos solidos	kg	1,71E+01	6,32E-01	0,00E+00	1,78E+01	2,08E-02

(*) Sendo as densidades do óleo diesel e BES, 852Kg/m3 e 881,0Kg/m3 respetivamente, 1000L da mistura B5 corresponde a 809,4 Kg de óleo diesel e 44,1 Kg de BMS.

		APÊNDICE B.21	APÊNDICE B.2	APÊNDICE D.1	Total 855kg de B10	Total 1kg de B10
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 88,1 kg de BES (*)	Produção de 766,8kg de Diesel	Combustão do B10		
Energia total	MJ	1,46E+03	3,55E+03		5,02E+03	5,87E+00
Energia nao renovavel	MJ	1,08E+03	3,55E+03		4,63E+03	5,42E+00
Energia renovavel	MJ	3,81E+02	4,12E+00		3,85E+02	4,50E-01
Petroleo	kg	2,08E+01	8,56E+02		8,76E+02	1,03E+00
Carvão	kg	6,05E-01	8,16E-02		6,87E-01	8,03E-04
Gas natural	kg	8,21E-01	3,27E+01		3,35E+01	3,92E-02
Uranio	kg	1,76E-05	9,30E-06		2,69E-05	3,15E-08
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg	2,29E-01	1,47E-02		2,44E-01	2,85E-04
Rocha Fosfatica	kg	5,40E+01	0,00E+00		5,40E+01	6,32E-02
Rocha potassica	kg	1,17E+01	0,00E+00		1,17E+01	1,37E-02
Rocha metamorfica	kg	2,84E-02	0,00E+00		2,84E-02	3,32E-05
S elementar	kg	4,06E-02	0,00E+00		4,06E-02	4,75E-05
Materias secundarios	kg	1,45E+00	2,72E-03		1,45E+00	1,70E-03
Água	kg	2,42E+03	1,81E+03		4,24E+03	4,96E+00
Emissoes atmosfericas						
CO2	kg	-2,00E+02	3,09E+02	2,69E+03	2,80E+03	3,28E+00
CH4	kg	1,59E-01	2,02E+00	1,74E-01	2,35E+00	2,75E-03
CO	kg	1,54E+00	3,00E-01	5,59E+00	7,43E+00	8,69E-03
N2O	kg	1,09E-02	4,18E-04	9,82E-02	1,09E-01	1,28E-04
NH3	kg	6,04E-02	1,81E-11		6,04E-02	7,06E-05
NOx	kg	3,99E-01	1,56E-01	2,41E+01	2,46E+01	2,88E-02
COVNM	kg	1,81E-02	7,38E-01		7,56E-01	8,84E-04
Hidrocarbonetos	kg	1,15E-02	1,20E-02	4,44E-01	4,68E-01	5,47E-04
MP	kg	3,65E-01	1,06E-01	3,73E-01	8,44E-01	9,88E-04
SOx	kg	3,22E-01	3,26E-01	7,67E-02	7,25E-01	8,48E-04
H2S	kg	4,09E-06	1,61E-04		1,65E-04	1,93E-07
Metil carptano	kg	1,85E-07	7,68E-06		7,87E-06	9,21E-09
HCl	kg	1,65E-07	6,84E-06		7,00E-06	8,19E-09
Cl2	kg	1,01E-05	0,00E+00		1,01E-05	1,18E-08
Diclorometano	kg	1,41E-05	0,00E+00		1,41E-05	1,65E-08
HF	kg	1,23E-04	0,00E+00		1,23E-04	1,43E-07
Dimetil Eter	kg	5,38E-06	0,00E+00		5,38E-06	6,29E-09
Metanol	kg	1,02E-08	0,00E+00		1,02E-08	1,19E-11
Etanol	kg	1,79E-05	0,00E+00		1,79E-05	2,10E-08
Ciclohexano	kg	1,86E-01	0,00E+00		1,86E-01	2,17E-04
Radioatividade para o ar	KBq	4,60E-01	2,95E-02		4,89E-01	5,72E-04
Efluentes Liquidos						
Efluentes Liquidos	kg	1,23E+02	0,00E+00		1,23E+02	1,44E-01
DBO	kg	6,17E-04	2,57E-02		2,63E-02	3,08E-05
DQO	kg	3,79E-03	1,58E-01		1,62E-01	1,90E-04
Na+	kg	3,19E-04	1,25E-02		1,28E-02	1,50E-05
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	4,78E-06	0,00E+00		4,78E-06	5,59E-09
Mg+2	kg	2,95E-05	0,00E+00		2,95E-05	3,45E-08
Cl-	kg	4,50E-04	1,87E-02		1,91E-02	2,24E-05
(PO3)4-	kg	1,79E-01	0,00E+00		1,79E-01	2,10E-04
NO3-	kg	4,18E-01	0,00E+00		4,18E-01	4,89E-04
Hg	kg	1,15E-07	0,00E+00		1,15E-07	1,34E-10
Solidos dissolvidos totais	kg	8,59E+01	0,00E+00		8,59E+01	1,01E-01
Sólidos suspensos totais	kg	1,95E-03	8,15E-02		8,34E-02	9,76E-05
Hidrocarbonetos	kg	1,09E-04	1,52E-03		1,63E-03	1,90E-06
Óleos e graxas	kg	6,58E-06	0,00E+00		6,58E-06	7,69E-09
Compostos de nitrogenio	kg	1,38E-04	0,00E+00		1,38E-04	1,61E-07
Compostos de exofre	kg	1,81E-05	0,00E+00		1,81E-05	2,12E-08
Radioatividade para a água	KBq	7,11E-01	4,56E-02		7,56E-01	8,84E-04
Residuos solidos						
Residuos no solo	kg		4,05E-02		4,05E-02	4,74E-05
Residuos processuais	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos de mineracao	kg		3,23E-02		3,23E-02	3,78E-05
Enxofre	kg		2,23E-01		2,23E-01	2,61E-04
Catalisador usado	kg		0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Residuos nao especificados	kg		3,01E-03		3,01E-03	3,52E-06
Residuos Inertes	kg		2,67E-07		2,67E-07	3,13E-10
Residuos solidos oleosos	kg		2,99E-01		2,99E-01	3,50E-04
Total residuos solidos	kg	0,00E+00	5,98E-01	0,00E+00	5,98E-01	7,00E-04

(*) Sendo as densidades do óleo diesel e BES, 852Kg/m3 e 881,0Kg/m3 respetivamente, 1000L da mistura B10 corresponde a 766,8 Kg de óleo diesel e 88,1 Kg de BES.

APÊNDICE B34 INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO DE B15 (ROTA ETÍLICA)

		APÊNDICE B.21	APÊNDICE B.2	APÊNDICE D.1	Total 856,4kg de B15	Total 1kg de B15
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 132,2 kg de BES (*)	Produção de 724,2kg de Diesel	Combustão do B15		
Energia total	MJ	2,20E+03	3,35E+03		5,55E+03	6,48E+00
Energia nao renovavel	MJ	1,63E+03	3,35E+03		4,98E+03	5,81E+00
Energia renovavel	MJ	5,71E+02	3,89E+00		5,75E+02	6,71E-01
Petroleo	kg	3,12E+01	8,08E+02		8,39E+02	9,80E-01
Carvão	kg	9,08E-01	7,70E-02		9,85E-01	1,15E-03
Gas natural	kg	1,23E+00	3,09E+01		3,21E+01	3,75E-02
Uranio	kg	2,64E-05	8,79E-06		3,52E-05	4,11E-08
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg	3,44E-01	1,39E-02		3,58E-01	4,18E-04
Rocha Fosfatica	kg	8,10E+01	0,00E+00		8,10E+01	9,46E-02
Rocha potassica	kg	1,75E+01	0,00E+00		1,75E+01	2,05E-02
Rocha metamorfica	kg	4,26E-02	0,00E+00		4,26E-02	4,97E-05
S elementar	kg	6,09E-02	0,00E+00		6,09E-02	7,11E-05
Materias secundarios	kg	2,17E+00	2,57E-03		2,18E+00	2,54E-03
Água	kg	3,64E+03	1,71E+03		5,35E+03	6,25E+00
Emissoes atmosfericas						
CO2	kg	-3,00E+02	2,92E+02	2,68E+03	2,67E+03	3,12E+00
CH4	kg	2,38E-01	1,90E+00	1,65E-01	2,31E+00	2,69E-03
CO	kg	2,31E+00	2,84E-01	5,41E+00	8,01E+00	9,36E-03
N2O	kg	1,64E-02	3,95E-04	9,88E-02	1,16E-01	1,35E-04
NH3	kg	9,05E-02	1,71E-11		9,05E-02	1,06E-04
NOx	kg	5,99E-01	1,48E-01	2,43E+01	2,50E+01	2,92E-02
COVNM	kg	2,71E-02	6,97E-01		7,24E-01	8,45E-04
Hidrocarbonetos	kg	1,73E-02	1,14E-02	4,21E-01	4,50E-01	5,25E-04
MP	kg	5,48E-01	1,00E-01	3,62E-01	1,01E+00	1,18E-03
SOx	kg	4,83E-01	3,08E-01	7,24E-02	8,64E-01	1,01E-03
H2S	kg	6,13E-06	1,52E-04		1,58E-04	1,84E-07
Metil carptano	kg	2,77E-07	7,26E-06		7,54E-06	8,80E-09
HCl	kg	2,47E-07	6,46E-06		6,71E-06	7,83E-09
Cl2	kg	1,51E-05	0,00E+00		1,51E-05	1,76E-08
Diclorometano	kg	2,11E-05	0,00E+00		2,11E-05	2,47E-08
HF	kg	1,84E-04	0,00E+00		1,84E-04	2,15E-07
Dimetil Eter	kg	8,06E-06	0,00E+00		8,06E-06	9,42E-09
Metanol	kg	1,52E-08	0,00E+00		1,52E-08	1,78E-11
Etanol	kg	2,69E-05	0,00E+00		2,69E-05	3,14E-08
Ciclohexano	kg	2,79E-01	0,00E+00		2,79E-01	3,25E-04
Radioatividade para o ar	KBq	6,90E-01	2,79E-02		7,18E-01	8,38E-04
Efluentes Liquidos						
Efluentes Liquidos	kg	1,85E+02	0,00E+00		1,85E+02	2,16E-01
DBO	kg	9,26E-04	2,43E-02		2,52E-02	2,94E-05
DQO	kg	5,68E-03	1,50E-01		1,55E-01	1,81E-04
Na+	kg	4,78E-04	1,18E-02		1,23E-02	1,44E-05
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	7,17E-06	0,00E+00		7,17E-06	8,37E-09
Mg+2	kg	4,42E-05	0,00E+00		4,42E-05	5,17E-08
Cl-	kg	6,75E-04	1,76E-02		1,83E-02	2,14E-05
(PO3)4-	kg	2,69E-01	0,00E+00		2,69E-01	3,14E-04
NO3-	kg	6,27E-01	0,00E+00		6,27E-01	7,33E-04
Hg	kg	1,72E-07	0,00E+00		1,72E-07	2,01E-10
Solidos dissolvidos totais	kg	1,29E+02	0,00E+00		1,29E+02	1,51E-01
Sólidos suspensos totais	kg	2,92E-03	7,69E-02		7,99E-02	9,33E-05
Hidrocarbonetos	kg	1,64E-04	1,43E-03		1,60E-03	1,87E-06
Óleos e graxas	kg	9,87E-06	0,00E+00		9,87E-06	1,15E-08
Compostos de nitrogenio	kg	2,06E-04	0,00E+00		2,06E-04	2,41E-07
Compostos de exofre	kg	2,71E-05	0,00E+00		2,71E-05	3,17E-08
Radioatividade para a água	KBq	1,07E+00	4,31E-02		1,11E+00	1,29E-03
Residuos solidos						
Residuos no solo	kg	9,46E-01	3,82E-02		9,84E-01	1,15E-03
Residuos processuais	kg	2,40E+01	0,00E+00		2,40E+01	2,80E-02
Residuos de mineracao	kg	7,57E-01	3,05E-02		7,87E-01	9,19E-04
Enxofre	kg	8,24E-03	2,11E-01		2,19E-01	2,56E-04
Catalisador usado	kg	1,07E-02	0,00E+00		1,07E-02	1,24E-05
Residuos nao especificados	kg	1,92E-04	2,84E-03		3,03E-03	3,54E-06
Residuos Inertes	kg	2,85E-06	2,53E-07		3,10E-06	3,62E-09
Residuos solidos oleosos	kg	2,57E+01	2,83E-01		2,60E+01	3,04E-02
Total residuos solidos	kg	5,14E+01	5,65E-01	0,00E+00	5,20E+01	6,07E-02

(*) Sendo as densidades do óleo diesel e BES, 852Kg/m3 e 881,0Kg/m3 respetivamente, 1000L da mistura B15 corresponde a 724,2 Kg de óleo diesel e 132,2 Kg de BES.

		APÊNDICE B.21	APÊNDICE B.2	APÊNDICE D.1	Total 858kg de B20	Total 1kg de B20
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 176,2 kg de BES (*)	Produção de 681,6kg de Diesel	Combustão do B20		
Energia total	MJ	2,93E+03	3,16E+03		6,09E+03	7,10E+00
Energia nao renovavel	MJ	2,17E+03	3,15E+03		5,32E+03	6,20E+00
Energia renovavel	MJ	7,61E+02	3,66E+00		7,65E+02	8,92E-01
Petroleo	kg	4,16E+01	7,61E+02		8,02E+02	9,35E-01
Carvão	kg	1,21E+00	7,25E-02		1,28E+00	1,50E-03
Gas natural	kg	1,64E+00	2,90E+01		3,07E+01	3,58E-02
Uranio	kg	3,52E-05	8,27E-06		4,35E-05	5,07E-08
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg	4,58E-01	1,31E-02		4,71E-01	5,50E-04
Rocha Fosfatica	kg	1,08E+02	0,00E+00		1,08E+02	1,26E-01
Rocha potassica	kg	2,34E+01	0,00E+00		2,34E+01	2,72E-02
Rocha metamorfica	kg	5,67E-02	0,00E+00		5,67E-02	6,61E-05
S elementar	kg	8,11E-02	0,00E+00		8,11E-02	9,46E-05
Materias secundarios	kg	2,90E+00	2,42E-03		2,90E+00	3,38E-03
Água	kg	4,85E+03	1,61E+03		6,46E+03	7,53E+00
Emissoes atmosfericas						
CO2	kg	-4,00E+02	2,74E+02	2,67E+03	2,55E+03	2,97E+00
CH4	kg	3,18E-01	1,79E+00	1,54E-01	2,26E+00	2,64E-03
CO	kg	3,09E+00	2,67E-01	5,33E+00	8,68E+00	1,01E-02
N2O	kg	2,18E-02	3,71E-04	9,95E-02	1,22E-01	1,42E-04
NH3	kg	1,21E-01	1,61E-11		1,21E-01	1,41E-04
NOx	kg	7,98E-01	1,39E-01	2,44E+01	2,54E+01	2,96E-02
COVNM	kg	3,62E-02	6,56E-01		6,92E-01	8,06E-04
Hidrocarbonetos	kg	2,31E-02	1,07E-02	3,93E-01	4,27E-01	4,98E-04
MP	kg	7,30E-01	9,43E-02	3,59E-01	1,18E+00	1,38E-03
SOx	kg	6,44E-01	2,90E-01	6,82E-02	1,00E+00	1,17E-03
H2S	kg	8,17E-06	1,43E-04		1,51E-04	1,76E-07
Metil carptano	kg	3,69E-07	6,83E-06		7,20E-06	8,39E-09
HCl	kg	3,29E-07	6,08E-06		6,41E-06	7,47E-09
Cl2	kg	2,01E-05	0,00E+00		2,01E-05	2,34E-08
Diclorometano	kg	2,82E-05	0,00E+00		2,82E-05	3,28E-08
HF	kg	2,45E-04	0,00E+00		2,45E-04	2,86E-07
Dimetil Eter	kg	1,08E-05	0,00E+00		1,08E-05	1,25E-08
Metanol	kg	2,03E-08	0,00E+00		2,03E-08	2,37E-11
Etanol	kg	3,59E-05	0,00E+00		3,59E-05	4,18E-08
Ciclohexano	kg	3,71E-01	0,00E+00		3,71E-01	4,33E-04
Radioatividade para o ar	KBq	9,20E-01	2,62E-02		9,46E-01	1,10E-03
Efluentes Liquidos						
Efluentes Liquidos	kg	2,46E+02	0,00E+00		2,46E+02	2,87E-01
DBO	kg	1,23E-03	2,28E-02		2,41E-02	2,81E-05
DQO	kg	7,57E-03	1,41E-01		1,48E-01	1,73E-04
Na+	kg	6,38E-04	1,11E-02		1,18E-02	1,37E-05
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	9,56E-06	0,00E+00		9,56E-06	1,11E-08
Mg+2	kg	5,90E-05	0,00E+00		5,90E-05	6,88E-08
Cl-	kg	9,00E-04	1,66E-02		1,75E-02	2,04E-05
(PO3)4-	kg	3,59E-01	0,00E+00		3,59E-01	4,18E-04
NO3-	kg	8,36E-01	0,00E+00		8,36E-01	9,75E-04
Hg	kg	2,29E-07	0,00E+00		2,29E-07	2,67E-10
Solidos dissolvidos totais	kg	1,72E+02	0,00E+00		1,72E+02	2,00E-01
Sólidos suspensos totais	kg	3,89E-03	7,24E-02		7,63E-02	8,90E-05
Hidrocarbonetos	kg	2,19E-04	1,35E-03		1,57E-03	1,83E-06
Óleos e graxas	kg	1,32E-05	0,00E+00		1,32E-05	1,53E-08
Compostos de nitrogenio	kg	2,75E-04	0,00E+00		2,75E-04	3,21E-07
Compostos de exofre	kg	3,62E-05	0,00E+00		3,62E-05	4,22E-08
Radioatividade para a água	KBq	1,42E+00	4,05E-02		1,46E+00	1,70E-03
Residuos solidos						
Residuos no solo	kg	1,26E+00	3,60E-02		1,30E+00	1,51E-03
Residuos processuais	kg	3,20E+01	0,00E+00		3,20E+01	3,73E-02
Residuos de mineracao	kg	1,01E+00	2,87E-02		1,04E+00	1,21E-03
Enxofre	kg	1,10E-02	1,99E-01		2,10E-01	2,44E-04
Catalisador usado	kg	1,42E-02	0,00E+00		1,42E-02	1,66E-05
Residuos nao especificados	kg	2,55E-04	2,68E-03		2,93E-03	3,42E-06
Residuos Inertes	kg	3,80E-06	2,38E-07		4,04E-06	4,70E-09
Residuos solidos oleosos	kg	3,43E+01	2,66E-01		3,46E+01	4,03E-02
Total residuos solidos	kg	6,86E+01	5,32E-01		6,91E+01	8,06E-02

(*) Sendo as densidades do óleo diesel e BES, 852Kg/m3 e 881,0Kg/m3 respetivamente, 1000L da mistura B15 corresponde a 681,6 Kg de óleo diesel e 176,2 Kg de BES.

		APÊNDICE B.21	APÊNDICE B.2	APÊNDICE D.1	Total 866,5 kg de B50	Total 1kg de B50
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 440,5 kg de BES (*)	Produção de 426 kg de Diesel	Combustão do B50		
Energia total	MJ	7,32E+03	1,97E+03		9,30E+03	1,07E+01
Energia nao renovavel	MJ	5,42E+03	1,97E+03		7,39E+03	8,53E+00
Energia renovavel	MJ	1,90E+03	2,29E+00		1,91E+03	2,20E+00
Petroleo	kg	1,04E+02	4,75E+02		5,79E+02	6,69E-01
Carvão	kg	3,03E+00	4,53E-02		3,07E+00	3,54E-03
Gas natural	kg	4,10E+00	1,82E+01		2,23E+01	2,57E-02
Uranio	kg	8,80E-05	5,17E-06		9,31E-05	1,07E-07
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg	1,15E+00	8,17E-03		1,15E+00	1,33E-03
Rocha Fosfatica	kg	2,70E+02	0,00E+00		2,70E+02	3,12E-01
Rocha potassica	kg	5,84E+01	0,00E+00		5,84E+01	6,74E-02
Rocha metamorfica	kg	1,42E-01	0,00E+00		1,42E-01	1,64E-04
S elementar	kg	2,03E-01	0,00E+00		2,03E-01	2,34E-04
Materias secundarios	kg	7,25E+00	1,51E-03		7,25E+00	8,36E-03
Água	kg	1,21E+04	1,01E+03		1,31E+04	1,51E+01
Emissoes atmosfericas						
CO2	kg	-1,00E+03	1,71E+02	2,61E+03	1,78E+03	2,05E+00
CH4	kg	7,95E-01	1,12E+00	1,13E-01	2,03E+00	2,34E-03
CO	kg	7,71E+00	1,67E-01	3,14E+00	1,10E+01	1,27E-02
N2O	kg	5,46E-02	2,32E-04	1,03E-01	1,58E-01	1,83E-04
NH3	kg	3,02E-01	1,01E-11		3,02E-01	3,48E-04
NOx	kg	2,00E+00	8,68E-02	2,54E+01	2,75E+01	3,17E-02
COVNM	kg	9,04E-02	4,10E-01		5,00E-01	5,77E-04
Hidrocarbonetos	kg	5,77E-02	6,69E-03	2,88E-01	3,52E-01	4,06E-04
MP	kg	1,83E+00	5,89E-02	2,93E-01	2,18E+00	2,51E-03
SOx	kg	1,61E+00	1,81E-01	4,26E-02	1,83E+00	2,12E-03
H2S	kg	2,04E-05	8,92E-05		1,10E-04	1,27E-07
Metil carptano	kg	9,23E-07	4,27E-06		5,19E-06	5,99E-09
HCl	kg	8,23E-07	3,80E-06		4,62E-06	5,34E-09
Cl2	kg	5,03E-05	0,00E+00		5,03E-05	5,80E-08
Diclorometano	kg	7,04E-05	0,00E+00		7,04E-05	8,13E-08
HF	kg	6,13E-04	0,00E+00		6,13E-04	7,08E-07
Dimetil Eter	kg	2,69E-05	0,00E+00		2,69E-05	3,10E-08
Metanol	kg	5,08E-08	0,00E+00		5,08E-08	5,86E-11
Etanol	kg	8,97E-05	0,00E+00		8,97E-05	1,04E-07
Ciclohexano	kg	9,29E-01	0,00E+00		9,29E-01	1,07E-03
Radioatividade para o ar	KBq	2,30E+00	1,64E-02		2,32E+00	2,67E-03
Efluentes Liquidos						
Efluentes Liquidos	kg	6,15E+02	0,00E+00		6,15E+02	7,10E-01
DBO	kg	3,09E-03	1,43E-02		1,74E-02	2,00E-05
DQO	kg	1,89E-02	8,80E-02		1,07E-01	1,23E-04
Na+	kg	1,59E-03	6,96E-03		8,55E-03	9,87E-06
K+	kg	0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	2,39E-05	0,00E+00		2,39E-05	2,76E-08
Mg+2	kg	1,47E-04	0,00E+00		1,47E-04	1,70E-07
Cl-	kg	2,25E-03	1,04E-02		1,26E-02	1,46E-05
(PO3)4-	kg	8,97E-01	0,00E+00		8,97E-01	1,03E-03
NO3-	kg	2,09E+00	0,00E+00		2,09E+00	2,41E-03
Hg	kg	5,73E-07	0,00E+00		5,73E-07	6,62E-10
Solidos dissolvidos totais	kg	4,30E+02	0,00E+00		4,30E+02	4,96E-01
Sólidos suspensos totais	kg	9,74E-03	4,53E-02		5,50E-02	6,35E-05
Hidrocarbonetos	kg	5,47E-04	8,44E-04		1,39E-03	1,60E-06
Óleos e graxas	kg	3,29E-05	0,00E+00		3,29E-05	3,80E-08
Compostos de nitrogenio	kg	6,88E-04	0,00E+00		6,88E-04	7,94E-07
Compostos de exofre	kg	9,04E-05	0,00E+00		9,04E-05	1,04E-07
Radioatividade para a água	KBq	3,55E+00	2,53E-02		3,58E+00	4,13E-03
Residuos solidos						
Residuos no solo	kg	3,15E+00	2,25E-02		3,18E+00	3,66E-03
Residuos processuais	kg	8,00E+01	0,00E+00		8,00E+01	9,23E-02
Residuos de mineracao	kg	2,52E+00	1,80E-02		2,54E+00	2,93E-03
Enxofre	kg	2,75E-02	1,24E-01		1,52E-01	1,75E-04
Catalisador usado	kg	3,55E-02	0,00E+00		3,55E-02	4,10E-05
Residuos nao especificados	kg	6,38E-04	1,67E-03		2,31E-03	2,67E-06
Residuos Inertes	kg	9,50E-06	1,49E-07		9,64E-06	1,11E-08
Residuos solidos oleosos	kg	8,57E+01	1,66E-01		8,59E+01	9,91E-02
Total residuos solidos	kg	1,71E+02	3,32E-01		1,72E+02	1,98E-01

(*) Sendo as densidades do óleo diesel e BES, 852Kg/m3 e 881,0Kg/m3 respetivamente, 1000L da mistura B15 corresponde a 426Kg de óleo diesel e 440,5 Kg de BES.

APÊNDICE B37 INVENTÁRIO CONSOLIDADO PARA A PRODUÇÃO DE B100 (ROTA ETÍLICA)

		APÊNDICE B.21	APÊNDICE D.1	Total 1t de B100	Total 1kg de B100
Entradas/ Saídas	uni	Produção de 1ton de BES	Combustão do B100		
Energia total	MJ	1,66E+04		1,66E+04	1,66E+01
Energia nao renovavel	MJ	1,23E+04		1,23E+04	1,23E+01
Energia renovavel	MJ	4,32E+03		4,32E+03	4,32E+00
Petroleo	kg	2,36E+02		2,36E+02	2,36E-01
Carvão	kg	6,87E+00		6,87E+00	6,87E-03
Gas natural	kg	9,32E+00		9,32E+00	9,32E-03
Uranio	kg	2,00E-04		2,00E-04	2,00E-07
Combustíveis renovaveis	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Reservas bioticas	kg	2,60E+00		2,60E+00	2,60E-03
Rocha Fosfatica	kg	6,13E+02		6,13E+02	6,13E-01
Rocha potassica	kg	1,33E+02		1,33E+02	1,33E-01
Rocha metamorfica	kg	3,22E-01		3,22E-01	3,22E-04
S elementar	kg	4,61E-01		4,61E-01	4,61E-04
Materias secundarios	kg	1,65E+01		1,65E+01	1,65E-02
Água	kg	2,75E+04		2,75E+04	2,75E+01
Emissoes atmosfericas					
CO2	kg	-2,27E+03	2,83E+03	5,61E+02	5,61E-01
CH4	kg	1,80E+00	7,42E-02	1,88E+00	1,88E-03
CO	kg	1,75E+01	3,62E+00	2,11E+01	2,11E-02
N2O	kg	1,24E-01	1,25E-01	2,49E-01	2,49E-04
NH3	kg	6,85E-01		6,85E-01	6,85E-04
NOx	kg	4,53E+00	3,08E+01	3,53E+01	3,53E-02
COVNM	kg	2,05E-01		2,05E-01	2,05E-04
Hidrocarbonetos	kg	1,31E-01	2,11E-01	3,42E-01	3,42E-04
MP	kg	4,15E+00	2,46E-01	4,39E+00	4,39E-03
SOx	kg	3,66E+00	0,00E+00	3,66E+00	3,66E-03
H2S	kg	4,64E-05		4,64E-05	4,64E-08
Metil carptano	kg	2,10E-06		2,10E-06	2,10E-09
HCl	kg	1,87E-06		1,87E-06	1,87E-09
Cl2	kg	1,14E-04		1,14E-04	1,14E-07
Diclorometano	kg	1,60E-04		1,60E-04	1,60E-07
HF	kg	1,39E-03		1,39E-03	1,39E-06
Dimetil Eter	kg	6,10E-05		6,10E-05	6,10E-08
Metanol	kg	1,15E-07		1,15E-07	1,15E-10
Etanol	kg	2,04E-04		2,04E-04	2,04E-07
Ciclohexano	kg	2,11E+00		2,11E+00	2,11E-03
Radioatividade para o ar	KBq	5,22E+00		5,22E+00	5,22E-03
Efluentes Liquidos					
Efluentes Liquidos	kg	1,40E+03		1,40E+03	1,40E+00
DBO	kg	7,00E-03		7,00E-03	7,00E-06
DQO	kg	4,30E-02		4,30E-02	4,30E-05
Na+	kg	3,62E-03		3,62E-03	3,62E-06
K+	kg	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Ca+2	kg	5,43E-05		5,43E-05	5,43E-08
Mg+2	kg	3,35E-04		3,35E-04	3,35E-07
Cl-	kg	5,11E-03		5,11E-03	5,11E-06
(PO3)4-	kg	2,04E+00		2,04E+00	2,04E-03
NO3-	kg	4,75E+00		4,75E+00	4,75E-03
Hg	kg	1,30E-06		1,30E-06	1,30E-09
Solidos dissolvidos totais	kg	9,75E+02		9,75E+02	9,75E-01
Sólidos suspensos totais	kg	2,21E-02		2,21E-02	2,21E-05
Hidrocarbonetos	kg	1,24E-03		1,24E-03	1,24E-06
Óleos e graxas	kg	7,47E-05		7,47E-05	7,47E-08
Compostos de nitrogenio	kg	1,56E-03		1,56E-03	1,56E-06
Compostos de exofre	kg	2,05E-04		2,05E-04	2,05E-07
Radioatividade para a água	KBq	8,07E+00		8,07E+00	8,07E-03
Residuos solidos					
Residuos no solo	kg	7,16E+00		7,16E+00	7,16E-03
Residuos processuais	kg	1,82E+02		1,82E+02	1,82E-01
Residuos de mineracao	kg	5,73E+00		5,73E+00	5,73E-03
Enxofre	kg	6,24E-02		6,24E-02	6,24E-05
Catalisador usado	kg	8,07E-02		8,07E-02	8,07E-05
Residuos nao especificados	kg	1,45E-03		1,45E-03	1,45E-06
Residuos Inertes	kg	2,16E-05		2,16E-05	2,16E-08
Residuos solidos oleosos	kg	1,95E+02		1,95E+02	1,95E-01
Total residuos solidos	kg	3,89E+02		3,89E+02	3,89E-01