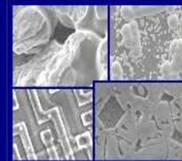




PUCRS

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

Faculdade de Engenharia
Faculdade de Física
Faculdade de Química



PGETEMA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UNIDADE PRODUTORA DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE FRITURA

FLÁVIO ORLANDIN

QUÍMICO INDUSTRIAL E LICENCIADO

Porto Alegre

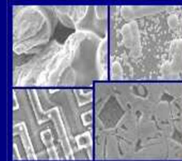
Março, 2013



PUCRS

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E
TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

Faculdade de Engenharia
Faculdade de Física
Faculdade de Química



PGETEMA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UNIDADE PRODUTORA DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE FRITURA

FLÁVIO ORLANDIN

QUÍMICO INDUSTRIAL E LICENCIADO

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCUS SEFERIN

COORDENADOR: PROF(a). Dr(a). ROSANE LIGABUE

Dissertação realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Tecnologia de Materiais.

**Porto Alegre
Março, 2013**



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
FACULDADE DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UNIDADE PRODUTORA DE BIODIESEL A PARTIR DE ÓLEO DE FRITURA

CANDIDATO: FLÁVIO ORLANDIN

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.



DR. MARCUS SEFERIN - ORIENTADOR



DRA. ROSANE ANGÉLICA LIGABUE - CO-ORIENTADORA

BANCA EXAMINADORA



DR. LUIZ ANTONIO MAZZINI FONTOURA - DO CURSO DE QUÍMICA - ULBRA



DR. FELIPE DALLA VECCHIA - DA FACULDADE DE ENGENHARIA - PUCRS



DRA. SANDRA MARA OLIVEIRA EINLOFT - DO PGETEMA/FENG - PUCRS

PUCRS

Campus Central
Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 30 - Sala 103 - CEP: 90619-900
Telefone: (51) 3353.4059 - Fax: (51) 3320.3625
E-mail: engenharia.pg.materials@pucrs.br
www.pucrs.br/feng

*Nem tão manso, nem mais
agressivo. Autêntico!*
(Ailton Orlandin)

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Zilda Pereira Orlandin, que sempre clareou minha mente em momentos de escuridão. Ao meu pai, Ailton Orlandin, que mesmo de longe, me fez enxergar quando eu insistia em permanecer com os olhos fechados.

À minha estimada família pela confiança sempre. Por apoiar, crer e me fazer acreditar nos meus objetivos.

Aos orientadores deste trabalho, Professor Doutor Marcus Seferin e Professora Doutora Rosane Ligabue pelo auxílio no desenvolvimento desta Dissertação.

Aos companheiros do Laboratório de Química Industrial, primeiramente pela companhia agradável, como também pelas tantas tardes cafeinadas, discussões enriquecedoras e comentários acalorados.

Aos bolsistas do Programa de Educação Tutorial Bruna Coelho, Pedro Rocha da Rocha, Vinícius Maciel e Victor Hugo Jaques Mendes dos Santos pelas colaborações ao longo dessa trajetória. Sem vocês o caminho das pedras teria mais... pedras.

Aos doutorandos Ronaldo Silvestre da Costa e Ir Miguel Orlandi pelo apoio e colaboração ao longo dessa trajetória.

Ao Finep – Promobio pelo apoio e colaboração na geração de informações imprescindíveis, que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho.

À Casa do Estudante Universitário Aparício Cora de Almeida – CEUACA – pelo acolhimento ao longo desses anos e aos seus moradores por proporcionarem indescritíveis tardes e/ou madrugadas regadas a Stones, Dylan, Cerveja, Doors, Janis, Vinho (das “grota”), Led, Beatles, Floyd...momentos de indescritível enriquecimento que certamente estão presentes nas entranhas deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
SUMÁRIO	6
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE QUADROS	14
LISTA DE SÍMBOLOS	15
LISTA DE SIGLAS	16
RESUMO	17
ABSTRACT	18
1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	21
2.1. Objetivos Específicos	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1. Principais insumos para produção de Biodiesel	22
3.1.1. Triglicerídeos e Ácidos graxos	22
3.1.2. Álcool	23
3.1.3. Catalisadores	23
3.1.4. Características do óleo de fritura	24
3.2. Esterificação e Transesterificação	25
3.3. Produção de biodiesel	25
3.3.1. Processos químicos	25
3.3.2. Processos industriais	28
3.4. Avaliação do Ciclo de Vida: contextualização	29
3.5. Estruturação de ACV	32
3.5.1. Definição de Objetivo	33
3.5.2. Definição de Escopo	33
3.5.3. Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)	33
3.5.3.1. Alocação	34
3.5.4. Avaliação do Impacto do ciclo de vida (AICV)	35
3.5.5. Categorias de Impacto utilizadas na avaliação de produção de biodiesel	37

3.5.5.1. Potencial de Aquecimento Global	38
3.5.5.2. Potencial de Acidificação	38
3.5.5.3. Depleção da Camada de Ozônio	38
3.5.5.4. Depleção de combustíveis fósseis	39
3.5.6. Interpretação do Ciclo de Vida	40
3.6. Considerações relevantes ao estudo de ACV para biodiesel	40
3.7. Modelagem de Cenários em ACV	41
3.7.1. Biodigestor	42
4. MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1. Definições para Avaliação da Unidade	43
4.1.1. Definição de objetivo e escopo	43
4.1.1.1. Objetivo	43
4.1.1.2. Escopo	43
4.1.2. Categorias de impacto	45
4.1.3. Método de cálculo e base de dados	45
4.2. Descrição geral da Usina	46
4.2.1. Bombas e resistências elétricas	46
4.2.1.1. Bombas	46
4.2.1.2. Sistemas de Aquecimento	49
4.2.2. Etapas de produção de Biodiesel	49
4.2.2.1. Etapa de coleta	49
4.2.2.2. Etapa de produção	50
4.2.3. Fluxograma geral	53
4.3. Características acerca dos materiais	55
4.3.1. Óleo de Fritura descartado	56
4.3.2. Álcool	56
4.3.3. Catalisador	57
4.3.4. Adsorvente	57
4.3.5. Papel filtro	57
4.3.6. Energia	57
4.3.7. Resíduo Orgânico	58
4.3.8. Torta	58
4.3.9. Glicerina	59

4.3.10. Biodiesel	59
4.3.11. Alocação	60
4.4. Cenários	60
4.4.1. Variação de cenários	61
4.4.1.1. Cenário 1	61
4.4.1.2. Cenário 2	61
4.4.1.3. Cenário 3	62
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
5.1. Impactos associados aos insumos	64
5.1.1. Metanol nacional	64
5.1.2. Metanol importado	64
5.1.3. Hidróxido de potássio nacional	66
5.1.4. Hidróxido de potássio importado	66
5.1.5. Silicato de magnésio	67
5.1.6. Papel filtro	68
5.2. Levantamento de dados	68
5.2.1. Construção da rota de coleta de óleo de fritura	69
5.2.2. Consumo de energia	70
5.3. Análise de Inventário	70
5.3.1. Balanço mássico	70
5.3.2. Balanço energético	71
5.4. Avaliação do impacto do ciclo de vida	72
5.4.1. Avaliação do Cenário 1	72
5.4.1.1. Mudanças Climáticas	72
5.4.1.2. Depleção do Ozônio	74
5.4.1.3. Acidificação Terrestre	76
5.4.1.4. Depleção dos Recursos Fósseis	78
5.4.1.5. Avaliação Geral do Cenário 1	80
5.4.2. Avaliação do Cenário 2	82
5.4.2.1. Mudanças Climáticas	82
5.4.2.2. Depleção do Ozônio	84
5.4.2.3. Acidificação Terrestre	86
5.4.2.4. Depleção dos Recursos Fósseis	87

5.4.2.5. Avaliação Geral do Cenário 2	89
5.4.3. Avaliação do Cenário 3	90
5.4.3.1. Mudanças Climáticas	92
5.4.3.2. Depleção do Ozônio	94
5.4.3.3. Acidificação Terrestre	95
5.4.3.4. Depleção de Recursos Fósseis	97
5.4.3.5. Avaliação Geral do Cenário 3	99
5.5. Discussão acerca dos diferentes cenários	101
6. CONCLUSÕES	105
6.1. Conclusões Específicas	105
6.2. Conclusões Gerais	106
7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	108
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS	114
APÊNDICES	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Estrutura química de: a) ácido carboxílico; b) triglicerídeo (R:cadeia lateral de Hidrocarbonetos).....	22
Figura 3.2: Reação de transesterificação (adaptado de Geris, 2007).....	25
Figura 3.3.3: Interações entre as indústrias e seu meio (adaptado de Chehebe, 2002).....	31
Figura 3.3.4: Produção de biodiesel a partir do óleo de soja (Cavalett, 2010).....	32
Figura 4.1: Escopo da ACV proposta pelo trabalho.	44
Figura 4.2: Funções desempenhadas pelas Bombas.	48
Figura 4.3: Fluxos da etapa de filtração	50
Figura 4.4: Fluxo material para produção da solução.	50
Figura 4.5: Fluxo material da transesterificação.....	51
Figura 4.6: Separação das fases leve e pesada.	51
Figura 4.7: Recuperação do metanol das fases pesada e leve.....	52
Figura 4.8: Fluxo de materiais durante a etapa de purificação do biodiesel.....	53
Figura 4.9: Visão global da produção de biodiesel.....	55
Figura 4.10: oferta interna de energia elétrica (Ministério de Minas e Energia, 2010).....	58
Figura 4.11: Cenário 2.....	62
Figura 4.12: Cenário 3.....	63
Figura 5.1: Emissões para Mudanças Climáticas de acordo com cada material ou utilidades.	74
Figura 5.2: Emissões para Depleção do Ozônio de acordo com cada material ou utilidades.	76

Figura 5.3: Emissões de substâncias que colaboram para o efeito de Acidificação Terrestre de acordo com cada material ou utilidades.....	77
Figura 5.4: Consumo de matérias que colaboram para a Depleção dos Recursos Fósseis de acordo com cada material ou utilidades.....	79
Figura 5.5: Comparação entre as emissões de cada categorias de impacto.	82
Figura 5.6: Emissões para Mudanças Climáticas de acordo com cada material ou utilidades.	84
Figura 5.7: Emissões para Depleção do Ozônio de acordo com cada material ou utilidades.	85
Figura 5.8: Emissões para Acidificação Terrestre de acordo com cada material ou utilidades	87
Figura 5.9: Emissões para Dep. Dos Rec. Fósseis de acordo com cada material ou utilidades.	89
Figura 5.10: Comparação entre as emissões de cada categorias de impacto.	90
Figura 5.11: Movimentação energética proposta para o cenário 3.....	91
Figura 5.12: Emissões para Mudanças Climáticas de acordo com cada material ou utilidades.	94
Figura 5.13: Emissões para Depleção do Ozônio de acordo com cada material ou utilidades.	95
Figura 5.14: Emissões para Acidificação Terrestre de acordo com cada material ou utilidades.	97
Figura 5.15: Emissões para Dep. Dos Rec. Fósseis de acordo com cada material ou utilidades.	99
Figura 5.16: Comparação entre as emissões de cada categorias de impacto.	101
Figura 8.1: Mapa completo ilustrando a rota seguida pelo caminhão na região metropolitana de Porto Alegre.....	119
Figura 8.2: Mapa ilustrando rota seguida pelo caminhão nos bairros de Porto Alegre	120
Figura 8.3: Mapa ilustrando rota seguida pelo caminhão na região central de Porto Alegre.....	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.3.1: Fatores de alocação mássica, energética e econômica (adaptado de Cavalett, 2008).....	35
Tabela 4.1: Bombas da unidade piloto: potência e função desempenhada.	47
Tabela 4.2: Alocação dos materiais de saída da unidade.	60
Tabela 5.1: Perfis de diferentes transportes de Metanol até a unidade produtora de biodiesel.....	65
Tabela 5.2: Perfis de diferentes transportes de KOH até a unidade produtora de biodiesel.	67
Tabela 5.3: Perfis de diferentes transportes de Silicato de Magnésio até a unidade produtora de biodiesel.....	67
Tabela 5.4: Relação entre os pontos de coleta e a massa percentual coletada.....	69
Tabela 5.5: Trechos e seus respectivos valores mássicos (acumulado) de acordo com a e distância.	69
Tabela 5.6: Balanço mássico com base no fluxo de referência.....	71
Tabela 5.7: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Mudanças Climáticas.	73
Tabela 5.8: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Depleção do Ozônio.....	74
Tabela 5.9: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Acidificação Terrestre.....	77
Tabela 5.10: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Depl. dos Rec. Fósseis.....	78
Tabela 5.11: Valores dos impactos ambientais referentes aos materiais utilizados para o cenário 1.	81
Tabela 5.12 : Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Aquecimento Global.....	83

Tabela 5.13: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Depleção do Ozônio.....	85
Tabela 5.14: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Acidificação Terrestre.....	86
Tabela 5.15: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Depl. dos Rec. Fósseis.....	88
Tabela 5.16: Valores dos impactos ambientais referentes aos materiais utilizados para o cenário 2.	89
Tabela 5.17: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Mudanças Climáticas.	92
Tabela 5.18 : Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Depleção do Ozônio.....	94
Tabela 5.19: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Acidificação Terrestre.....	96
Tabela 5.20: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Depl. dos Rec. Fósseis.....	98
Tabela 5.21: Valores dos impactos ambientais referentes aos materiais utilizados para o cenário 3.	100
Tabela 5.22: Reunião dos resultados totais das Mudanças Climáticas distribuídas entre os cenários.....	101
Tabela 5.23: Reunião dos resultados totais da Depleção do Ozônio distribuídas entre os cenários.....	102
Tabela 5.24: Reunião dos resultados totais da Acides Terrestre distribuídas entre os cenários.....	103
Tabela 5.25: Reunião dos resultados totais da Depleção de Resíduos Fósseis distribuídas entre os cenários.....	104
Tabela 8.1: Balanço mássico da primeira batelada considerada.	116
Tabela 8.2: Balanço mássico da segunda batelada considerada.....	116
Tabela 8.3: Fluxos energéticos das duas bateladas em questão.....	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.3.1: Características de algumas categorias de impacto (adaptado de ReCiPe 2008).....	37
Quadro 4.1: Fluxo de entrada, saída e criação de materiais durante o processo.	53
Quadro 8.1: Categorias de impacto contemplados pelo método ReCiPe 2008	114

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área	m ²
cv	Potência	cv
kg	Massa	kg
kWh	Consumo de Energia	kWh
MJ	Energia	Mj
ppt	Concentração	mg/kg
V	Volume	m ³
W	Energia	watt
Yr	Tempo	ano
\$	Cifra	\$
REM	Rotgen Equivalent Man	man
Sv	Silvert	J/kg

LISTA DE SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
AGL	Ácido Graxo Livre
B5	Diesel comercial com 5% de biodiesel
B100	Combustível substituto ao Diesel comercial composto por 100% de biodiesel
CA	Catalise Ácida
CB	Catálise Básica
GEE	Gases do Efeito Estufa
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
KOH	Hidróxido de Potássio
NaOH	Hidróxido de Sódio
OB	Óleo bruto
OF	Óleo filtrado
RQ	Reação Química
RT	Reação de transesterificação

RESUMO

ORLANDIN, Flávio. **Avaliação do Ciclo de Vida de Unidade Piloto de Produção de Biodiesel a partir do Óleo de Fritura**. Porto Alegre. 2013. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

Nesse trabalho foi realizado a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de Unidade Piloto de Produção de Biodiesel a partir de óleo de fritura. O escopo integra desde a etapa de coleta de óleo de fritura, extração e beneficiamento de insumos, até a produção do biodiesel. A unidade funcional escolhida foi a produção de 300kg de biodiesel. Para avaliação comparativa da atual estrutura da unidade foi elaborado cenários alternativos derivados da versão original da unidade. As categorias de impacto selecionadas para essa avaliação foram Potenciais de Mudanças Climáticas, Depleção do Ozônio, Acidificação Terrestre e Depleção de Recursos Fósseis. Visualizou-se que as variações dos cenários podem acarretar em impactos evitados e minimização de uso de materiais. Pôde-se observar também que a simples adição de processos alternativos pode colaborar com aumento das emissões. Também se pôde notar que as variações de cenários alteram valores internos da Avaliação do Ciclo de Vida e que os resultados finais podem esconder o que está acontecendo durante o processo. Com isso esse trabalho traz formas de minimizar os impactos da unidade produtora de biodiesel, embasando as escolhas em resultados e expressões numéricas, além de critérios ambientais.

Palavras-Chaves: ACV, Biodiesel, Óleo, Fritura.

ABSTRACT

ORLANDIN, Flávio. **Life Cycle Assessment of the Pilot Production of Biodiesel from frying oil**. Porto Alegre. 2013. Master Thesis. Graduation Program in Materials Engineering and Technology, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL.

The Life Cycle Assessment (LCA) of biodiesel pilot production from frying oil was performed. The scope includes from the collection stage of frying oil, extraction and processing of raw materials, to the production of biodiesel. The functional unit chosen was the production of 300kg of biodiesel. For comparative assessment of the current structure of the unit was developed alternative scenarios derived from the original version of the unit. The categories of impact selected for this evaluation were potential of climate change, ozone depletion, acidification and terrestrial depletion of fossil resources. Was visualized that variations of scenarios may result to impacts avoided and minimization of material use. Can be observed that the simple addition of alternative processes can collaborate with increase of emissions and variations of scenarios interchange internal values of Life Cycle Assessment and the final results may conceal what is happening during the process. Finally, this work brings ways to minimize the impacts of producing unit of biodiesel, basing choices on results and numerical expressions, in addition to environmental criteria.

Key-words: LCA, Biodiesel, Frying, Oil

1. INTRODUÇÃO

A matriz energética de muitos países está intimamente associada às fontes não renováveis de energia como petróleo, gás natural e carvão (Froehner, 2007). Tais fontes, utilizadas como combustíveis geram energia por meio de sua queima, ao passo que, simultaneamente, produzem substâncias que promovem impactos ambientais, como aquecimento global, eutrofização, acidificação, esgotamento de recursos naturais, dentre outros (Morais, 2010). Essa promoção de impactos associados a utilização de recursos fósseis é um dos motivos que levam ao aumento na busca por fontes renováveis de energia.

Na busca pela aplicação de recursos renováveis como potenciais substitutos dos recursos fósseis existe os biocombustíveis. Os óleos vegetais são uma matéria prima alternativa a substituição do óleo diesel, por exemplo (Van Gerpen, 2005; Canacki, 1999). Porém sua aplicação direta torna-se inviável, tendo, por isso, que ser submetido a processos químicos para torná-lo similar ao diesel derivado do petróleo (Froehner, 2007). O resultado desse processamento químico é o biodiesel, (B100), quimicamente definido como combustível composto de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais (Resolução ANP nº7, 2008). Porém, para isso é necessário que essas gorduras ou óleos reajam com álcool (Carraretto, 2004; Froehner, 2007; Ramos, 2008). Com isso, o biodiesel torna-se miscível no diesel em qualquer proporção, o que possibilita o uso de misturas de diesel e biodiesel (Carraretto, 2004).

O biodiesel, produzido a partir de diferentes óleos vegetais pode substituir o diesel em caldeiras e motores de combustão interna sem necessitar de maiores ajustes. A princípio a diferença entre os combustíveis é que o biodiesel promove

diminuição no desempenho devido ao menor poder calorífico, no entanto promove vantagens ambientais que podem superar as perdas de eficiência (Carraretto, 2004).

Com isso, para se caracterizar um material, produto ou serviço com sustentável, ou menos impactante ao meio ambiente é necessário realizar uma avaliação mais profunda. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) se ocupa de realizar estudar questões como essa de forma criteriosa e fundamentada. É sabido que plantas oleaginosas cultivadas com a única finalidade de gerar biodiesel promovem o aumento de custos do produto final. Sua etapa de cultivo pode agregar aumento de 75% no preço final devido aos gastos com fertilizantes, pesticidas, diesel, resultando em biodiesel cerca de uma vez e meia mais caro que o diesel (Phan, 2008). Fluxos de entrada como os citados fazem parte do estudo de ACV e são necessárias para responder o quão ambientalmente vantajoso ambientalmente se faz o material ou serviço em estudo.

Da mesma forma, com auxílio da ACV, é possível observar que as matérias primas para a produção do biodiesel pode representar 85% dos custos da produção (Canacki, 2007; Encinar, 2011). O uso de óleo de fritura sinaliza uma queda nos custos, podendo ainda ser encarada como uma proposta de reuso desse material (Dias, 2009; Encinar, 2011).

Dessa forma, avaliar os impactos causados pela produção de biodiesel é algo que deve ser feito para se verificar e avaliar a efetiva redução dos impactos ambientais associadas a toda a cadeia produtiva desse biocombustível.

Dentro deste contexto, este trabalho apresenta um estudo de ACV da produção de biodiesel a partir do óleo de fritura em escala piloto. Ele buscou comparar as emissões dentre diferentes cenários elaborados com o intuito de responder questões relacionadas ao real potencial ambiental positivo do biodiesel, no sentido geral, como também focada ao biodiesel produzido a partir do óleo de fritura.

2. OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo principal avaliar o impacto ambiental da operação de um sistema de produção de biodiesel a partir de óleo de cocção descartado, empregando a metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV).

2.1. Objetivos Específicos

Como objetivos específicos foram pautados as seguintes questões:

- Realizar ACV da produção do biodiesel de usina piloto a partir do óleo de fritura descartado;
- Propor cenários que contemplem a melhoria ambiental da unidade;
- Modelar vínculos entre o fluxo de massas e energia para diferentes fases do sistema de processo;
- Desenhar rotas de coleta de óleo de fritura e avaliar sua influência no desempenho ambiental do sistema;
- Otimizar fluxos de materiais e energia para o processo de forma a incrementar o desempenho ambiental.
- Identificar os pontos críticos do sistema para minimizar seus impactos;
- Identificar pontos para realocação ou reaproveitamento de materiais ou resíduos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Principais insumos para produção de Biodiesel

Para a produção de biodiesel se faz necessário o envolvimento de matérias primas, substâncias químicas e estruturação laboratorial ou industrial para se realizar as devidas transformações. A seguir têm-se aprofundamentos relacionados aos insumos e à estrutura necessária para a produção de biodiesel.

3.1.1. Triglicerídeos e Ácidos graxos

Os triglicerídeos, mostrado na Figura 3.1, são aglomerados de ácidos graxos (ácido carboxílico) ligados em glicerol. Os ácidos graxos são encontrados como ésteres de glicerol, ou, também chamado, triglicerídeos. Podem ter origem vegetal (soja, amendoim, girassol, mamona, dentre outros) ou animal (sebo bovino, gordura de piscicultura, gordura de aviários) (Solomons, 2002; Vollhardt, 2004).

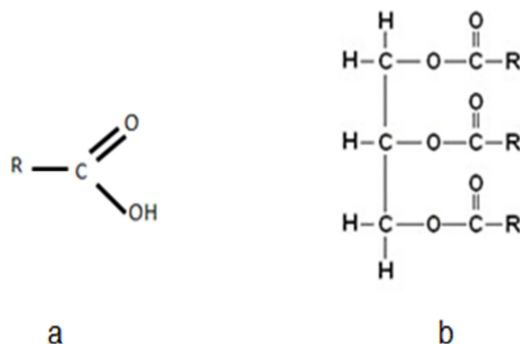


Figura 3.1: Estrutura química de: a) ácido carboxílico; b) triglicerídeo (R:cadeia lateral de Hidrocarbonetos).

Os ácidos graxos podem encontrar-se dispersos no conteúdo lipídico e são esses ácidos graxos livres (AGL) que conferem acidez ao óleo e interferem na catálise básica (Canacki, 1999).

3.1.2. Álcool

Diversos alcoóis podem ser utilizados para produção de biodiesel, dentre eles etanol, propanol, butanol, pentanol, etc. (Van Gerpen, 2005). No entanto o mais recomendado é o metanol (Van Gerpen, 2005; Dias, 2009; Canacki, 2007; Encinar, 2011). Após o término da reação, tem-se o biodiesel e a glicerina bruta. A criação das respectivas fases desse constituintes é espontânea e a separação delas faz parte do processo de produção de biodiesel.

Após isso, é necessário realizar a remoção do álcool excedente e posterior purificação do biodiesel. O álcool utilizado tem importância nessa etapa de separação pelo fato de facilitar a formação das tais fases (biodiesel e a glicerina), e posterior remoção do excedente de álcool do meio reacional. Geralmente o metanol confere a facilidade em se obter as fases com nitidez e possibilitar a separação precisa das mesmas (Van Gerpen, 2005).

3.1.3. Catalisadores

A reação convencional para produção de biodiesel é a transesterificação (item 3.2) feita com auxílio de catalisador alcalino. Porém a mesma reação pode se dar também com uso de catalisador ácido. Para a catálise ácida usa-se, geralmente, ácido sulfúrico (H_2SO_4) e para a catálise básica o hidróxido de sódio (NaOH) ou hidróxido potássio (KOH). Ultimamente, na indústria, vem sendo aumentando bastante a utilizando a solução catalítica pronta, o metóxido, que é a mistura de álcool e catalisador nas proporções desejadas. Para ambas as vias, a matéria-prima (triglicerídeo) não pode ter alto teor de água e AGL (Canacki, 2007; Van Gerpen, 2005).

Em matérias-primas com alto teor de AGL, que confere acidez ao material, é necessário realizar o pré-tratamento fazendo uso da catálise ácida (CA),

principalmente em matérias primas residuais, como óleo de cocção (Van Ggerpen, 2005). O pré-tratamento ácido age apenas nos ácidos carboxílicos, os AGL. O pré-tratamento nada mais é que uma catálise ácida, porém com menor quantidade de catalisador, com quantidade adequada para interagir apenas com os AGL. Geralmente o pré-tratamento é utilizado anteriormente à catálise básica (CB) e reage principalmente com os AGL.

3.1.4. Características do óleo de fritura

Óleos, quando submetidos ao processo de fritura, estão em contato com altas temperaturas e oxigênio. Essa combinação promove reações químicas como hidrólise, polimerização e oxidação. Particularmente a oxidação resulta no aumento de AGL, porém todas essas reações químicas levam a variação das propriedades físicas e químicas do material (Araújo, 2004; Canacki, 2007). Os teores de AGL aumentam devido a hidrólise dos triglicerídeos, na presença da umidade dos alimentos e também reação de oxidação (Canacki, 2007).

Óleo de soja submetido por 70h ao aquecimento a 190°C tem seu teor de acidez alterado de 0,4% para 1,5% (m/m). A viscosidade também aumenta devido a polimerização, que altera o peso molecular dos componentes (Canacki, 2007).

Por sua própria natureza o óleo de fritura tem certa variabilidade de características, quanto a índice de acidez e umidade (oriundas do alimento), o que impõe ao processo de produção de biodiesel, a partir dessa matéria prima, certa robustez, o suficiente para que se alcance toda variabilidade (Canacki, 2007).

Óleo descartado tem geralmente entre 2 e 7% (m/m) de AGL enquanto gordura animal tem entre 5 e 30% (m/m). Tais teores são o principal problema para que essa matéria-prima seja adequada para conversão em biodiesel, usando a CB, pois certamente haverá formação de sabão. Por exemplo, para produção de biodiesel a partir de sebo bovino é necessário baixar a acidez para 0,5% (Ma, 1998).

3.2. Esterificação e Transesterificação

Existem diversas reações que resultam em ésteres. Uma delas é a partir de ácidos carboxílicos oriundos da reação entre estes ácidos e alcoóis. Porém a simples mistura dessas substâncias, em temperatura ambiente, não promove a formação de éster em velocidade conveniente. É necessária a adição de catalisadores para o aceleração da reação. Catalisadores minerais (ácido ou base) são utilizados em conjunto com a elevação na temperatura para o processo da reação que, além do éster, resulta na formação também de água. Tal reação é chamada de esterificação (Vollhardt, 2004).

Em termos gerais, a transesterificação é a transformação de um éster em outro. Os triglicerídeos nada mais são que ésteres ligados ao glicerol que após a reação de transesterificação se transformam em éster de estrutura química menor (Vollhardt, 2004). Geralmente se usa excesso de álcool na reação, tendo o álcool como insumo e solvente ao passo que desloca o equilíbrio da reação para o lado de formação dos ésteres. A Figura 3.2 apresenta o equacionamento químico da reação de transesterificação.

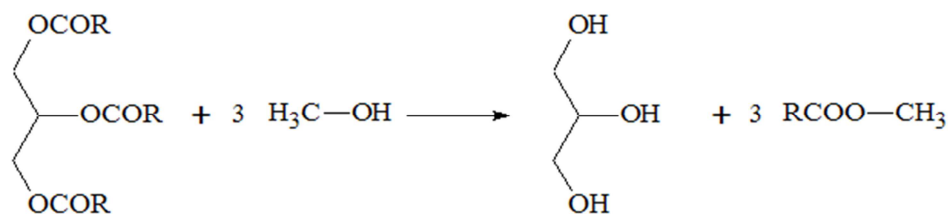


Figura 3.2: Reação de transesterificação (adaptado de Geris, 2007).

3.3. Produção de biodiesel

3.3.1. Processos químicos

A proporção molar de 6:1 de metanol para óleo vegetal é suficiente para que a produção de biodiesel se processe em apenas uma etapa, quando se faz uso da catálise básica (Freedman, 2004; Encinar, 2011). Porém quando se tem matéria-

prima com teores de acidez superiores a 4% a catálise básica pode ser comprometida. A acidez age desativando o catalisador básico (Freedman, 1984).

Quando a acidez se encontra a teores inferiores a 0,5%, é possível conduzir a reação em 1h, utilizando e hidróxido de sódio como catalisador. Dessa forma o rendimento alcança valores superiores a 80% (Canacki, 1999). Também compostos que obtenham fósforo comprometem o rendimento da reação quando sua concentração está acima de 50ppm (Van Gerpen, 2005). O fósforo advém dos fosfolipídios dos óleos vegetais. Porém óleo de soja para consumo doméstico é refinado, contendo quantidades ínfimas desse componente, pois é removido pelas indústrias extratoras de óleo, sendo eliminada junto com a lecitina.

A proporção entre álcool e óleo vegetal é um importante fator da reação. Porém o teor de AGL influencia no rendimento da reação mais que a proporção entre esses constituintes. Em óleos de fritura (acidez em torno de 4%) a catálise ácida e/ou básica pode ser usada, com algumas atenções a alguns fatores. Assim utilizando gordura animal com acidez variando entre 4 e 14% m/m, Encinar et.al. (2011) considerou dois métodos para produção de biodiesel: i) produção de biodiesel feita em uma etapa, com esterificação ácida utilizando ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ii) produção em duas etapas, com pré-tratamento (catálise ácida) seguido de transesterificação básica com hidróxido de potássio (KOH) (Encinar, 2011).

Encinar (2011) concluiu que alta quantidade de catalisador é necessária para alta conversão. Com acidez em 10% usou-se 3% de ácido sulfúrico e tempo de 48h e dessa forma pode se ter a maior conversão, em torno de 90%. No andamento da reação há a formação de água, componente pelo qual o catalisador ácido tem afinidade, existindo a tendência de que o catalisador passe a fase aquosa e a reação resulta em diminuição de sua eficiência, ou seja, o surgimento de água, gerado pela própria reação, influencia no rendimento (Encinar, 2011).

A reação em duas etapas deve ser conduzida utilizando os seguintes parâmetros: para a primeira etapa (pré-tratamento e CB), uso de 0,5% H_2SO_4 m/m, proporção molar álcool:óleo de 6:1, temperatura de reação de 65°C e tempo de 2h.

Para a segunda etapa, tempo 1h e 1% de catalisador. (Encinar, 2011) com as demais condições da etapa anterior de temperatura e proporção molar.

Dependendo da situação em que se encontra o processo de produção de biodiesel, também é possível misturar óleos residuais com óleo de soja para se alcançar teores mais adequados de índice de acidez da matéria-prima. Nesse caso, também pode ser realizado o pré-tratamento seguida da CB. No trabalho de Dias, utilizando óleo residual com acidez 7,3% m/m e do óleo de soja com 0,1% (massa) (2009), o pré-tratamento, promoveu-se a temperatura de 55°C com 2% m/m de catalisador (H_2SO_4), 5h de reação e 6:1 em mol de metanol para a gordura animal. A CB ocorreu a 65°C, 1% hidróxido de sódio (NaOH) e proporção molar de 6:1 de metanol:gordura animal. O processo resultou em rendimento de 70% (Dias, 2009).

Diferente da CB, onde, na reação de transesterificação, as proporções de álcool: triglicerídeo é de 6 mols de álcool para 1 mol de triglicerídeo, para CA são necessárias quantidades maiores de álcool, que pode chegar a valores entre 15 e 35 mols (Freedman, 1984).

Para a produção de Biodiesel através de óleo de fritura descartado, Morais (2010) conduziu a reação da seguinte forma: para matéria-prima com 6% de AGL, o pré-tratamento foi feito utilizando proporção molar de álcool para triglicerídeo de 6:1, 5% (massa) de catalisador ácido (H_2SO_4), temperatura de 73°C, resultando em conversão de 95%. Para a transesterificação utilizou-se proporção molar álcool:triglicerídeo idêntica a etapa de esterificação, além de 1% de catalisador básico (KOH) e temperatura de 63°C. A reação foi conduzida por 2h (Morais, 2010).

Para o processo de produção de biodiesel utilizado apenas catálise ácida a reação pode ser conduzida a 80°C e proporção de triglicerídeo:metanol:catalisador de 1:50:1,3. Com isso teve-se conversão de 97% na reação em 4h, com coluna de separação de metanol por destilação. Tais condições revelam-se adequadas para os processamentos em duas etapas (Morais, 2010).

Após a reação, é necessária purificação do produto às normas legais para que possa ser comercialização ou adequado a queima em motores mesmo em frota

cativa para que não agrida o mesmo. Essa purificação pode ser realizada de diversas formas, dentre elas existe a opção da chamada lavagem úmida, com auxílio de água ou lavagem seca, com uso de adsorventes (Faccini, 2008; Orlandin, 2010).

A lavagem úmida é realizada com água que deve ser levemente acidificada, quando a catálise empregada for a básica, geralmente adicionando ácido fosfórico (H_3PO_4) em percentuais entre 5 e 10% em massa e é a mais utilizada pelas indústrias. É muito eficiente, neutralizando o meio, no entanto gera grande quantidade de efluentes (Faccini, 2008).

A lavagem seca faz uso de adsorventes em proporções entre 1 e 2% em massa do constituinte da reação, necessita de aquecimento e agitação e também é eficiente na eliminação de impurezas (Faccini, 2008; Orlandin, 2010). Estudos mostraram que, quando se utiliza o Magnesol[®] como material adsorvente, o mesmo pode ser reaproveitado e reutilizado pelo processo, porém com leve diminuição da eficiência. Não há trabalhos que explanem sobre reaproveito de Magnesol[®] e número de vezes que pode ser reutilizado (Orlandin, 2010).

3.3.2. Processos industriais

A Figura 3.3 mostra um fluxograma para a produção de biodiesel (Van Gerpen, 2005). Álcool, catalisador e triglicerídeo são combinados em reator e agitado por 1h a 60°C e após a reação é previsto a separação de metanol para reuso em outro processo. Ela apresenta-se de forma similar a unidade de produção de biodiesel a qual foi realizada esta ACV.

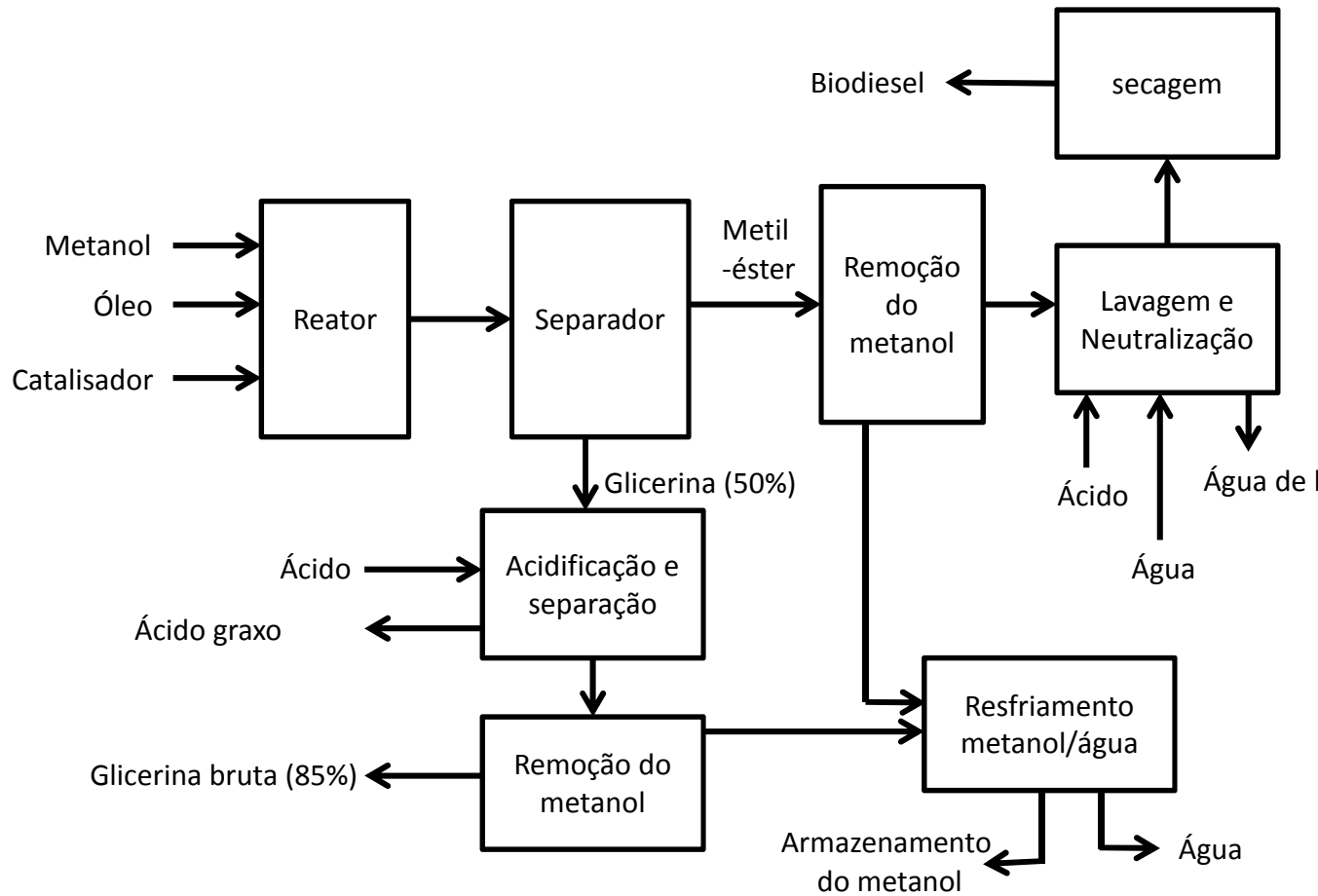


Figura 3.3: Fluxograma de produção de biodiesel (adaptado de Van Gerpen, 2005).

Na figura são mostradas as etapas mais significativas de produção de biodiesel. O exemplo mostra o momento pelo qual é utilizado o processo de lavagem úmida, assim como as etapas de separação das substâncias, remoção de excesso de metanol, dentre outras.

3.4. Avaliação do Ciclo de Vida: contextualização

Toda e qualquer movimentação industrial promove efeitos sobre o ambiente. Embora alguns efeitos sejam mais difíceis de observar, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) considera não somente os efeitos diretos, mas também os efeitos indiretos sofridos pela natureza (Hunt, 1992).

Estudos que buscaram a compreensão dessas interações começaram a ser desenvolvidos no fim da década de 60, tiveram alguns impulsos no início da década

seguinte, mas sua aplicação em trabalhos científicos caiu em desuso no final da década de 70 (Hunt, 1992).

Originalmente chamava-se de *research and environmental profile analysis* (REPA), constantes ajustes foram sendo realizados ao longo dos anos, até ser concebido como *Life Cycle Assessment* (LCA) no final da década de 90 (Hunt, 1992). O que contribuiu para esse fato foi o desenvolvimento de trabalhos mais aprofundados, amparados pela metodologia da ACV, tornando mais clara a detecção de etapas ou processamentos de potenciais promotores de impactos ambientais (Almeida, 2007).

As indústrias interagem com os diferentes componentes da biosfera. Dessa forma vão se depositando no meio ambiente, materiais nocivos. Tais envolvimento estão representados pela Figura 3.3.3 (Chehebe, 2002) a seguir.

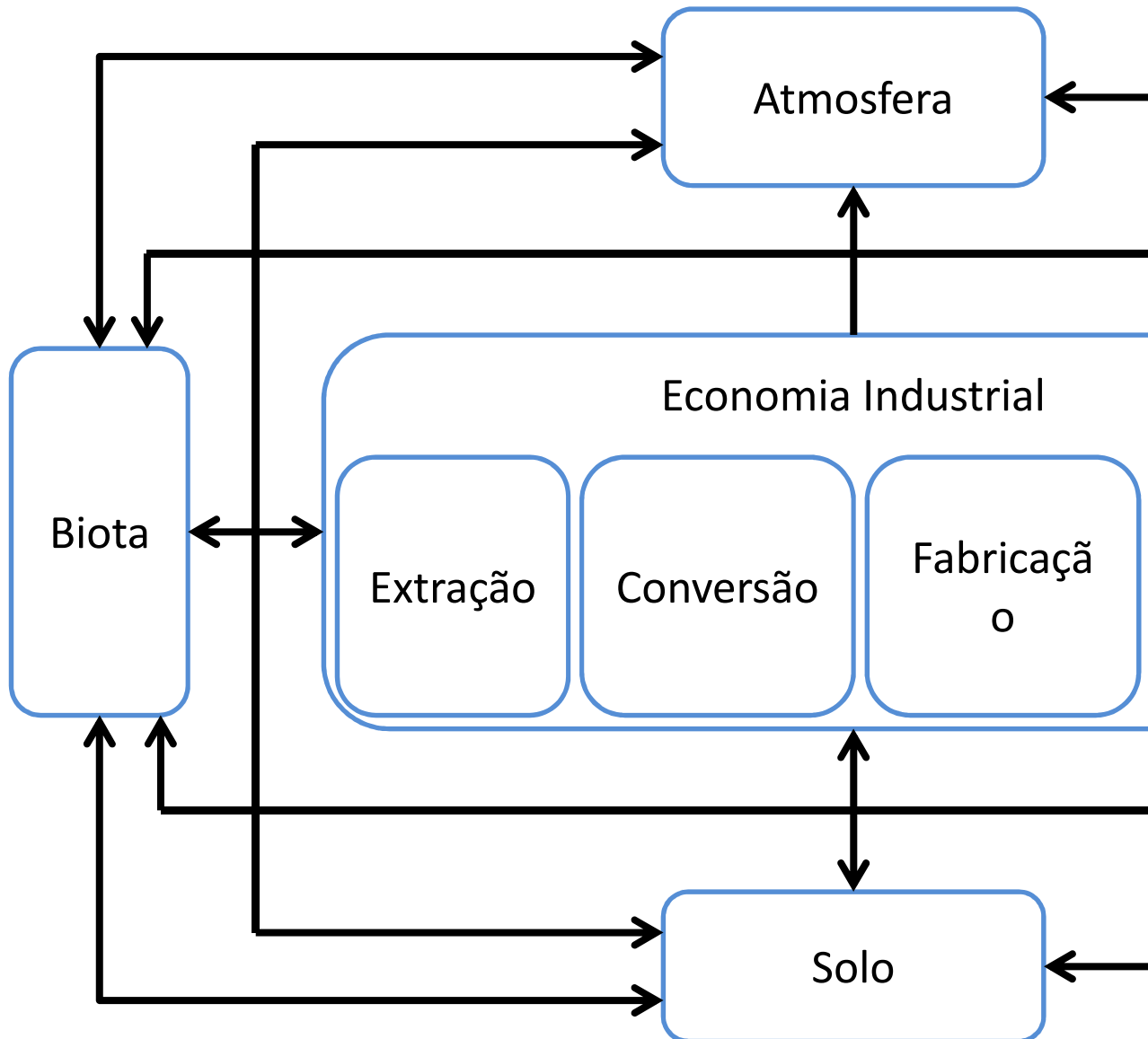


Figura 3.3.3: Interações entre as indústrias e seu meio (adaptado de Chehebe, 2002).

Após as indústrias compreenderem as interações mostradas na figura anterior e se situarem numa dinâmica ambiental, lançando uso da ACV, podem implementar, como *marketing* de suas empresas, o chamado Selo Verde ou Rótulo Ambiental. O estudo pode ser conduzido de forma global, considerando como impactos associados ao produto desde a exploração dos recursos para geração de matéria prima, fabricação do produto final, seu uso e descarte. Esses estudos são chamados de avaliação berço ao túmulo e levam as empresas a entenderem melhor seus processos e gerenciarem o ciclo de vida de seus produtos.

Porém, a princípio, as empresas usavam tais argumentos visando a autodefesa dos ataques promovidos por órgãos ambientais, no intuito de defenderem seus produtos e sua manutenção no mercado. Ao mesmo tempo esses estudos acabam por encorajar as empresas a realizarem as possíveis alterações processuais, pois possibilitam a identificação de gargalos processuais embasados em suporte técnico e científico. A metodologia de ACV também mostra outro enfoque, fora do enfoque tradicional *end-of-pipe*, por considerar as várias fases do sistema de forma mais detalhada (Chehebe, 1997).

Com o auxílio da Figura 3.3.4 pode-se ver as entradas naturais e comerciais de cada etapa do processo, recursos, assim como saída do produto final, contabilizando todos os fluxos materiais e energéticos envolvidos no processo de produção (Cavalett, 2010).

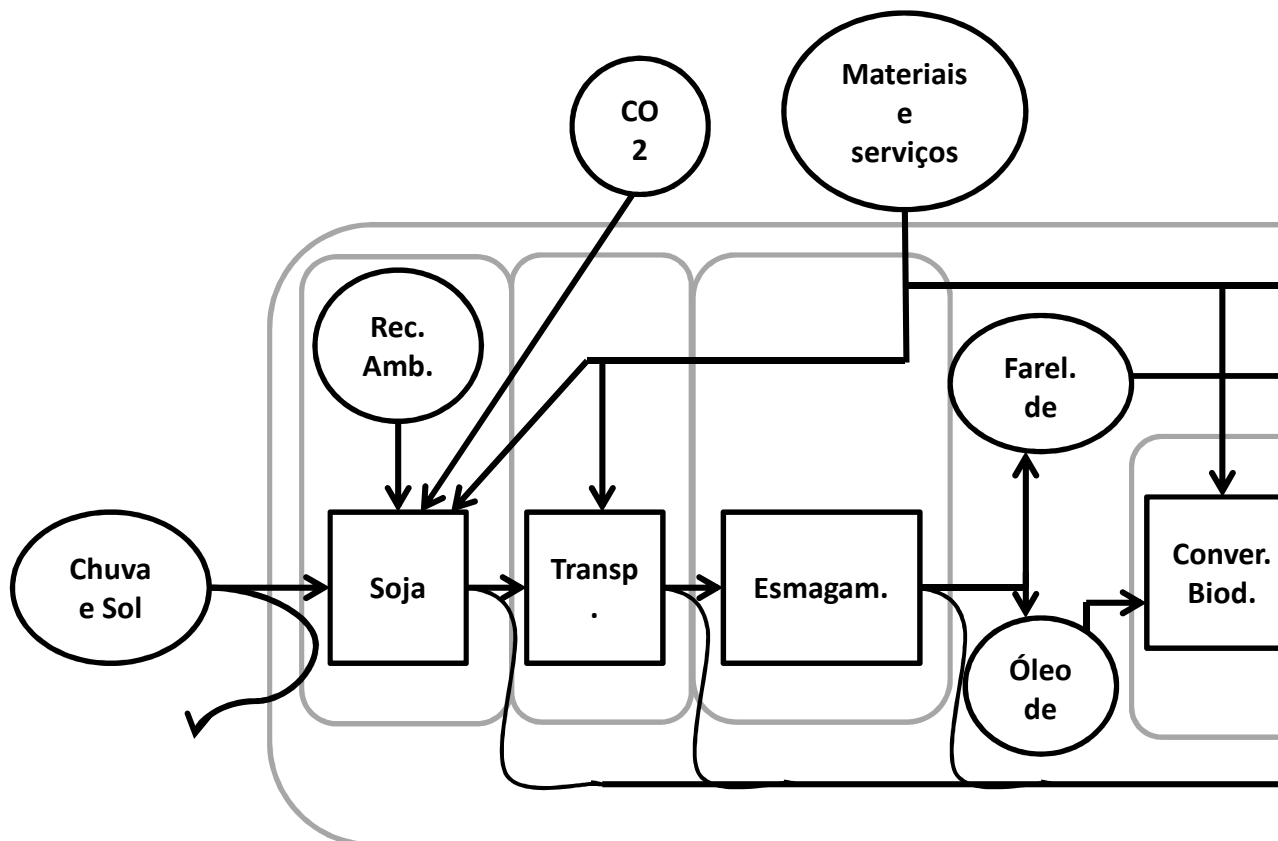


Figura 3.3.4: Produção de biodiesel a partir do óleo de soja (Cavalett, 2010).

3.5. Estruturação de ACV

3.5.1. Definição de Objetivo

Segundo a norma ABNT NBR ISO 14044 (2009), nessa fase deve se esclarecer o que é pretendido com o estudo e suas razões. De certa forma pode conter também a quem se direcionará seus resultados.

3.5.2. Definição de Escopo

Nessa etapa, devem-se apresentar as abrangências do estudo. Dentro da definição de escopo, define-se a função do processo em estudo, a unidade funcional (fluxo ao qual irá se remeter os impactos), as fronteiras do sistema e a alocação de materiais para distribuição dos impactos ambientais. A partir dessas informações se desenvolverão todas as associações e relações necessárias. As categorias de impactos deverão ser definidas já nessa fase também.

No desenvolvimento dessas questões, após definição da função, deve se atribuir valor a unidade funcional. A unidade funcional é a referência que guia as entradas e saídas do sistema, ou seja, todos os demais fluxos estarão associados a ela. Isso garante que sistemas distintos, e muitas vezes diferentes em suas concepções, sejam comparados de acordo com uma base comum.

As fronteiras do sistema (escopo) definem quais os processos elementares principais devem ser incluídos no estudo. Os critérios de inclusão ou corte devem estar claros na definição do escopo. Tais critérios podem estar baseados em fluxos de massas, energia ou significância ambiental, por exemplo.

3.5.3. Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

Envolve a coleta de dados basicamente, e deve ser medido, estimado ou calculado para cada processo elementar, assim como para as fronteiras do sistema. Os dados devem ser sempre referenciados, pois podem influenciar na fase das conclusões do estudo, pelo fato de conter informações específicas, como a época em que foi coletado.

Em termos industriais, dificilmente se terá a geração de produtos sem também a produção de subprodutos, coprodutos, etc. Os coprodutos são processados e enviados para outras etapas dentro do mesmo processo e os subprodutos são destinados para descarte ou reciclo fora do processo em questão. Dessa forma, todos os materiais que circulam no sistema serão responsáveis pelas emissões e tem seu grau de contribuição nos impactos ambientais independente do caminho a ser seguido. Dessa forma, é necessário distribuir os impactos ambientais de acordo com cada um desses materiais. Essa valoração de acordo com os diferentes materiais e a distribuição quantitativa dos impactos ambientais é chamada alocação (Chehebe, 1997).

3.5.3.1. Alocação

Uma informação importante a ser explicitada nessa fase, segundo a norma ABNT NBR ISO 14044, é a questão dos materiais alocados ao longo da produção, assim como informar reuso e reciclagens internas. A alocação é a distribuição de cargas ambientais entre os (co)produtos da Análise do Ciclo e Vida de um sistema (Gnansounau, 2009).

Aconselha-se que a alocação seja evitada sempre que possível (ABNT NBR ISO 14044, 2009), realizando, como alternativas a ela a expansão do sistema, incluindo funções adicionais e coprodutos. Porém, se a alocação não puder ser evitada, devem-se especificar em fluxos diferentes suas quantidades.

Comumente utilizam-se critérios físicos baseados nas características do material para se realizar a alocação (Chehebe, 1997). Assim a alocação pode ser delineada pelos seguintes critérios: (i) percentual mássico, (ii) valor econômico, (iii) poder calorífico e (iv) volume. Geralmente as diferentes áreas que aplicam ACV escolhem uma maneira de alocar seus produtos de acordo com os interesses do estudo ou corporação, da mesma forma que outros critérios podem ser criados e utilizados (Silva, 2012).

Trabalhando com ACV da soja, estudos relataram que podem ser aplicados vários tipos de alocação, sendo mássica, energética ou econômica, promovendo a

divisão de uso dos recursos e das emissões. A Tabela 3.1 (Cavalett, 2008) mostra três tipos de alocação, exemplificando a diferença entre eles apresentando as frações utilizados.

Tabela 3.1: Fatores de alocação mássica, energética e econômica (adaptado de Cavalett, 2008).

Produto	Fração Mássica*	Fração Energética*	Fração do Preço*
Farelo de Soja	81,3	63,0	60,7
Óleo de Soja	18,0	35,6	37,8
Lecitina de Soja	0,7	1,4	1,5

*valores percentuais

Na Tabela 3.1 acima é possível notar que, dependendo do critério utilizado, os valores percentuais também alteram, consideravelmente. Dessa forma a escolha do critério de alocação pode camuflar o real impacto ambiental.

3.5.4. Avaliação do Impacto do ciclo de vida (AICV)

A avaliação dos impactos deve estar coordenada às outras fases da ACV, da mesma forma assegurar o que foi definido pelos objetivos. Assim, a seleção de categorias de impactos e correlações com a mesma deve ser desenvolvida nessa etapa. A categoria de impacto escolhida deve ter afinidade com o propósito do estudo, enquanto representa as entradas e saídas do sistema (Chehebe, 1997).

A escolha das categorias de impactos justificam-se de acordo com as emissões identificadas ao longo do processo e como tais emissões se relacionam principalmente com a saúde humana, com o ambiente e com esgotamento de recursos naturais.

As categorias de impacto são proporcionais às informações que originaram o inventário do trabalho. A quantificação de um determinado impacto deve ser feita com fundamentação científica. Essas fundamentações embasam os métodos de

cálculo, onde cada qual contém suas especificidades. Características regionais levam a diferenciação entre os parâmetros usados para construção de cada método de cálculo, já que características físico-químicas mudam de região para região de acordo com as informações aferidas, como temperatura e pressão.

Dentre os métodos de cálculo, existem o *CML2000*, *EcoIndicator*, *EDIP*, *Ecopoints*, *ReCiPe 2008*, os quais ainda contam com divisões que visam adaptar melhor o impacto às condições expressas pelo estudo, como o chamado *midpoint* e *endpoint*.

O método de cálculo ReCiPe 2008 também faz essa destinação. O anexo A (ReCiPe 2008) ilustra quais categorias de impacto pertencem a cada um desses conjuntos, nela é possível notar as categorias de impactos e suas unidades. São dezoito categorias rotuladas como *midpoint* e três caracterizadas como *endpoint*. Da mesma forma nota-se que tais categorias de impactos geram fatores de caracterização. Os fatores *midpoint* dizem respeito a efeitos da substância sobre a natureza e *endpoint*, transpassando pela degradação da natureza e passa a ter efeitos na saúde humana.

O Quadro 3.3.1 mostra algumas categorias de impacto, relatando as substâncias que as originam e seus efeitos ao meio. A partir dessas informações torna-se possível notar quais categorias podem ser aplicadas à determinadas unidades processuais ou estudos, de forma a refletir a realidade e os verdadeiros impactos inerentes ao trabalho.

Quadro 3.3.1: Características de algumas categorias de impacto (adaptado de ReCiPe 2008).

Categoria de impacto	Origem/substância	Efeitos
Aquecimento global	CO ₂ e demais gases com o mesmo efeito.	Mudança climática, comprometendo o meio ambiente e a saúde humana.
Depleção da camada de ozônio	Substâncias que contenham átomos de cloro e bromo de origem antropogênica.	Riscos à saúde: câncer de pele e catarata; envelhecimento prematuro. Desequilibra os ecossistemas (danos a plantas e sistemas aquáticos).
Acidificação	Sulfato, nitrato e fosfato além de NO _x , NH ₃ e SO ₄ .	Mudança da acidez do ambiente (solo, água) que comprometa o desenvolvimento de seres vivos naturais da região.
Impactos no solo	Ocupação e transformação do solo.	Perda da biodiversidade.
Depleção da água	Depende da utilização e a fonte que foi utilizada (lago, rio fonte natural).	Esgotamento do recurso natural. Efeitos se acentuam se devolvida imprópria para o meio ou se não for devolvida a fonte de origem.
Depleção de combustível fóssil	São hidrocarbonetos de origem fóssil.	Esgotamento de recursos naturais.

3.5.5. Categorias de Impacto utilizadas na avaliação de produção de biodiesel

3.5.5.1. Potencial de Aquecimento Global

A terra naturalmente absorve radiação infravermelha proveniente do sol. A responsável por parte dessa absorção é a composição atmosférica, dotada de diferentes gases em diferentes proporções. Ações antropológicas vêm alterando essa constituição gasosa, gerando maiores absorções de radiação infravermelha e conseqüentemente o efeito de aquecimento global.

Trata-se de um impacto global e sua medida é feita com relação ao dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq). Após todas as substâncias serem convertidas a esse parâmetro, são gerados os respectivos impactos ambientais nessa categoria (ReCiPe, 2008).

3.5.5.2. Potencial de Acidificação

Emissão de óxidos que contenham, principalmente, enxofre e nitrogênio geram acúmulos de ácidos na atmosfera, água e solo, alterando a acidez de alguns ambientes e comprometendo o desenvolvimento de sua fauna e flora original (ReCiPe 2008).

3.5.5.3. Depleção da Camada de Ozônio

A camada de ozônio tem características que auxiliam no desenvolvimento da biosfera tal como conhecemos. Essas características são devidas sua composição gasosa que trabalham como filtro de radiações nocivas as espécies. Compostos que contenham cloro em suas formulações podem ser responsáveis pela depleção da camada de ozônio. O encadeamento das reações químicas (1) e (2) a seguir ilustram como pode ocorrer o efeito do cloro na atmosfera (ReCiPe 2008).



Compostos clorados ionizados podem gerar gás oxigênio ao passo que se forma um radical cloro que pode atacar o gás ozônio convertendo-o a gás oxigênio e manutenção do radical clorado que continua o ataque a demais moléculas de ozônio.

3.5.5.4. Depleção de combustíveis fósseis

A origem dos combustíveis fósseis remonta a pré-história. São depósitos de materiais orgânicos que foram se alojando a grandes profundidades e sob ação de temperatura e pressão, transformando-se no material que se conhece hoje em dia.

A excessiva exploração e uso do petróleo para produção de combustível provoca a diminuição de recursos fósseis, o que promove investimento tecnológico e financeiro para continuar extrações em profundidades cada vez maiores. Não apenas isso, o constante uso desenfreado colabora com o esgotamento desse recurso, como outros recursos naturais (ReCiPe 2008).

O Quadro 3.3.2 apresenta uma compilação das categorias de impacto a ser utilizada nesse trabalho para respectiva ACV e justificativas de suas escolhas de acordo com a que se remete cada impacto e de acordo com as etapas envolvidas no processo.

Quadro 3.3.2: Categorias de impacto selecionadas para o estudo.

Categoria de impacto	Origem/substância	Justificativa
Potencial de Aquecimento global	CO ₂ e demais gases com o mesmo efeito	Etapa de produção e transporte de insumos emitem gases promotores de aquecimento global
Depleção da camada de ozônio	Substâncias que contenham átomos de cloro e bromo de origem antropogênica.	Geração em processos de produção de insumos e degradação de materiais.
Potencial de Acidificação	Sulfato, nitrato e fosfato além de NO _x , NH ₃ e SO ₄ .	Etapa de transporte com a queima de combustível diesel gera substâncias que promovem

		acidificação terrestre
Depleção de combustível fóssil	São hidrocarbonetos de origem fóssil.	Esgotamento de recursos naturais presente em todos os insumos

Esses materiais podem ser os de alimentação, que porventura, possam ter escapado do processo e seja um provedor de impactos ambientais. Da mesma forma há a preocupação dos materiais gerados em determinadas etapas que possam também representar impactos ambientais quando descartados incorretamente.

3.5.6. Interpretação do Ciclo de Vida

Esta etapa consiste na assimilação das informações significativas do estudo, baseadas nos resultados das fases de ICV e AICV da ACV, remetendo as conclusões do estudo. Tal fase, juntamente com a definição do escopo representa o estudo propriamente dito, enquanto as demais fases são a produção de informação sobre o sistema. Essa fase deve ser desenvolvida juntamente com as definições de escopo e objetivos do trabalho (Chehebe, 1997).

3.6. Considerações relevantes ao estudo de ACV para biodiesel

Parte dos impactos associados a produção de biodiesel está atrelada a quantidade de energia requerida para recuperação do metanol (Morais, 2010). Utilizando como unidade funcional a produção de 1000kg de biodiesel, é possível produzir o material com pré-tratamento (esterificação) antes da transesterificação ácida (Morais, 2010). Embora sejam simulados, os dados de entrada referidos tem embasamento bibliográfico e estão relacionados a unidade funcional.

Categorias que representam maiores impactos para ambos os processos de produção (uma e duas etapas) são ecotoxicidade marinha, esgotamento de recursos abióticos e mudanças climáticas, respectivamente. Para ambas as formas de produção e categorias, o processo que mais influenciou no aumento do impacto foi a

produção de vapor que esta atrelada ao aquecimento da reação e pela destilação e recuperação de metanol para reutilização (Morais, 2010).

A ACV, realizada considerando as transformações do material, transporte dos insumos, etc., deve ser avaliada levando em conta os fluxos energéticos e materiais respeitando os critérios estabelecidos pela etapa de construção/avaliação do inventário. Atenção deve ser dada à rede de geração de CO₂, pois a quantidade desse gás é alocada sobre os produtos e coprodutos (biodiesel, glicerina, resíduos) (Carraretto, 2004).

Quanto ao rótulo de renovável, o biodiesel só o será em sua plenitude quando o álcool utilizado na esterificação ou transesterificação também for derivado de fonte renovável. A utilização de álcool fóssil (metanol) pode diminuir o caráter renovável do biodiesel em cerca de 10%, quando considerado critérios mássicos. Em alguns casos, uso de biodiesel reduz emissões de gases do efeito estufa (GEE) do transporte, diminuindo em cerca de 23% as emissões de gases de efeito estufa. Mas para caracterizar melhor a redução de emissões, é necessário conhecer o tipo de motor, a velocidade, condições de carga e origem e qualidade do biodiesel (Lapuerta, 2008).

3.7. Modelagem de Cenários em ACV

Ao iniciar um estudo de ACV, muitas vezes, faz-se necessária a elaboração de cenários. Os cenários são previsões que se fundamentam em hipóteses. Sua criação significa propor situações que possam ocorrer, permitindo o levantamento de manobras precativas caso algumas das situações citadas venham a acontecer (Chehebe, 2002).

Os cenários podem ser projetados a partir de combinações de técnicas que prevejam eventos e/ou tendências futuras. Dentre essas técnicas pode-se citar o monitoramento ambiental, realizando a coleta de informações (dados) que remetam a modelagens (Almeida, 2007).

O levantamento de cenário deve considerar também algumas questões prioritárias. Embora não se aprofunde nas definições do que cada um desses parâmetros, deve-se levantar os chamados Indicadores Ambientais, Indicadores de Desempenho Global, Indicadores de Qualidade e Indicadores de Desempenho. Com a consideração desses indicadores, pode-se enriquecer o escopo do cenário no sentido de torná-lo mais adaptado às flutuações do sistema, tornando-o prevenido, possibilitando uma gama maior de manobras visando o não comprometimento de sua função e objetivo (Almeida, 2007).

3.7.1. Biodigestor

O biodigestor pode representar um bom empreendimento dado sua simplicidade. É uma câmara fechada onde o material orgânico é fermentado anaerobicamente e seus gases gerados para utilização com os mais diversos fins e propósitos (Barreiro, 2011).

O biodigestor trabalha com bactérias anaeróbicas, ou seja, desenvolvem-se na ausência de oxigênio. O biodigestor pode trabalhar como sumidouro de resíduos orgânicos de propriedades agrícolas, gerando fertilizantes e gás. Dejetos animais são os melhores compostos para a geração de gases combustíveis em biodigestores por, devido sua natureza, ser excelente promotor de bactérias anaeróbicas. Dejetos bovinos são bastante empregados para produção de biogás, perdendo apenas para os dejetos de aviário (Barreiro, 2011)

A temperatura tem importância definitiva no processo de fermentação do biodigestor, por isso a necessidade de manutenção da temperatura entre 35 e 45°C. Quando não é possível realizar o controle fino da temperatura, ela deve ser mantida sempre superior a 15°C (Barreiro, 2011). Porém, outros estudos dizem que a temperatura do biodigestor não deve ultrapassar valores entre 30 e 35°C (Junior, 2009).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Definições para Avaliação da Unidade

A metodologia foi desenvolvida de acordo com a Norma Brasileira ABNT NBR ISO14040. Nela é relatado que se deve adotar uma abordagem sistemática desde a aquisição de matéria-prima até a disposição final, possibilitando a transparência do estudo a tópicos como o escopo, às suposições consideradas, à qualidade dos dados e aos resultados.

4.1.1. Definição de objetivo e escopo

4.1.1.1. Objetivo

O objetivo do estudo foi realizar a Análise do Ciclo de Vida da unidade piloto de produção de biodiesel. Isso possibilitou a geração de resultados de impacto ambiental, ao passo que se produz informação para caracterizar a unidade produtora de biodiesel e comparação a cenários concebidos a partir da usina tal qual como se encontra.

4.1.1.2. Escopo

As fronteiras do sistema englobam a etapa de coleta, a produção de biodiesel e demais tratamentos e purificações.

A Figura 4.1 ilustra as etapas consideradas para esse estudo. Nota-se que apenas a produção de óleo e a utilização do biodiesel estão fora do escopo. Isso pelo fato de se considerar que o óleo já cumpriu sua função que foi servir como

material no preparo de alimentos. Com a definição dessas fronteiras considera-se que as emissões oriundas da etapa agrícola foram desconsideradas.

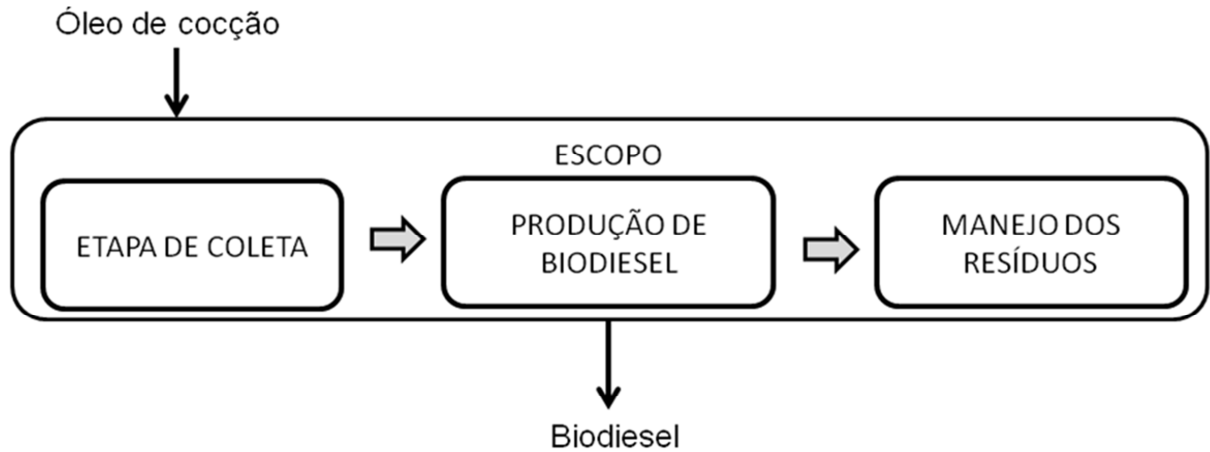


Figura 4.1: Escopo da ACV proposta pelo trabalho.

Fazem também parte das fronteiras do sistema a produção de Hidróxido de sódio, metanol, adsorvente, papel filtro, assim como os resíduos gerados durante o processo.

Nota-se que os fluxos representados são os mássicos. A caixa denominada energia no canto inferior direito da figura representa que a mesma é usada em diversas operações, porém a ligação de seus fluxos iria comprometer a clareza da figura.

Nesses termos, o estudo tem como:

1. **Função do sistema:** produção de biodiesel;
2. **Unidade funcional:** produção de 300kg de biodiesel;
3. **Fluxo de referência:** 300kg de biodiesel produzido.

4.1.2. Categorias de impacto

Para se levantar o valor de cada categoria de impacto se faz necessário o uso de métodos de cálculo. O método de cálculo *ReCiPe 2008* é um método que está baseado em dois outros, o *EcoIndicator 99* e o *CML*. O primeiro concentra-se nas interpretações de resultados e usa a abordagem *endpoint*. O segundo é uma base para o método de caracterização. O método *ReCiPe 2008* foi desenvolvido entre 2001 e 2008.

Dentre as categorias de impacto fornecidas pelo método, foram escolhidas as seguintes:

- Potencial de Mudanças Climáticas (GWP);
- Depleção da Camada de Ozônio (ODP);
- Potencial de Acidificação (AP);
- Depleção de combustíveis fósseis (FDP)

Essas categorias foram selecionadas pensando principalmente nas etapas de transporte de materiais até a unidade produtora de biodiesel, na etapa de coleta de óleo de fritura e nas etapas de produção de biodiesel e consumo de energia.

4.1.3. Método de cálculo e base de dados

O método de cálculo utilizado para a avaliação dos impactos selecionados para esse trabalho foi o *ReCiPe Midpoint V1.04*. Trata-se de um método amplamente utilizado. Porém o método não considera o impacto gerado pelo metanol em forma de vapor. A unidade gera, embora pequena, quantidades de metanol em fase de vapor, que foi desconsiderada dos impactos gerados pela usina devido a baixa contribuição desse valor na avaliação global.

A base de dados utilizada foi a *EcoInvent 2.2*. Nela estão contidos dados de inventário do ciclo de vida referente a consumo de energia, extração de recursos, fornecimento de materiais, produtos químicos, gestão de resíduos, transporte, etc. Essa Base de dados está disponível em softwares que realizam ACV para prestar informações a estudos onde não foi possível colher dados diretamente.

4.2. Descrição geral da Usina

A usina utilizada neste estudo trabalha em regime de batelada com capacidade total de processamento de 300L de biodiesel a partir de óleo de fritura. A usina é composta por decantador dotado de peneiras de tamanhos diferentes, vasos para: (i) realização de preparo de soluções, (ii) promoção da reação e (iii) armazenamento de materiais recuperados (metanol e glicerina), resistências elétricas para promover o aquecimento, bombas que realizam a transferência de materiais pelos compartimentos da usina, bomba-vácuo e trocador de calor.

A unidade está descrita em detalhes em trabalho anterior de nosso grupo de pesquisa (Costa, 2010). Sua operação depende exclusivamente de energia elétrica para aquecimento, funcionamento das bombas e do trocador de calor.

4.2.1. Bombas e resistências elétricas

4.2.1.1. Bombas

A movimentação das matérias primas e reagentes na usina é realizada por cinco bombas e uma bomba-vácuo, cujas especificações estão descritas na Tabela 4.1. Três bombas com potência nominal de 0,5 CV, duas com potência de 2 CV e a bomba vácuo com potência de 1,5 CV.

Tabela 4.1: Bombas da unidade piloto: potência e função desempenhada.

Bomba	Potência		Função
	CV	kW	
1	0,5	0,368	A) Mover o metanol para tanque de mistura; B) Mover a solução catalítica para reator principal.
2	0,5	0,368	Movimentar a água entre o condensador e o trocador de calor
3	0,5	0,368	Levar a fase leve com adsorvente até o filtro prensa.
4	2,0	1,47	A) Mover o óleo filtrado para o reator principal; B) Agitação durante a transesterificação no reator principal.
5	2,0	1,47	Misturar o metanol e o KOH: preparo da solução catalítica.
Bomba-vácuo	1,5	1,10	Retirar o metanol (vapor) do reator principal e do tanque pulmão e enviar para o condensador.

Uma das bombas de 0,5 CV (bomba 1) é responsável por mover o metanol para dentro do reator auxiliar e depois, com a solução catalítica homogeneizada, é a mesma bomba que envia tal solução ao reator principal, de acordo com a Figura 4.2. Por meio das válvulas 1, 2 e 3 são dados os comandos para realizar a operação de interesse. Para o abastecimento do reator auxiliar, a válvula 2 deverá estar aberta após o acionamento da bomba. Para homogeneizar a solução, faz-se uso da bomba 2. Passado o tempo necessário, essa bomba é desativada e a bomba anterior (0,5 CV) é ativada para levar a solução catalítica até o reator principal. Para essa atividade, deve-se fechar a válvula 2 e deixar aberta as válvulas 1 e 3.

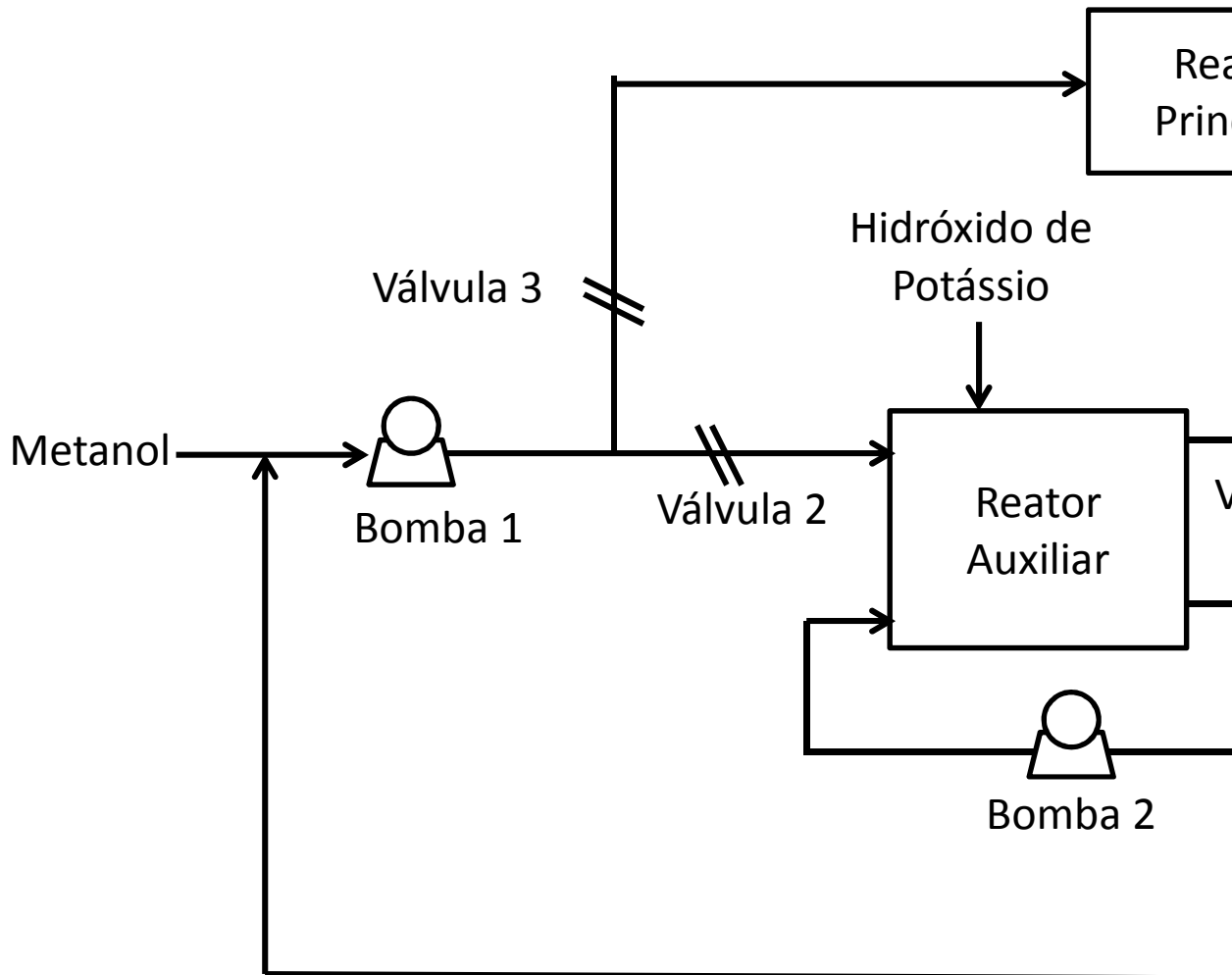


Figura 4.2: Funções desempenhadas pelas Bombas.

Outra bomba de 0,5 CV tem a função de circular a água pelo condensador na etapa de recuperação do metanol. E a terceira bomba de 0,5 CV é responsável pelo transporte da fase leve, que está composta também pelo adsorvente, até o filtro prensa para realização da filtração.

Uma das bombas de 2,0 CV é responsável pela mistura de metanol e KOH pelo reator de mistura de solução catalítica (Figura 4.2) e a outra bomba tem a função de carregar o reator principal com óleo filtrado e circular o constituinte do reator principal durante a reação de transesterificação.

A bomba-vácuo é responsável pela retirada do metanol, em estado de vapor, do reator principal e do tanque pulmão, e enviá-lo para o condensador com o intuito de recuperara o excesso desse tipo de insumo colocado para reação.

4.2.1.2. Sistemas de Aquecimento

A usina é dotada de seis resistências elétricas, com potência nominal de 4000 W. Três se encontram no reator principal e três no tanque pulmão. As resistências do reator principal são responsáveis por aquecer o sistema reacional nas etapas de transesterificação e por promover a recuperação do metanol desse mesmo reator em distintas etapas. As resistências do tanque pulmão são responsáveis apenas por aquecer o recipiente na etapa de recuperação de metanol da fase da glicerina.

4.2.2. Etapas de produção de Biodiesel

4.2.2.1. Etapa de coleta

A rota de coleta de óleo bruto (OB) foi desenvolvida de forma a criar um protocolo logístico de coleta desse material. Assumiu-se que o transporte foi feito por caminhão com capacidade de carga máxima de 7,5 t, motor tipo euro III, alimentado com diesel contendo 5% de biodiesel (B5) comercial.

A coleta foi modelada utilizando os locais onde se encontram escolas de ensino médio e técnico da região metropolitana de Porto Alegre que fazem parte do Projeto Promobio (PUCRS - FINEP), Esse projeto tem como objetivo disseminar conhecimentos acerca dos bicombustíveis e prevê em suas ações o armazenamento de óleo de fritura pelos estudantes das escolas envolvidas para ser convertida em biodiesel.

O mapa de coleta (Apêndices 4, 5 e 6) foi traçado de acordo com a disposição geográfica das escolas sendo que a projeção da quantidade de óleo de fritura coletada em cada escola está em função do número de alunos da mesma. As rotas foram simuladas com o auxílio de mapas disponíveis na internet, especialmente o *Google Maps* (GOOGLE MAPS, 2013). Essas simulações foram realizadas para geração de dados de emissões dessa etapa que irão somar-se as emissões globais do sistema avaliado.

4.2.2.2. Etapa de produção

Após o óleo bruto ser coletado, o mesmo foi enviado à unidade produtora de biodiesel. A primeira etapa a qual o óleo é submetido é a filtração. Nessa etapa o OB, dotado de material orgânico não triglicerídico, passa por sucessivas peneiras de diferentes granulometrias. Dessa etapa originam o óleo filtrado (OF) com menor quantidade de resíduo sólido, pois os sólidos vão se acumulando nas peneiras. A Figura 4.3 mostra o fluxo material nessa etapa do processo.

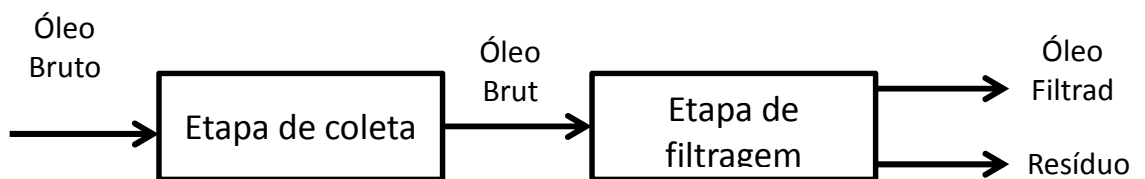


Figura 4.3: Fluxos da etapa de filtração

O preparo da solução catalítica é feita misturando-se metanol e o catalisador hidróxido de potássio. Ela deve respeitar as proporções molares de metanol-triglicerídeo de 6:1, onde esse valor é a quantidade ideal de metanol para obter a máxima conversão do material filtrado. Para catalisador considerou-se a adição de 1% em massa com relação a massa de partida de óleo de fritura.

O metanol é adicionado ao reator auxiliar por meio de bombas até alcançar a massa referida. O catalisador é adicionado ao mesmo reator de forma manual. Esses materiais são submetidos à recirculação por meio também de bombas para que a solução se torne homogênea.

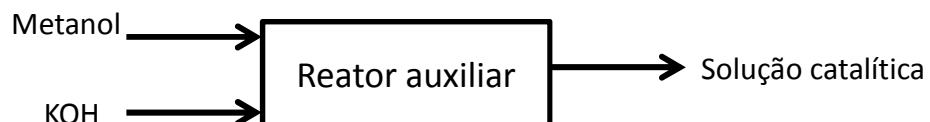


Figura 4.4: Fluxo material para produção da solução.

Após a filtração (Figura 4.3), o óleo é destinado à reação. Por bombeamento ao reator principal até atingir o volume desejado. Após isso, é submetido a

aquecimento de 60°C. No reator principal ocorre a reação de transesterificação e para isso, depois de atingida a temperatura requisitada, é bombeada a solução de metanol-catalisador. À temperatura de 60°C e constante agitação por meio de bombeamento em recirculação, a solução permanece por 1 h.

Finalizada a agitação, o constituinte do reator principal é deixado em repouso até alcançar a temperatura ambiente e respectiva separação das fases da glicerina, ésteres (biodiesel) e demais subprodutos. A Figura 4.5 mostra o fluxo de óleo que circula pelo sistema nessa etapa.

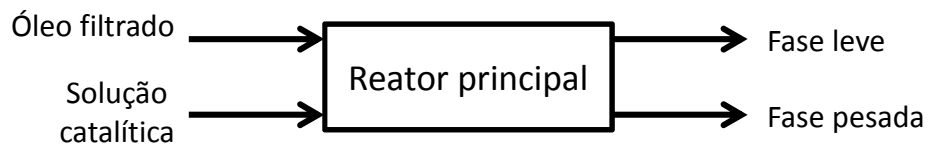


Figura 4.5: Fluxo material da transesterificação

Após o término da agitação e repouso da reação, ocorre a separação, no próprio reator principal, entre as fases pesada, rica em glicerina, e leve, rica em biodiesel. A separação das fases é feita por gravidade, através de abertura de registros. A Figura 4.6 mostra que fase pesada é enviada para outro vaso, por gravidade, enquanto a fase leve permanece no reator principal para posteriores processamentos, como recuperação do excesso de metanol e purificação.

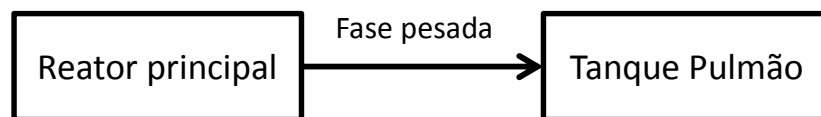


Figura 4.6: Separação das fases leve e pesada.

Separada as fases, ambas são submetidas a aquecimento, estando a fase leve ainda no reator principal e a fase pesada no tanque pulmão como mostra a Figura 4.7.

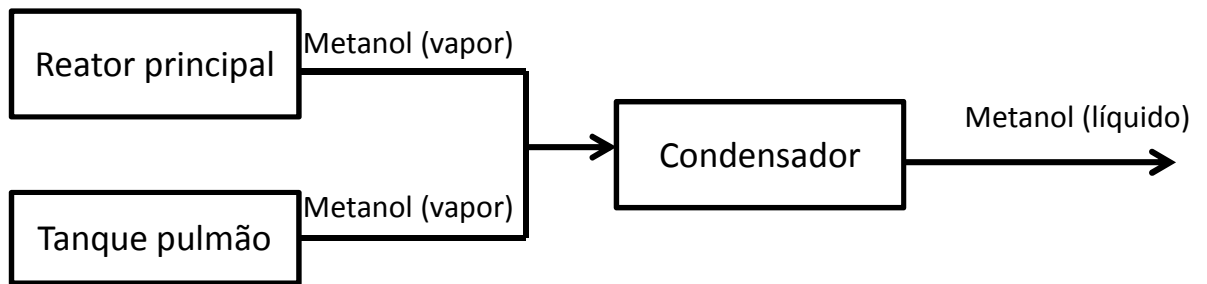


Figura 4.7: Recuperação do metanol das fases pesada e leve.

Após toda a recuperação do metanol do reator principal, o material restante está pronto para ser submetido à purificação. O mesmo processo de recuperação do metanol, por aquecimento, é feito no tanque pulmão (fase pesada).

Nessa usina piloto de produção de biodiesel, a purificação é realizada a seco, ou seja, utilizando adsorventes sólidos, no caso Magnesol®, fabricado por *The Dallas Group of America*, ao contrário do que cotidianamente é observado em outras unidades, onde a purificação é realizada com a utilização de grandes volumes de água. O adsorvente é composto por silicato de magnésio, porém a composição exata não é fornecida pelo fabricante.

Após a retirada do metanol, o adsorvente é adicionado manualmente ao reator principal, colocado sob agitação, pelo intervalo de 1 h e aquecido em torno de 50°C. A quantidade de adsorvente adicionado deve estar entre 1 e 2,5% da massa restante após a recuperação do metanol.

O adsorvente é retirado da solução com uso do filtro prensa. O filtro prensa tem filtros de papel que devem ser substituído a cada nova batelada ou assim que necessário. A fase leve com o Magnesol® é então levada até o filtro prensa através de moto-bomba. O material sólido fica retido no filtro e tem-se a partir de então o biodiesel livre de materiais sólidos.

O material sólido contém o Magnesol® colocado para purificação, mas também materiais que o mesmo adsorveu, como glicerina que não passou para a fase pesada na etapa de separação das fases, metanol que não evaporou, relativa umidade e grande quantidade de material que saponificou (geração de sabão)

durante a reação. A massa residual resultante desse processo representa mais que o dobro de material adsorvente colocado no início da etapa de purificação de biodiesel.

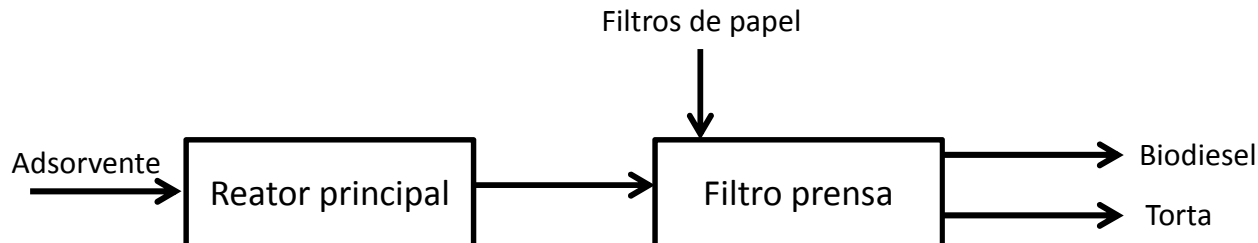


Figura 4.8: Fluxo de materiais durante a etapa de purificação do biodiesel

4.2.3. Fluxograma geral

A partir dos fluxos descritos anteriormente, tem-se o Quadro 4.1 que mostra todas as substâncias de entrada, saída e que são transformadas durante o processo. Embora não esteja expresso pela tabela, os materiais que então contidos nela pertencentes principalmente a coluna da saída, não saem todos ao mesmo tempo.

Dada a descrição das etapas de produção do biodiesel e das substâncias de entrada e saída de cada etapa, tem-se na Figura 4.9 o fluxograma geral da unidade produtora, que mostra uma visão global das principais etapas e como elas se comunicam. Embora o fluxograma mostre apenas os fluxos mássicos, está implícito que há no processo trabalho elétrico, mecânico e aquecimento, cujos fluxos não estão mostrados na figura.

Quadro 4.1: Fluxo de entrada, saída e criação de materiais durante o processo.

Etapa	Entrada	Saída
Coleta do Óleo	Óleo bruto	Óleo bruto
Filtragem	Óleo bruto	A) Óleo filtrado; B) Resíduo orgânico.
Armazenamento	Óleo filtrado.	Óleo filtrado.
Preparo de Solução	A) Metanol; B) Hidróxido de	Solução catalítica.

	potássio.		
Reator Principal	A) Óleo de fritura; B) Solução catalítica; C) Silicato de Magnésio.	Fase leve	A) Biodiesel B) metanol C) silicato de magnésio D) Sabão
		Fase pesada	A) Glicerina B) Metanol C) Sabão D) Água E) Óleo filtrado não reagido
Tanque pulmão	Fase pesada	A) Fase pesada (glicerina); B) Metanol.	
Filtro prensa	Fase leve e silicato de magnésio	Biodiesel	
		Torta	A) Glicerina B) Sabão C) Água D) Óleo filtrado não reagido E) Silicato de magnésio F) Papel Filtro

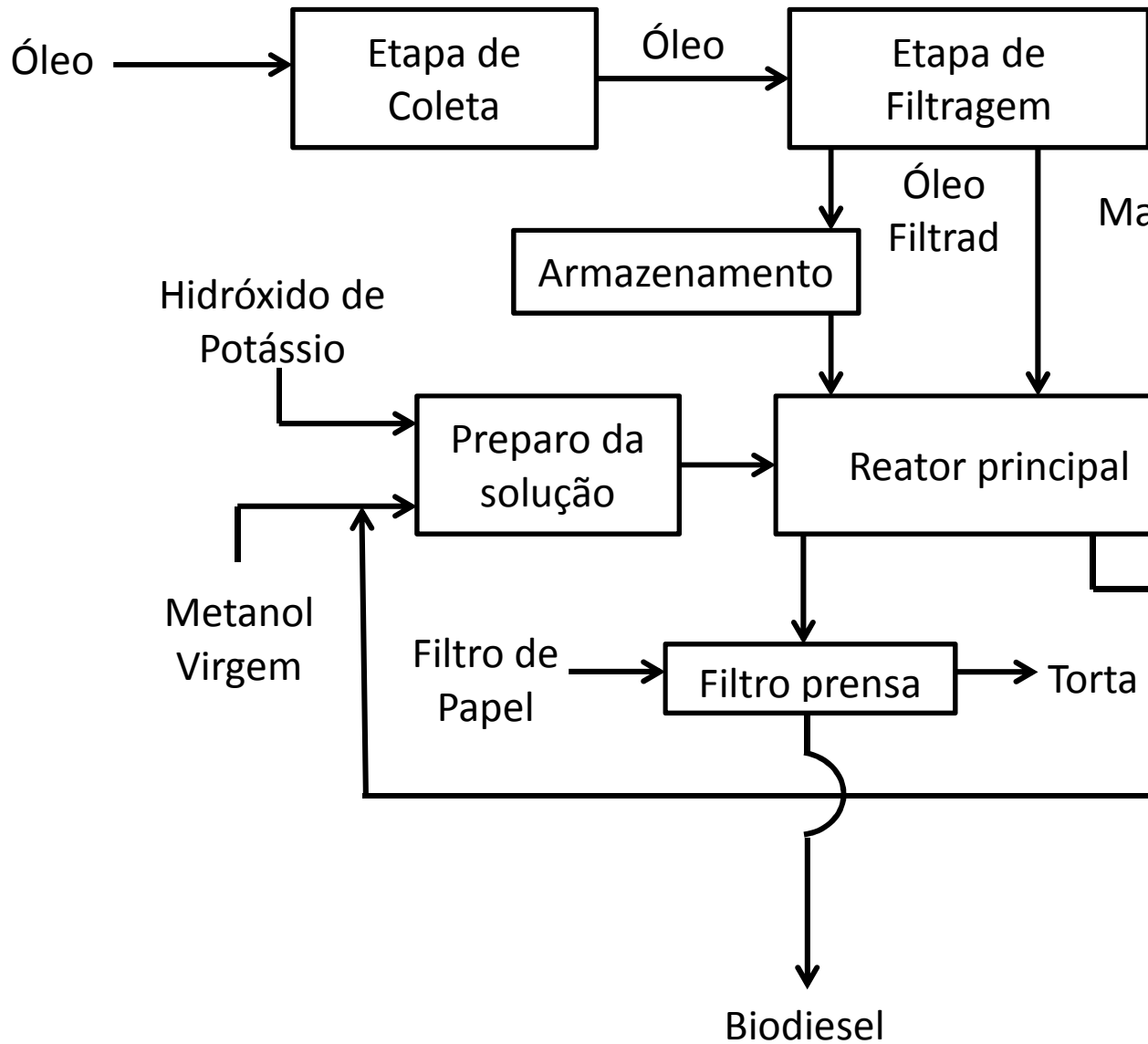


Figura 4.9: Visão global da produção de biodiesel.

4.3. Características acerca dos materiais

As informações relacionadas ao levantamento de inventário para a produção de biodiesel foram coletadas na unidade produtora de biodiesel. Para o levantamento de informações relacionados à origem, o transporte e a quantidade de insumos, foi necessário consultar a plataforma virtual *ALICEweb2* (MDIC, 2013) e o Anuário da Indústria Química Brasileira (AIQB) (2009).

A plataforma *ALICEweb2* (MDIC, 2013) é um Sistema de Análise das Informações de Comercio Exterior, vinculada à Secretaria de Comercio Exterior, do

Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio, desenvolvido para facilitar o acesso a informações de importação e exportação de materiais que circulam em território brasileiro. O AIQB é um periódico que publica os valores referentes aos compostos químicos que circulam anualmente pelo Brasil. A Associação Brasileira da Indústria Química é a responsável pela edição dessas informações.

Embora estejam disponíveis informações até 2012 na plataforma *ALICEweb2* (MDIC, 2013), utilizou-se informações referente ao ano de 2008 para ter uma interação com os dados da AIQB, pois foi a fonte mais atual que pôde ser consultada.

A plataforma *ALICEweb2* (MDIC, 2013) informa também os portos onde foram descarregados esses materiais. Isso é importante para se tomar nota da distância que o insumo percorre em território nacional após ser descarregado, pois se considerou que tal extensão é percorrida por caminhões e promove suas respectivas emissões. Tais informações serão utilizadas para modelar a fase de transporte dos insumos (trecho de caminhão e trecho de navio) para a produção de biodiesel na montagem do ICV.

4.3.1. Óleo de Fritura descartado

O óleo utilizado para a reação foi oriundo da coleta em diferentes pontos da região metropolitana de Porto Alegre em diferentes períodos (item 4.1.1.1). O mesmo foi homogeneizado e avaliado seu índice de acidez em diferentes ocasiões. O método utilizado foi o 325/IV Determinação da Acidez (Métodos físico-químico para análise de Alimentos - Instituto Adolfo Lutz) equipamento usado foi o *Methron 904 Tritrindo*.

4.3.2. Álcool

O álcool pode ser produzido e transportado em território nacional ou produzido internacionalmente, e utilizar diferentes meios de transportes até chegar no ponto de consumo. As distâncias foram calculadas com auxílio do *Google Maps* (GOOGLE MAPS, 2013), e *Em Sampa (SP sem Segredo, 2013)*, uma empresa que

divulga facilidades e acessibilidades a serviços fornecidos por diversas cidades. Para isso considerou-se que os navios tinham como destino apenas os portos brasileiros, da mesma forma que se considerou que os mesmo se deslocaram, sempre que possível, em linha reta até o destino.

4.3.3. Catalisador

As mesmas considerações acerca do metanol foram feitas nessa etapa do desenvolvimento do trabalho. As distâncias também foram calculadas com auxílio do *Google Maps* (GOOGLE MAPS, 2013), e *Em Sampa* (SP sem Segredo, 2013). Também se considerou que os navios tinham como destino apenas os portos brasileiros, e que os mesmo se deslocaram, sempre que possível, em linha reta até o destino.

4.3.4. Adsorvente

Para o adsorvente, embora exista ausência de informações, foi possível também consultar quantidades e distâncias percorridas para posterior adição e avaliação.

4.3.5. Papel filtro

O material usado para etapa de filtração é composto de materiais celulósicos, porém existem inúmeras especificidades vinculadas a cada tipo de filtro. A quantidade desses filtros utilizados pela unidade para uma batelada, em termos mássico, é desprezível, sendo por isso desconsiderado no levantamento dos impactos.

4.3.6. Energia

A matriz de energia elétrica brasileira é predominantemente originário da geração hidráulica, correspondendo a cerca de 74% da oferta, segundo dados do Balanço Energético Nacional, 2010. De acordo com esses mesmo relatório, o

percentual importado também é de fonte renovável, hidráulica, somando 80,5% da eletricidade do Brasil sendo originária de fontes renováveis.

A Figura 4.10 ilustra esse cenário, considerado para realização da ACV nesse estudo.

Informações referentes a utilização da matriz energética brasileira foram coletadas da base de dados *EcolInvent 2.2*

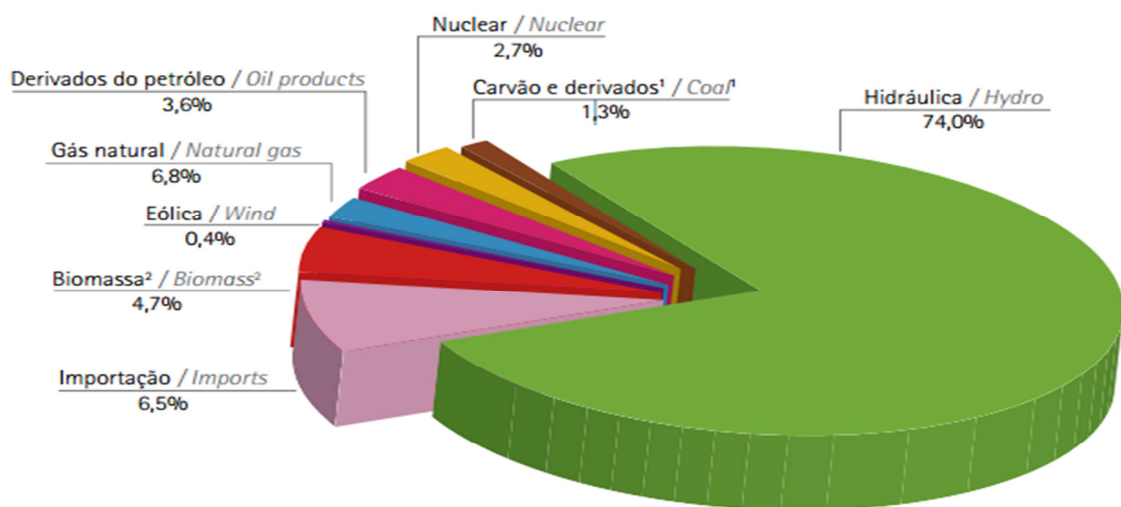


Figura 4.10: oferta interna de energia elétrica (Ministério de Minas e Energia, 2010)

4.3.7. Resíduo Orgânico

O resíduo orgânico é proveniente do primeiro processo de filtragem, onde materiais sólidos oriundos do processo de fritura são retidos pelas peneiras. O óleo de fritura coletado contém cerca de 2% desse material que é separado e somado ao montante da glicerina e torta. Esse somatório é para facilitar a compreensão no momento de levantamento de cenários (item 4.4.1) onde ambos podem ser enviados ao biodigestor.

4.3.8. Torta

A torta se origina na etapa da filtragem (filtro prensa), etapa onde ocorre a retirada do adsorvente e do material adsorvido (torta) que foi adicionada para purificação da fase leve que origina o biodiesel.

Embora a fase leve tenha sido separada da glicerina, por gravidade, submetida à reaproveitamento do metanol (por aquecimento), há ainda outros compostos que precisam ser retirados dessa fase. O óleo de fritura tem percentual de acidez, material que gera sabão prioritariamente pelo fato de uso de catálise básica, onde o catalisador adicionado reage com esse ácido graxo. O restante do catalisador fica disperso nas fases pesadas e leves. Um percentual de glicerina que não conseguiu se agrega à fase pesada e fica dissolvido na fase leve. A reação não tem rendimento de 100% e o restante do triglicerídeo que não reagiu fica também disperso entre as fases leve e pesada. Assim como uma pequena quantidade de água, produzida durante a reação.

Dessa forma, essa torta é composta, em sua maior parte, por sabão e adsorvente, assim como glicerina e triglicerídeo não reagido.

4.3.9. Glicerina

A glicerina é resultado da reação de transesterificação e sua geração é simultânea a produção de biodiesel. A fase pesada é composta quase que exclusivamente desse material, além de compostos saponificados, catalisador e água produzida pela reação de transesterificação.

Ao conteúdo da glicerina pode ser somado o resíduo orgânico, gerado na etapa de filtragem do OB, e ambos podem ser destinados ao biodigestor anaeróbico, como proposto em um dos cenários (item 4.4.1.3 e item 4.4.1.4).

4.3.10. Biodiesel

Embora o biodiesel seja o foco dessa linha produtiva, seu uso foi considerado fora do escopo desse trabalho, pois as várias há várias modalidades de uso desse material que certamente não terá sempre a mesma aplicação, impossibilitando

comparações. Essa matéria pode ser aplicada para alimentação de frota cativa, usada para geração de energia a partir da queima em geradores usadas para geração elétrica em comunidades periféricas, para alimentar a própria geração ou ser fornecido para a rede elétrica. Pode também alimentar o próprio sistema de coleta de óleo.

4.3.11. Alocação

Frente às considerações realizadas acerca dos materiais circundantes à usina e considerando a realidade que a usina está inserida, sua avaliação tem caráter puramente ambiental. Dessa forma o critério para atribuição dos impactos ambientais foi baseado nos fluxos mássicos.

Estabelecido isso, pode-se construir a Tabela 4.2 onde estão descritos os valores de alocação. A tabela foi construída a partir das gerações percentuais mássicas de cada material, valores pelos quais guiarão a contribuição nos impactos ambientais nos resultados posteriores.

Tabela 4.2: Alocação dos materiais de saída da unidade.

Material	Biodiesel	Glicerina bruta	Torta	Total
Percentual alocado (%)	75,7	18,8	5,5	100

4.4. Cenários

Para propor alternativas que busquem minimizar os impactos ambientais da produção de biodiesel nessa unidade, recorreu-se a modelagem de cenários distintos para o sistema de processo.

Foram levantados três cenários, no qual o cenário 1 é o formato pelo qual se apresenta a unidade produtora de biodiesel e os outros dois são propostas elaboradas a partir desse primeiro. Os demais cenários diferenciam-se pela adição de um biodigestor, cenário 2, e a esse a adição de um gerador elétrico, uma ideia que é uma extrapolação do cenário 2, criando o cenário 3.

Assim os cenários apresentados nesse trabalho são alternativas palpáveis e próximos da realidade ao qual a usina se insere. Apresentam-se a seguir os três cenários que são derivados do cenário base, sendo a coleta de informações efetuada por medidas diretas, simulação de processos e uso de base de dados (Ecoinvent 2.2) aplicado no *SimaPro 7.4.2v*

Lembrando que todos os cenários foram elaborados dentro da proposta original do trabalho. Nenhuma etapa, fluxo ou alocação dos produtos desse modelo original foi alterado, apenas novos processos foram adicionados e avaliados os respectivos impactos ambientais.

4.4.1. Variação de cenários

4.4.1.1. Cenário 1

O cenário 1 corresponde ao formato original da usina, da forma em que se concebeu o escopo mostrada na Figura 4.1.

4.4.1.2. Cenário 2

Os cenários 2 e 3, Figura 4.11 e Figura 4.12 são processos acrescidos por etapas adicionadas ao cenário 1. O cenário 2 diferencia-se do 1 apenas pela adição de Biodigestor Anaeróbico que receberá material orgânico proveniente da etapa de filtração do óleo de fritura, como também glicerina gerada na etapa de reação de transesterificação.

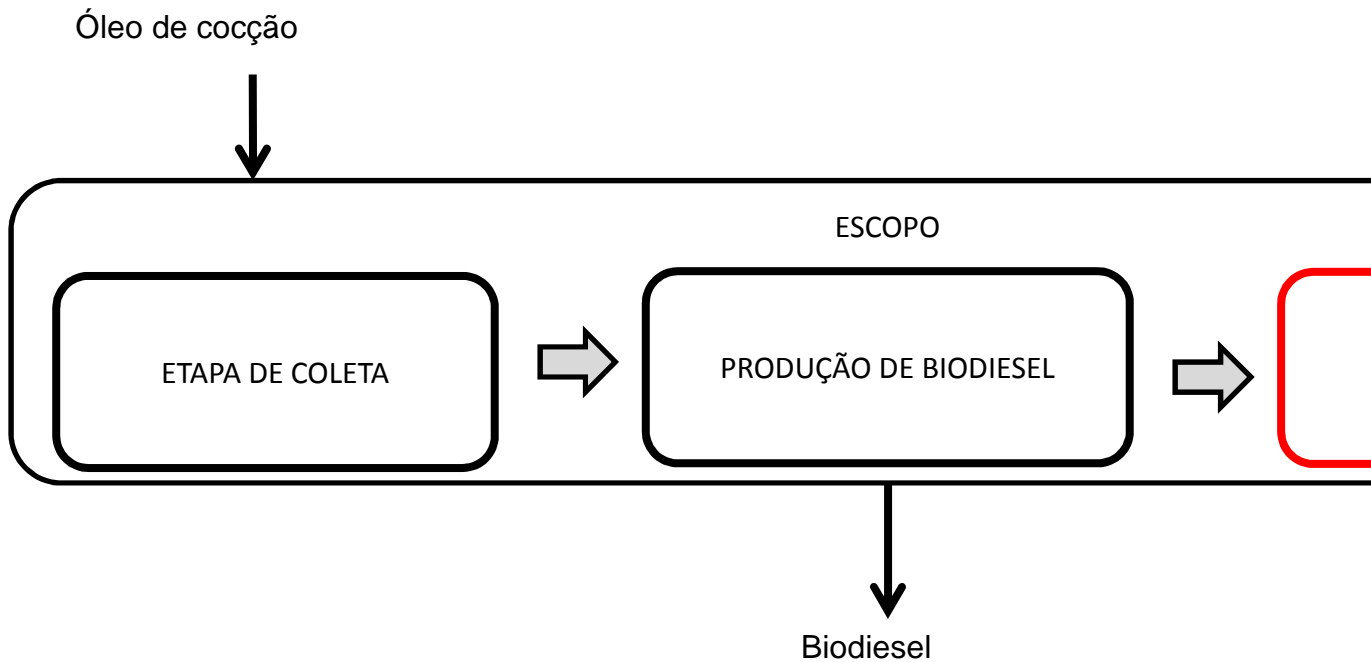


Figura 4.11: Cenário 2

Alimentado por esses dois fluxos, o biodigestor tem a função de consumir material orgânico ao passo que, potencialmente, traz benefícios ambientais, porém, nesse cenário não é considerado o aproveitamento da energia armazenada no biogás, mas sim a redução das emissões de materiais nocivos através das fronteiras do sistema.

As informações que alimentaram o estudo referente ao biodigestor para avaliação dos cenários 2 e 3 foram simuladas no software *Biodigestor_pro*, versão 3.5: *dimensionamento y diseño de Biodigestores y Plantas de Biogás*, desenvolvido por *AquaLimpiaBeratende Ingenieure*. Aproveitando os fluxos de glicerina e material orgânico oriundos da usina, construíram-se os fluxos necessários para alimentar o biodigestor que atendam as necessidades do cenário proposto.

4.4.1.3. Cenário 3

O cenário 3 trata-se de uma derivação do cenário 2, onde adiciona-se a queima do biogás, gerado através do biodigestor, com o intuito de geração de eletricidade para alimentar ou a comunidade envolvida com a usina. A Figura 4.12 ilustra a concepção desse escopo.

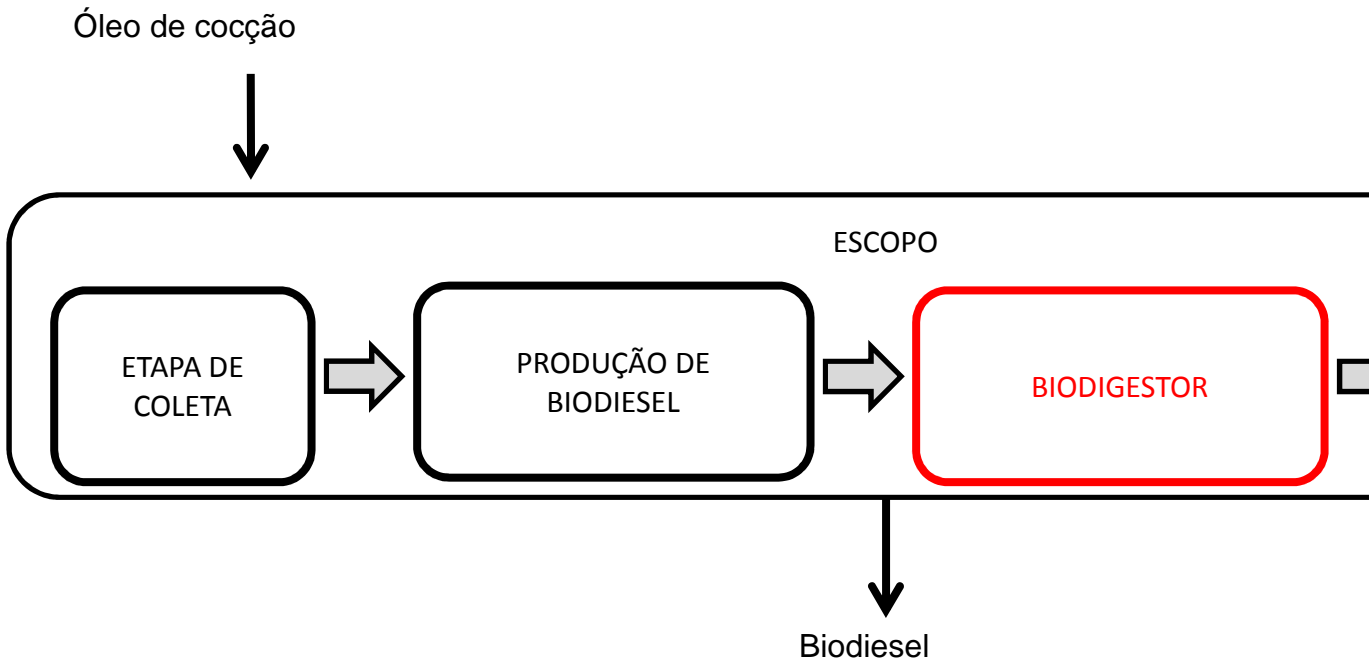


Figura 4.12: Cenário 3

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Impactos associados aos insumos

Dados da plataforma *ALICEweb2* (MDIC, 2013) mostraram que os insumos necessários à produção de biodiesel podem ser produzidos no Brasil ou importados. São eles metanol, hidróxido de potássio e silicato de magnésio (adsorvente). Somados os três compostos, o Brasil consome cerca de 610.190 t/ano. A quantidade oriunda externamente ao Brasil soma um montante de 364.861 t/ano. Desse valor, 99,99% chega ao Brasil via marítima. Descarregada nos portos brasileiros, os materiais seguem por caminhões até o destino final.

5.1.1. Metanol nacional

Segundo o *ALICEweb2* (MDIC, 2013) e o AIQB, o Brasil consome cerca de 574.591t/ano de metanol. Desses, 37,66% são produzidos em território nacional, descontando a parcela (cerca 0,01%) já exportada. Os estados que representam essa produção são o Rio de Janeiro, Bahia, e Paraná, com valores de 26,8, 10,0 e 0,85% respectivamente relativo ao consumo anual total. Considerou-se que esse material foi transportado de caminhão da sua origem até o destino final.

A partir dessas considerações, no que diz respeito à produção nacional de metanol, realizou-se o levantamento proporcional às distâncias percorridas e pode-se propor um perfil de consumo e emissões com auxílio do *SimaPro 7.4.2v*, gerando os respectivos impactos inerentes a esse processo. A Tabela 5.1 ilustra tais perfis.

5.1.2. Metanol importado

Informações adquiridas a partir da plataforma *ALICEweb2* (MDIC, 2013) mostraram que, em 2008, a importação de metanol feita pelo Brasil, 62,35% (cerca de 358.259t/ano), é proveniente do Chile (59,76%) e Venezuela (2,59%).

Do total de metanol consumido pelo Brasil (574.591 t/ano), 48,8% chega pelos portos do Paraná e 7,94% da Bahia. Os portos de São Paulo de Rio de Janeiro foram desconsiderados por somarem 5,52%. A partir desses valores, é possível traçar um perfil de cada “tipo” de metanol e suas respectivas emissões, mesclando o transporte ora a navio, ora a caminhão proporcionalmente a cada trecho. Frente a isso, foi possível levantar a Tabela 5.1 que detalha cada um desses perfis.

Tabela 5.1: Perfis de diferentes transportes de Metanol até a unidade produtora de biodiesel

Perfil		Massa utilizada ^(a) (kg).	Cidade/UF ou País até UF.	Trecho (C) ⁽¹⁾ (km).	Trecho (N) ⁽²⁾ (km).	Repres. (%) ^(c)
Produção interna	A	17,7	Botafogo/RJ	1585	0	26,8
	B	6,6	Camaçari/BA	3085	0	10,0
	C	0,6	Araucária/PR	746	0	0,9
Produção externa	A	30,9	Chile até PR	750	9000 ^(d)	46,8
	B	1,3	Venezuela até PR	750	6503 ^(d)	2,0
	C	5,0	Chile até BA	3106	11,075 ^(d)	7,6
	D	0,2	Venezuela até BA	3106	4428 ^(d)	0,3
	E	3,5	Outros países até PR	750	Desc. ^(b)	5,3
	F	0,2	Outros países até BA	3106	Desc. ^(b)	0,2
Total		66^(a)	-	-	-	100

(a) Massa necessária para realização de uma batelada; (b) Desconhecido; (c) Representação de cada modalidade; (d) Calculado com auxílio de <http://www.aondefica.com> (Aonde Fica, 2013)

¹ trecho realizado de caminhão; ² trecho realizado de navio

Os valores foram levantados com relação à realização de uma batelada, onde se utilizou na faixa de 70kg de metanol. A produção interna não é transportada por navio até chegar ao local, enquanto que a produção externa faz uso de ambos os meios de transporte.

5.1.3. Hidróxido de potássio nacional

O catalisador utilizado para a reação foi o Hidróxido de Potássio (KOH). O Brasil consome cerca de 35.366 t/ano desse material. Segundo os valores apresentados pela plataforma *ALICEweb2*, (MDIC, 2013) o Brasil produz 42.143 t/ano e exporta 25,4% de sua produção, cerca de 10.700 t/ano, tornando a importar 3.923t/ano.

A produção nacional, segundo AIQB, concentra-se no estado do Rio de Janeiro. Dessa forma, 88,9% do KOH consumido pela unidade de biodiesel terá esse perfil. A Tabela 5.2 mostra os diferentes perfis de acordo com a origem de cada modalidade do mesmo insumo.

5.1.4. Hidróxido de potássio importado

O KOH oriundo externamente ao Brasil é proveniente 7,69% da Coréia do Sul, 1,36% da Coréia do Norte. A França e a China somam 2,05%. Os portos que acolhem esse material situam-se nos estados de São Paulo, Santa Catarina e Rio de Janeiro, colaborando com 6,32, 4,20 e 0,68% respectivamente, referente ao consumo total desse material pela nação brasileira.

A soma desse material que tem perfil mesclado de transporte (navio e caminhão) é de 11,1%. A Tabela 5.2 traz as devidas considerações relacionadas ao transporte de material.

Os valores também estão relacionados a uma batelada, onde se usa 3kg de catalisador. A produção interna é transportada durante todo seu trajeto por caminhões, enquanto que a importada é transportada ora por navio ora por caminhão. O *Google Maps* (GOOGLE MAPS, 2013), foi utilizada nas estimativas das distâncias, pela tabela, observando a última coluna, pode-se notar que quase 90% do KOH consumido são provenientes de território nacional. A tabela apresenta os valores da distância da Coréia do Sul e Coréia do Norte até o os portos brasileiros como sendo a mesma. Isso, pois esse estudo considerou o mesmo valor percorrido de navio por esses materiais, devido a proximidade desses países,

Tabela 5.2: Perfis de diferentes transportes de KOH até a unidade produtora de biodiesel.

Perfil	Massa utilizada ^(a) (kg)	Cidade/UF ou País até UF	Trecho (caminhão até destino) (km).	Trecho (navio até porto) (km).	Repres. de cada modal. ^(c) (%)	
Produção interna	2,7	Rio de Janeiro/RJ	1576	0	88,9	
Produção externa	A	0,13	Coréia do Sul até SP	1126	18335	4,4
	B	0,02	Coréia do Norte até SP	1126	18133	0,8
	C	0,09	Coréia do Sul até SC	546	18335	2,9
	D	0,02	Coréia do Norte até SC	546	18133	0,5
	E	0,02	Outros Países até SP	1126	Desc. ^(b)	0,8
	F	0,03	Outros Países até SC	546	Desc. ^(b)	1,2
TOTAL	3^(a)	-			100	

^(a) Massa necessária para realização de uma batelada; ^(b) Desconhecido ^(c) Representação de cada modalidade

5.1.5. Silicato de magnésio

Buscas referentes ao adsorvente mostram que, embora o Brasil produza esse material, ele é todo exportado, acabando por importar a quantidade de silicato de magnésio que é consumido pelo País. Dessa forma, a plataforma *ALICEweb2* (MDIC, 2013) mostra que são importados cerca de 233 t/ano de Silicato de Magnésio e os países de onde são importado são os Estados Unidos da América, Alemanha e Espanha com quantidades percentuais de 44,61, 26,7 e 26,1% respectivamente. Esse material chega pelos portos do estado de São Paulo principalmente, representando 99,2% do total. A Tabela 5.3 a seguir registra os valores envolvidos na disposição desse material.

Tabela 5.3: Perfis de diferentes transportes de Silicato de Magnésio até a unidade produtora de biodiesel.

Perfil		Massa útil. ^(a) (kg)	Cidade/UF ou País até UF	Trecho em caminhão (km)	Trecho em navio (km)	Repres. perfil. ^(c) (%)
Produção externa	A	1,36	EUA até SP	1126	10000	44,2
	B	0,79	Alemanha até SP	1126	11333	26,4
	C	0,78	Espanha até SP	1126	9333	25,9
	D	0,08	França até SP	1126	10000	2,55
Total		3,0	-			100

^(a) Massa necessária para realização de uma batelada; ^(c) Representação de cada perfil.

Os valores relacionam-se a uma batelada, onde se utiliza cerca de 3kg de material adsorvente. Nessa tabela é possível notar que não há valores que relatam produção interna pelos motivos especificados anteriormente e sim todo o material é transportado por caminhões e navios. Foi possível estimar as distâncias com auxílio do *Google Maps* (GOOGLE MAPS, 2013) e *Em Sampa (SP sem Segredo, 2013)*.

As origens dos materiais se distribuem mais que os demais insumos, concentrando-se em maior quantidade nos EUA. Para isso considerou-se também que os navios tinham como destino apenas os portos brasileiros, da mesma forma que se considerou que os mesmos andaram, sempre que possível, em linha reta até o destino.

5.1.6. Papel filtro

O papel usado para a operação do filtro prensa é formado por pequenas placas de celulose com dimensões 190x190x1,68 mm. Sua massa, em média, é de 0,02057kg. Foram usadas 15 placas e sua soma não ultrapassou 0,301kg. Essa massa representa em torno de 0,15% da massa de entrada da usina. Por esse motivo os impactos associados a esse material foram desconsiderados.

5.2. Levantamento de dados

5.2.1. Construção da rota de coleta de óleo de fritura

Os pontos de coleta foram nomeados com letras de A a O, sendo que, por se tratar de um trajeto em circuito, os locais de partida e chegada são os mesmos (ponto A). Foram considerados 15 pontos de coleta, sendo o local A onde a usina está instalada.

Os critérios utilizados para busca da rota adequada foram: (1) que o caminhão percorresse trechos longos com menor carga possível referente àquele trecho, buscando assim diminuição dos esforços do motor, do consumo de combustível e respectiva diminuição das emissões. Dessa forma o caminhão parte do ponto A até o ponto B sem agregação de carga.

O próximo critério foi (2) que o caminhão se deslocasse para o ponto mais próximo desse último. Houve situações onde um ponto tinha duas alternativas idênticas referentes a distância ao ponto anterior. O próximo critério, nesse caso, foi (3) o ponto que tivesse menor massa a ser recolhida, colaborando, assim, com a permanência do primeiro critério. Tais valores estão expressos na Tabela 5.4 e Tabela 5.5 respectivamente.

Tabela 5.4: Relação entre os pontos de coleta e a massa percentual coletada

Ponto	A	B	C	D	E	F	G	H
Massa coletada (%)	0*	20,5	03,5	0,70	5,66	17,52	2,34	03,5
Ponto	I	J	K	L	M	N	O	Total
Massa coletada (%)	5,84	13,4	8,76	04,67	04,85	08,18	0,58	100

*escola onde está instalada a usina. Os alunos levam o óleo até o local.

Para a geração das emissões associadas ao óleo de fritura, foram desconsideradas as emissões da etapa de cultivo do vegetal que deram origem ao óleo por considerar que esse material já cumpriu sua função, que foi a de servir para auxiliar a produção alimentar (processos de fritura).

Tabela 5.5: Trechos e seus respectivos valores mássicos (acumulado) de acordo com a e distância.

Trecho	A/B	B/C	C/D	D/E	E/F	F/G	G/H	H/I
d (km) ¹	60,2	39,6	6,70	5,70	11,2	2,90	5,50	3,00
φ ²	0*	0,200	0,240	0,247	0,303	0,479	0,502	0,537
Trecho	I/J	J/K	K/L	L/M	M/N	N/O	O/A	Total
D (km) ¹	01,20	1,50	13,1	10,6	3,30	16,6	7,50	188
φ ²	0,595	0,730	0,817	0,864	0,912	0,994	1,000	1,000

*caminhão partindo vazio. ¹ distância em km; ² fração mássica cumulada.

5.2.2. Consumo de energia

Para os respectivos balanços mássico e energético, foram acompanhados os procedimentos de diversas bateladas. Duas delas foram consideradas para o desenvolvimento do trabalho. Seus valores estão apresentados nos apêndices 1, 2 e 3.

Os valores somados das bateladas realizadas resultam em 260kg de biodiesel e os gastos energéticos somam 45 kW.h. Pelos dados coletados vê-se que o maior consumo foi para aquecimento do material para realização da transesterificação e para recuperação do metanol das fases leves e pesadas. Para o aquecimento, despendeu, em média, 72,3% do consumo de energia total.

Extrapolando o consumo de energia para 300kg de biodiesel, considerou-se que um excedente de 25% deve ser acrescido para produção desse montante.

5.3. Análise de Inventário

5.3.1. Balanço mássico

Para a operação da planta em sua capacidade máxima, é preciso utilização de 347kg de óleo de fritura. Porém para utilização dessa massa é necessário a coleta de 354kg de óleo de fritura peço fato do material orgânico que fica retido nas peneiras.

A partir disso, essa quantidade pode ser transferida para o reator principal e dar sequência às demais etapas de produção de biodiesel, conforme ilustra a Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Balanço mássico com base no fluxo de referência.

Etapa	Material de entrada	Massa (kg)	Material de saída	Massa (kg)	
Coleta do óleo	Óleo de fritura	354	Óleo de fritura	354	
Filtragem	Óleo de fritura	354	Óleo filtrado	347	
			Resíduo Orgânico	7	
Armazenam.	Óleo filtrado	347	Óleo filtrado	347	
Preparo solução catalítica	Metanol	76,32	Solução catalítica	79,8	
	KOH	3,47			
Reator principal	Óleo de fritura	347	Fase leve	Biodiesel	300
				Metanol	19,9
	Solução catalítica	79,8		Sabão	8,57
				Água	0,51
				ONR ⁽¹⁾	17
	Silicato de magnésio*	3,47	Fase pesada	Glicerina	34,1
			Metanol	17,2	
Tanque pulmão	Fase pesada		Glicerina	34,1	
		91,7	Metanol	19,9	
Filtro prensa	Fase leve	326,0	Biodiesel	300	
			Torta	Sabão	8,57
				Água	0,51
				Sil. de Mg	3,47
				ONR ⁽¹⁾	17

*silicato de magnésio é adicionado ao reator principal na etapa de purificação da fase leve, algum tempo antes da passagem pelo filtro prensa, conforme indicação em ambas as tabelas acima.

⁽¹⁾ Óleo não reagido

5.3.2. Balanço energético

Remetendo-se a produção de 300kg de biodiesel, chega-se ao valor aproximado de consumo de 56,3kW.h necessário para produção desse montante de biodiesel.

Como esse valor foi calculado visando alcançar o montante máximo de consumo energético gasto para a produção estipulada de biodiesel (que é a informação necessária para a construção da ACV nesse momento) não foi possível construir uma tabela informando o consumo energético por operação, como ilustrado no Apêndice, Tabela 8.3, especificando gasto de energia por etapa.

5.4. Avaliação do impacto do ciclo de vida

Dado o levantamento das informações necessárias a realização dos cálculos, pode-se alcançar os valores das quatro categorias de impacto selecionadas, avaliando os do sistema para cada variação de cenário.

5.4.1. Avaliação do Cenário 1

A seguir são apresentados os resultados do cenário 1, explanadas por categorias de impacto, cujos valores remetem-se aos resultados obtidos para o mesmo pelo qual representa a unidade produtora de biodiesel como está concebida e descrita nesse trabalho.

5.4.1.1. Mudanças Climáticas

As Mudanças Climáticas são representadas pelas diferentes substâncias emitidas pelo processo ou pelos processos necessários para a composição dos insumos que circulam no sistema, porém cada qual com seu grau de contribuição.

Nessa categoria, os processos relacionados ao metanol, 18,95kgCO₂eq. acarretam forte influência no impacto, seguida pela eletricidade, 10,57kgCO₂eq. e pelo óleo de fritura, 8,17 kgCO₂eq., representando 43,31% 24,16% e 18,67% do total respectivamente. O metanol é o principal responsável porque é produzido a partir do

gás natural. Esse material, além de ser matéria-prima para a produção desse insumo, promove o fornecimento de energia para alimentação do próprio processo.

Na Tabela 5.7 são mostradas as substâncias associadas ao insumo utilizado ou resíduo gerado. Em negrito estão destacados os maiores valores na coluna de cada insumo, eletricidade ou resíduo. Para três das seis colunas que representam as entradas do processo, as maiores emissões estão atreladas a linha do CO₂ de origem fóssil. Dessas emissões, o metanol é o maior colaborador.

Tabela 5.7: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Mudanças Climáticas.

Substância	Óleo de Fritura	Metanol	Ads. ^(d)	KOH ^(a)	Eletr. ^(b)	Resíduo	Total
CO ₂ ^(c)	6,91	-	-	-	-	0,031	6,94
CO ₂ fóssil ^(c)	1,001	16,17	1,11	4,50	4,14	-	26,93
CO ₂ mud. no uso da terra ^(c)	1,14E-05	0,00012	4,91E-05	0,0002	4,30	-	4,30
N ₂ O ^(c)	0,050	0,032	0,0072	0,040	0,12	0,00035	0,24
Metano Biogên. ^(c)	0,0001	0,0021	0,00096	0,0028	1,80	-	1,81
Metano Fóssil ^(c)	0,202	2,71	0,11	0,23	0,20	-	3,47
Processos Restatn. ^(c)	0,003	0,011	0,0026	0,0089	0,0091	0,0010	0,035
Total	8,17	18,95	1,24	4,78	10,57	0,033	43,75

^(a)estoque regional; ^(b)baixa tensão, grid brasileiro, expressa em kW.h; ^(c)expressos em kg CO₂ eq.; ^(d)Adsorvente.

As emissões vinculadas a eletricidade são provenientes de áreas alagadas pelas hidrelétricas, enquanto que as emissões associadas a óleo de fritura predominantemente é proveniente da etapa de coleta desse material, onde o transporte é realizado por veículos a diesel.

Os compostos descritos como substâncias restantes são aquelas que individualmente não ultrapassam 0,1% das emissões totais, sendo então indicadas dessa forma. A mesma consideração foi feita para todas as categorias de impacto.

O CO₂ de origem fóssil, 26,93 kg CO₂ eq., representa 61,5% das emissões. Isso devido principalmente às etapas de extração e/ou produção de metanol, adsorvente e hidróxido de potássio. Emissões de CO₂ associadas às mudanças da

	Fritura						
CFC-144 ^{(a) (1)}	1,31E-09	1,56E-08	8,18E-09	2,79E-08	3,73E-08	5,98E-11	9,90E-09
Halon 1211 ^{(a) (2)}	4,53E-09	4,06E-06	3,34E-08	2,48E-07	2,11E-07	-	4,55E-06
Halon 1301 ^{(a) (3)}	1,29E-06	3,04E-08	2,90E-08	9,51E-08	1,55E-07	4,46E-08	1,64E-06
HCFC-22 ^{(a) (4)}	1,46E-10	1,16E-07	1,19E-09	8,00E-09	1,56E-08	2,79E-14	1,41E-07
CFC-10 ^{(a) (5)}	3,32E-10	4,66E-09	3,74E-07	2,26E-09	1,76E-09	7,15E-14	3,83E-07
Processos Restantes ^(a)	7,42E-12	2,31E-09	1,05E-07	1,47E-10	3,31E-10	2,88E-12	2,90E-09
Total	1,29E-06	4,22E-06	4,46E-07	3,81E-07	4,21E-07	4,47E-08	6,75E-06

⁽¹⁾ Etano, -1,1,2,2-tetrafluoro-1,2-dicloro; ⁽²⁾ bromoclorodifluormetano; ⁽³⁾ trifluormetano; ⁽⁴⁾ clorodifluormetano; ⁽⁵⁾ tetraclorometano; ^(a) kg CFC-11 eq. ^(b) estoque regional; ^(c) baixa voltagem, grid brasileiro; ^(d) Adsorvente.

Pela tabela nota-se que nessa categoria as emissões estão mais distribuídas, não se concentrado em nenhum material preferencialmente, ao passo que todas as emissões estão relativamente dentro da mesma magnitude de grandeza. Destaca-se, porém, as emissões do bromoclorodifluormetano, ligado em quase sua totalidade aos processos de produção do Metanol, representando 67,4% do total emitido, assim como o trifluormetano que representa 24,3% do total, é representado pela etapa de coleta de Óleo de fritura.

Esse destaque torna-se evidente ao observar a Figura 5.2 onde observa-se que há uma coluna, pertencente ao metanol, que apresenta severa emissão, comparado às outras emissões da mesma categoria de impacto. Esse realce está associado ao transporte de gás natural por dutos.

No entanto, essa diferenciação, embora contrastante entre os insumos dentro de uma categoria de impacto, passa a ser despercebida quando comparado com as demais categorias escolhidas para análise do trabalho.

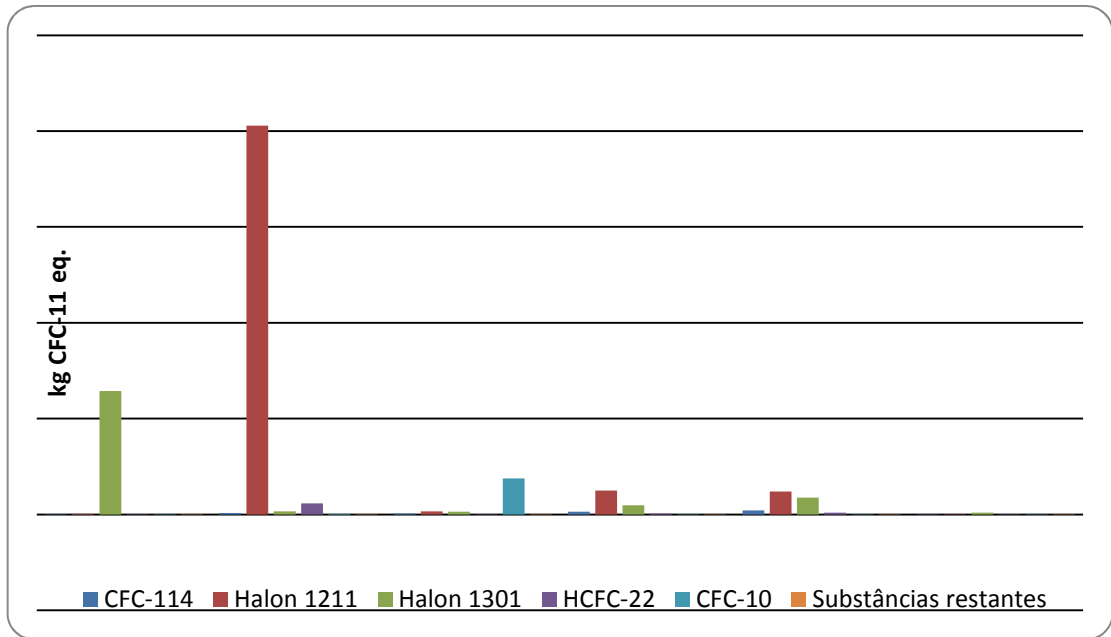


Figura 5.2: Emissões para Depleção do Ozônio de acordo com cada material ou utilidades.

5.4.1.3. Acidificação Terrestre

Substâncias que contribuem para o efeito de Acidificação Terrestre, da mesma forma que a Depleção do Ozônio, apresentam baixas emissões quando comparado dentro das categorias selecionadas, porém, comparadas individualmente, apresentam maior variabilidade. A Tabela 5.9 ilustra essa informação.

Os processos relacionados ao Óleo de Fritura respondem por 40,0% do total das emissões, enquanto que os processos envolvendo metanol, por 24,6%.

Nela é possível notar que, nessa categoria, para o óleo de fritura, o grande agente é o óxido de nitrogênio, que é referente à etapas de transporte e queima de combustível relacionado ao transporte dessa matéria prima. O Dióxido de nitrogênio oriundo apenas dos processos envolvendo óleo de fritura representa 32,7% do total. A soma de todos os fluxos que emitem essa substância, resulta em um montante de 51,8%.

O Dióxido de Nitrogênio apresenta-se também elevado para o metanol, que, no entanto, também conta com valores superiores de dióxido de enxofre como forte

propulsor de seu impacto. Isso pelo fato desse material fazer parte do processo de queima de gás natural para produção de metanol.

Tabela 5.9: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Acidificação Terrestre.

Substância	Óleo de Fritura	Metanol	Ads. ^(d)	KOH ^(b)	Eletr. ^(c)	Resíduo	Total
Amônia ^(a)	0,00028	8,31E-05	0,00032	9,72E-05	0,0005	3,39E-09	0,0013
Óxidos de Nitrogênio ^(a)	0,036	0,012	0,0014	0,0043	0,0031	0,00022	0,059
Dióxido de Enxofre ^(a)	0,0068	0,015	0,0081	0,012	0,0048	-	0,047
Processos Restantes ^(a)	-	-	-	-	-	4,46E-05	4,46E-05
Total	0,0435	0,0274	0,0099	0,016	0,0084	0,00026	0,111

^(a) kg SO₂ eq. ^(b) estoque regional; ^(c) baixa tensão, grid brasileiro; ^(d) Adsorvente.

O dióxido de enxofre apresenta-se de forma mais distribuídas entre os fluxos de entrada desse cenário. Suas emissões representam 42,7% das emissões totais.

Utilizando as informações da Tabela 5.9 é possível construir um gráfico onde se torna melhor a visualização das substâncias que promovem as maiores emissões.

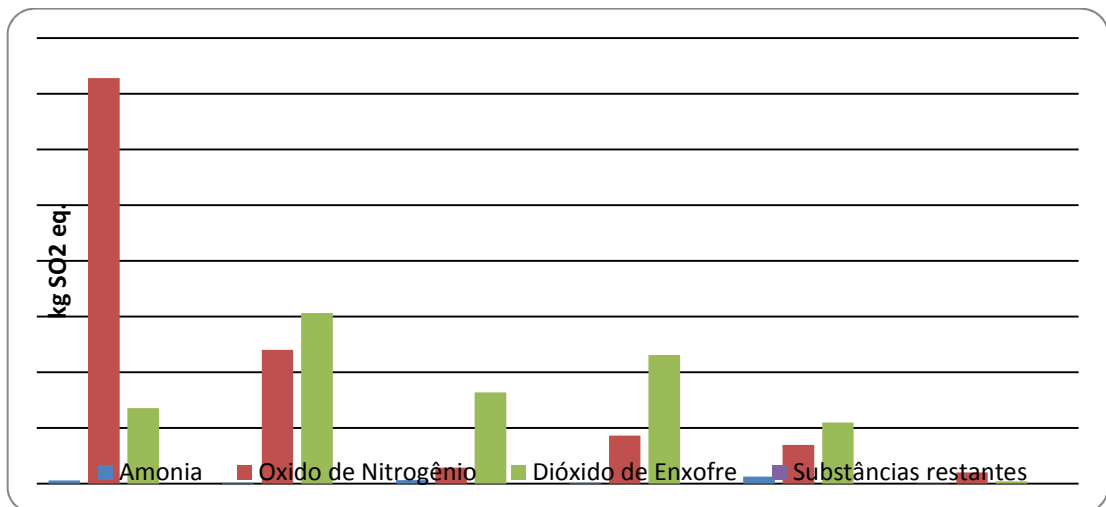


Figura 5.3: Emissões de substâncias que colaboram para o efeito de Acidificação Terrestre de acordo com cada material ou utilidades.

5.4.1.4. Depleção dos Recursos Fósseis

No que diz respeito a Depleção de Recursos Fósseis, evidentemente os maiores valores de impactos estão conferidos ao metanol, conforme mostra a Tabela 5.10.

Tabela 5.10: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Depl. dos Rec. Fósseis.

Substância	OF ^(E)	Metanol	Ads. ^(d)	KOH ^(b)	Eletr. ^(c)	Total
Carvão do solo ^(a)	0,0090	0,13	0,055	0,22	0,0030	0,43
Carvão pesado do solo ^(a)	0,0095	0,14	0,11	0,31	0,26	0,84
Gás Natural do solo ^(a)	0,16	22,38	0,22	0,74	0,64	24,15
Óleo Bruto do Solo ^(a)	2,72	0,074	0,24	0,24	0,33	3,62
Processos restantes ^(a)	0,00019	0,0029	0,0024	0,0063	0,0053	0,027
Total	2,90	22,74	,0,64	1,54	1,24	28,53

^(a)kg óleo eq.; ^(b) estoque regional; ^(c) baixa tensão, grid brasileiro; ^(d) adsorvente; ^(E) óleo de fritura.

Os valores em negrito indicam as maiores depleções relacionados a cada material. Vê-se que o gás natural utilizado nos processamentos de produção de metanol representa as maiores depleções, seguido, embora de longe, por processos envolvidos no óleo de fritura.

Por essas informações é possível notar que a utilização de gás natural é expressiva nessa categoria de impacto, assim como a queima de diesel, utilizado na etapa de coleta do óleo de fritura, também colabora com a Depleção de Recursos Fósseis.

Os processos que envolvem o gás natural para produção apenas de Metanol representam 92,7% da depleção de gás natural. Esse mesmo valor, 22,38 kg óleo eq., ainda responde por 84,7% de toda a Depleção do Recursos Fósseis, seguida

pela utilização de óleo bruto, principalmente atrelada a sua etapa de coleta, com 12,7%.

Impactos relacionados a degradação residual não foram adicionados nessa categoria por considerar que a mesma não demanda recursos fósseis para tal.

Utilizando esses valores, pode-se construir a Figura 5.4 onde se torna evidente a superioridade do metanol em Depleção dos Recursos Fósseis.

Essa grande emissão está atrelada ao metanol que se associada a exploração de gás natural realizada em alto mar.

Falando ainda da mesma Figura 5.4, os valores que representam as emissões do Adsorvente, KOH e Eletricidade foram postos em outra escala, dentro da mesma figura para ver como se comportam entre si. Considerando suas pequenas proporcionalidades, comparadas as emissões do metanol, por exemplo, ainda o gás natural é responsável pelas maiores emissões.

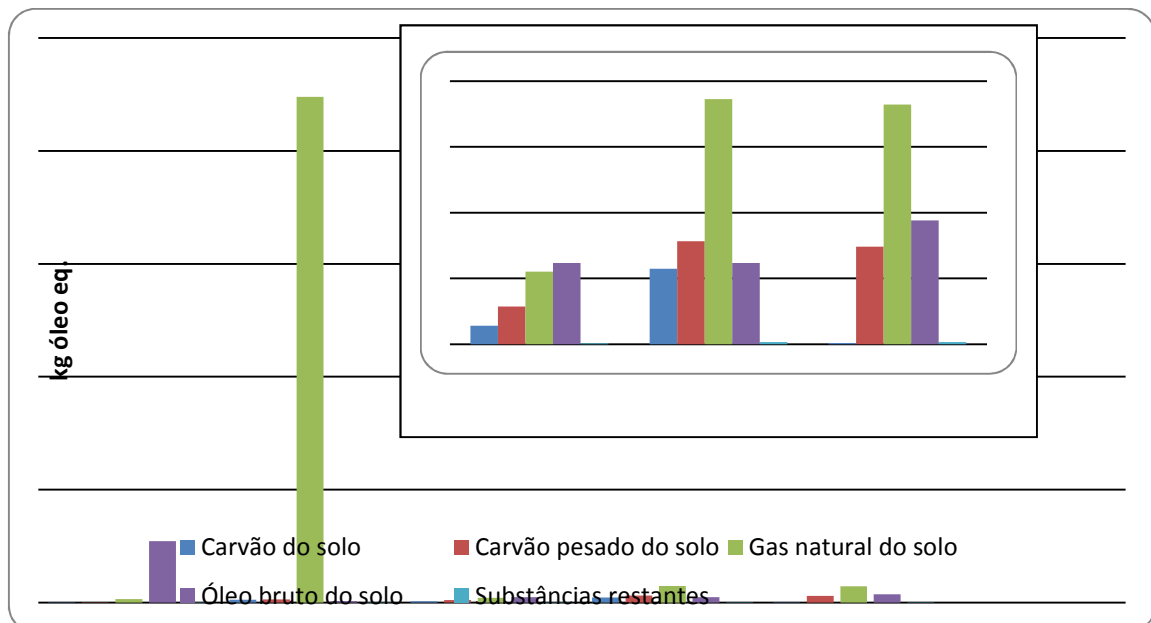


Figura 5.4: Consumo de matérias que colaboram para a Depleção dos Recursos Fósseis de acordo com cada material ou utilidades.

5.4.1.5. Avaliação Geral do Cenário 1

O resultado geral do cenário 1 encontra-se na Tabela 5.11. Observando o valor total das categorias denominadas Mudanças Climáticas e Depleção de Recursos Fósseis, nota-se que seus valores encontram-se um tanto quanto diferenciados das outras duas categorias, sendo bem superiores numericamente, embora tenham diferentes dimensões.

Os valores mais altos de cada fluxo foram destacados em negrito na tabela. Nota-se que em três dos quatro maiores valores relacionam-se ao metanol, que entra no processo como insumo na produção de biodiesel.

Analisando apenas as Mudanças Climáticas, é possível notar que se tem o metanol como principal colaborador, assim como óleo de fritura e a eletricidade têm valores expressivos para essa categoria de impacto. Óleo de fritura também, por essa tabela, tem, embora muito inferior que o metanol, impactos na Depleção dos Recursos Fósseis.

Os menores impactos estão todos associados aos resíduos. Para construção desse cenário, considerou-se que todos os resíduos gerados pela unidade como inertes, o que necessariamente pode não corresponder a realidade. Porém há a ausência de informações que relatem como esses materiais se comportam (degradam) na natureza, o que impossibilitou o estudo de realizar uma leitura real nesse contexto, sendo, por isso, teoricamente disponibilizados como compostos inertes.

Tabela 5.11: Valores dos impactos ambientais referentes aos materiais utilizados para o cenário 1.

Categoria de impacto	Óleo de fritura	Metanol	a ^(c)	KOH ^(a)	e ^(b)	Resíduo	Total
Mudança climática (kg CO ₂ eq)	8,17	18,95	1,24	4,78	10,57	0,033	43,75
Depleção do ozônio (kg CFC-11 eq)	1,29E-06	4,22E-06	4,46E-07	3,81E-07	4,21E-07	4,47E-08	6,75E-06
Acidificação terrestre (kg SO ₂ eq)	0,0435	0,0274	0,0099	0,016	0,0084	0,00026	0,111
Depleção de recursos fósseis (kg oil eq)	2,90	22,74	,064	1,54	1,24	-	28,53

^(a)estoque regional; ^(b) Eletricidade baixa tensão, grid brasileiro; ^(c) Adsorvente

Utilizando as informações da Tabela 5.11 construiu-se a Figura 5.5, onde é possível observar como se comportam esses valores quando comparados entre si, mesmo, em princípio, não tendo dimensões que possam realizar uma parametrização.

Com o gráfico, mesmo estando em unidades diferentes, pode-se ter uma idéia da diferença entre as categorias de impacto, tornando-se visível que Mudanças Climáticas e Depleção de Recursos Fósseis são os maiores representantes dos impactos desse sistema, dando destaque à matéria-prima Óleo de Fritura, ao insumo Metanol e a utilização da Eletricidade.

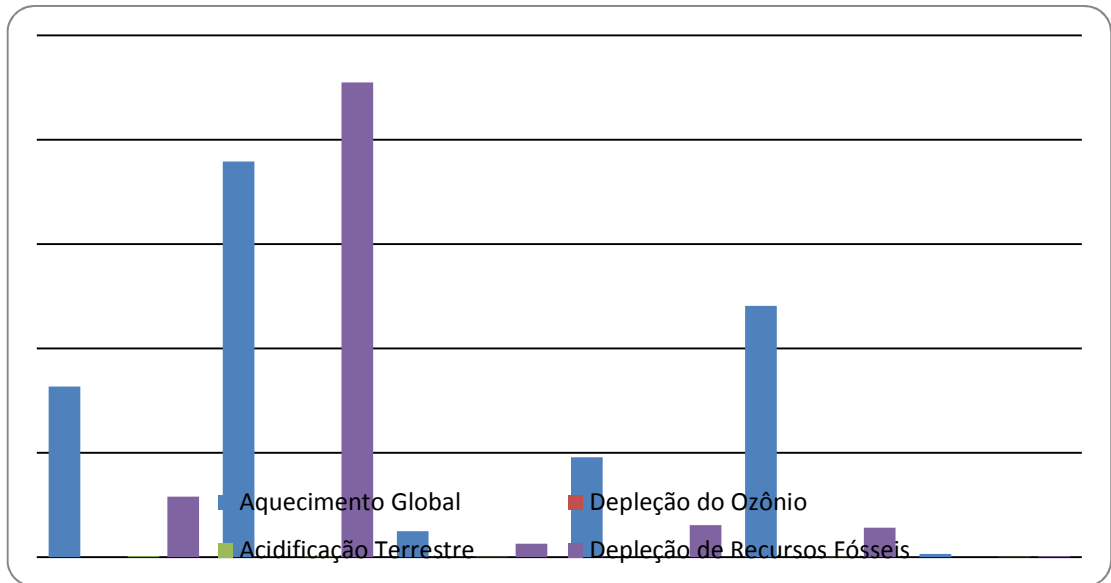


Figura 5.5: Comparação entre as emissões de cada categorias de impacto.

5.4.2. Avaliação do Cenário 2

O cenário 2 foi construído a partir do cenário 1, adicionando a esse um biodigestor que tem como objetivo digerir o material orgânico oriundo da etapa de filtragem do óleo de fritura, assim como glicerina bruta. Também, ao mesmo tempo queimar gases combustíveis gerados sem objetivo de reaproveitamento de energia. Isso se fez necessário para tornar menos nocivos ao meio ambiente tais emissões gasosas, sendo composto, em sua maioria, após a queima, por CO₂.

5.4.2.1. Mudanças Climáticas

A categoria de Impacto denominada Mudanças Climáticas tem como colabores de seu efeito no cenário 2 as substâncias listadas na Tabela 5.12. As substâncias restantes são aquelas também emitidas para o ar, porém que não ultrapassam 0,1% individualmente, e sua soma está informada na Tabela 5.12.

Nota-se que as maiores emissões ainda também estão associadas ao metanol e uso da eletricidade, porém o Biodigestor ocupou a terceira posição, representando respectivamente 33,8; 21,5 e 19,4% do total emitido.

Tabela 5.12 : Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Aquecimento Global

Substância	Óleo de Fritura	Metanol	Ads. ^(c)	KOH ^(a)	Eletric. ^(b)	Biodig. ^(d)	Total
CO ₂ ^(e)	6,91	-	-	-	-	-	6,91
CO ₂ fóssil ^(e)	1,001	16,17	1,11	4,50	4,72	1,09	28,61
CO ₂ mud. no uso da terra ^(e)	1,14E-05	0,00012	4,91E-05	0,0002	4,90	2,67E-06	4,90
N ₂ O ^(e)	0,050	0,032	0,0072	0,040	0,13	1,35	1,61
Metano Biogên. ^(e)	0,0001	0,0021	0,00096	0,0028	2,05	8,39	10,45
Metano Fóssil ^(e)	0,202	2,71	0,11	0,23	0,22	0,029	3,52
Processos Restatn. ^(e)	0,0031	0,011	0,0026	0,0089	0,010	0,0011	0,037
Total	8,17	18,95	1,24	4,78	12,04	10,87	56,05

^(a)estoque regional; ^(b)baixa tensão, grid brasileiro.; ^(c)Adsorvente

^(d) biodigestor anaeróbio; ^(e) kg CO₂ eq.

É possível notar que o CO₂, principalmente emitido pelos processos envolvendo o Metanol, e metano biogênico associado ao biodigestor, representam as principais substâncias emitidas nessa categoria. Nesse cenário, o CO₂ de origem fóssil lançado apenas pelos processos envolvendo o Metanol representam 28,9% do total, 56,05kg de CO₂ eq. Porém tal valor é responsável por 56,5% de todo CO₂ de origem fóssil.

Nesse cenário, houve enorme aumento das emissões de metano biogênico envolvidos aos processos que associam o biodigestor devido à degradação de matéria orgânica e geração desse material. A emissão de metano biogênico atrelada apenas ao biodigestor representa 80,3% de toda emissão desta substância, enquanto que os 10,45kg de CO₂ eq. de metano biogênico representam 18,6% do total supostamente emitido.

A Figura 5.6 ilustra esses valores. Nela é possível ver a grande quantidade de Dióxido de Carbono emitido pelo Metanol proveniente da utilização de recursos fósseis, assim como, em menor quantidade, para o Adsorvente e para a Eletricidade. Também é possível notar a grande quantidade de metano biogênico liberado apenas nos processos envolvendo o biodigestor.

Impactos provenientes dos processamentos da eletricidade também merecem destaque, representando emissões de CO₂ oriundos de mudanças do uso da terra.

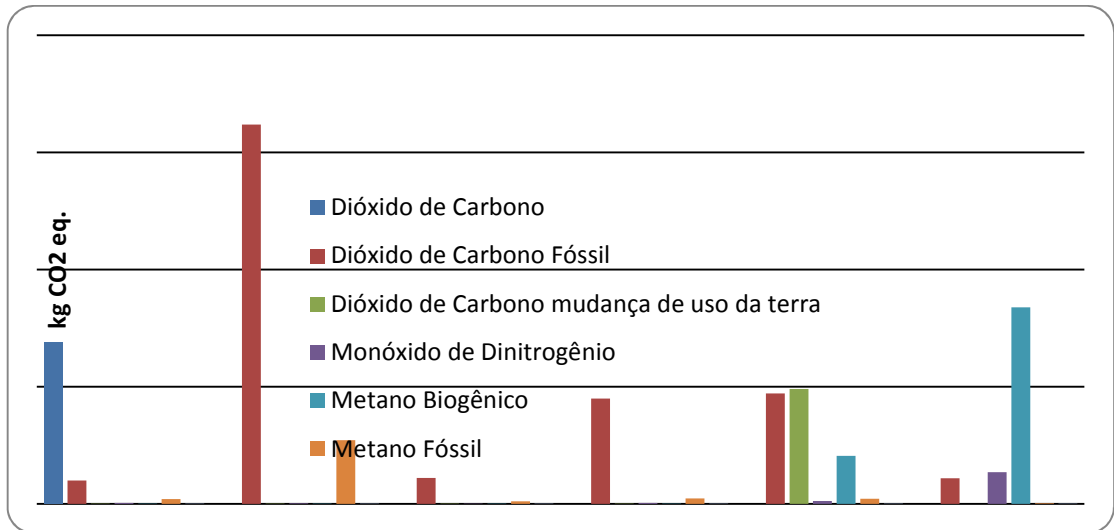


Figura 5.6: Emissões para Mudanças Climáticas de acordo com cada material ou utilidades.

5.4.2.2. Depleção do Ozônio

A exemplo do ocorrido para Depleção do Ozônio no cenário 1, os dados do cenário 2 têm as mesmas características, ou seja, boa distribuição, não possuindo destaque nenhum componente, a não ser para o Halon1211, como anteriormente, fato que, frente as demais categorias de impacto, não tem expressiva colaboração para degradação ambiental.

Dessa forma torna-se evidente que, quase que exclusivamente, para essa categoria de impacto do cenário 2, o bromoclorodifluormetano e o trifluormetano são os mais emitidos, com 62,2 e 24,9% respectivamente. Ambos associados aos processos de produção do Metanol e Óleo de Fritura.

Tabela 5.13: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Depleção do Ozônio

Substância	Óleo de Fritura	Metanol	Ads. ^(d)	KOH ^(b)	Eletr. ^(c)	Biod. ^(e)	Total
CFC- 144 ^(a) (1)	1,31E-09	1,56E-08	8,18E-09	2,79E-08	4,24E-08	2,03E-09	9,75E-08
Halon 1211 ^(a) (2)	4,53E-09	4,06E-06	3,34E-08	2,48E-07	2,40E-07	2,39E-08	4,61E-06
Halon 1301 ^(a) (3)	1,29E-06	3,04E-08	2,90E-08	9,51E-08	1,77E-07	1,11E-07	1,73E-06
HCFC-22 ^(a) ⁽⁴⁾	1,46E-10	1,16E-07	1,19E-09	8,00E-09	1,77E-08	6,93E-10	1,44E-07
CFC-10 ^(a) ⁽⁵⁾	3,32E-10	4,66E-09	3,74E-07	2,26E-09	2,00E-09	1,34E-10	3,84E-07
Processos Restantes ^(a)	7,42E-12	2,31E-09	1,05E-07	1,47E-10	3,77E-10	1,44E-11	2,96E-09
Total	1,29E-06	4,22E-06	4,46E-07	3,81E-07	4,80E-07	1,38E-07	6,96E-06

⁽¹⁾ Etano, 1,2-dicloro-1,1,2,2-tetrafluoro; ⁽²⁾ bromoclorodifluorometano; ⁽³⁾ trifluorometano;

⁽⁴⁾ clorodifluorometano; ⁽⁵⁾ tetraclorometano;

^(a) kg CFC-11 eq.; ^(b) estoque regional; ^(c) baixa tensão, grid brasileiro; ^(d) Adsorvente; ^(e) biodigestor anaeróbio.

A partir das informações fornecidas pela Tabela 5.13, pode-se construir um gráfico, Figura 5.7, no qual se ilustra as maiores substâncias responsáveis pelos impactos nessa categoria.

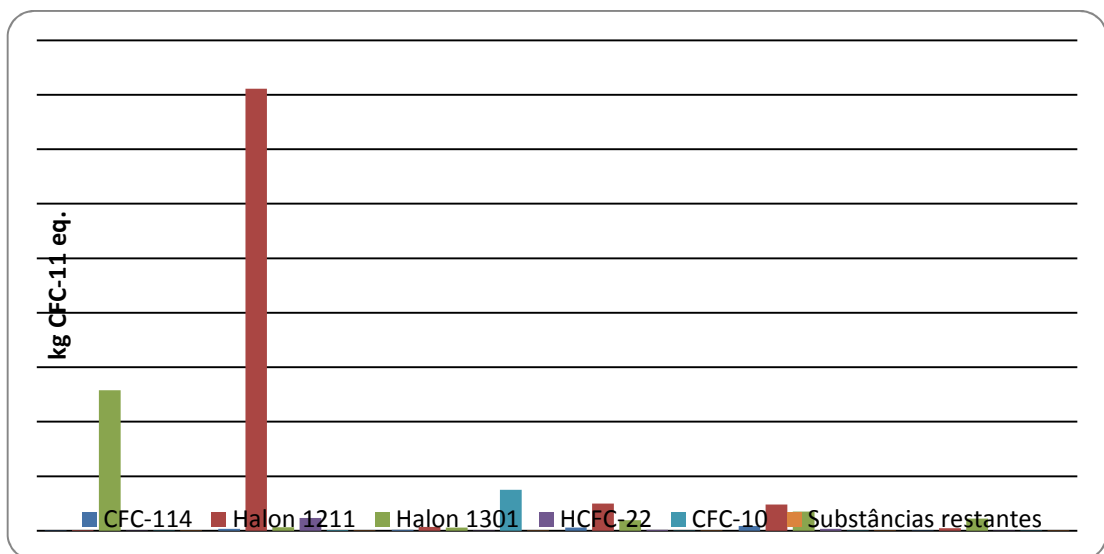


Figura 5.7: Emissões para Depleção do Ozônio de acordo com cada material ou utilidades.

5.4.2.3. Acidificação Terrestre

A Acidificação Terrestre gerou os seguintes resultados, mostrados pela Tabela 5.14. Embora também bem distribuídos, os valores para alguns fluxos foram alterados, em comparação, quando possível, com o cenário 1.

Tabela 5.14: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Acidificação Terrestre.

Substância	Óleo de Fritura	Metanol	Ads. ^(d)	KOH ^(b)	Eletr. ^(c)	Biodig. ^(e)	Total
Amônia ^(a)	0,00028	8,31E-05	0,00032	9,72E-05	0,0006	0,037	0,033
Óxidos de Nitrogênio ^(a)	0,036	0,012	0,0014	0,0043	0,0035	0,0036	0,061
Dióxido de Enxofre ^(a)	0,0068	0,015	0,0082	0,012	0,0055	0,0014	0,048
Processos restantes ^(a)	-	-	-	-	-	-	-
Total	0,0435	0,0274	0,0099	0,016	0,0096	0,037	0,14

^(a) kg SO₂ eq. ^(b) estoque regional; ^(c) baixa voltagem, grid brasileiro; ^(d) Adsorvente; ^(e) Biodigestor anaeróbio.

Embora quem responda pelas maiores emissões seja os processos envolvendo o Óleo de Fritura com 31,4%, a segunda posição passou a ser ocupada pelo Biodigestor, adicionado a esse cenário, respondendo por 26,4%, seguido então pelos processos envolvendo o metanol com 19,3%.

Embora haja certa distribuição similar entre as substâncias promotoras desse impacto, o maior dele é o óxido de nitrogênio, representando 43,6%, sendo que, quem bem agrega esse valor são os processos de óleo de fritura.

Pode-se com esses valores construir o gráfico no qual é possível observar a evolução de alguns valores, principalmente para Amônia que tem evolução acentuada com a adição do Biodigestor.

A alta produção de Amônia está atrelada a degradação principalmente de proteínas e aminoácidos que são adicionadas ao biodigestor vindos do esterco dos animais. Também pode ser gerada da uréia da urina dos mesmos. Amônia e Óxido de nitrogênio são emitidos, nesse cenário, valores que representam 23,7 e 22,1% respectivamente.

A Figura 5.8, com exceção da Amônia, mostra-se bem similar à Acidificação Terrestre mostrada no cenário 1.

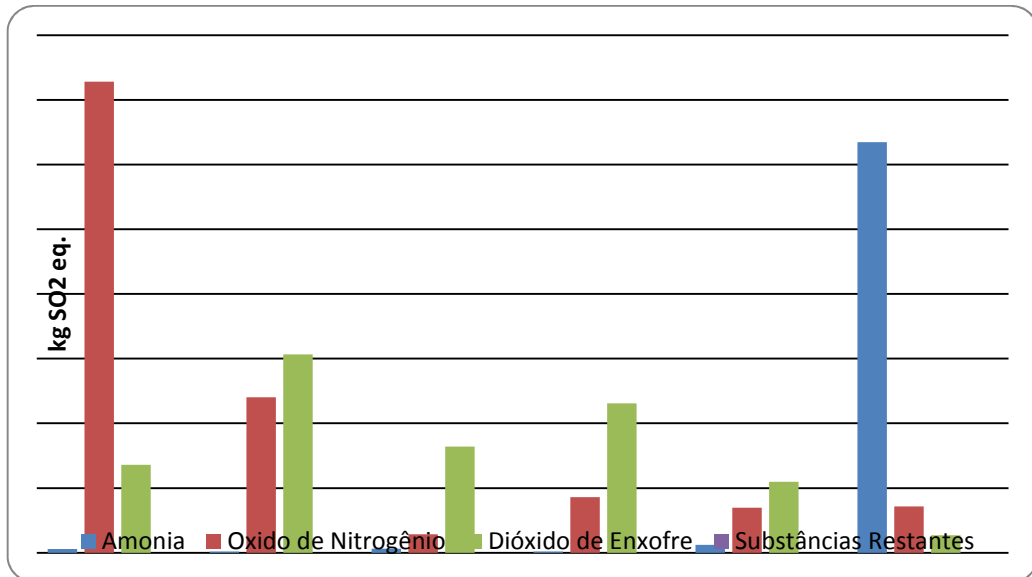


Figura 5.8: Emissões para Acidificação Terrestre de acordo com cada material ou utilidades

5.4.2.4. Depleção dos Recursos Fósseis

A Depleção dos Recursos Fósseis, também para o cenário 2, continua sendo intimamente atrelada a produção do metanol. A Tabela 5.15 construída a partir dos valores gerados na avaliação dessa categoria, pode ilustrar esse fato. Os processos que envolvem a produção de metanol continuam resultando nos maiores impactos. Tal valor, 22,74 kg óleo eq. representa 76,9% do total emitido, seguido pelos processos envolvidos no Óleo de Fritura, respondendo por 9,81%.

Os valores em negrito são as maiores emissões dentro de cada fluxo da unidade. A grande maioria das emissões estão associadas ao uso de gás natural e óleo bruto. O valor do Gás natural, 22,38 kg óleo eq., utilizado para produção de metanol corresponde a 92,0% do total desse material associado a produção de biodiesel nessa unidade, sendo que esse mesmo valor representa 75,7% do total de Depleção de Recursos Fósseis para o cenário 2.

Tabela 5.15: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Depl. dos Rec. Fósseis

Substância	Óleo de Fritura	Metanol	Ads. ^(d)	KOH ^(b)	Eletr. ^(c)	Biodig. ^(e)	Total
Carvão do solo ^(a)	0,0090	0,13	0,055	0,23	0,0034	0,0027	0,43
Carvão pós. do solo ^(a)	0,0095	0,14	0,11	0,31	0,29	0,0030	0,88
Gás Natural do solo ^(a)	0,16	22,38	0,22	0,74	0,72	0,083	24,32
Óleo Bruto do Solo ^(a)	2,72	0,074	0,24	0,24	0,37	0,23	3,90
Processos restantes ^(a)	0,00019	0,0029	0,0024	0,0063	0,0060	6,27E-05	0,017
Total	2,90	22,74	,0,64	1,54	1,41	0,32	29,56

^(a) kg óleo eq. ^(b) estoque regional; ^(c) baixa tensão, grid brasileiro; ^(d) Adsorvente. ^(e) Biodigestor

O óleo bruto utilizado, 3,9 kg óleo eq., responde a 13,2% do total., sendo que a maioria desse percentual corresponde a emissões da etapa de coleta de Óleo de Fritura.

A partir dessas informações, é possível construir a Figura 5.9, onde estão plotados os valores de depleções referentes a essa categoria de impacto e onde também se observa a relevância que tem os processos referentes a produção de Metanol para a Depleção de Recursos Fósseis.

A Figura 5.9 ainda traz um detalhe ampliado mostrando os valores que apareceram em menor quantidade na escala original. Nela também é possível ver que os processos envolvendo gás natural tem grande representatividade ainda mesmo nessas proporções.

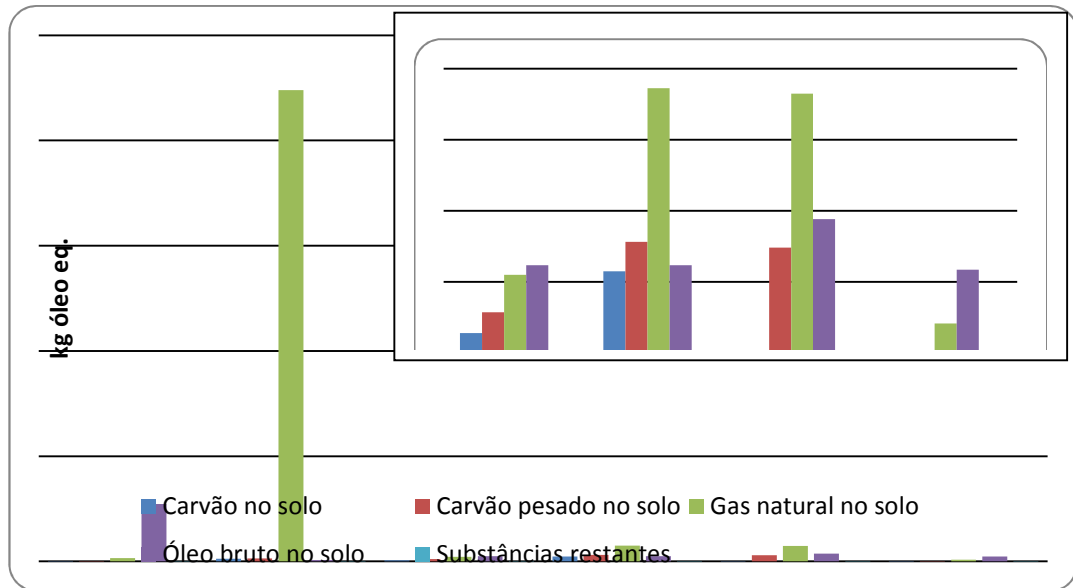


Figura 5.9: Emissões para Dep. Dos Rec. Fósseis de acordo com cada material ou utilidades.

5.4.2.5. Avaliação Geral do Cenário 2

As emissões referentes a esse cenário, estão expressas na Tabela 5.16. os valores em negrito indicam os maiores resultados dentro de cada categoria de impacto.

Tabela 5.16: Valores dos impactos ambientais referentes aos materiais utilizados para o cenário 2.

Categoria de impacto	Óleo de fritura	Metanol	Ads. ^(c)	KOH ^(a)	Eletric. ^(b)	Biodig. ^(d)	Total
Mud. Climát. (kg CO ₂ eq)	8,17	18,95	1,24	4,78	12,04	10,87	56,05
Depl. do ozônio (kg CFC-11 eq)	1,29E-06	4,22E-06	4,46E-07	3,81E-07	4,80E-07	1,38E-07	6,96E-06
Acid. Ter. (kg SO ₂ eq)	0,0435	0,0274	0,0099	0,016	0,0096	0,0367	0,14
Dep. de rec fós. (kg oil eq)	2,90	22,74	,0,64	1,54	1,41	0,32	29,56

^(a)estoque regional; ^(b)baixa tensão, grid brasileiro.; ^(c)Adsorvente

^(d) biodigestor anaeróbio.

Assim como apresentado no cenário, o metanol apresenta-se como responsável do maior nível de emissões, porém para as Mudanças Climáticas além de despontar os valores da eletricidade e do óleo de fritura, também se tem o

aumento considerável de emissões referentes ao biodigestor. A inclusão do biodigestor alterou o valor principalmente da eletricidade e a disposição de resíduo.

Também é possível notar que o valor total das categorias denominadas Mudanças Climáticas e Depleção de Recursos Fósseis, tem resultados diferentes das outras duas categorias, sendo bem superiores.

A Figura 5.10, construída com os valores da Tabela 5.16 realça as emissões oriundas do metanol, porém também é notado o pronunciamento das emissões oriundas do óleo de Fritura, da eletricidade e do biodigestor para o Aquecimento Global. Em Depleções de Recursos Fósseis, o metanol é o maior influente.

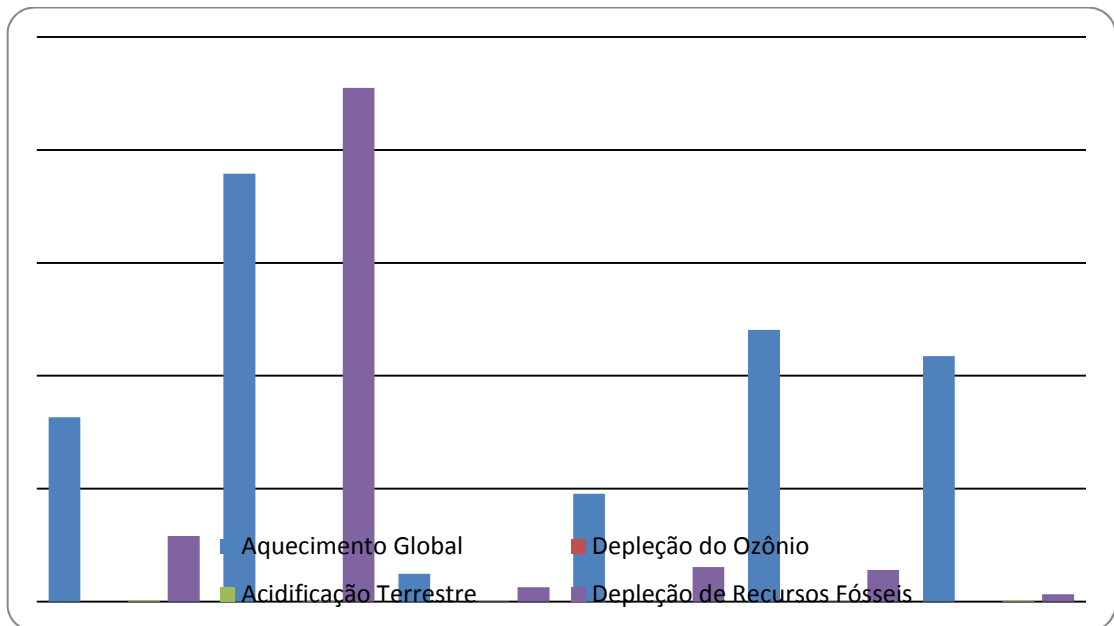


Figura 5.10: Comparação entre as emissões de cada categorias de impacto.

5.4.3. Avaliação do Cenário 3

O cenário 3 é um prolongamento do cenário 2, no qual após a adição do biodigestor, é adicionado o gerador elétrico. A partir disso podem ser averiguados os respectivos impactos. A Figura 4.12, apresentada do capítulo anterior, ilustra esse cenário.

Para ilustrar como se associou os fluxos nesse cenário 3, construiu-se o fluxograma, é mostrado pela Figura 5.11. Nela é possível ver a distribuição de

energia pelas etapas propostas e o excedente sendo disponibilizado para a rede. Valor do material disponibilizado para o biodigestor pode gerar $69,5\text{m}^3/\text{dia}$ de biogás, no entanto, apenas 60,8% desse valor é composto por metano, material combustível. Os desenvolvimentos foram realizados sobre essa demanda, ou seja, $42,3\text{m}^3/\text{dia}$ de metano.

Esse valor é o suficiente para geração de 120kW.h de energia, que se distribui em $26,5\text{kW.h}$ para a manutenção do biodigestor, $56,3\text{kW.h}$ que alimenta a usina e o restante, $37,5\text{kW.h}$ que pode ser colocado na rede. Esse último valor corresponde ao impacto evitado pelo processo e suas respectivas emissões negativas.

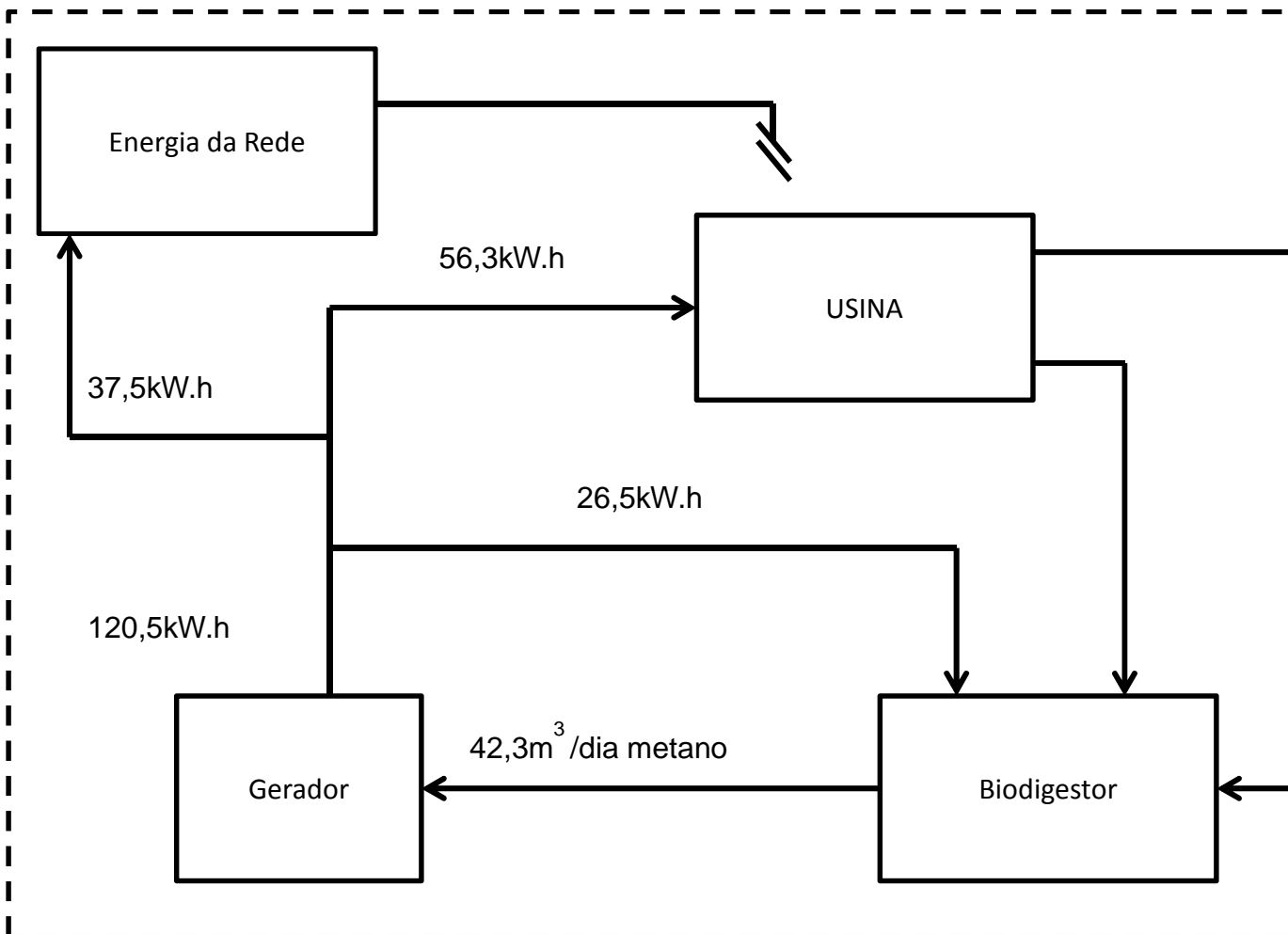


Figura 5.11: Movimentação energética proposta para o cenário 3

5.4.3.1. Mudanças Climáticas

Os valores gerados a partir desse cenário para as categorias das Mudanças Climáticas estão expostas na Tabela 5.17. Destaca-se o levantamento dos valores dessa categoria são os valores que associam a eletricidade, os quais são negativos.

Tomando como ponto de vista os fluxos, o metanol representa o maior valor mostrado pela referida tabela, seguido pelos processos envolvidos no Óleo de Fritura e Gerador de eletricidade, respondendo por 60,3; 26,0 e 22,3% respectivamente. Destacando os processos que se relacionam com a eletricidade por gerarem emissão evitada.

Os valores em negrito são os maiores resultados dentro de cada fluxo. Como no desenvolvimento dos demais cenários, nesse também o maior representante de emissões dessa categoria então associados às emissões de CO₂ de origem fóssil, onde quatro valores máximos dos seis apresentados pela tabela estão representados por essa substância.

As emissões de CO₂ fóssil associada ao Metanol, 16,18kg CO₂ eq. respondem por 72,0% das emissões para essa substância, ao passo que o mesmo valor representa 51,5% de todas as emissões para essa categoria, ou seja, 31,45 kg CO₂ eq.

Tabela 5.17: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Mudanças Climáticas.

Substância	Óleo de Fritura	Metanol	Ads. ^(d)	KOH ^(a)	Elet. ^(b)	Gerador	Total
CO ₂ ^(c)	6,91	-	-	-	-	0,82	7,73
CO ₂ fóssil ^(c)	1,001	16,18	1,11	4,50	<u>-3,43</u>	3,10	22,47
CO ₂ mud. no uso da terra ^(c)	1,14E-05	0,00012	4,91E-05	0,0002	<u>-3,56</u>	<u>-0,42</u>	<u>-3,98</u>
N ₂ O ^(c)	0,050	0,032	0,0072	0,040	-0,095	2,01	2,04
Metano Biogênico ^(c)	0,00013	0,0021	0,00096	0,0028	<u>-1,49</u>	1,13	<u>-0,35</u>
Metano Fóssil ^(c)	0,202	2,73	0,11	0,23	<u>-0,16</u>	0,38	3,50

Processos Restantes ^(c)	0,0031	0,011	0,0026	0,0089	<u>-0,01</u>	0,0022	0,020
Total	8,17	18,95	1,24	4,78	<u>-8,75</u>	7,02	31,42

^(a) estoque regional; ^(b) baixa voltagem, grid brasileiro; ^(c) expressos em kg CO₂ eq.; ^(d) Adsorvente.

O metano fóssil corresponde a 11,1% do total emitido, sendo que 78,0% desse valor também está atrelado aos processamentos associados a produção de metanol.

Os valores sublinhados são emissões que podem ser consideradas como evitadas. Todos os gases emitidos nos processamentos da eletricidade resultaram em valores negativos. Merecem destaque o valor -3,56 kg CO₂ eq e -3,43 kg CO₂ eq expressando que CO₂ oriundas de mudanças de uso da terra e fóssil, respectivamente, foram evitadas. O biodigestor também colabora evitando emissões de CO₂ pela mudança do uso da terra.

Para os impactos do metano biogênico, nota-se que esse valor relaciona-se a emissões evitadas, oriundas dos processos de geração de eletricidade resultando em valor de -0,35 kg CO₂ eq.

A Figura 5.12, construída a partir dos valores da Tabela 5.17 mostram a permanência de alguns valores relacionados a essa categoria de impacto ao passo que ilustra os valores negativos, ou impactos evitados, quando se integra ao sistema um gerador elétrico, poupando o consumo de energia oriunda da rede pública de energia.

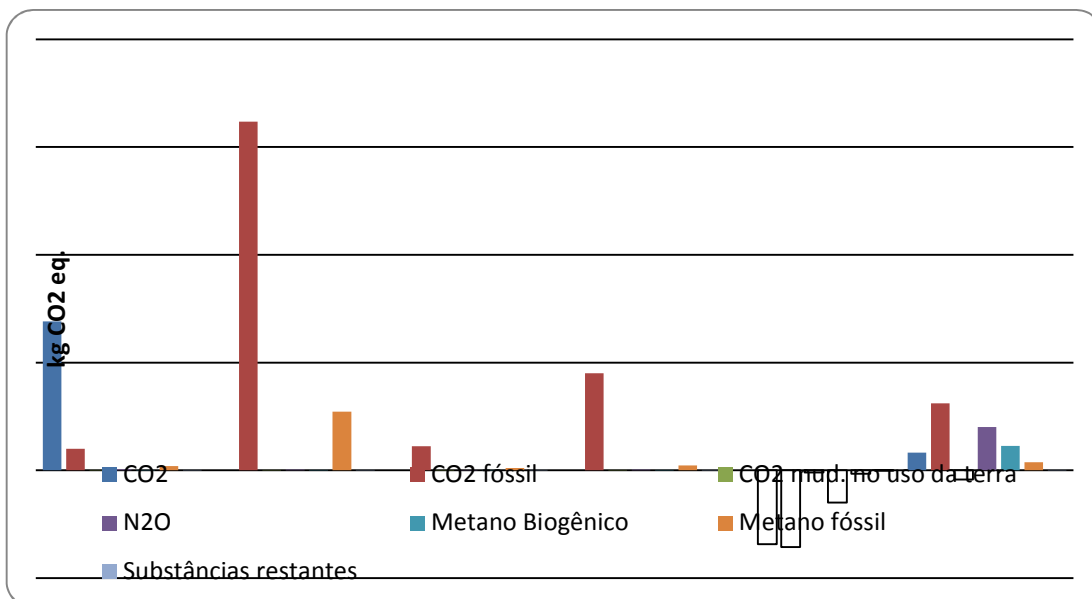


Figura 5.12: Emissões para Mudanças Climáticas de acordo com cada material ou utilidades.

O metanol ainda se apresenta como maior emissor de CO₂ fóssil, seguido pelos processamentos do adsorvente e gerador elétrico.

5.4.3.2. Depleção do Ozônio

Embora a Tabela 5.18 apresente valores também distribuídos, eles não se fazem significativos frente a avaliação global do sistema, os valores associados aos fluxos de Óleo de Fritura, Metanol, Adsorvente e catalisador basicamente não se alteraram. Ao contrário, os valores relacionados a eletricidade tiveram abrupta alteração, dado o que vinha sendo obtido dos demais cenários. O gerador apresentou resultados na mesma ordem de grandeza dos demais.

Tabela 5.18 : Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Depleção do Ozônio.

Substância	Óleo de Fritura	Metanol	Ads. ^(d)	KOH ^(b)	Eletr. ^(c)	Gerador	Total
CFC-144 ^{(a)(1)}	1,31E-09	1,56E-08	8,18E-09	2,79E-08	-3,08E-08	2,75E-09	2,50E-08
Halon 1211 ^{(a)(2)}	4,53E-09	4,06E-06	3,34E-08	2,48E-07	-1,75E-07	4,95E-07	4,66E-06
Halon 1301 ^{(a)(3)}	1,29E-06	3,04E-08	2,90E-08	9,51E-08	-1,28E-07	2,25E-07	1,54E-06
HCFC-22 ^(a)	1,46E-10	1,16E-07	1,19E-09	8,00E-09	-1,29E-08	1,34E-08	1,26E-07

⁽⁴⁾							
CFC-10 ^{(a) (5)}	3,32E-10	4,66E-09	3,74E-07	2,26E-09	-1,45E-09	4,52E-14	4,25E-07
Processos Restantes ^(a)	7,42E-12	2,31E-09	1,05E-07	1,47E-10	-2,74E-10	2,447388 E-10	2,56E-09
Total	1,29E-06	4,22E-06	4,46E-07	3,81E-07	-3,48E-07	7,81E-07	6,78E-06

⁽¹⁾ Etano, 1,2-dicloro-1,1,2,2-tetrafluoro; ⁽²⁾ bromoclorodifluormetano; ⁽³⁾ trifluormetano; ⁽⁴⁾ clorodifluormetano; ⁽⁵⁾ tetraclorometano;
^(a) kg CFC-11 eq. ^(b) estoque regional; ^(c) baixa voltagem, grid brasileiro; ^(d) Adosrvente

No entanto o metanol responde por 62,2% das emissões, com grande quantidade de bromoclorodifluormetano. Já o Óleo de Fritura corresponde a 19,0% das emissões, com grande quantidade de trifluormetano sendo emitida. Somadas as emissões apenas de halon1301 e halon1211 chegamos aos percentuais de 68,3% e 22,7% respectivamente.

A Figura 5.13, construída utilizando os valores da Tabela 5.18, mostra o comportamento das emissões. As emissões referente a Halon 1211 e Halon1301 são bem superiores que as demais, embora a adição do gerador fez sobressair matérias emitidos nos processo que envolvem tal equipamento.

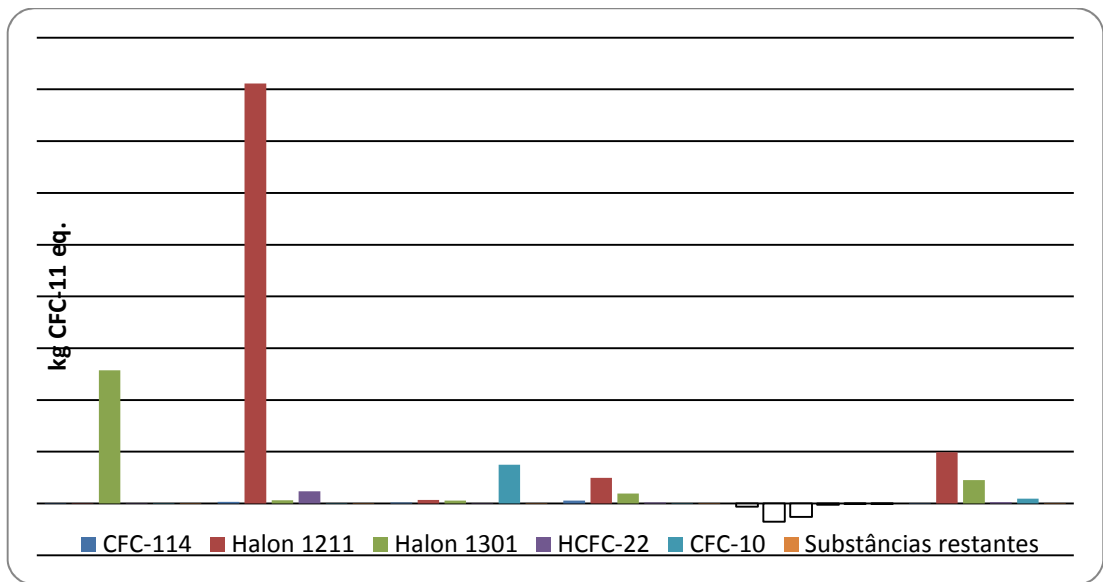


Figura 5.13: Emissões para Depleção do Ozônio de acordo com cada material ou utilidades.

5.4.3.3. Acidificação Terrestre

Da mesma forma que para a categoria Depleção do Ozônio, os valores da Acidificação Terrestre também se mostram bem distribuídos, quando comparados entre si. A Tabela 5.19 ilustra os valores gerados para essa categoria.

Os valores da tabela alteraram para o que vinha sendo apresentado até o momento para os cenários comentados para processos relacionados à Eletricidade.

Merecem destaque os valores associados aos processos de geração de eletricidade, resultando em valores negativos. Embora discreto, o valor de -0,0040 kg SO₂ eq. colabora com diminuição de 8,16% das emissões associadas a dióxido de enxofre, enquanto que o valor de -0,0025 kg SO₂ eq. equivale à queda de 3,94% das emissões de óxido de nitrogênio. Somados, ambos colaboram com diminuição de 4,44% das emissões totais.

Nessa categoria, o gerador passou a ser o maior representante das emissões, sendo de 37,9%, seguido pelo óleo de fritura com 31,4% e metanol com 19,3%.

Tabela 5.19: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Acidificação Terrestre.

Substância	Óleo de Fritura	Metanol	Ads. ^(d)	KOH ^(b)	Eletr. ^(c)	Gerador	Total
Amônia ^(a)	0,00028	8,31E-05	0,00032	9,72E-05	-0,00045	0,036	0,037
Óxidos de Nitrogênio ^(a)	0,036	0,012	0,0014	0,0043	-0,0025	0,010	0,061
Dióxido de Enxofre ^(a)	0,0068	0,015	0,0082	0,012	-0,0040	0,0068	0,045
Processos restantes ^(a)	-	-	-	-	-	-	-
Total	0,044	0,027	0,0099	0,016	-0,0040	0,053	0,14

^(a) kg SO₂ eq. ^(b) estoque regional; ^(c) baixa tensão, grid brasileiro; ^(d) Adsorvente

Das substâncias emitidas, o óxido de nitrogênio apresenta o maior valor, 0,061 kg SO₂ eq., ou seja, 43,6%. Essa substância é principalmente proveniente dos processos envolvidos no óleo de Fritura, cerca de 0,036 kg SO₂ eq, valor que representa 59,0% desse gás. Essa emissão do óleo de fritura sozinha responde por 25,7% das emissões totais, 0,14 kg SO₂ eq.

Amônia, emitida principalmente de processamentos envolvendo o gerador, colabora com 26,4% das emissões. O dióxido de enxofre é proveniente 33,3% dos processos envolvendo o Metanol e 26,7% dos processos envolvendo o catalisador, somando 0,045 kg SO₂ eq. ou 32,1% das emissões totais.

A Figura 5.14 ilustra os resultados obtidos nessa categoria de impacto. Diferentemente o que vinha ocorrendo nos cenários anteriores, houve queda, para valores negativos inclusive, só valores relacionados aos processamentos da eletricidade, enquanto de aumentos os valores relacionados a disponibilização do resíduo, no caso tendo gases do biodigestor enviados a queima para geração de energia.

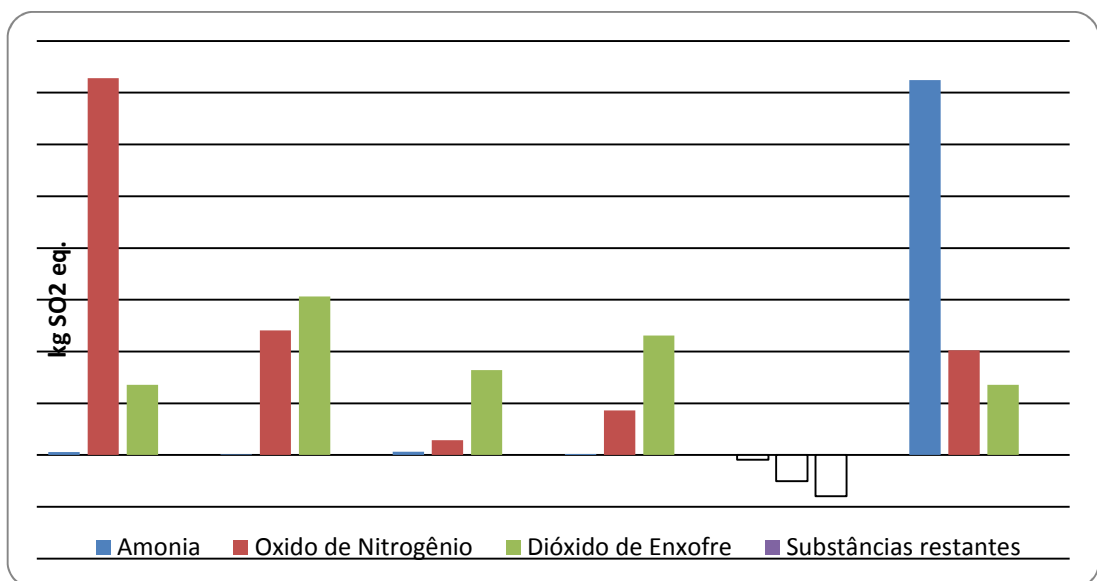


Figura 5.14: Emissões para Acidificação Terrestre de acordo com cada material ou utilidades.

5.4.3.4. Depleção de Recursos Fósseis

Os resultado de Depleção de Recursos Fósseis tem evidencia quando comparada aos valores originários das demais categorias de impacto selecionadas. A Tabela 5.20 mostra os valores levantados a partir da avaliação do cenário 3. É notável a diminuição numérica relacionados aos processos para geração de eletricidade.

As depleções relacionadas aos processos que contribuem para a produção do metanol representam 75,5% do total, seguida pelo gerador e óleo de fritura com 11,1 e 9,63% respectivamente.

Os valores em negrito são, dentro de cada fluxo, os maiores encontrados. Eles estão presentes em três dos seis fluxos atrelados ao gás natural e em dois dos seis fluxos relacionados ao óleo bruto, correspondendo a 85,4 e 11,7% respectivamente.

Gás natural oriundo dos processos envolvidos na produção de Metanol é de 22,39 kg óleo eq., ou seja, 87,1% das emissões desse gás pertencem a esses processamentos. Essa quantidade responde por 74,3% do total da Depleção de Recursos Fósseis.

Somados os valores negativos relativos aos processamentos da eletricidade, chega-se ao montante de 1,03 kg óleo eq. esse valor representa 3,31% de impacto evitado para essa categoria de impacto.

Tabela 5.20: Quantidades das substâncias e utilidades que contribuem para Depl. dos Rec. Fósseis.

Substância	Óleo de Fritura	Metanol	Ads. ^(d)	KOH ^(b)	Eletr. ^(c)	Gerador	Total
Carvão do solo ^(a)	0,0090	0,13	0,055	0,22	-0,0025	0,051	0,48
Carvão pesado do solo ^(a)	0,0095	0,14	0,11	0,31	-0,22	0,044	0,41
Gás Natural do solo ^(a)	0,16	22,39	0,22	0,74	<u>-0,53</u>	2,73	25,72
Óleo Bruto do Solo ^(a)	2,72	0,074	0,24	0,25	-0,27	0,50	3,52
Processos restantes ^(a)	0,00019	0,0029	0,0025	0,0063	-0,0044	0,00090	0,083
Total	2,90	22,74	0,64	1,54	-1,03	3,33	30,13

^(a)kg óleo eq.; ^(b)estoque regional; ^(c)baixa tensão, grid brasileiro; ^(d)Adsorvente.

A Figura 5.15, construída a partir dos valores encontrados para Depleção dos Recursos Fósseis levantadas para o cenário 3, mostra os tímidos valores negativos resultantes para os processos ligados à eletricidade, entre os quais se destacam aqueles relacionados ao metanol.

A Figura 5.15 ainda mostra a ampliação dos valores pequenos relacionados ao Adsorvente, KOH, Eletricidade e Gerador de Energia. Observa-se que ainda há forte influencia do gás natural atrelado aos processos de produção de Adsorvente, KOH e aos processos envolvendo o Gerador Elétrico. Relacionado ao fluxo da Eletricidade, é possível notar que, pela adição do gerador ao sistema, há a geração de valores negativos de uso de carvão pesado, óleo bruto e gás natural. No entanto, a integração desse gerador só é compensador no que diz respeito ao carvão pesado, que resultou em diminuição efetiva no fluxo de eletricidade. Para o gás natural e óleo bruto, as emissões atreladas ao gerador ultrapassam em muito as emissões poupadas pelo fluxo da eletricidade.

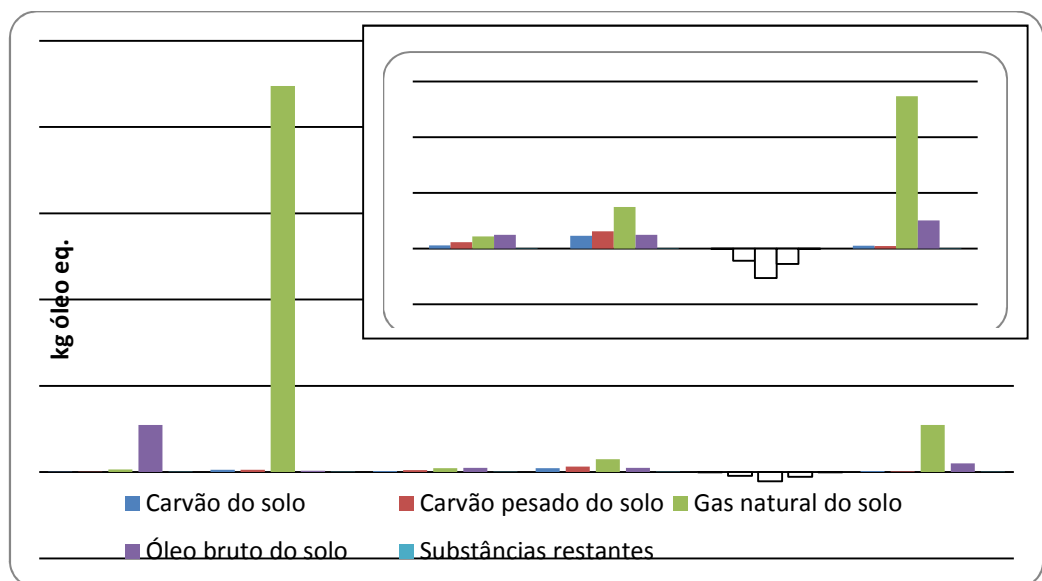


Figura 5.15: Emissões para Dep. Dos Rec. Fósseis de acordo com cada material ou utilidades.

5.4.3.5. Avaliação Geral do Cenário 3

As informações coletadas a partir da avaliação desse cenário estão apresentadas na Tabela 5.21. Nela é possível notar que embora os valores, para alguns materiais pouco alteram como no caso do óleo de Fritura, Metanol, Adsorvente e Catalisador, os valores de eletricidade aparecem de forma negativa.

Em negrito estão destacados os maiores valores de cada fluxo. Como nos demais cenários, nota-se que três dos quatro maiores valores estão atreladas aos processos relacionados a produção de Metanol.

A Figura 5.16 mostra como se comportam as categorias de impacto quando adicionada o gerados ao sistema. Nela é possível ver os valores de emissão negativa relacionadas aos processos da eletricidade. Sem contar os demais impactos, também alterados, porém menos visíveis no formato em que se apresenta o gráfico.

Tabela 5.21: Valores dos impactos ambientais referentes aos materiais utilizados para o cenário 3.

Categoria de impacto	Óleo de fritura	Metanol	Ads. ^(c)	KOH ^(a)	Eletric. ^(b)	Gerador	Total
Mudança climática (kg CO ₂ eq)	8,17	18,95	1,24	4,78	-8,74	7,025	31,42
Depleção do ozônio (kg CFC-11 eq)	1,29E-06	4,22E-06	4,46E-07	3,81E-07	-3,48E-07	7,81E-07	6,78E-06
Acidificação terrestre (kg SO ₂ eq)	0,0435	0,0274	0,0099	0,016	-0,0070	0,053	0,14
Depleção de recursos fósseis (kg óleo eq)	2,90	22,74	0,64	1,54	-1,03	3,33	30,13

^(A) estoque regional; ^(b) baixa voltagem, grid brasileiro.; ^(c) Adsorvente

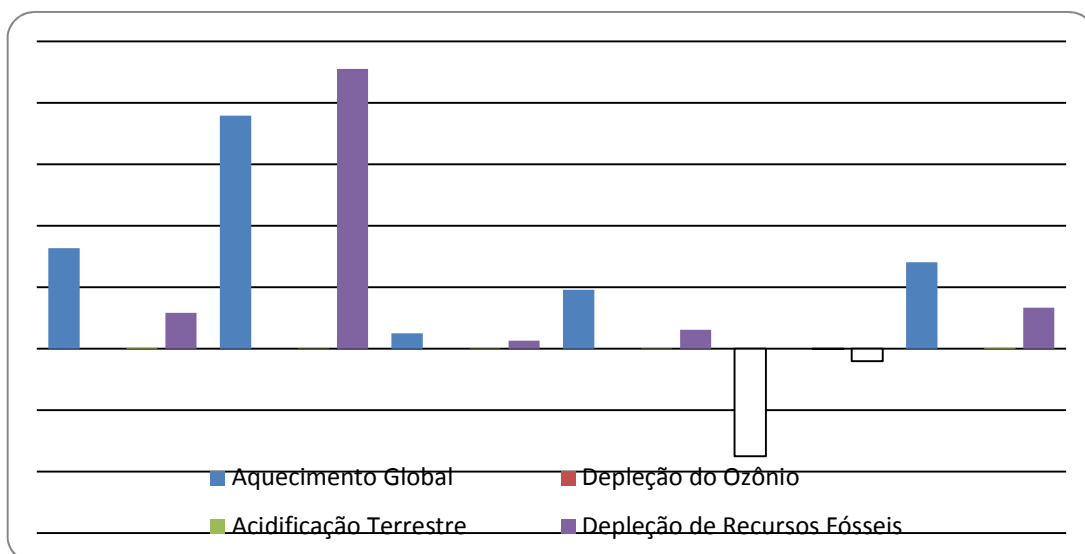


Figura 5.16: Comparação entre as emissões de cada categorias de impacto.

5.5. Discussão acerca dos diferentes cenários

No levantamento de informações de cada cenário, os fluxos representados por Óleo de Fritura, Metanol, Adsorvente e Catalisador mostram-se pouco variáveis, em alguns momentos apresentaram até valores idênticos. Isso mostra que as alterações nos valores finais correspondem principalmente à eletricidade e disposição dos resíduos dentre os diferentes cenários.

Com isso, é possível notar o quão influentes são esses dois fluxos para o processo. Na Tabela 5.22 tem-se compilados os impactos das Mudanças Climáticas distribuídos em cada cenário.

Tabela 5.22: Reunião dos resultados totais das Mudanças Climáticas distribuídas entre os cenários.

Categoria de impacto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Mudança climática (kg CO ₂ eq)	43,75	56,05	31,42

Pela Tabela 5.22 é possível observar que para Mudanças Climáticas, a aplicação do cenário 2 se mostra mais desfavorável devido as grandes emissões resultantes. Isso deve-se a grande quantidade de metano biogênico emitido por esse sistema quando comparado aos cenários 1, que emite quase seis vezes menos, e o

cenário 3, que emite ainda menos, superando em 30 vezes as emissões dessa modalidade de metano.

Porém outros materiais também são minimizados com auxílio do gerador, presente pelo cenário 3. Emissões de CO₂ fóssil pouco alteram para os três cenários, variando pouco mais de 6 kg CO₂ eq. entre o cenário 1 e 3. O CO₂ emitido devido às mudanças no uso da terra, pouco varia entre dos dois primeiros cenários, porém para o cenário três resulta em valor consideravelmente negativo, ou seja, cerca de 3,98 kg CO₂ eq. são evitados.

Embora sutil, as emissões de NO₂ aumentam gradativamente do cenário um aos três, porém sem grande variação. Isso devido à geração espontânea dessa substância no biodigestor, relativo ao cenário 2, e pela queima de compostos que contém nitrogênio, no cenário 3,.

Compilando os resultados de Depleção do Ozônio, construiu-se a Tabela 5.23.

Tabela 5.23: Reunião dos resultados totais da Depleção do Ozônio distribuídas entre os cenários.

Categoria de impacto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Depleção do ozônio (kg CFC-11 eq)	6,75E-06	6,96E-06	6,78E-06

Nela é possível notar de imediato que a Depleção do Ozônio pouco se altera com a variação dos cenários. No entanto, observando as tabelas 5.8, 5.13 e 5.18, verifica-se que os valores que irão compor esses resultados se alternam, ou seja, ao passo que alguma substância é minimizada, outra aumenta na mesma proporção, resultando sempre em valores parecidos.

A partir dos valores do Halon1211 (bromoclorodifluormetano) do halon1301 (trifluormetano) nota-se que esses compostos sozinhos dentro de cada cenário representam quase que o total das emissões. No entanto o halon1211 que inexistente no cenário 1, passa a ter representatividade no cenário 2 quando

aparece o biodigestor. O mesmo ocorre para halon1301, aumentando quase três vezes do cenário 1 para 2.

Os valores do CFC-144, embora inexpressivos, sofrem um aumento de cerca de dez vezes do cenário 1 para o 2 e de quatro vezes do cenário 2 para o 3.

O cenário 3 apresenta níveis similares de emissões do cenário 1, mesmo que no cenário 3 surjam emissões evitadas oriundas do fluxo de eletricidade.

Acontece que o halon1211, tem aumento de cerca de vinte vezes quando se adiciona o gerador ao sistema, em comparação com o processo que tem apenas o biodigestor. Porém esse valor é escondido pelo fato da eletricidade apresentar valor negativo. De certa forma, o aumento de um é compensado pela diminuição de outro, resultando em valores similares para todos os cenários e não uma queda mais brusca, como era de se esperar.

O mesmo raciocínio pode ser feito para o halon1301, que no cenário 3 apresenta emissões negativas associadas ao fluxo da eletricidade que, no entanto, tem níveis aumentados pelo envolvimento de equipamento, resultado em valores parecidos nos três cenários.

A acidificação Terrestre também apresentou resultados finais bem semelhantes. A Tabela 5.24 apresenta esses valores.

Tabela 5.24: Reunião dos resultados totais da Acides Terrestre distribuídas entre os cenários.

Categoria de impacto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Acidificação terrestre (kg SO ₂ eq)	0,11	0,14	0,14

A mesma interpretação feita para Depleção do Ozônio pode ser feita para Acidificação Terrestre. O cenário apresentou valores negativos de emissões, porém emite a mesma quantidade que o cenário 3, nessa categoria de impacto.

A principal substância que tem emissões aumentadas do cenário 1 para o 2 é a amônia. Tal emissão alcança o maior valor no cenário contendo o gerador, porém tem se diminuído as emissões de dióxido de enxofre, que de certa forma, compensa o aumento da geração de amônia. Também é preciso citar que houve tímida emissão evitada oriunda dos processos de geração de eletricidade.

A categoria Depleção de Recursos Fósseis apresenta valores significativos para os três cenários avaliados, tendo resultados bem parecidos para os fluxos de óleo de Fritura, Metanol, Adsorvente e catalisador para todos os cenários avaliados, e variando para Eletricidade de manejo dos resíduos. A Tabela 5.25 ilustra as emissões totais emitidos.

Embora o cenário 3 poupe consumo de carvão pesado e óleo bruto, há um acréscimo considerável do uso de gás natural. Mesmo o cenário tendo resultando em emissão negativas, não equilibraram o aumento do consumo desse composto. Esse aumento deve-se principalmente ao uso do gerador.

Tabela 5.25: Reunião dos resultados totais da Depleção de Resíduos Fósseis distribuídas entre os cenários.

Categoria de impacto	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Depleção de Recursos Fósseis (kg óleo eq)	28,53	29,56	30,13

O aumento do valor entre o cenário 1 e 2 é referente a manutenção da temperatura do biodigestor, realizada às custas de eletricidade oriunda da rede, que deve ser controlada para garantir a eficiência na geração dos gases referente aos controles exigidos pelo meio de cultura que realiza os processamentos biológico.

6. CONCLUSÕES

6.1. Conclusões Específicas

Foi possível a realização da Avaliação do Ciclo de Vida para o processo, ao passo que se conseguiu quantificar as substâncias que foram traduzidas nos respectivos impactos ambientais. Da mesma forma, foi possível propor o levantamento de cenários que, dentro do possível, podem ser comparados entre si.

Assim, através das informações repassadas das escolas (pontos de coleta), foi proposto uma rota de coleta de óleo de fritura dentro dos critérios estabelecidos. A rota traçada, embora não tenha sido testada, serviu de base de informações que geraram dados para composição das emissões atribuídas a essa etapa e puderam ser integradas ao sistema de produção de biodiesel a partir de óleo de fritura e avaliadas as respectivas emissões oriundas dessa etapa.

Pelos valores totais resultantes em cada categoria de impacto, vê-se que o cenário 3, dotado de biodigestor e gerador elétrico, mostra-se mais ambientalmente satisfatório frente aos outros dois, considerando os resultados similares apresentados pelas categorias Depleção do Ozônio e Acidificação Terrestre.

A Depleção de Recursos Fósseis no cenário 3 apresenta-se um pouco superior aos demais cenários, porém isso pode perder importância quando se observa a categoria das Mudanças Climáticas. Nela pode-se observar que as diferenças entre os cenários se mostram muito mais pronunciadas.

Os resultados gerados pelo cenário 3 mostram-se mais importantes quando observados de forma mais detalhadas. No valor final de cada categoria de impacto

não estão expressas as emissões evitadas, atreladas ao fato de poupar ora material, ora energia elétrica.

As Mudanças Climáticas apresenta, de fato, as maiores diferenças entre os cenários, oriundas principalmente da liberação de CO₂, que promove tal efeito. Com isso, o cenário 3 promove a preservação de florestas, colaborando com o uso original da terra e a menor emissão de CO₂ oriundas das mudanças no uso da terra.

Outro fato que vem a colaborar com a minimização de impactos ambientais desse cenário é o fato dos resíduos do cenário 1 serem dispostos como inertes. Isso foi realizada devido ao fato de indisponibilidade de informações referentes ao comportamento e degradação desse material. A disposição como não inerte poderia acarretar em maiores impactos, resultando no aumento dos impactos ambientais do cenário 1 e acentuado as vantagens ambientais do cenário 3.

6.2. Conclusões Gerais

Analisando as informações geradas a partir da ACV contida nesse trabalho, foi possível propor as categorias de impacto que se fazem necessárias à avaliação de um sistema com essas características, ao passo que se pode identificar quais compostos ou processos se fazem mais impactantes. Na maioria das vezes, os impactos referentes aos processos relacionados a exploração de matéria prima, transporte e produção de Metanol mostram-se bem maiores que para os demais insumos necessários a produção de biodiesel.

Na etapa de produção de biodiesel, o aquecimento das estruturas promove o maior consumo energético da unidade. Uma forma de minimizar esse gasto seria o isolamento do reator principal visando menor perda de calor, promovendo assim menor consumo energético. Outra forma seria uma alteração técnica, onde, para aproveitamento do reator ainda aquecido, fosse possível para realização de outra batelada. Para isso é necessário esvaziar o reator principal ainda quente e abastecê-lo novamente com as devidas matérias primas. A mistura de saída é deixada então em repouso em outro recipiente para que ocorra a separação das fases.

Observando os resultados de acordo com as categorias de impactos selecionadas, pode-se notar que é possível minimizar impactos da usina apenas em Mudanças Climáticas, caso seja aplicado o cenário 3, permanecendo as demais categorias todas semelhantes a versão original da usina.

Com isso pode-se notar que seria inviável a aplicação do cenário 2, se o propósito da aplicação fosse minimização dos impactos da usina. Ela só se faz satisfatória se for também acoplada à unidade um gerador elétrico, fato que descreve o cenário 3 e que pode colaborar com a minimização dos impactos da unidade piloto de produção de biodiesel a partir de óleo de fritura.

7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir são listadas algumas propostas que podem ser aplicadas em trabalhos futuros. São elas:

- Avaliação aprofundada aplicada especificamente a etapa de coleta de óleo de fritura. Nessa etapa é possível adotar outros critérios para buscar traçar a melhor rota adotada visando minimização das emissões. Os pontos que poderiam ser pensados são a relação massa carga transportada e as respectivas emissões, como também o tipo de motor com o qual é realizada essa etapa.
- Aplicação de etanol substituindo metanol para produção de biodiesel (busca pela ecoeficiência);
- Outro tanque pulmão para resfriamento do conteúdo reacional para aproveitamento do recipiente ainda aquecido para realização de outra batelada, visando com isso minimização de consumo energético para aquecimento dos equipamentos.
- Aplicação do cenário 3 para coleta de dados primários e avaliação mais próxima do real.
- Queima de biodiesel produzido pela própria unidade para geração elétrica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. **Os Desafios da Sustentabilidade**. 1ª reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007, 280p

AONDE FICA. Disponível em: <<http://www.aondefica.com/afguiaaf.asp?s=3>>
Acesso em 19 de março de 2013.

ARAÚJO, J. M. A. Química de Alimentos. 3ª ed. Viçosa: UFV, 2004. 478p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura, 14040. Rio de Janeiro, 2009. 21 paginas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e Orientações, 14044. Rio de Janeiro, 2009. 46 paginas.

BARREIRO, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 3ª Edição. São Paulo: Editora Ícone, 2011, 106p.

BRASIL. Lei nº11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.847, de 26 de outubro de 1999 e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências. Brasília, 13 de janeiro de 2005.

BRASIL, Resolução ANP nº7, de 19 de 03 de 2008. Considera o interesse para o País em apresentar sucedâneos para o óleo diesel. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

CANAKCI, M.; Van Gerpen, J. Biodiesel Production Via Acid Catalysis. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 42(5), p. 1203-1210, 1999.

CANAKCI, M. The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 183-190, 2007.

CARRARETTO, C.; Macor, A.; Mirandola, A.; Stoppato, A.; Tonon, S. Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations. **Energy**, v. 29, p. 2195-2211, 2004.

CAVALETT, O. Análise do Ciclo de Vida da Soja. Campinas. 2008. 221 p. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Brasil.

CAVALETT, O.; Ortega, E. Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 22-70, 2010.

CHEHEBE, J. R. B. Análise do ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000; 1ªEd. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark Ltda, 2002. 104p.

CONDE, A. P. Desempenho de Motor Ciclo Diesel Alimentado com Biodiesel de Óleo de Soja e Oliva. Lavras. 2007. 66 p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras (UFLA).

COSTA, R. S. **Implementação de mini-usina piloto para obtenção de biodiesel, a partir de óleo de fritura usado**. Porto Alegre, 2011, 87p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil.

DIAS, J. M.; Alvim-Ferraz, Maria C. M.; Almeida, Manuel F. Production of Biodiesel from acid waste lard. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 6355-6361, 2009.

ENCINAR, J. M.; Sanchez, N.; Martinez, L.; Garcia, I. Study of biodiesel production from animal fats with high free fatty acid content. **Bioresorce Technology**, v. 102, p. 10907-10914, 2011.

FACCINI, C. S. Uso de adsorvente na purificação de biodiesel de óleo de soja. Porto Alegre. 2008. 68 p. Dissertação de mestrado. Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFGRS), Brasil.

FREDMAN, B.; Pryde, E. H.; Mounts, T. L. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetables oils. **JOACS**, v. 61, p. 1638-1643, 1984.

FROEHNER, S.; Leithold, J. Transesterificação de óleos vegetais: caracterização por cromatografia delgada e densidade. **Química Nova**, v. 30, p. 2016-2019, 2007.

GERALD INMAN KEIM. Colgate-Palmolive Company. Jersey City. Treatments Fats and Fatty oils. CI260-410,9. Aplicação abril 28, 1943. United States Patent Office.

GERIS, R.; Santos, N. A. C.; Amaral, B. A.; Maia, I. S.; Castro, V. D.; Carvalho, J. R. M. Biodiesel de Soja - Reação de Transesterificação para prática de Química Orgânica. **Química Nova**. V 30, p. 1369-1373, 2007.

GOOGLE MAPS. Disponível em:. <<http://maps.google.com.br/>> Acesso em 19 de março de 2013.

GNANSOUNOU, E.; Dauriat, A.; Villejas, J.; Panichelli, L. Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 4919-4930, 2009.

GOEDKOOPE, M.; Heijungs, R.; Heijbregts, M.; Schryer, A. D.; Struijs, J.; Zelm, R. ReCiPe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. Holanda: Ruimte en Milieu, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 2012. 137p (Texto tecnico)

HOEKMAN, S.K.; Robbins, C. Review of the effects of biodiesel on NOx emissions. **Fuel Processing Technology**, v. 96, p. 237-249, 2012.

HUNT, R. G.; Sellers, J. D.; Franklin, W. E. Resource and environmental profile analysis: a life cycle environmental assessment for products and procedures. **Environment Impact Assess**, v. 12, p. 245-269, 1992.

JUNIOR, J. L.; Souza, C. F.; Lopes, J. D. S. **Construção e operação de Biodigestores**. 1ª Edição. Viçosa: CPT, 2009, 158p.

LAPUERTA, M.; Armas, O.; Rodríguez-Fernández, J. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, p. 198-223, 2008.

MA, F.; Clements, L. D. Hanna, M. A. The effect of catalyst, free fatty acids, and water on transesterification of beef tallow. **American Society of Engineers**, v. 41(5), p. 1261-1264, 1998.

MDIC, Ministério do Desenvolvimento, Industria e Comercio Exterior. Disponível em <<http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/>>. Acesso em 19 de março de 2013.

MORAIS, S.; Mata, T. M.; Martins, A. A.; Pinto, G. A., Costa, C. A. V. Simulation and life cycle assessment of process design alternatives for biodiesel production from waste vegetable oils. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 1251-1259, 2010.

ORLANDIN, F. Recuperação do Magnesol® Desenvolvimento de métodos para recuperação do Magnesol® proveniente da lavagem seca do Biodiesel e

averiguação de sua eficiência. Porto Alegre: 35ª Reunião da Sociedade Brasileira de Química: 2012, Águas de Lindoia. Responsabilidade, Ética e Progresso Social (Anais).

PHAN, A. N.; Phan, T. M. Biodiesel production from waste cooking oils. **Fuel**, v. 87, p. 3490-3496, 2008.

SILVA, W. M. **Avaliação do Ciclo de Vida do Glicerol e de seus Processos de Purificação**. Porto Alegre. 2012. 79p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do sul, Brasil.

SP SEM SEGREDOS. Disponível em: <<http://www.emsampa.com.br>> Acesso em 19 de março de 2013.

SOLOMONS, T. W. G.; Fryhle, C. B. Química Orgânica. 7ª ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2002.

VAN GERPEN, J. Biodiesel processing and production. **Fuel Processing Technology**, v. 86, p. 1097-1107, 2005.

VOLLHARDT, K. P. C.; Schore, N. E. Química Orgânica. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

XUE, J.; Grift, T. E.; Hansen, A. Effect of biodiesel on engine performances and emissions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 1098-1116, 2011.

ZENEBON, O.; Pascuet, N. S.; Tiglea, P. Métodos físico-químico para análise de alimentos. 4ª Edição Digital. São Paulo: SES-CCD-IAL, 2008.

ANEXOS

Anexo A

Quadro 8.1: Categorias de impacto contemplados pelo método ReCiPe 2008

Subdi_ visão.	Categoria de impacto	Sig. ^(a)	U. ^(a)	Fatores de caracterização	Sig. ^(a)	U. ^(b)
Midpoint	Mudanças Climáticas	CC	W*ano/ m ²	Potencial de aquecimento Global	GWP	kg ¹
	Destruição do Ozônio	OD	ppt*ano	Potencial de depleção do Ozônio	ODP	kg ²
	Acidificação Terrestre	AT	Ano*m ²	Potencial de Acidificação Terrestre	TAP	kg ³
	Eutrofização da água doce	FE	Ano*kg/ m ³	Potencial de eutrofização de água doce	FEP	kg ⁴
	Eutrofização terrestre	ME	Ano*kg/ m ³	Potencial de eutrofização marinha	MEP	kg ⁵
	Tox. Hum.	HT	-	Pot. Tox. Hum.	HTP	kg ⁶
	Formação de oxidantes fotoquímicos	POF	kg	Potencial de formação de oxidantes fotoquímicos	POFP	kg ⁷
	Formação de material particulado	PMF	kg	Potencial de formação de material particulado	PMFP	kg ⁸
	Ecotoxicidad e terrestre	TET	m ² * ano	Potencial de ecotoxicidade terrestre	TETP	kg ⁹
	Ecotoxicidad e de água doce	FET	m ² * ano	Potencial de ecotoxicidade em água doce	FETP	kg ¹⁰
	Ecotoxicidad e marinha	MET	m ² * ano	Potencial ecotoxicidade marinha	METP	kg ¹¹
	Radiação ionizante	IR	man*Sv	Potencial de radiação ionizante	IRP	kg ¹²
	Ocupação de terras agrícolas	ALO	m ² * ano	Potencial ocupação de solo agrícola	ALOP	m ² * ano ¹³
	Ocupação de solo urbano	ULO	m ² * ano	Potencial ocupação de solo	ULOP	m ² * ano ¹⁴

Midpoint				urbano		
	Transformação de terra natural	NTLH	m ²	Potencial transformação de terra natural	NLTP	m ²⁽¹⁵⁾
	Depleção da água	WD	m ³	Potencial depleção de água	WDP	m ³⁽¹⁶⁾
	Depleção de recursos minerais	MRD	Kg ⁻¹	Potencial depleção mineral	MDP	kg ¹⁷
	Depleção de combustível fóssil	FD	MJ	Potencial depleção de combustível fóssil	FDP	kg ¹⁸
Endpoint	Danos saúde Humana	HH	ano	Perdas de anos de vida	HH	ano
	Danos a diversidade do ecossistema.	ED	ano	Perda de espécies Durante o ano	ED	ano
	Danos a disponibilidade e de recursos	RA	\$	Aumento de custo	RA	\$

^(a) As siglas usadas e unidades (U.) requeridas são usadas pelo Método ReCiPe 2008.

^(b) As unidades atribuídas aos fatores de caracterização se referenciam a um determinado material ou substância: ¹CO₂ para o ar; ²CFC-11 (clorofluorcarbono) para o ar; ³SO₂ para o ar; ⁴P para a água doce; ⁵N para água doce; ⁶14DCB (1,4 diclorobenzeno) para o ar urbano; ⁷NMVOV (composto de carbono orgânico metano não volátil) para o ar; ⁸PM (material particulado) para o ar; ⁹14DCB para o solo da indústria; ¹⁰14DCB para água doce; ¹¹14DCB para água marinha; ¹²U²³⁵ para o ar; ¹³solo agrícola; ¹⁴solo urbano; ¹⁵solo natural; ¹⁶água; ¹⁷Fe; ¹⁸óleo.

APÊNDICES

Apêndice 1: informações referentes a sistemática das duas bateladas consideradas. A Tabela 8.1 e 8.2 ilustra os fluxos de ambas.

Tabela 8.1: Balanço mássico da primeira batelada considerada.

Etapa	Material de entrada	Massa (kg)	Material de saída	Massa (kg)	
Coleta do óleo	Óleo de fritura	114	Óleo de fritura	114	
Filtragem	Óleo de fritura	114	Óleo filtrado	107	
			Resíduo Orgânico	7	
Armazenam.	Óleo filtrado	107	Óleo filtrado	107	
Preparo solução catalítica	Metanol	23,5	Solução catalítica	24,57	
	KOH	1,07			
Reator principal	Óleo de fritura	107	Fase leve	Biodiesel	93
				Metanol	5,87
	Solução catalítica	24,57		Sabão	2,65
				Água	0,16
	Silicato de magnésio ^(a)	1,07	Fase pesada	Óleo não reagido	14,05
				Glicerina	10,4
Metanol	5,87				
Tanque pulmão	Fase pesada	16,27	Glicerina	10,4	
			Metanol	5,87	
Filtro prensa	Fase leve	109,86	Torta	Biodiesel	93
				Sabão	2,65
				Água	0,16
	Silicato de magnésio	1,07			
Silicato de magnésio	1,07	1,07	Óleo não reagido	14,05	

Tabela 8.2: Balanço mássico da segunda batelada considerada.

Etapa	Material de entrada	Massa (kg)	Material de saída	Massa (kg)
-------	---------------------	------------	-------------------	------------

Coleta do óleo	Óleo de fritura	201	Óleo de fritura	201	
Filtragem	Óleo de fritura	201	Óleo filtrado	190	
			Resíduo Orgânico	10	
Armazenam.	Óleo filtrado	190	Óleo filtrado	190	
Preparo solução catalítica	Metanol	45	Solução catalítica	46,65	
	KOH	1,65			
Reator principal	Óleo de fritura	190	Fase leve	Biodiesel	165
	Solução catalítica	46,65		Metanol	11,25
				Sabão	4,71
				Água	0,28
	Silicato de magnésio*	1,65	Fase pesada	Óleo não reagido	25,7
				Glicerina	18,46
			Metanol	11,25	
Tanque pulmão	Fase pesada		Glicerina	18,46	
		35,66	Metanol	11,25	
Filtro prensa	Fase leve	195,69	Torta	Biodiesel	165
				Sabão	4,71
				Água	0,28
				Silicato de magnésio	1,65
	Silicato de magnésio	1,65		Óleo não reagido	25,7

^(a) silicato de magnésio é adicionado ao reator principal, mas não durante a reação e sim na etapa de purificação da fase leve, instantes antes da passagem pelo filtro prensa, conforme indicação em ambas as tabelas acima.

Tabela 8.3: Fluxos energéticos das duas bateladas em questão.

Operação	Potência bomba (cv) resistência (W)	Tempo (min.)		Consumo (kWh)		
		1 ^a	2 ^a	1 ^a	2 ^a	
Abast. do reator auxiliar com metanol	0,5	3	3	0 ^(a)	0 ^(a)	
Abast. reator principal com óleo	2	5	5	1	0 ^(a)	
Aquecimento do reator principal (55°C)	12000 ^(c)	55	55	5	5	
Adição KOH ao tanque de metanol	-	1	1	0 ^(b)	0 ^(b)	
Mistura solução catalítica tanque auxiliar	2	10	15	0 ^(a)	1	
Adição solução catalítica no reator principal	0,5	2	2	0 ^(a)	0 ^(a)	
Reação: agitação e manutenção temper.	2	90	90	3	3	
Resfriamento (criação das fases)	-	1dia	1dia	0	0	
Separação das fases	-	10	10	0 ^(b)	0 ^(b)	
Aquecimento reator principal (55°)	12000 ^(c)	55	55	4	6	
Ativação do condensador (reator principal)	0,5	10	10	0 ^(a)	1	
Ativação do Trocador de calor (reator princ.)	-	10	10	0 ^(a)	1	
Ativação bomba-vácuo	1,5	10	10	0 ^(a)	1	
Aquecimento do tanque pulmão (55°C)	12000 ^(c)	55	50	4	5	
Ativação do condensador (tanque pulmão)	0,5	10	9	0 ^(a)	1	
Ativação do Trocador de calor (tanque pul.)	-	10	9	0 ^(a)	1	
Ativação bomba-vácuo	1,5	10	9	0 ^(a)	1	
Abastecimento do silicato de magnésio	-	5	10	0 ^(b)	0 ^(b)	
Ativação da agitação da fase leve com silicato de magnésio	2	30	30	1	1	
Ativação do filtro prensa	0,5	50	60	0 ^(a)	0 ^(a)	
Total	Operação	-	432	443	18	27
	Espera	-	1 dia	1dia		

^(a) não registrado. Equipamento de medição de energia pouco sensível. ^(b) não há dispêndio de energia; ^(c) três resistências no reator principal e três resistências no tanque pulmão: (4000W).

Os apêndices 3, 4 e 5 são mapas que ilustram os trechos percorridos pelo caminhão que satisfizeram as exigências dos critérios (item 4.1.1.1)

Apêndice 4

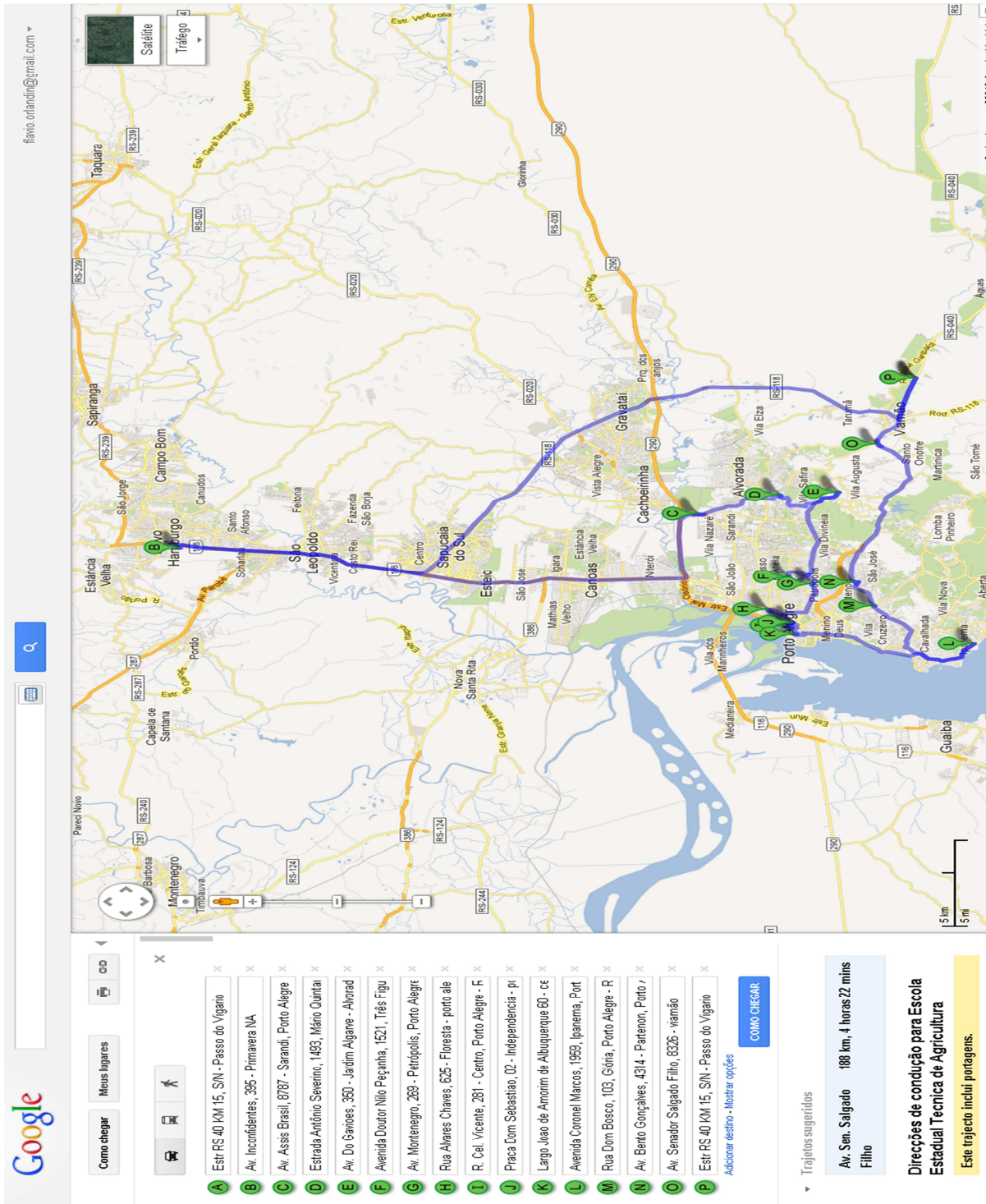


Figura 8.1: Mapa completo ilustrando a rota seguida pelo caminhão na região metropolitana de Porto Alegre.

Apêndice 5

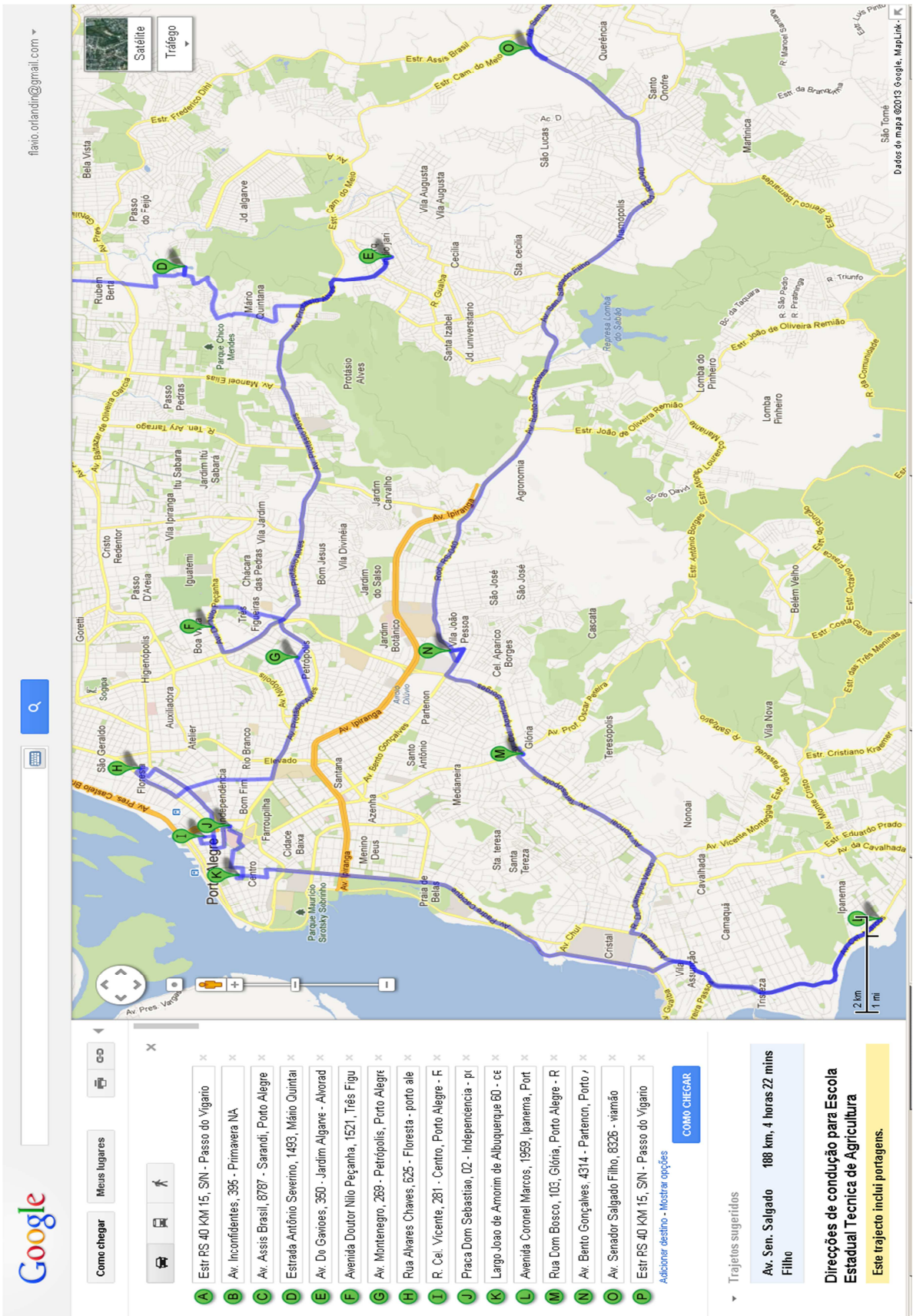


Figura 8.2: Mapa ilustrando rota seguida pelo caminhão nos bairros de Porto Alegre

Apêndice 6

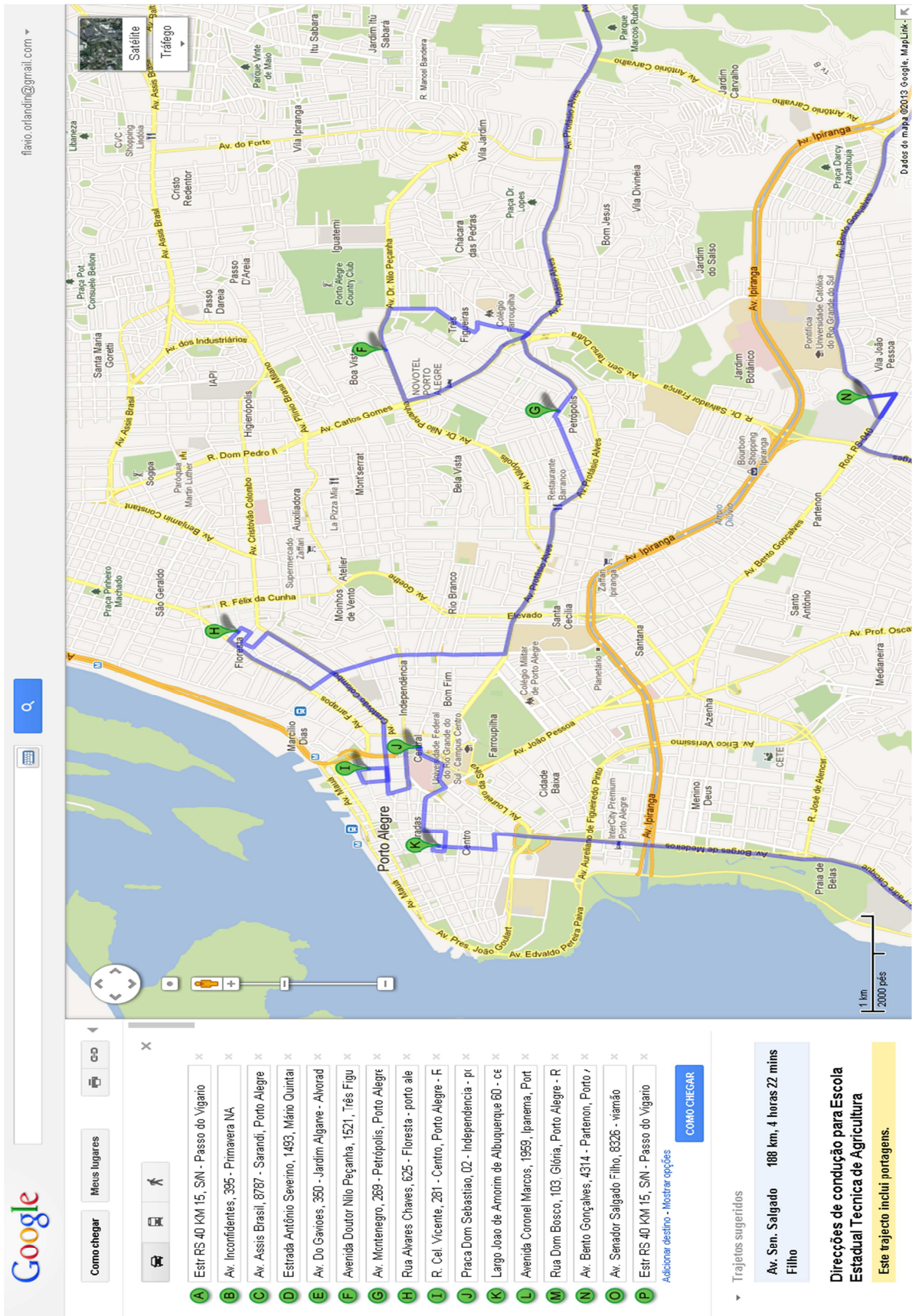


Figura 8.3: Mapa ilustrando rota seguida pelo caminhão na região central de Porto Alegre.