



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA FASE AGRÍCOLA
NO SISTEMA DE PRODUTO BIODIESEL DE SOJA NO
RIO GRANDE DO SUL**

VINÍCIUS GONÇALVES MACIEL

QUÍMICO INDUSTRIAL

**DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS**

Porto Alegre

Outubro, 2014



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA FASE AGRÍCOLA
NO SISTEMA DE PRODUTO BODIESEL DE SOJA NO
RIO GRANDE DO SUL**

VINÍCIUS GONÇALVES MACIEL

QUÍMICO INDUSTRIAL

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcus Seferin

Dissertação de Mestrado 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
Outubro, 2014**

“Se enxerguei mais longe, foi porque estava sobre os ombros de gigantes.”

(Isaac Newton)

AGRADECIMENTOS

À minha família, que sempre me incentivou em especial a minha esposa pela paciência e apoio para seguir em frente e buscar sempre o meu máximo.

Ao orientador Marcus Seferin, pela oportunidade de desenvolver este trabalho, pela confiança, amizade e principalmente aos ensinamentos.

Aos meus colegas da Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio RS, em especial ao Sr. Eduardo Vergara, pelo apoio durante toda minha caminhada acadêmica.

À Emater/Ascar por ter cooperado com a proposta do trabalho e não ter medido esforços para fornecer dados.

Ao Instituto Riograndense de Arroz na pessoa do pesquisador Tiago Zschornack, pelas informações do avanço da soja sobre a cultura do arroz.

À Supervisão do IBGE de Porto Alegre, pela disponibilidade de dados e principalmente pela colaboração e orientações.

Ao engenheiro agrônomo Hugo Verno Marcus da Cotripal de Santa Barbara do Sul/RS. Ao Técnico em Agropecuária, Fabio Mendes da Silva Junior da Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio do RS. Pelas valiosas informações sobre o cultivo da soja.

Aos colegas do Laboratório de Química Industrial, pela amizade e proveitosa convivência e ao pesquisador da Faculdade de Química e especialista em ACV, Wagner Menezes, pela amizade e principalmente aos valiosos ensinamentos.

Ao Prof. Rafael Zortea, pelo incentivo e colaboração no desenvolvimento deste estudo.

Ao colega e amigo Perivaldo Perfeito, pela amizade, companheirismo e auxílio no desenvolvimento deste estudo.

SUMÁRIO

Agradecimentos	4
Sumário.....	5
Lista de Figuras.....	9
Lista de Tabelas.....	12
Lista de Quadros	13
Lista de Símbolos e Siglas	14
RESUMO.....	18
ABSTRACT.....	19
1. INTRODUÇÃO	20
2. OBJETIVOS.....	22
2.1. Objetivos Específicos	22
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1. A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DO BIODIESEL	24
3.1.1. Biodiesel de Soja	28
3.1.2. A versatilidade da soja	29
3.2. A cultura da Soja	31
3.2.1. Preparo do solo ou pré-plantio (Etapa 1):	32
3.2.2. Semeadura e Fertilização (Etapa 2):.....	32
3.2.3. Tratos culturais (Etapa 3):	32
3.2.4. Colheita (Etapa 4):	32
3.2.5. Principais práticas agrícolas	33
3.3. Metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida.....	35
3.3.1. Definição dos Objetivos e do Escopo.....	36
3.3.2. Análise do inventário	36
3.3.3. Avaliação do Impacto Ambiental	37
3.3.4. Interpretação dos Resultados	39
4. MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1. Objetivo e Escopo	40
4.2. Considerações gerais do estudo	40
4.2.1. Matriz energética.....	41

4.2.2. Fronteiras do sistema.....	42
4.2.3. Transporte.....	42
4.2.4. Pesticidas.....	43
4.2.5. Diesel.....	43
4.2.6. Fertilizantes.....	43
4.2.6.1. Calcário Dolomítico.....	43
4.2.6.2. Nitrogênio.....	44
4.2.6.3. Fósforo.....	45
4.2.6.4. Potássio.....	45
4.3. Construção do Inventário.....	45
4.3.1. Fator de Ajuste.....	46
4.3.1.1. Ajuste do consumo de Diesel por uso em maquinários agrícolas....	47
4.3.2. Questionário e Entrevista.....	48
4.3.3. Cálculo da quantidade de pesticidas.....	51
4.3.4. Metodologia para emissões de GEE provenientes da mudança de estoque de carbono devido a MUT.....	51
4.3.4.1. Expansão da soja nos últimos 20 anos.....	54
4.3.4.2. Cálculo das emissões devido a MUT.....	54
4.3.5. Metodologia para emissões de óxido nitroso (N ₂ O) provenientes de solos agrícolas.....	55
4.3.5.1. Emissões Diretas de N ₂ O.....	56
4.3.5.2. Emissões indiretas de N ₂ O.....	60
4.3.6. Metodologia para emissões de GEE provenientes da combustão de diesel nas máquinas agrícolas.....	61
4.3.7. Metodologia para emissões de GEE da aplicação de calcário.....	62
4.3.8. Considerações da ICV.....	63
4.4. Simulação de Monte Carlo.....	65
5. RESULTADOS.....	66
5.1. Construção do Inventário.....	66
5.1.1. Coleta de dados.....	66
5.1.2. Caracterização da Fase Agrícola.....	68
5.1.2.1. Preparo do solo.....	69
5.1.2.2. Semeadura e Fertilização.....	69
5.1.2.3. Tratos Culturais.....	69

5.1.2.4. Colheita.....	69
5.1.3. Fator de Ajuste.....	71
5.1.3.1. Consumo de Diesel por maquinários agrícolas.....	71
5.1.4. Cálculo da quantidade de Pesticidas	72
5.1.5. Emissões de GEE provenientes da mudança de estoque de carbono devido a Mudança do Uso da Terra (MUT).....	73
5.1.5.1. Avanço da soja em 20 anos.....	73
5.1.5.2. Cálculo das emissões devido à mudança do estoque de carbono proveniente da MUT	77
5.1.6. Emissões de óxido nitroso (N ₂ O) provenientes de solos agrícolas	80
5.1.7. Emissões da aplicação de calcário ao solo.....	81
5.1.8. Inventário do Ciclo de Vida	81
5.2. Avaliação de Impacto.....	85
5.2.1. Aquecimento Global.....	87
5.2.2. Normalização	88
5.3. Interpretação.....	90
5.3.1. Análise de contribuição	90
5.3.1.1. Potencial de Acidificação	91
5.3.1.2. Potencial de Depleção Abiótica	93
5.3.1.3. Potencial de Depleção do Ozônio.....	94
5.3.1.4. Potencial de Toxicidade Marinha.....	95
5.3.1.5. Potencial de Aquecimento Global	97
5.3.1.6. Potencial de Eutrofização	99
5.3.1.7. Potencial de Oxidação Fotoquímica	101
5.3.1.8. Potencial de Toxicidade Terrestre	103
5.3.1.9. Potencial de Toxicidade aquática	104
5.3.1.10. Potencial de Toxicidade Humana.....	105
5.3.1.11. Potencial de Uso do Solo	107
5.4. Avaliação de Bancos de Dados	107
5.4.1. Análises das etapas das intervenções.....	109
5.5. Simulação de Monte Carlo.....	110
6. CONCLUSÃO	112
7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	116
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117

APÊNDICE A127
APÊNDICE B133
APÊNDICE C135
APÊNDICE D136

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Evolução da produção de biodiesel B100 e contribuição.	25
Figura 3.2. Esquema da relação entre a dMUT e a iMUT.	28
Figura 3.3. Fluxograma do processo de produção do biodiesel.	29
Figura 3.4. Fluxograma do aproveitamento da soja.	30
Figura 3.5. Procedimentos simplificados para análise de inventário	37
Figura 4.1. Grid elétrico brasileiro 2013, ano base 2012.	41
Figura 4.2. Fronteiras do sistema em estudo.	42
Figura 4.3. Síntese da Construção do Inventário.	46
Figura 4.4. Imagem do sistema de produção da soja modelado no SimaPro.	64
Figura 5.1. Mapa da produção média de soja no RS entre 2007-2011 e locais de coleta de dados.	67
Figura 5.2. Fluxograma temporal das etapas do cultivo da soja e intervenções.	70
Figura 5.3. Fluxo do estudo do avanço da SRS e definições dos cenários da MUT.	73
Figura 5.4. Comparativo entre a variação das áreas plantada de milho e soja na safra de 1992/93 a 2012/13.	75
Figura 5.5. Expansão da soja em 20 anos e origem da ocupação.	77
Figura 5.6. Variação dos estoques de carbono na referência (CSR _i) e no uso atual (CSA) e emissões líquida anuais (E) por cenário.	78
Figura 5.7. Contribuição Δ SOC e Δ Cveg para emissões de GEE em cada cenário.	78
Figura 5.8. Emissões de N ₂ O diretas, indiretas e totais em solos agrícolas nos diferentes cenários.	80
Figura 5.9. Distribuição dos escores caracterizados no sistema de cultivo da soja para o C1 deste estudo (método CML 2001 e IPCC 2007).	86
Figura 5.10. Emissões GEE, cenário n-MUT.	87
Figura 5.11. Emissões GEE, cenário C4.	87
Figura 5.12. Aumento percentual de GEE do sistema SRS pela inclusão de emissões associadas à MUT nos quatro cenários considerados.	88
Figura 5.13. Resultados do escore normalizado para o C1 deste estudo – Método CML 2001.	89
Figura 5.14. Resultados do escore normalizado para o C1 deste estudo sem o Uso do solo e a Eutrofização – Método CML 2001	89

Figura 5.15. Distribuição da contribuição de substâncias para o PA no CV da SRS, na etapa de colheita e na produção do Diesel.	91
Figura 5.16. Análise de sensibilidade para o PA.	92
Figura 5.17. Distribuição da contribuição de substâncias para o PDA no CV da SRS e na produção do Diesel.	93
Figura 5.18. Análise de sensibilidade para o PDA.	94
Figura 5.19. Distribuição da contribuição de substâncias para o PDO no CV da SRS e na produção do Diesel.	94
Figura 5.20. Análise de sensibilidade para o PDO.	95
Figura 5.21. Distribuição da contribuição de substâncias para o PTM no CV do RSR e na produção do Diesel.	96
Figura 5.22. Análise de sensibilidade para o PTM.	96
Figura 5.23. Distribuição da contribuição de substâncias para o PAG no CV da SRS, na etapa 1 e etapa 2.	98
Figura 5.24. Análise de sensibilidade para aquecimento global, cenário n-MUT	98
Figura 5.25. Distribuição da contribuição de substâncias para o PAG no CV da SRS, C1, C2, C3 e C4.	99
Figura 5.26. Distribuição da contribuição de substâncias para o PE no CV da SRS e na produção do Diesel.	100
Figura 5.27. Análise de sensibilidade para o PE.	100
Figura 5.28. Distribuição da contribuição de substâncias para o POF no CV da SRS, produção do Diesel e transporte dos fertilizantes.	101
Figura 5.29. Análise de sensibilidade para o POF.	102
Figura 5.30. Distribuição da contribuição de substâncias para o PTT no CV da SRS e na produção do Diesel.	103
Figura 5.31. Análise de sensibilidade para o PTT.	104
Figura 5.32. Distribuição da contribuição de substâncias para o PTA no CV da SRS e na Etapa 1.	104
Figura 5.33. Análise de sensibilidade para o PTA.	105
Figura 5.34. Distribuição da contribuição de substâncias para a depreciação do ozônio no CV da SRS e na produção do Diesel.	106
Figura 5.35. Análise de sensibilidade para o PTH.	106
Figura 5.36. Análise de Monte Carlo – Comparação entre SRS (A) e a base de dados “Soybean, at farm/BR mass” (B) disponível no SimaPro - CML 2001. ...	108

Figura 5.37. Análise de Monte Carlo – Comparação entre SRS (A) e a base de dados “Soybean {BR} production –Alloc Def, U (B)” disponível no SimaPro – CML 2001.....	109
Figura 5.38. Análise de Monte Carlo – Comparação entre SRS (A) e a base de dados “Soybean {BR} production, on land recently transformed – Alloc Def, U” (B) disponível no SimaPro - CML 2001.....	109
Figura 5.39. Análise de incerteza da ACV caracterizada da SRS (as barras de erro representam o intervalo de incerteza).....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Fatores de emissão por combustão de combustível fóssil por maquinários agrícolas	62
Tabela 5.1. Municípios coletados e sua representatividade na produção de soja do RS.....	67
Tabela 5.2. Fatores de Ajuste para as diferentes intervenções.....	71
Tabela 5.3. Consumo de Diesel por maquinários agrícola em diferentes intervenções (em kg.ha-1).....	71
Tabela 5.4. Quantidade de pesticidas aplicado	72
Tabela 5.5. Uso do solo no estado do Rio Grande do Sul (hectares).	73
Tabela 5.6. Distribuição do avanço da soja em 20 anos.	76
Tabela 5.7. Resultado do SOCi e fatores adotados para uso atual e para três tipos de uso de referencias de solo.	77
Tabela 5.8. Contribuição percentual da aplicação de N sintético para as emissões totais de N ₂ O.....	81
Tabela 5.9. Entradas e saídas na etapa 1.....	81
Tabela 5.10. Entradas e saídas na Etapa 2.....	83
Tabela 5.11. Entrada e saída na Etapa 3.....	84
Tabela 5.12. Entrada e saída na Etapa 4.....	85
Tabela 5.13. Emissões comuns a todas as etapas.	85
Tabela 5.14. Resultados dos impactos caracterizados para o C1 (CML 2001).....	86
Tabela 5.15. Resultados normalizados e agrupados, método CML 2001.	88
Tabela 5.16. Identificação das contribuições relevantes (acima de 1%) para o CV da SRS em cada categoria do impacto, considerando o C1 (caracterizado).	90
Tabela 5.17. Análise de contribuição das intervenções para as diferentes categorias de impacto.....	110
Tabela 5.18. Resultados da análise de incerteza para ACV caracterizada da SRS - C1.	110

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1. Métodos de AICV e sua lista de impactos.....	38
Quadro 4.1. Matérias prima empregadas como fonte de N para formulação de NPK no Brasil.	44
Quadro 4.2. Matérias prima empregadas como fonte de P para formulação de NPK no Brasil.	45
Quadro 5.1. Processos referentes a produção de soja no Brasil disponíveis no SimaPro,	107

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

2,4-D	2,4 D-Dimetilamina	
a	intervalo entre aplicações em anos	
A	Razão entre área de MUT e área da safra em estudo	adimensional
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	
ACV	Avaliação de ciclo de Vida	
AICV	Análise dos Impactos de Ciclo de Vida	
ANP	Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis	
C	Carbono (átomo)	
C1	Cenário 1	
C2	Cenário 2	
C3	Cenário 3	
C4	Cenário 4	
Ce	Consumo específico de um determinado maquinário	L.ha ⁻¹
CFC-11	Tricloromonofluormetano	
CML	Centre of Environmental Science	
CO	Monóxido de Carbono	
CO ₂	Dióxido de Carbono	
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento	
COTRIPAL	Cotripal Agropecuária Cooperativa	
CP	Concentração percentual do princípio ativo (p/v)	%
CV	Ciclo de Vida	
d	Densidade do Diesel	kg.L ⁻¹
DAP	Fosfato Diamônio	
dMUT	Mudança direta no Uso da Terra	
Dp	Distância percorrida (Deslocamento)	km.ha ⁻¹
DQO	Demanda Química de Oxigênio	
E	Exponencial (Notação matemática) 10=1,00e+01=1,00x10 ¹	
EC	European Commission	
EDIP	Environmental Design of Industrial Products	

Ef	eficiência do maquinário, segundo fabricante	L.h ⁻¹
Egi	Emissão total de gás "i"	kg do gás"i". kg soja colhida ⁻¹
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural	
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária	
EPS	Etapa de Preparo do Solo	
Eq.	equivalente	
FA	Fator de Ajuste	
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio	
Fgi	Fator de emissão para um determinado GEE	kg do gás"i". kg Diesel ⁻¹
g	grama (unidade de massa)	
GEE	Gás de Efeito Estufa	
ha	hectare (unidade de área)	
HPA	Hidrocarboneto Policíclico Aromático	
iMUT	Mudança indireta no Uso da Terra	
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	
IPH	Instituto de Pesquisa Hídricas	
ISO	International Standards Organization	
K ₂ O	Óxido de Potássio	
kg	quilogramas (unidade de massa)	
KOH	Hidróxido de Potássio	
M	mega (prefixo SI para milhão, 10 ⁶)	
m ²	metro quadrado (unidade de área)	
m ³	metro cúbico (unidade de volume)	
MAP	Fosfato monoamônio	
Mp	massa de pesticida na embalagem	kg
MUT	Mudança no Uso da Terra	
N	Nitrogênio Elementar	
N ₂	Nitrogênio (Gás)	
N ₂ O	Óxido Nitroso	
N ₂ O _{DIRETA}	Emissões diretas de N ₂ O por solos agrícolas	kg N ₂ O.ano ⁻¹ ;
N ₂ O _{INDIRETA}	Emissões indiretas de N ₂ O por solos agrícolas	kg N ₂ O.ano ⁻¹
N ₂ O _{SOLOS AGRÍCOLAS}	Emissões totais de N ₂ O	kg N ₂ O.ano ⁻¹
NBR	Norma Brasileira	
NH ₄	Amônia	

n-MUT	cenário que não considera a MUT	
NO ₂	Dióxido de Nitrogênio	
NO _x	Óxidos Nitrosos	
ns	número de substâncias aplicadas	
°C	graus celsius (unidade de temperatura)	
P ₂ O ₄	Pentóxido de Fósforo	
MPA	Massa do princípio ativo na embalagem	kg
PA	Potencial de Acidificação	
PAG	Potencial de Aquecimento Global	
PDA	Potencial de depreciação Abiótica	
PDO	Potencial de depreciação da camada de Ozônio	
PE	Potencial de Eutrofização	
pH	Potencial de Hidrogenação	
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel	
POF	Potencial de Oxidação Fotoquímica	
PTH	Potencial de Toxidade Humana	
PTM	Potencial de Toxidade Marinha	
PTT	Potencial de Toxidade Terrestre	
PUS	Potencial de Uso do Solo	
R1	Pastagem de alta conservação	
R2	Pastagem de degradação moderada	
R3	Pastagem com severa degradação	
R4	Floresta	
RED	European Commission's Renewable Energy Directive	
RS	Rio Grande do Sul	
SC	Sistema de Plantio Convencional	
SEBRAE	Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas	
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry	
SFS	Superfosfatosimples	
SFT	Superfosfatotriplo	
SO ₂	Dióxido de Enxofre	
SPD	Sistema de Plantio Direto	
SRS	Soja produzida no estado do Rio Grande do Sul	
t	Tonelada (unidade de massa)	

TC	Consumo total de Diesel ajustado	kg.ha ⁻¹
tm	Tamanho da haste (barra) do implemento ou alcance	m
UF	Unidade Funcional	
UA	Unidade de Análise	
UFRGS Universidade Federal do Rio Grande do Sul		
V	velocidade de descolamento	km.h ⁻¹
VA	Volume de pesticida aplicado em Litros	L
VE	Volume da embalagem em Litros.	L

RESUMO

MACIEL GONÇALVES, Vinícius. **Avaliação do desempenho ambiental da fase agrícola no sistema de produto biodiesel de soja no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 2014. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

Atualmente, a utilização da biomassa para a produção de biocombustíveis é uma questão amplamente discutida, principalmente por causa dos impactos ambientais. A soja é a principal matéria-prima utilizada para a produção de biodiesel brasileiro, e o Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores de soja do Brasil e do mundo. Sua importância se dá, principalmente, devido a sua versatilidade, sendo empregada, também, por exemplo, nos setores alimentícios, agropecuários e químico. Entretanto, não há estudos do desempenho ambiental da soja produzida no estado do Rio Grande do Sul. Neste cenário, a Avaliação de Ciclo de Vida apresenta-se como uma ferramenta para avaliar o desempenho ambiental. Logo, o presente trabalho apresenta uma avaliação da soja produzida no estado do Rio Grande do Sul, a partir da construção de um inventário do ciclo de vida representativo da região em estudo. O estudo foi conduzido do berço ao portão da fazenda a partir de dados primários específicos para as etapas que constituem o elo principal da produção da soja do Rio Grande do Sul, referente à safra 2012/2013. Dados secundários foram obtidos a partir da literatura e bases de dados disponíveis no *software* SimaPro®. Os dados de inventário foram coletados em 23 municípios que, juntos, respondem por 32% da produção total de soja do estado. Cenários alternativos para mudança no uso da terra apresentaram valores de emissão variando entre 0,03 – 1,03 t CO₂ eq.ha⁻¹. A Avaliação de Ciclo de Vida foi conduzida a partir destes dados e o escore normalizado calculado a partir do método CML 2001 revelou uma significativa contribuição da etapa de semeadura e fertilização em decorrência do uso de fertilizante fosfatado. O potencial para aquecimento global foi majoritariamente influenciado pela Mudança de Uso da Terra.

Palavras-Chaves: ACV, Biodiesel, MUT, Soja.

ABSTRACT

MACIEL GONÇALVES, Vinícius. **Assessment environmental performance of agricultural phase on soybean biodiesel produce system in state of Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2014. Master Thesis Post-Graduation Program in Materials Engineering and Technology, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL.

Nowadays, the use of biomass for biofuel production is a widely discussed issue, mainly because of environmental impacts. Soybeans are the main raw material used for the Brazilian biodiesel production, and Rio Grande do Sul is one of the largest producers of soybean in Brazil and the world. Its importance is due mainly because of its versatility, being employed, also, for example, in food, agricultural and chemical industries. However, there are no studies of the environmental performance of the soy produced in the state of Rio Grande do Sul. In this scenario, the Life Cycle Assessment is presented as a tool to evaluate the environmental performance. Therefore, this paper presents an assessment of the environmental performance of the soy produced in the state of Rio Grande do Sul, from the construction of an representative life cycle inventory of the study area. The study was conducted from cradle to gate of the farm from specific primary data for the steps which are the main link in the production of soybeans in the Rio Grande do Sul, on the 2012/2013 harvest. Secondary data were obtained from the literature and databases available on SimaPro® software. The inventory data were collected in 23 municipalities that together account for 32% of total production of soybean state. Alternative scenarios for change land use change show emission values ranging from 0.03 to 1.03 eq.ha⁻¹ t CO₂. The Life Cycle Assessment was conducted from these data and the normalized score calculated from the CML 2001 method revealed a significant contribution seeding and fertilization stage due to the use of phosphate fertilizer. The potential for global warming was largely influenced by the Land Use Change.

Key-words: LCA, Soybean, Biodiesel, LUC.

1. INTRODUÇÃO

As alterações do clima são motivos de preocupação mundial, sobretudo no que se refere às emissões de gases de efeito estufa (GEE). Segundo o relatório elaborado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) mais da metade da elevação média da temperatura global nos últimos cinquenta anos tem origem antropogênica, com 95% de certeza (IPCC, 2013).

Várias estratégias de mitigação para a emissão de GEE têm sido adotadas, entre elas, a alteração da composição da matriz energética. Em relação ao uso de combustíveis na matriz energética, o biodiesel é apresentado como uma opção mais sustentável e menos poluente, o que incentivou um aumento significativo de sua produção no Brasil, tendo como principal matéria-prima o óleo de soja (ANP, 2013).

No entanto, o biodiesel de soja é observado com um olhar de desconfiança por parte da comunidade científica. O aumento da produção de soja para produção de biodiesel em locais antes destinados à produção de alimentos pode ser apontado como um dos motivos, além do grande consumo de fertilizantes e pesticidas (Castanheira et al., 2013; Milazzo et al., 2013).

Em escala mundial, a produção de soja do RS é maior que a do Paraguai, sexto maior produtor do mundo, o que ressalta sua importância na produção brasileira e mundial (IBGE, 2013a; FAO, 2013).

Vários autores defendem que a sustentabilidade ambiental do biodiesel de soja é diretamente dependente da fase de produção da oleaginosa, sobretudo devido ao grande consumo de insumos e a adoção de práticas agrícolas pouco conservacionistas (Malça e Freire, 2010; Panichelli et al., 2008; Cavalett, 2010).

Além disso, as emissões de GEE desta fase podem ser acentuadas se as emissões, devido à mudança de estoque de carbono proveniente da MUT forem contabilizadas. No entanto, há poucos estudos que contemplam esta fonte de GEE.

Neste contexto, a metodologia da ACV é amplamente empregada no estudo do desempenho ambiental do biodiesel e seus subprodutos (FAO, 2014). Todavia, conforme Cavalett (2008), uma das maiores dificuldades da implementação da metodologia é que as bases de dados de inventário são norte-americanas e europeias, o que algumas vezes as distanciam da realidade brasileira.

Uma das principais desenvolvedoras destas bases de dados é o Ecoinvent[®]. O *Ecoinvent* é uma ampla base de dados de ICVs que mostra as cargas ambientais de produtos e serviços.

Bennett (2004) argumenta que a coleta de dados para construção do ICV pode ser realizada sobre dados de diferentes tipos de fontes de dados, que podem ser divididos em quatro categorias principais, tais como: bancos de dados eletrônicos; dados da literatura; dados fornecidos por empresas, laboratórios, autoridades e fontes correlacionadas; e medições e/ou cálculos estimados, onde os dados não existem ou necessitam ser melhorados.

O *Ecoinvent* disponibiliza dados de inventário da produção agrícola de soja brasileira para estudos de ACV. Todavia, deve-se ressaltar que os aspectos temporais e geográficos devem ser considerados para um estudo de ACV, sobretudo devido à extensão territorial do Brasil (Bennett, 2004; CML, 1999).

É neste sentido que este trabalho visa contribuir, pois, no que tange o Estado do RS, apesar de sua expressiva relevância na produção de soja no cenário mundial, não existe inventário específico da produção de soja do estado, tampouco estudos de ACV da fase agrícola do biodiesel de soja produzido no RS. Neste contexto, este estudo apresenta a construção de um ICV da fase agrícola do biodiesel de soja no RS a partir de dados primários e após uma ACV é conduzida.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o desempenho ambiental da soja produzida no estado do Rio Grande do Sul a partir da metodologia da ACV.

2.1. Objetivos Específicos

Elaborar o inventário de CV da soja produzida no estado do Rio Grande do Sul (SRS), a partir de dados primários dos fluxos relacionados ao elo principal da produção da soja.

Propor um fluxograma do processo de produção da soja.

Quantificar os fluxos da produção da soja de acordo com as etapas de cultivo: Preparo do solo (Etapa 1), semeadura e fertilização (Etapa 2), tratos culturais (Etapa 3) e colheita (Etapa 4).

Estudar as transições do uso do solo para cultivo da soja em 20 anos e quantificar as emissões em CO₂ eq. relacionados à perda de carbono do solo devido a Mudança do Uso da Terra para cultivo da soja no estado do Rio Grande do Sul.

Quantificar as emissões de óxido nitroso (N₂O) a partir do solo agrícola.

Avaliar os impactos da produção da soja no estado do RS, do berço ao portão da lavoura, ou seja, desde o cultivo da oleaginosa (soja) até sua colheita.

Avaliar os impactos da produção da soja no estado do RS nas quatro etapas de cultivo.

Realizar a análise de contribuição dos processos no ciclo de vida da soja e identificar as etapas de cultivos envolvidas.

Comparar os resultados deste estudo com as bases de dados do cultivo da soja no Brasil, disponíveis no SimaPro®.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL DO BIODIESEL

Atualmente o consenso acerca da necessidade de um meio ambiente ecologicamente equilibrado atrelado ao esgotamento progressivo dos recursos naturais, motivam as reflexões em torno da dependência de combustíveis fósseis e suas consequentes emissões de GEE.

Neste cenário, iniciativas governamentais e intergovernamentais têm surgido visando à redução das emissões de GEE, sobretudo para substituir combustíveis fósseis por biocombustíveis.

Acompanhando esta tendência mundial, a partir de 2004 com o lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), o Brasil investiu em projetos destinados à pesquisa de biodiesel como alternativa ao Diesel (Pousa, Santos e Suarez, 2007).

Os investimentos promoveram significativos avanços na produção do biodiesel brasileiro, que passou de 736 m³ em 2005 para 2,7 Mm³ em 2011. A Figura 3.1 apresenta esta expansão e a contribuição das principais fontes de matéria-prima. Como pode ser observado, apesar do biodiesel poder ser produzido a partir de diferentes fontes de triglicerídeos, por questões de estrutura e oferta de mercado, é o óleo de soja que se destaca como a principal fonte de matéria-prima, respondendo por 80,4% em 2011 (ANP, 2013). Todavia, atualmente esta contribuição relativa vem caindo (70%) principalmente devido a maior contribuição de outras fontes de gordura, principalmente a proveniente do abate de frangos (ANP, 2014).

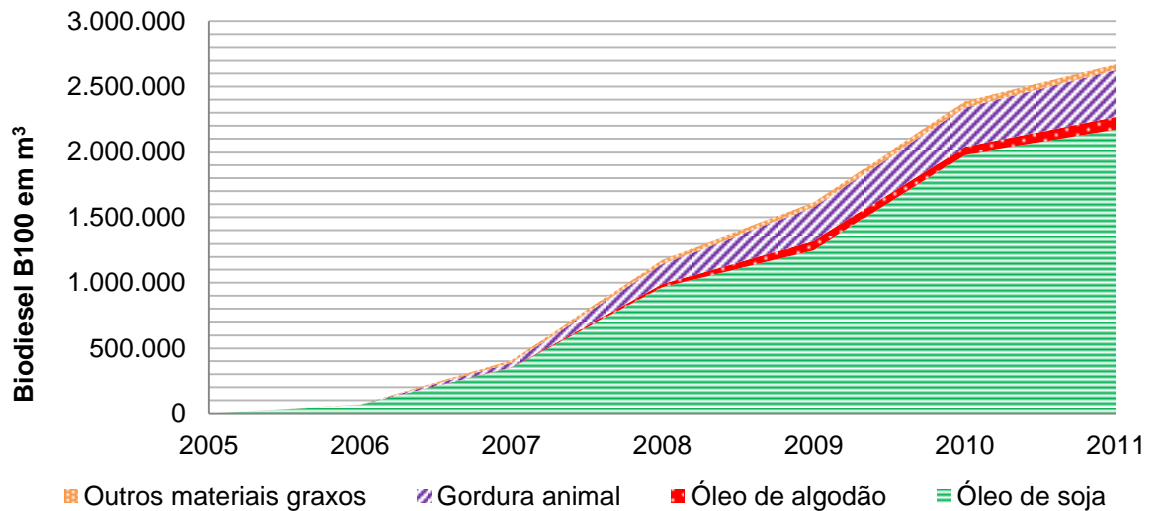


Figura 3.1. Evolução da produção de biodiesel B100 e contribuição.

(Fonte: adaptado de ANP, 2013)

No entanto, este crescimento exponencial da produção de biodiesel de óleo de soja tem sido alvo de discussão por parte da comunidade científica, sobretudo o seu desempenho ambiental (Pousa, Santos e Suarez, 2007; Castanheira et al., 2013).

Com o objetivo explícito de garantir a sustentabilidade ambiental do biodiesel, a Diretiva da União Europeia à Promoção de Fontes de Energia Renovável (*European Commission's Renewable Energy Directive - RED*) definiu que, para o biodiesel ser considerado uma fonte de energia renovável, é necessária uma economia de 35% das emissões de GEE em relação ao Diesel em 2014, de 50% entre 2014 e 2017 e 60% ou mais após 2017. Além disso, a diretiva estipula que as matérias-primas para a produção do biodiesel não devam ser produzidas em áreas que foram convertidas de florestas ou de alto teor de carbono (FAO, 2014). Segundo FAO (2014), a má análise dos materiais, nutrientes e fluxos energéticos envolvidos na sua produção e utilização são apontadas como os motivos das preocupações em torno dos biocombustíveis. Porém, o uso de ferramentas e metodologias como a ACV, podem ajudar a quantificar fluxos de materiais, emissões de GEE e outros impactos ambientais, que podem ser agrupados sob uma gama de abordagens científicas e ferramentas para avaliar a sustentabilidade dos biocombustíveis.

Entretanto, de acordo com Cavalett (2010) para produção de um biodiesel de soja mais sustentável, a atenção deve ser voltada para a fase agrícola, ou seja, para o cultivo da soja. Por considerar a mais importante fase do CV do biodiesel de soja, uma vez que é onde a maior parte dos recursos materiais e energéticos são consumidos, além de ser a que mais contribui para as emissões de GEE. Segundo IPCC (2013), na agricultura, podem ser apontadas como principais fontes dessas emissões, o uso de combustíveis fósseis, o consumo de fertilizantes nitrogenados sintéticos, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) por leguminosas, a mudança de estoques de carbono devido a MUT, as emissões por calagem e emissões de solos orgânicos cultivados.

Em estudo realizado pelo Grupo de Desenvolvimento de Materiais e Tecnologias Limpas, PUCRS/CNPq, tendo como tema a ACV da purificação do glicerol, a etapa de cultivo da soja foi apontada como a grande responsável pelo impacto ao longo do CV do glicerol purificado e conseqüentemente do biodiesel (Menezes, 2012). Estes resultados sustentam-se nos preceitos de Panichelli et al. (2008), que afirma que as práticas adotadas no cultivo da soja podem ser apontadas como as principais influenciadoras do desempenho ambiental do biodiesel, seguido pela MUT e o sistema de transporte e logística.

Neste contexto, a ACV é vital quando o objetivo é avaliarem-se os impactos ambientais do sistema de processo em questão (Castanheira et al., 2013). Porém, Malça e Freire (2010) ao compararem estudos de ACV de biodiesel na Europa, relatam uma grande divergência nos resultados, o que segundo os autores pode ocorrer devido às fontes de dados e as tecnologias de operação utilizadas no estudo, o que ressalta a importância da qualidade dos dados utilizados na ACV e o motivo das normas recomendarem a preocupação com a transparência dos estudos.

A preocupação com a fonte de dados empregadas no estudo de uma ACV também é relatada por Menezes (2012). Segundo o autor, ao optar por utilizar a base de dados da produção agrícola da soja brasileira disponibilizada pelo *Ecoinvent*, por não haver dados de inventário da produção agrícola de soja do RS para ACV, seus resultados podem distanciar-se da realidade.

Segundo Panichelli, et al. (2008) as especificidades regionais são fatores chave para analisar os impactos ambientais de biocombustíveis a partir de uma ACV, e as variações dos resultados podem ocorrer de um país para outro. Estas variações podem ocorrer devido a diferentes fontes de energia, meios de transporte, práticas agrícolas e a inclusão da MUT

Com base nisso, e levando-se em consideração que o Brasil é um país continental, pode-se esperar variações significativas em seus inventários, diretamente dependentes da região, clima e tipo de solo em estudo.

Além da agricultura, a MUT é considerada uma das mais importantes fontes de GEE (Castanheira et al., 2013), de acordo com Lapola, et al., (2013) 80% das emissões totais de CO₂ eq. do Brasil em 2005, foram provenientes destas duas fontes. Neste contexto, as emissões decorrente da MUT são extremamente relevantes em um estudo de ACV, sobretudo por ser uma etapa inevitável, uma vez que para expansão da produção dos biocombustíveis há necessidade de terras para o cultivo (Milazzo, 2013).

É importante salientar que há dois tipos de MUT, chamadas de mudança do uso da terra direta (dMUT) e a mudança do uso da terra indireta (iMUT).

A dMUT ocorre quando terras agrícolas são convertidas para produção de matéria-prima para fins de biocombustíveis (por exemplo, a conversão de terras florestais ou pastagens para plantações de soja), podendo gerar mudanças no estoque de carbono da terra (Cherubini, 2010; Amezaga et al., 2010).

A iMUT ocorre quando a terra atualmente utilizada para as culturas alimentares ou de alimentos é transformada em bioenergia mantendo, no entanto, a demanda anterior, ou seja, a produção agrícola deslocada vai mover-se para outros locais (Fritsche, 2008; Amezaga et al., 2010).

Segundo Broch, Hoekman e Unnash (2013) há muita incerteza e variabilidade na modelagem da iMUT. A própria Comissão Europeia (European Comissions, 2010b) reconhece a deficiência e falta de metodologias apropriadas, o que leva

vários autores a desconsidera-lá (Castanheira e Freire, 2013; Milazo et al., 2013; Kendall e Chang, 2009). A Figura 3.2 exemplifica esquematicamente a relação entre dMUT e iMUT. Em “a” a terra é usada para pastagem de gado e floresta; em “b” pode-se observar que houve a conversão de uma parcela da pastagem para lavoura, isto caracteriza uma dMUT; já na em “c” devido ao dMUT a pastagem é forçada a avançar sobre a área de floresta, caracterizando uma iMUT.

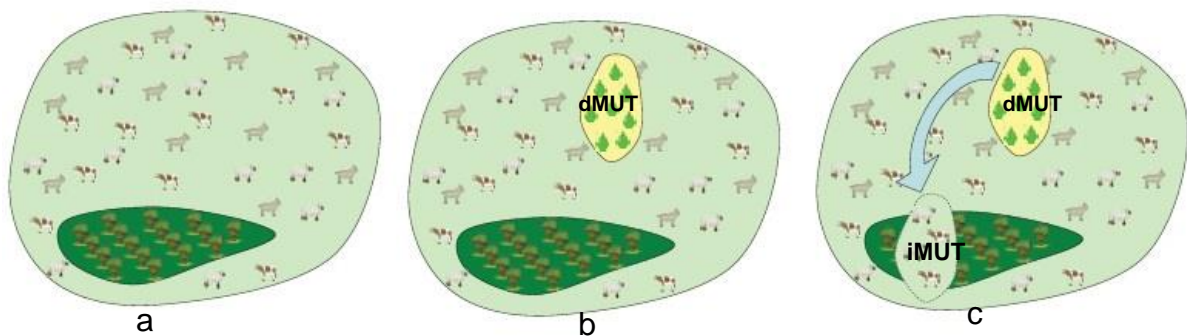


Figura 3.2. Esquema da relação entre a dMUT e a iMUT.

Fonte: Amezaga et al., 2010.

Neste contexto, pode-se afirmar que, para uma avaliação da sustentabilidade ambiental do biodiesel de soja a partir da metodologia da ACV, é imprescindível que as fontes de impactos da fase agrícola sejam identificadas e quantificadas a partir de dados representativos da região em estudo. Porém, pouco contribui um estudo que não aponta as etapas responsáveis pelos impactos. Logo, é necessário relacionar as fontes de impacto com as etapas de cultivo para que tomadas de decisão possam ser realizadas, ou seja, é imprescindível contemplar as emissões provenientes da MUT, assim como as diferentes etapas do cultivo da soja.

3.1.1. Biodiesel de Soja

O biodiesel pode ser obtido a partir de ésteres de ácidos graxos, ésteres alquila (metila e etila) de ácidos carboxílicos de cadeia longa (Aransiola et al., 2013). No entanto, como mencionado na seção 3.1 é o óleo vegetal, especificamente o de soja, a principal fonte de matéria-prima.

Segundo Castanheira et al. (2013) há predomínio por parte das usinas brasileiras em obter biodiesel a partir da reação de transesterificação com álcool metílico. A Figura 3.3 apresenta o processo de produção do biodiesel tipicamente utilizado.

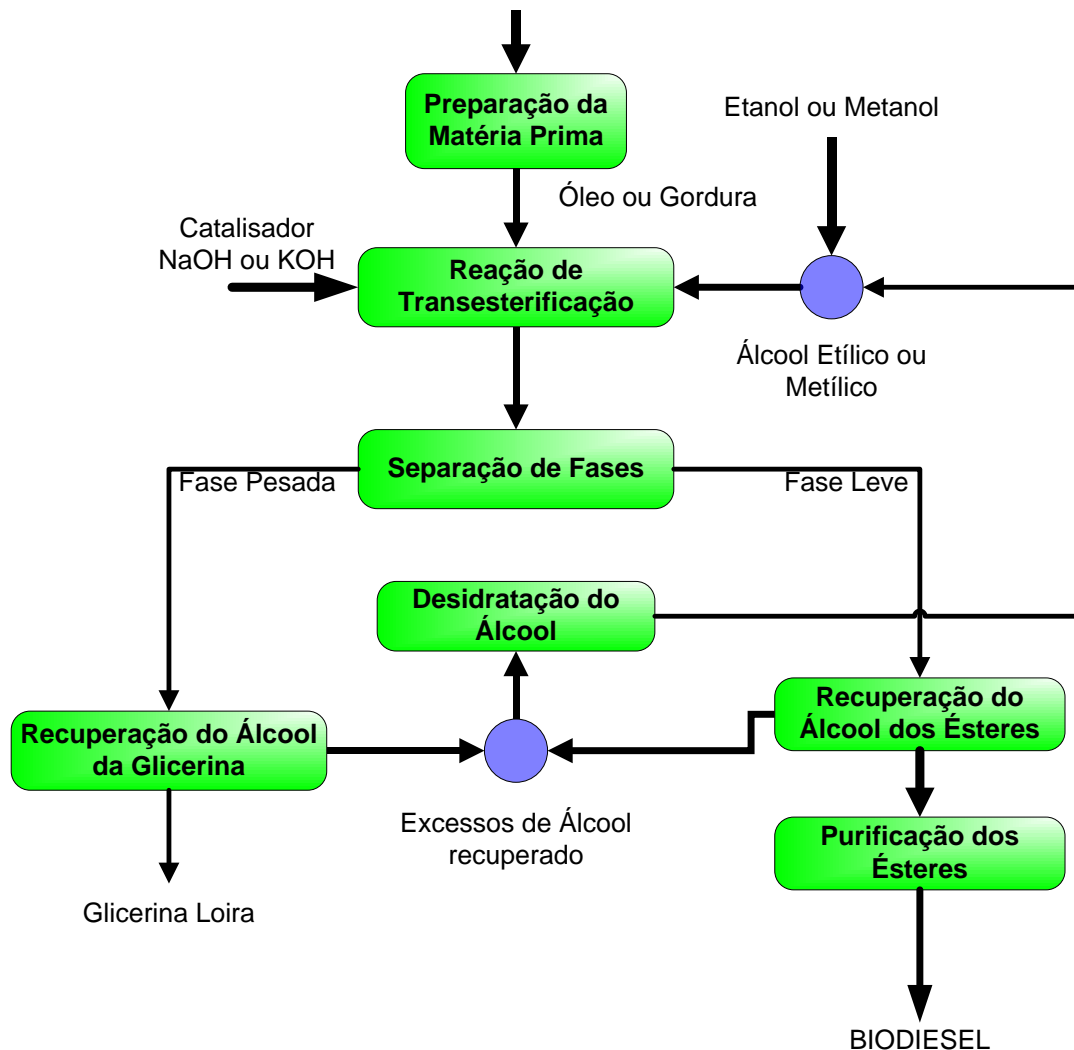


Figura 3.3. Fluxograma do processo de produção do biodiesel.

(Fonte: Adaptado SEBRAE, 2007)

3.1.2. A versatilidade da soja

As aplicações da soja vão muito além de fornecer matéria-prima para a produção de biodiesel. A partir da soja obtêm-se um grande número de produtos e subprodutos em diferentes setores. Como exemplos pode-se relacionar seu uso na indústria farmacêutica e cosmética (tocoferol, glicerina), na alimentícia (óleo refinado e lectina), na de surfactantes (ácidos carboxílicos), na pecuária (farelo para

alimentação animal), na de polímeros (filmes plásticos, poliuretano) (Embrapa, 2013b; Trompson et al., 2006; Yang et al, 2013; Javni, Hong e Petrovic, 2012; Rucigaj et al., 2014), além de lubrificantes à base de óleo de soja e biodiesel de óleo de cocção (Adhvaryu e Erhan, 2001; Kiakalaieh, Aimin e Mazaheri, 2012). A Figura 3.4, apresenta esta versatilidade e os inúmeros produtos provenientes da soja, sendo comparada de forma análoga à cadeia petroquímica.

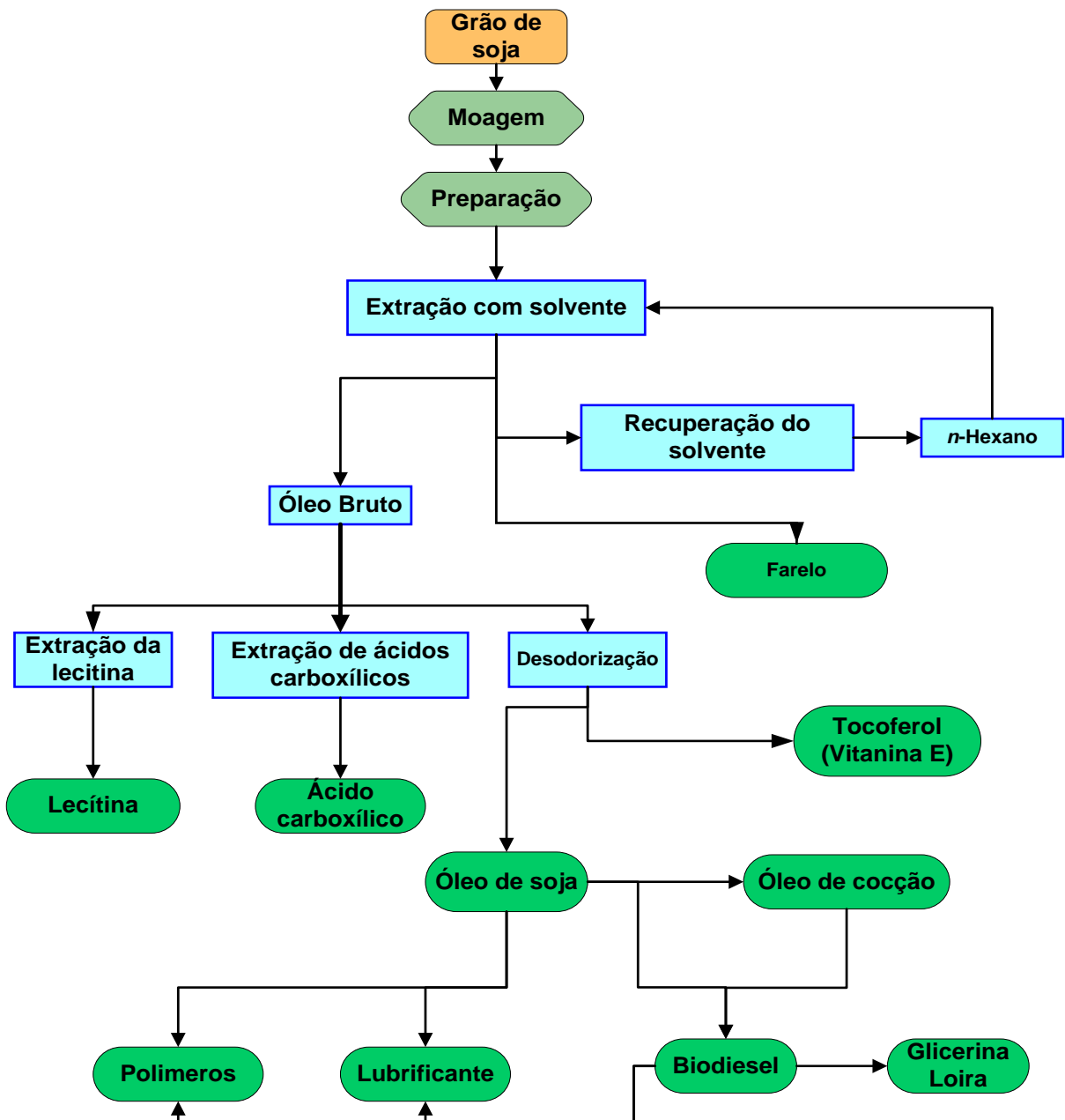


Figura 3.4. Fluxograma do aproveitamento da soja.

(Fonte: Adaptado de Embrapa, 2013b)

3.2. A cultura da Soja

A soja (*Glycine max*) é uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal do mundo. Aproximadamente 20% de sua massa é composta de lipídeos (óleo) o que a inclui no *rol* das oleaginosas (Dalgaard et al., 2008).

Também é uma importante *commodity*, sendo o quarto grão mais produzido, atrás apenas do milho, do trigo e do arroz consolidando-a como a leguminosa mais cultivada no mundo. Brasil e EUA, são os maiores produtores mundiais, juntos são responsáveis por mais de 60% da produção (Mulher, 2012).

Sua introdução no RS foi em 1914, porém foi a partir de 1950 que apresentou alguma expressão econômica, destacando os municípios de Santa Rosa e São Luiz Gonzaga, na região das Missões, que juntos representavam 82,5% da área total cultivada com soja no Estado (FEE, 1986).

Atualmente o RS é o terceiro maior produtor de soja do país, o que o coloca em situação de grande relevância no cenário mundial, devido à importância do Brasil na produção de soja do mundo. A safra brasileira de 2012/13 registrou uma produção recorde de 81.499,4 mil toneladas, representando um aumento de 22,7% em relação à safra 2011/12 (CONAB, 2013a). Em uma comparação da produção da soja do RS com a dos países produtores, tomando como base o ano de 2011, o RS registrou uma safra superior a do Paraguai, sexto maior produtor mundial, o que ressalta sua importância no cenário mundial (IBGE, 2013a; FAO, 2013).

A soja é cultivada na região sul do Brasil, de outubro a março. A semeadura ocorre entre outubro e novembro e o momento é escolhido de forma a minimizar a exposição da cultura a fatores climáticos adversos coincidentes com os períodos críticos da cultura (Embrapa, 2012).

A partir de Embrapa (2012) pode-se dividir o cultivo da soja em quatro etapas principais (Preparo do solo, Semeadura e Fertilização, Tratos Culturais e Colheita).

3.2.1. Preparo do solo ou pré-plantio (Etapa 1):

Nesta etapa o solo é preparado para receber as sementes. Recomenda-se que se realize uma análise do solo para determinar a necessidade de calagem e nutrientes. Também é nesta etapa que se realiza o controle de pragas e ervas daninhas, a partir da aplicação de defensivos agrícolas, como herbicidas. Este processo é conhecido como dessecação (Embrapa, 2012).

3.2.2. Semeadura e Fertilização (Etapa 2):

Trata-se da etapa de plantio, quando também pode ser realizada a aplicação de fertilizantes, a partir de uma semeadura-adubadora. O tratamento de sementes, apesar de ser uma etapa realizada antes da semeadura, pode ser incluído nesta etapa, por anteceder em poucos dias a semeadura. Cabe salientar que, alguns produtores já adquirem sementes tratadas (Embrapa, 2012).

3.2.3. Tratos culturais (Etapa 3):

Corresponde à fase de desenvolvimento da planta, a partir da emergência da planta ao ponto de maturação e colheita. É a etapa de maior necessidade de tratamentos contra pragas e ervas daninhas. Procura-se adotar a estratégia de realizar o tratamento preventivo ou postergar, com objetivo de realizar mais de um tratamento em um mesmo momento, desde que os defensivos utilizados sejam compatíveis. Desta forma diminuem-se gastos energéticos e perdas de produção, devido ao manejo de maquinário dentro da lavoura (Embrapa, 2012).

3.2.4. Colheita (Etapa 4):

A partir da identificação do ponto de maturação, a soja já pode ser colhida. Utiliza-se uma colheitadeira, que é responsável por cortar as plantas e separar as sementes do restante da planta (Embrapa, 2012).

3.2.5. Principais práticas agrícolas

Durante as quatro etapas de cultivo da soja, algumas práticas agrícolas são necessárias que, de acordo com Embrapa (2012), quando usadas racionalmente, podem permitir uma alta produtividade das culturas a baixos custos. São elas:

a) Calagem

Empregada na etapa de preparo do solo onde aplica-se calcário, quando há níveis tóxicos de alumínio no solo ou potencial de hidrogenação (pH) baixo. A calagem não é uma prática obrigatória, uma vez que é realizada somente quando o solo apresenta-se ácido. Em média, realiza-se uma vez a cada 3-5 anos e quatro a seis meses antes do plantio (Embrapa, 2012).

b) Fertilização ou Adubação

A utilização de fertilizantes na cultura da soja começa no preparo do solo, e a quantidade a ser aplicada depende da análise do solo (Embrapa, 2012). Segundo Milazzo et al., (2013) na safra 2007/2008 o cultivo da soja foi responsável por 3,8% do uso total de nitrogênio no Brasil, 41,3% do P_2O_5 e 34,7% do K_2O . A formulação básica dos fertilizantes é uma combinação de três elementos químicos chamados de macronutrientes (NPK) para as plantas: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (Embrapa, 2012).

Além do NPK também se recomenda a aplicação do micronutriente molibdênio (Mo) (SBCS, 2004). O Mo é um co-fator da enzima nitrato redutase, que catalisa a redução de $(NO_3)^-$ a $(NO_2)^-$ (Mengel e Kirkby, 2001). As quantidades de molibdênio requeridas pelas plantas são pequenas e sua aplicação via semente é uma das formas mais práticas e eficazes de adubação (Embrapa, 2012). As principais fontes de molibdênio são o molibdato de sódio e amônio, o ácido molibdênio e o trióxido de molibdênio (Campo e Lantmann, 1998).

Segundo Hungria et al., (2005a), o N é o macronutriente requerido em maior quantidade pela cultura da soja. No entanto, de acordo com Embrapa (2012), não há

necessidade de se aplicar fertilizante nitrogenado para a cultura de soja, porque a necessidade do nutriente é suprida por meio da simbiose da planta com o rizóbio específico, possibilitando a FBN. As quantidades de fertilizantes contendo fósforo e potássio variam em função dos teores desses nutrientes no solo e são contabilizados em termos de P_2O_5 e de K_2O .

c) Tratamento de Sementes

Consiste em aplicar à semente algum tipo de pesticida visando um controle preventivo contra pragas e ervas daninhas. Além disso, pode-se adicionar micronutrientes e inóculos (rizóbio) (Embrapa, 2012).

d) Inoculação

Ocorre na etapa de tratamento das sementes, com o objetivo de suprir a demanda de N por meio da FBN. O rizóbio específico é fornecido mediante a inoculação da semente (Salvagiotti et al., 2008; Hungria et al., 2005b).

e) Sistema de plantio ou de semeadura

Os sistemas de plantio ou de semeadura mais adotados são: Sistema de Plantio Direto (SPD) e Sistema Convencional (SC). O SPD é um sistema de produção conservacionista, que se contrapõe ao sistema tradicional de manejo, envolvendo técnicas de produção que preservam a qualidade ambiental. Fundamenta-se na ausência de preparo do solo (sem prévia aração ou gradagem leve niveladora) e na cobertura permanente do terreno pela realização de rotação de culturas (Embrapa, 2012; Menezes, 2012).

No SC o solo é submetido a diferentes intervenções como aração, escarificação, gradagem pesada ou gradagem niveladora. Estas intervenções poderão trazer para a superfície a camada de solo não corrigida, contendo alumínio, manganês e ferro em níveis tóxicos e com baixa disponibilidade de fósforo, podendo prejudicar o desenvolvimento das plantas.

Em questionários respondidos por 158 agricultores do RS no ano de 2007 à equipe *Rally da Safra*, todos afirmaram adotar o SPD. A conservação do solo e o aumento da produtividade são os motivos da escolha deste sistema de plantio adotado por estes agricultores que participaram da pesquisa (Bastos, 2007).

e) Uso de defensivos agrícolas (pesticidas)

A prática de aplicação de defensivos agrícolas também chamados de pesticidas é realizada em praticamente todas as etapas de cultivo para o controle de pragas e ervas daninha (plantas invasoras). Os principais pesticidas empregados são: herbicidas, aplicados para controle de plantas invasoras; Inseticidas, utilizados para o controle de insetos, destruindo ovos (em alguns casos), larvas e principalmente os insetos adultos e fungicidas, empregados para controle de fungos. A pulverização terrestre é a principal prática empregada para aplicar os defensivos agrícolas e consistem em utilizar um pulverizador acoplado ao trator ou um maquinário específico para este fim. A velocidade de deslocamento para pulverização terrestre recomenda é de 4 a 6 km.h⁻¹ (Embrapa, 2012).

3.3. Metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida

A ACV vem sendo adotada pelo Laboratório de Química Industrial do Grupo de Desenvolvimento de Materiais e Tecnologias Limpas da PUCRS/CNPq em seus estudos. A metodologia é reconhecida internacionalmente e possui uma sólida base científica, sendo padronizada pelas normas NBR 14040:2009 e NBR 14044:2009, (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b).

Um estudo de ACV é composto por quatro etapas:

- 1) Definição de objetivo e escopo,
- 2) Análise do inventário,
- 3) Avaliação dos impactos e
- 4) Interpretação.

3.3.1. Definição dos Objetivos e do Escopo

A definição do objetivo e do escopo é a primeira fase de uma ACV, em que deve ser claramente justificada a motivação, o objetivo, os limites do sistema, a unidade funcional (UF) e considerações particulares ao estudo (ABNT, 2009a; Roy et al., 2008).

3.3.2. Análise do inventário

Etapa onde são apresentados todos os fluxos materiais e energéticos e suas devidas emissões para os diferentes compartimentos (ar, água e solo) (Ferreira, 2004; Villanueva, 2012; Chehebe, 2002; Menten et al., 2013). Os procedimentos necessários para a confecção do ICV é ilustrado na Figura 3.5.

A coleta dos dados para construção do inventário é uma das etapas mais importantes na análise de inventário, de acordo com Brujin, et al (2004), os dados podem ser divididos em dois grupos:

- Dados primários: Construídos a partir de questionários, mensurados ou calculados.
- Dados secundários: Dados de literatura, tabelados ou de base de dados.

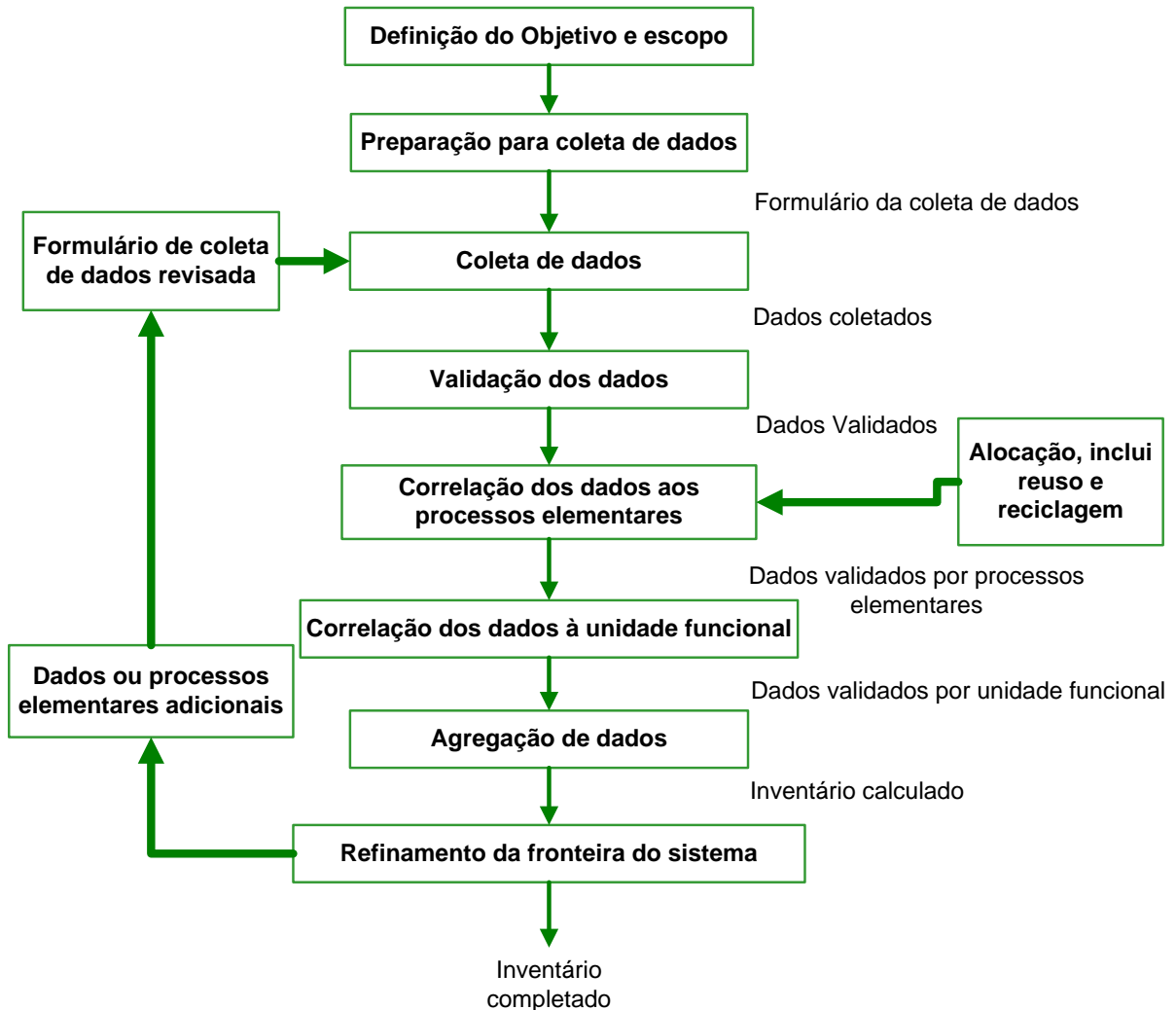


Figura 3.5. Procedimentos simplificados para análise de inventário
(Fonte: adaptado de ABNT, 2009b)

3.3.3. Avaliação do Impacto Ambiental

Nesta etapa os dados de inventario são convertidos em categorias de impacto ambiental a partir de métodos de caracterização. Existem muitos métodos de caracterização, eles diferem numericamente em suas equivalências e ou nas substâncias abordadas em uma determinada categoria de impacto (Menten at al., 2013). O Quadro 3.1, resume alguns destes métodos.

Quadro 3.1. Métodos de AICV e sua lista de impactos.

(Continua)

Métodos AICV	CML 2001	Eco Indicator	Ecopoint	IPCC
Desenvolvedor	<i>Centre of Environmental Studies (CML), University of Leiden, The Netherlands</i>	<i>Pré Consultants, Amersfoort, The Netherlands</i>	<i>Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Bern, Switzerland</i>	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
Categorias de Impactos	Aquecimento global (PAG)	Mudança climática	CO ₂ , SO _x	Aquecimento Global (PAG)
	Eutrofização (PE)	Acidificação	Energia	#
	Acidificação (PA)	Eutrofização	Poeira	
	Depleção abiótica (PDA)	Combustíveis fósseis, minerais, e uso do solo	DQO, N, NH ₃ , P	
	Depleção da camada de ozônio (PDO)	Camada de ozônio	Radiação (alta,baixa/média)	
	Oxidação Fotoquímica (POF)	Carcinogênicos	Metais (solo)	
	Toxicidade humana (PTH)	Radiação	Nitrato (solo)	
	Eco toxicidade Terrestre (PTT)	Eco toxicidade	Pesticidas (solo)	

Quadro 3.1. Métodos de AICV e sua lista de impactos.

(Conclusão)

Métodos AICV	CML 2000	Eco Indicator	EDIP	IPCC
Impactos	Eco toxicidade água (potável) (PTA)	Inorgânicos respiratórios	Ecotoxicidade do solo	#
	Eco toxicidade Marinha (PTM)	Orgânicos respiratórios	Resíduos (perigoso, radioativo)	
			Escórias/cinzas	
	Uso do Solo (PUS)			

Fonte: Adaptado de Menezes (2012)

3.3.4. Interpretação dos Resultados

Os resultados são analisados de acordo com as definições do objetivo e escopo do estudo. Conseqüentemente, permite tomar medidas remediadoras e decisões estratégicas (Menten et al.,2013; Villanueva, 2012).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Objetivo e Escopo

Propõem-se a ACV da fase agrícola do biodiesel a partir da construção de um ICV da SRS do berço ao portão da lavoura. Cabe salientar que o diferencial deste estudo é a construção e análise do ICV do cultivo da soja a partir da definição das quatro etapas de cultivo da soja e dados primários obtidos a partir de questionários aplicados à profissionais da assistência técnica rural da Emater/Ascar dos principais municípios produtores.

Justifica-se este estudo pela necessidade de estudos destinados à avaliação ambiental da etapa agrícola da produção de biodiesel de soja; a grande gama de possibilidades de aplicação decorrentes da versatilidade da soja e de seus subprodutos; a relevância da produção de soja do RS no cenário mundial e, principalmente; a influência dos fatores geográficos e temporais no estudo de uma ACV.

4.2. Considerações gerais do estudo

A ACV foi conduzida conforme a NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044. Devido ao estudo ser referente à safra da soja 2012/2013, priorizou-se a coleta de dados para este período.

O método de cálculo utilizado para a avaliação do impacto é o CML 2001 *baseline*, versão 2.05 e o IPCC 2007 *GWP 100a*, versão 1.02. O software para modelagem é o SimaPro 8.0.3.14, gentilmente disponibilizada pelo Instituto de Recursos Hídricos (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Para aquelas categorias que apresentam opções temporais, para efeito de

metodologia de cálculo, optou-se por métodos que estimem o impacto em 100 anos, com exceção do PDO que empregou-se 40 anos. Deve-se ressaltar que o método de cálculo IPCC 2007 foi empregado exclusivamente para categorizar o PAG.

A Unidade de Análise (UA) empregada no estudo é um kg de soja colhida. Justifica-se o emprego desta UA, pois este estudo poderá subsidiar futuros trabalhos de avaliação do desempenho ambiental para qualquer um dos sistemas que se utilizem de matérias-primas originadas da soja. Cabe salientar, que a substituição do termo UF por UA justifica-se pelo escopo deste estudo, que contempla uma parte do CV da soja.

Devido ao número reduzido de dados disponíveis e diversidade de definições para a iMUT, apenas a dMUT foi considerada neste estudo e atribuiu-se a nomenclatura de MUT.

Um descrição com os nomes dos processos disponíveis no SimaPro e empregados neste estudo estão disponíveis na Tabela D1 no Apêndice D deste estudo. Cabe salientar que, as emissões relacionadas à infraestrutura dos processos não foram contempladas neste estudo.

4.2.1. Matriz energética

Para efeitos de ACV o *grid* energético brasileiro atual Brasil (2013) foi considerado (Figura 4.1), para os processos que utilizam energia elétrica.

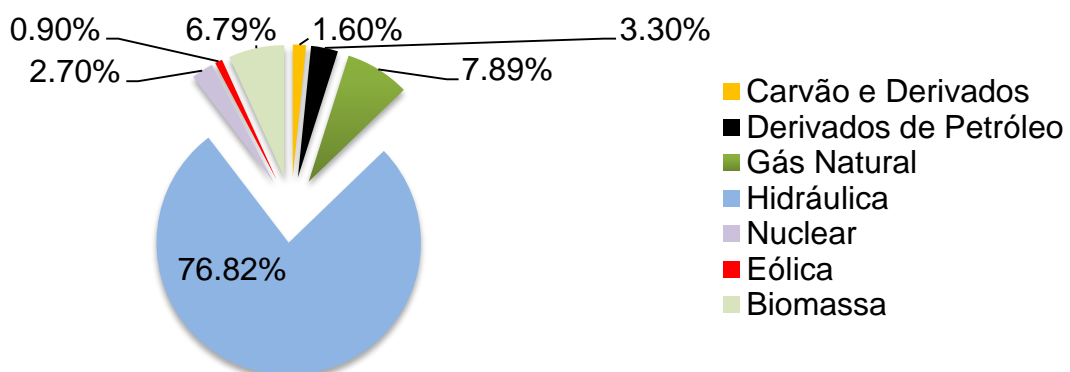


Figura 4.1. Grid elétrico brasileiro 2013, ano base 2012.

Fonte: (Brasil, 2013)

4.2.2. Fronteiras do sistema

A Figura 4.2 apresenta a fronteira do sistema em estudo. Propõe-se a ACV da fase agrícola do biodiesel do berço ao portão, isto é, partindo desde a extração de recursos para a produção dos insumos até a soja. Os impactos ambientais da extração/produção/geração de todos os insumos estarão dentro da fronteira dos sistemas propostos.

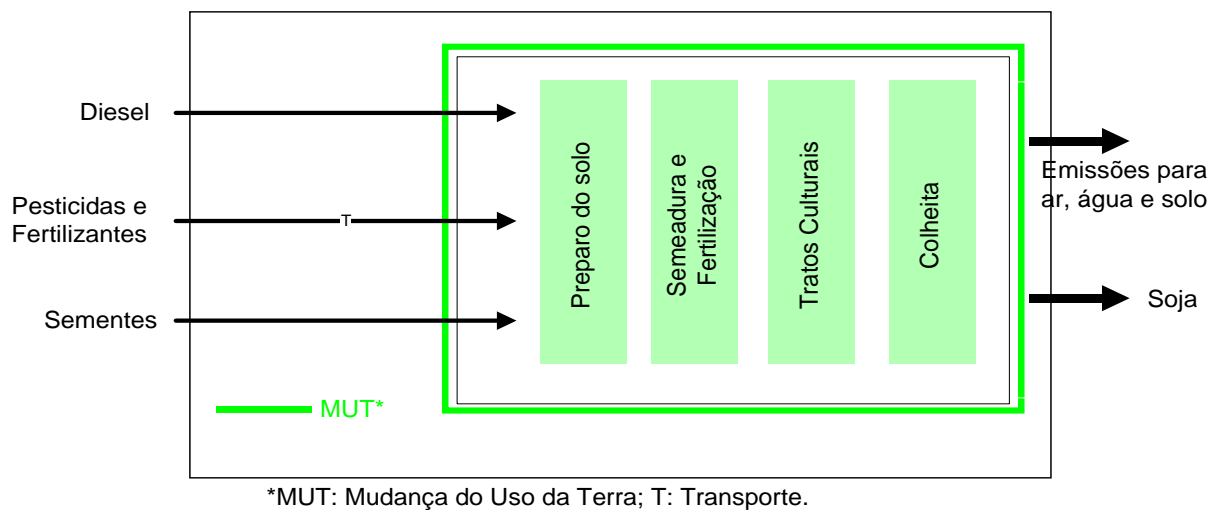


Figura 4.2. Fronteiras do sistema em estudo.

4.2.3. Transporte

Para o transporte dos fertilizantes e do calcário foi considerado um deslocamento de 300 km até a lavoura. O processo “*Transport, truck 10-20t, Euro 4, 80%LF, default/GLO Mass*” existente no SimaPro foi empregado neste estudo. Este processo assume que os insumos são transportados por estrada, por meio de um caminhão com peso compreendido entre 10 e 20 toneladas. Uma comparação entre EURO III e EURO IV foi realizada e se encontra na Tabela C2 no Apêndice C, deste estudo. Os resultados apontam que o EURO IV apresenta melhor desempenho ambiental em algumas categorias, porém, ao realizar uma análise de contribuição os resultados demonstraram que não há influências significativas ao substituir o

caminhão atual por um modelo EURO III. Cabe salientar que foi considerado que o caminhão transita com 80% de sua capacidade total.

4.2.4. Pesticidas

Não foram encontrados no SimaPro base de dados referentes aos processos de produção do diflubenzuron, fipronil, fludioxonil, metalaxil-m, imidacloprido, beta-ciflutrina, acefate, epoxiconazol, piraclostrobina e azoxistrobina. Todavia, empregou-se uma base de dados genérica referente à produção de pesticidas. Entretanto, cabe salientar que as emissões atribuídas aos referidos pesticidas estão considerados, na base de dados existente no SimaPro e foram contempladas neste estudo.

4.2.5. Diesel

Devido à indisponibilidade de processos referentes à produção do Diesel brasileiro, empregou-se o processo existente no SimaPro e relacionado à produção de Alimentos. O processo escolhido foi o Diesel (kg) da *LCA FOOD DK*, este processo é referente à produção de Diesel estocado na Europa.

Cabe salientar que a maioria dos processos de produção de Diesel disponíveis no SimaPro e desenvolvidos pelo *Ecoinvent*, possuem uma ressalva em sua descrição, onde consta que aquelas bases são provenientes do banco de dados do *Ecoinvent*, versão 2 e não foram extensivamente ou individualmente atualizadas para a versão 3 e que não podem em todos os aspectos cumprir as exigências das diretrizes de qualidade de dados da *Ecoinvent* v3. O que provoca insegurança em sua escolha.

4.2.6. Fertilizantes

4.2.6.1. Calcário Dolomítico

Um processo específico para o insumo calcário dolomítico foi construído para este estudo e algumas adaptações foram realizadas. O RS é um dos maiores

produtores de calcário do Brasil (MME, 2009) e por este motivo considerou-se que todo o calcário utilizado é proveniente do estado. Segundo Mulher (2012) e MME (2009) o processo de produção de calcário dolomítico no Brasil baseia-se no modelo clássico, empregado em grande parte do mundo, onde as principais etapas são a lavra de calcário a céu aberto, que incluem: remoção do capeamento, perfuração, desmonte, e o transporte até a usina. Na usina é realizada a britagem e moagem. Todavia, utilizou-se a base de dados da produção de calcário dolomítico específico da Europa e ajustou-se a fonte de energia elétrica para a matriz energética brasileira.

4.2.6.2. Nitrogênio

Segundo MF (2014) aproximadamente 98% do fertilizante NPK é utilizado no Brasil tem produção nacional, mas a maior parte dos insumos é importada, sendo 25% da matéria-prima utilizada como fonte de N de origem nacional e o restante importado. As principais fontes de N utilizadas para formulação do fertilizante NPK são apresentadas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1. Matérias prima empregadas como fonte de N para formulação de NPK no Brasil.

Matérias Prima	Contribuição (%)
Sulfato de Amônio	15,48
Uréia	56,33
Fosfato Monoamônio (MAP)	8,03
Nitrato de Amônio	20,15

Para este estudo um processo de produção do nitrogênio foi criado, onde foi considerada a relação entre as fontes de matérias primas empregadas para formulação dos fertilizantes nitrogenado empregado na mistura do NPK (Quadro 4.1). Neste cenário, 25% das matérias primas utilizadas foram consideradas como de origem nacional, necessitando de ajustes no uso de energia elétrica. Entretanto, não foi possível adequar para o cenário nacional à fonte de hidrogênio empregada na produção da amônia anidra, devido à indisponibilidade de base de dados referentes ao gás natural boliviano, empregado na síntese desta matéria-prima.

4.2.6.3. Fósforo

De acordo com MF (2014), 49% da matéria-prima para produção de fósforo utilizado na formulação do NPK são produzidos no Brasil e 51% são importados. O Quadro 4.2 apresenta as fontes de fósforo e sua contribuição para a formulação deste fertilizante.

Quadro 4.2. Matérias prima empregadas como fonte de P para formulação de NPK no Brasil.

Matéria-prima	Contribuição (%)
Rocha Fósforo	5,18
Super Fosfato Simples - SFS	69,52
Super Fosfato Triplo - SFT	25,30

A partir destas considerações um novo processo foi criado e utilizado neste estudo. Entretanto, os inventários da produção destas matérias primas não contemplam fluxos energéticos decorrentes de energia elétrica, não havendo necessidade de adaptação para a matriz energética brasileira.

4.2.6.4. Potássio

De acordo com MF (2014), 92% do potássio é importado e a principal matéria-prima é o cloreto de potássio. Devido a esta significativa contribuição considerou-se que todo o potássio é importado. Não foi realizado alterações neste processo, utilizou-se a mesma base de dados empregada no processo de produção da soja brasileira do *Ecoinvent*.

4.3. Construção do Inventário

Considerando a complexidade da fase agrícola do biodiesel de soja e as condições de execução do presente estudo, optou-se por dividir o procedimento de obtenção dos dados em duas formas diferentes: (a) coleta de dados primários específicos para as etapas que constituem os elos principais da cadeia de produção da soja, por meio de questionários, entrevista e metodologias de cálculos para estimar os balanços de emissões para os diferentes compartimentos; e (b) coleta

de dados secundários para a produção e transporte dos insumos, e emissões da etapa de colheita, procurando sempre obter de fontes confiáveis e reconhecidas pela comunidade científica, e também levando em conta as similaridades tecnológicas, temporais e geográficas, da forma mais próxima possível com a realidade do CV estudado. A Figura 4.3 apresenta uma síntese do processo de construção do ICV.

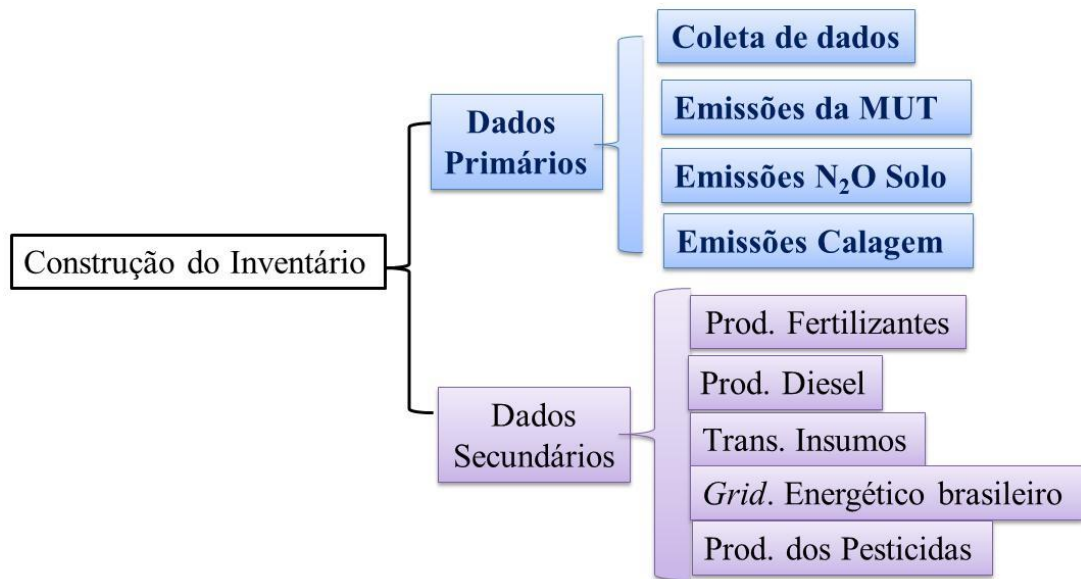


Figura 4.3. Síntese da Construção do Inventário.

4.3.1. Fator de Ajuste

Como apresentado na revisão bibliográfica, o uso de alguns insumos e práticas adotadas durante a fase agrícola, implicam em efeitos temporais que extrapolam a um ano, ou seja, à safra em estudo. Isto ocorre, por exemplo, na aplicação de calcário, cujos benefícios permanecem por alguns anos. Logo, para efeitos de UA a quantidade aplicada deve ser ajustada, assim como o consumo de Diesel e as emissões, decorrentes de sua aplicação. Além disso, alguns insumos são aplicados simultaneamente e também devem ser ponderados, de acordo com o número de substâncias empregadas na intervenção. Entende-se por intervenção, a necessidade de adentrar a lavoura para realizar algum tipo de tratamento, semeadura, colheita ou aplicação de insumo. Baseado nisto, sugere-se a utilização da Equação 4.1.

$$FA_i = (1/ns.a) \quad (4.1)$$

Onde,

FA_i: Fator de Ajuste para a intervenção em estudo

ns: número de substâncias aplicadas.

a: intervalo entre aplicações em anos.

4.3.1.1. Ajuste do consumo de Diesel por uso em maquinários agrícolas

Da mesma forma, deve-se ajustar o consumo e as emissões da queima de combustível por maquinários agrícolas utilizados para aplicar estes insumos. Entretanto, outro fator deve ser considerado, pois o consumo de Diesel está diretamente relacionado ao alcance proporcionado pelos implementos utilizados. Por exemplo, um trator utilizado para pulverização, equipado com um implemento de haste (barras) de quinze metros pode consumir mais combustível, do que quando equipado com um implemento de haste de vinte metros. Isto ocorre, pois no segundo caso, não havendo variação de outros parâmetros, o trator terá um menor deslocamento por hectare. Portanto, a Equação 4.2 é sugerida para calcular o deslocamento dos maquinários agrícolas por hectare.

$$Dp_i = 10/tm \quad (4.2)$$

Onde,

Dp_i= Distância percorrida (Deslocamento) em “i” intervenções (km.ha⁻¹).

tm= Tamanho da haste (barra) do implemento ou alcance (m)

É relevante considerar que o produtor rural não disponha de vários tratores e caminhões para às atividades agrícolas, na verdade pode-se assumir que há predomínio da utilização do mesmo maquinário. Com poucas exceções, o produtor possui um maquinário para trabalhos pesados e outro para leves. Logo, a Equação 4.3 é sugerida para um determinado maquinário.

Para estimar o consumo total de diesel para uma determinada etapa ou intervenção, podemos utilizar dados fornecidos pelos fabricantes ou dados de campo. No entanto, deve-se diferenciar que os fabricantes de maquinários agrícolas normalmente informam o consumo em termos de eficiência, ou seja, em litros por hora. Porém alguns produtores preferem informar o consumo em litros por hectare para uma determinada intervenção, ou seja, neste caso o D_p já está considerado. Logo, a Equação 4.3 é sugerida para converter os dados em termos de consumo em litros por hectare.

$$C_e = (E_f/V) \cdot D_{p_i} \quad (4.3)$$

Onde,

C_e : Consumo específico de um determinado maquinário em "i" intervenções ($L \cdot ha^{-1}$).

E_f : eficiência do maquinário, segundo fabricante ($L \cdot h^{-1}$).

V : velocidade de descolamento ($5 \text{ km} \cdot h^{-1}$; EMBRAPA, 2012).

Desta forma, a Equação 4.4 é sugerida para estimar o consumo total de diesel ajustado a um determinado equipamento em "i" intervenções.

$$TC_i = C_e \cdot d \cdot \sum_1^n FA_i \quad (4.4)$$

Onde,

TC_i : Consumo total de Diesel ajustado para um determinado maquinário em "i" intervenções em $kg \cdot ha^{-1}$.

d : Densidade do Diesel ($0,84 \text{ kg} \cdot L^{-1}$; MME, 2013).

4.3.2. Questionário e Entrevista

O questionário foi projetado com objetivo de coletar dados relativos à safra 2012/2013 de soja produzida no RS. O foco do questionário foi quantificar o uso de insumos (fertilizantes e corretivos, pesticidas, sementes e diesel) e a produtividade. Também, buscaram-se informações sobre as principais práticas adotadas, o uso de

equipamentos e maquinários, a fim de caracterizar a fase agrícola e possibilitar a construção de um fluxograma temporal das intervenções realizadas durante as etapas de cultivo e, conseqüentemente, do uso de maquinários.

Os questionários foram aplicados de julho a novembro de 2013. Visitas a propriedades rurais produtoras de soja foram realizadas com objetivo de caracterizar o processo de cultivo da soja e nortear a coleta de dados. O questionário foi elaborado a partir de consultas à literatura (Embrapa, 2012; SBCS, 2004), profissionais da área de agronomia e especialistas em ACV. Vocabulário técnico foi considerado para estruturar as perguntas que foram previamente testadas por profissionais da área de agronomia, não participantes, vinculados à Secretaria Estadual da Agricultura do estado do Rio Grande do Sul, com objetivo de identificar fontes potenciais para interpretação e para refinar as perguntas.

O público alvo foi escritórios municipais de assistência técnica rural da Emater/Ascar, instituição responsável pelo serviço oficial de extensão rural do Estado do RS. Cabe salientar que se solicitou, por telefone e e-mail, aos responsáveis pelos escritórios que apenas um questionário fosse respondido com dados representativos de seu município. Entretanto, o questionário também foi elaborado para coleta de dados de profissionais da assistência técnica rural, vinculados ao setor privado, cooperativas e outros agente vinculados ao setor primário.

O questionário foi estruturado com trinta e uma perguntas (Apêndice A), agrupadas em quatro categorias principais, de acordo com o apresentado na seção 3.2 e respostas fechadas. Sua construção foi elaborada por meio da ferramenta eletrônica Formulário do Google Drive, disponibilizada pela Google[®]. O endereço eletrônico do questionário foi disponibilizado para os entrevistados, e ao final da consulta as respostas foram enviadas automaticamente para o entrevistador.

Priorizou-se a coleta de dados dos municípios com maior produção. Por meio da Emater/Ascar, foi possível enviar o questionário para todas às regiões produtoras de soja. Porém, a coleta de dados dos municípios prioritários foi realizada pelo autor, primeiramente a partir de contato telefônico, com o objetivo de fazer a apresentação

e esclarecimentos a respeito dos objetivos da pesquisa e, posteriormente, foi enviado o questionário.

a) Levantamento dos maiores produtores de soja do RS.

A fim de estabelecer os municípios prioritários para coleta dos dados, realizou-se um estudo dos dados da produção de soja municipal dos anos de 2007 a 2011, disponível pelo IBGE (2013a).

A partir dos dados da produção agrícola municipal do IBGE, observa-se que quatrocentos e cinco dos quatrocentos e noventa e sete municípios do RS, apresentam algum registro de produção de soja no período entre os anos de 2007 a 2011. Considerando a produção média neste período, podemos observar que os quinze maiores produtores contribuem com 25% da produção e os quarenta e seis maiores são responsáveis por 50% da produção. Ou seja, apesar da grande quantidade de municípios produtores é uma pequena parcela que contribui de forma expressiva com a produção.

Julgando-se imprescindíveis as informações do cultivo de soja dos municípios que mais produzem, esforços foram focados para coletar os dados priorizando-se os quinze maiores produtores de soja do RS. Inicialmente, contatos telefônicos foram realizados com os escritórios da Emater/Ascar destes municípios, e posteriormente o endereço eletrônico para acesso ao questionário foi enviado por e-mail.

b) Tratamento dos dados coletados.

Ao final da coleta, os dados foram previamente tratados e analisados por meio do *software* de análise estatística SPSS versão 20.0. Durante a etapa de validação dos dados, incoerências e inconformidades encontradas foram sanadas por meio de uma nova rodada de pesquisa e entrevistas por telefone. As perguntas relacionadas ao uso de pesticidas mostraram-se insatisfatórias, necessitando ser coletadas por telefone e demonstrando que este item deve ser aprimorado no questionário. O valor médio de cada fluxo foi calculado a partir da determinação da média aritmética das respostas de cada município.

4.3.3. Cálculo da quantidade de pesticidas

A massa dos pesticidas foi calculada a partir da multiplicação das concentrações dos princípios ativos presentes em um litro da substância pelo volume aplicado, obtido a partir do questionário (Equação 4.5). As respectivas formulações e princípios ativos foram coletados a partir do banco de dados do Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (AGROFIT) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2014). A massa do veículo e de outras substâncias empregadas na formulação dos pesticidas foi ignorada, bem como a água utilizada como solvente na pulverização.

$$M_p = (MPA/VE).VA \quad \text{ou} \quad M_p = (CP/100).VA \quad (4.5)$$

M_p : massa de pesticida na embalagem em kg.

VE : Volume da embalagem em Litros.

MPA : Massa do princípio ativo na embalagem em kg.

VA : Volume de pesticida aplicado em Litros.

CP : Concentração percentual do princípio ativo (p/v).

4.3.4. Metodologia para emissões de GEE provenientes da mudança de estoque de carbono devido a MUT

Os resultados da avaliação da intensidade de emissões GEE em biocombustíveis podem variar consideravelmente se as MUTs forem contabilizadas. Isto ocorre porque a substituição da vegetação natural por um novo cultivo de plantas com finalidades energéticas pode reduzir a mitigação de GEE. Ou seja, o benefício ambiental do uso de biodiesel pode ser minimizado quando comparado ao combustíveis fósseis (Gnansounou, et al., 2008; Cherubini, 2010; Malça e Freire, 2012; Grisoli et al., 2012; Castanheira e Freire, 2013; Humphenoder et al., 2013; Malça e Freire, 2010).

O carbono orgânico é armazenado em três conjuntos diferentes: na vegetação (incluindo as raízes), na palhada (incluindo madeira morta) e no solo. Ao modificar a utilização da terra, esses reservatórios podem ser alterados ao longo do tempo até um novo estado de equilíbrio ser atingido (Amezaga, Maltiz e Boyes, 2010; Cherubini, 2010). Durante a transição para este novo nível de equilíbrio, haverá uma emissão líquida de CO₂, ou uma remoção líquida de CO₂ (Amezaga, Maltiz e Boyes, 2010). Segundo Cherubini (2010) esta dinâmica deve ser considerada, uma vez que há grandes quantidades de carbono na matéria orgânica do solo. Estes reservatórios de carbono são tão grandes que qualquer variação, por mínima que seja, pode representar grande relevância no balanço de GEE.

O Guia Nacional para Inventário de GEE do IPCC (2006a) em seu quarto volume (IPCC, 2006b) propõe três tipos de abordagens metodológicas para o cálculo da MUT, chamadas de *tiers*. O *Tier 1*, que utiliza somente dados básicos de uso da terra (censos, estatísticas agrícolas ou florestais, etc.); o *Tier 2*, que envolve a avaliação de uso da terra e MUT, podendo ser ou não baseado em observações espacialmente explícitas, isto é, georreferenciadas; e o *Tier 3*, que requer observações espacialmente explícitas e completas e que permitam monitorar o uso e a MUT e as emissões e remoções de GEE associadas. Esta metodologia também é preconizada pela EC (2009) em seu guia para cálculo das reservas de carbono nos solos (EC, 2010a).

Entretanto, devido a pouca disponibilidade de dados, as emissões de GEE provenientes da alteração dos estoques de carbono devido a MUT foram calculadas usando a Equação 4.6, seguindo o *Tier 1* do IPCC e Diretrizes relativa às Energias Renováveis (IPCC, 2006a; EC, 2009, 2010a). Segundo IPCC (2006a), a quantidade de carbono armazenada e emitida ou removida, depende do tipo de cultura, práticas de gestão, tipo de solo, e variáveis climáticas. Devido a falta de fatores de emissão específicos para o RS, adotou-se valores padrão (*default, Tier 1*) sugeridos pelo IPCC (2006a), preconizado por EC (2010) e adotado por outros estudos (Castanheira e Freire, 2013; Grisoli et al., 2012) para a região de clima temperado quente úmido e tipo de solo argiloso de baixa atividade, em sistema de plantio direto, para a localização geográfica em que o RS se encontra. Cabe salientar que para o

emprego desta metodologia um estudo do avanço da soja no estado do RS foi realizado (ver item 4.3.4.1).

Valores anuais foram calculados dividindo-se as emissões de GEE pelo período de tempo em que os reservatórios de carbono levam para atingir o equilíbrio após a conversão (IPCC padrão: 20 anos).

$$E = \sum(CS_{Ri} - CS_{Ai}).(44/12).(1/20) \quad (4.6)$$

Onde E (t CO₂ eq.ha⁻¹.ano⁻¹) são as emissões de GEE anuais de mudança de estoque de carbono devido a MUT; CS_R (t C.ha⁻¹) é o estoque de carbono associado ao de referência (anterior) do uso da terra; CS_A (t C.ha⁻¹) é o estoque de carbono associado ao uso atual (cultivo de soja). A fração 44/12 foi utilizada para obter os resultados em CO₂ eq.

$$CS_i = (SOC_i + C_{VEG}). A \quad (4.7)$$

O CS_R e CS_A foram calculados a partir da Equação 4.7, onde, SOC_i (t C.ha⁻¹) é o carbono orgânico do solo na referência (SOC_R) e uso efetivo do solo (SOC_A), C_{veg_i} (t C.ha⁻¹) é o carbono armazenado na vegetação aérea e subterrânea na referência (C_{veg_R}) e no uso atual (C_{veg_A}). O fator “A” é a razão entre a área de MUT e a área de soja cultivada na safra 2012/2013, os detalhes da estimativa deste fator são apresentados na seção 5.1.5.1.

$$SOC_i = SOC_{ST}.F_{LU}.F_{MG}.F_I \quad (4.7.1)$$

SOC_{ST} (tCha⁻¹) é o carbono orgânico do solo e foi calculado a partir da Equação 4.7.1 e valores padrão F_{LU}, F_{MG} e F_I que são fatores que refletem a diferença na SOC_{ST} associado ao tipo de uso da terra, (F_{LU}) é a diferença na quantidade de carbono orgânico do solo decorrente da principal prática de gestão, comparativamente à quantidade de carbono orgânico normal do solo, (F_{MG}), e diferentes níveis de entrada de carbono no solo (F_I). Em relação ao uso real da terra, C_{veg_A} é igual a zero (soja é colhida por ano). Para as culturas anuais o aumento nos estoques de biomassa em um único ano é assumido como sendo igual à perda de

biomassa de colheita e de mortalidade no mesmo ano, não havendo, portanto, acumulação líquida de estoques de carbono da biomassa (IPCC, 2006b).

4.3.4.1. Expansão da soja nos últimos 20 anos

O estudo do avanço da soja nos últimos 20 anos foi realizado a partir de dados oficiais e estatísticos do uso da terra no RS, (IBGE, 2010), Censo Agropecuário (IBGE, 2013b), Séries Históricas do Milho, Arroz e Soja, CONAB (2013b, 2013c, 2013d), relatório de estimativa de safra de arroz 2013/2014 do IRGA (2013a, 2013b) e Anuários das Culturas da Soja e Arroz (Kist et al., 2003; Santos, et al., 2013). A partir deste estudo foi possível estimar as transições (pastagem-lavoura), bem como o avanço da soja sobre outras culturas.

4.3.4.2. Cálculo das emissões devido a MUT

Devido à inexistência de informações confiáveis sobre o estado de conservação das áreas de pastagem antes da substituição pelas lavouras de soja, cenários alternativos foram criados, considerando três estados de referência de conservação para pastagens (R1, R2, R3). Conhecer os estados de conservação antes da transição é importante para realizar a escolha dos fatores de emissão adequados de acordo com os preceitos do IPCC (2006b).

O cenário um (C1) representa o melhor caso de conservação (R1), onde toda a área de soja que expandiu, provem de área de pastagem melhorada com alta conservação, por conseguinte esta área possui uma grande quantidade de carbono armazenado, que quando submetido a um novo regime de gestão resulta em grandes perdas de carbono. O cenário dois (C2), apresenta um cenário mais conservador, onde o estado de conservação das áreas de referências é de degradação moderada (R2). O cenário três (C3), apresenta dados extremos do C1, e a área de soja expandida provém de áreas de pastagem com severa degradação (R3), e pouco teor de carbono armazenado. Um quarto cenário alternativo foi criado (C4), onde toda a área atualmente cultivada com soja provém de desflorestamento (R4). Este cenário tem como objetivo de comparar este estudo com outros já existentes.

4.3.5. Metodologia para emissões de óxido nitroso (N₂O) provenientes de solos agrícolas

O óxido nitroso é um gás envolvido no processo de aquecimento global (IPCC, 2013; Menten et al., 2013). Embora as emissões de N₂O são quantitativamente muito menores do que as emissões de CO₂, seu impacto em GEE é muito maior (298 vezes para um horizonte de tempo de 100 anos) (Reijnders e Huijbregts, 2011). É produzido naturalmente em solos através dos processos de nitrificação e desnitrificação. Nitrificação é a oxidação microbiana aeróbia de amônio para nitrato, e desnitrificação é a redução microbiana anaeróbica do nitrato a gás nitrogênio (N₂). O óxido nitroso gasoso é um intermediário na sequência da reação de desnitrificação e um sub-produto do processo de nitrificação que é emitido de células microbianas para o solo e atmosfera. Um dos principais fatores de controle desta reação é a disponibilidade de N inorgânico no solo (IPCC, 2006c). O aumento da produção de amônia para formulação de fertilizante, impulsionada pela necessidade de fertilização de solos agrícolas para produção de leguminosas tem sido indicado como principal responsável pela crescente emissão de N₂O para a atmosfera (IPCC, 2013; Reijnders e Huijbregts, 2011).

Outras fontes antrópicas desse gás incluem: o N proveniente de dejetos de animais; a FBN, MUT e cultivo em solos orgânicos (IPCC, 2006c).

As emissões de óxido nitroso a partir de solos podem ser estimadas segundo a metodologia *Tier1* (Equação 4.8) seguindo as premissas do IPCC (2006b). Devido à falta de fatores de emissão específicos do RS, adotaram-se valores padrão (*Tier1*) sugeridos pelo IPCC (2006b) para a região de clima temperado quente úmido e tipo de solo argiloso de baixa atividade e SPD.

Segundo o IPCC (2006b) os cálculos das emissões de N₂O provenientes de solos agrícolas podem ser subdivididos em duas categorias, emissões a partir de fontes diretas de N₂O e a partir de fontes indiretas.

São consideradas fontes de emissões diretas de N_2O : a aplicação de fertilizantes sintéticos (F_{SN}); aplicação de fertilizantes orgânicos nitrogenados (Ex.: esterco animal, composto, lodo de esgoto) (F_{ON}); N de dejetos animais, depositado por animais pastando (F_{PRP}); N em resíduo de culturas e fixação biológica (F_{CR}); mineralização do N devido a perda de matéria orgânica do solo, resultante da alteração do uso da terra ou da gestão do solo (F_{SOM}); e drenagem/manejo de solos orgânicos (F_{OS}) (IPCC, 2006b).

As emissões indiretas de N_2O podem ocorrer por duas vias. A primeira dessas vias é a volatilização do N em forma de NH_3 e óxidos de N (NO_x) e subsequentemente a deposição dos referidos gases e os seus subprodutos de NH_4^+ e NO_3^- superfícies hídricas. A segunda via é a lixiviação e escoamento de N, principalmente como NO_3^- proveniente de fertilizantes, com destino a várzeas, rios e, eventualmente, até oceanos (IPCC, 2006b).

As emissões totais de N_2O provenientes de solos agrícolas são, portanto, estimadas pela seguinte Equação 4.8.

$$N_2O_{SOLOS\ AGRÍCOLAS} = N_2O_{DIRETA} + N_2O_{INDIRETA} \quad (4.8)$$

onde,

$N_2O_{SOLOS\ AGRÍCOLAS}$: emissões totais de N_2O , em $kg\ N_2O.ano^{-1}$;

N_2O_{DIRETA} : emissões diretas de N_2O por solos agrícolas, em $kg\ N_2O.ano^{-1}$;

$N_2O_{INDIRETA}$: emissões indiretas de N_2O por solos agrícolas, em $kg\ N_2O.ano^{-1}$.

Os cálculos foram realizados de forma a separar as emissões diretas, emissões indiretas via volatilização, e emissões indiretas via lixiviação, afim de possibilitar a caracterização dos compartimentos impactados.

4.3.5.1. Emissões Diretas de N_2O .

As emissões diretas de N_2O anuais são estimadas pela Equação 4.9.

$$N_2O_{DIRETA} = N_2O-N_N + N_2O-N_{OS} + N_2O-N_{PRP} \quad (4.9)$$

onde,

N_2O-N_N : Emissão direta anual em N_2O-N produzidas em solos agrícolas, em $kg N_2O-N.ano^{-1}$.

N_2O-N_{OS} : Emissão direta anual em N_2O-N a partir de solos orgânicos, em $kg N_2O-N.ano^{-1}$.

N_2O-N_{PRP} : Emissão direta anual em N_2O-N a partir da adição de fertilizantes nitrogenados orgânicos (dejetos de animais), em $kg N_2O-N.ano^{-1}$.

Emissões provenientes de dejetos de animais em pastagem, aplicação de fertilizantes orgânicos e uso de solos orgânicos foram desconsideradas. Logo, as fontes de emissão correspondentes (N_2O-N_{OS} e N_2O-N_{PRP}) foram suprimidas e a Equação 4.10 foi elaborada para estimar as emissões diretas de N_2O . Também foi considerado valor igual à zero para variáveis relacionadas a estas fontes e empregadas no cálculo do N_2O_{DIRETA} .

$$N_2O_{DIRETA} = (F_{SN} + F_{CR} + F_{SOM}).EF_{1,44/28.1/p} \quad (4.10)$$

A fração 44/28, foi empregada para converter às emissões de N_2O-N em N_2O .
A fração 1/p foi aplicada para se obter os resultados em termos de UA.

Os cálculos de cada variável dessa fórmula requerem a quantificação dos seguintes parâmetros, as equações são apresentas na sequência.

- **F_{SN} : quantidade de N aplicado ao solo agrícola na forma de fertilizante sintético, em $kg N.ano^{-1}$.**

Obtido a partir do questionário.

- **F_{CR} : N presente nos restos culturais que retornam ao solo, em $kg N.ano^{-1}$.**
Calculada a partir da Equação 4.11.

- **F_{SOM}** : quantidade anual de N mineralizado devido à perda de estoques de C orgânico do solo em solos minerais através da mudança do uso da terra ou práticas de gestão.

Calculada a partir da Equação 4.16.

- **EF_1** : Fator de emissão de N_2O proveniente de adição de N, em $kg\ N_2O-N$. (kg N adicionado)⁻¹.

Valor *Default* recomendado pelo IPCC.

$$F_{CR} = \{Crop_{(T)} \cdot (Area_{(T)} - Area_{burnt(T)} \cdot C_f) \cdot FraC_{Renew(T)} \cdot [R_{AG(T)} \cdot N_{AG(T)} \cdot (1 - FraC_{Remove(T)} + R_{BG(T)} \cdot N_{BG(T)})]\} \quad (4.11)$$

Onde,

$Crop_{(T)}$: produção de matéria seca (m.s.) colhida na cultura T em $kg \cdot ha^{-1}$, Calculado a partir da Equação 4.12.

$Area_{(T)}$: área total colhida na safra ($ha \cdot ano^{-1}$).

$Area_{burnt(T)}$: área total queimada após colheita em ha por ano.

C_f : fator de combustão.

$Frac_{Renew(T)}$: fração da área total sob cultivo de T que é renovado anualmente.

$R_{AG(T)}$: proporção de resíduos acima do solo de matéria seca, calculado a partir da Equação 4.13.

$Frac_{Remove(T)}$: fração de resíduos acima do solo de cultura T removido anualmente para fins tais como alimentação, cobertura vegetal e de construção.

$R_{BG(T)}$: razão de resíduos abaixo do solo pela produção colhida para safra da cultura T , em $kg\ ms. (kg\ ms.)^{-1}$. Calculado a partir da Equação 4.15.

$N_{AG(T)}$: N de resíduos acima do solo para a cultura T , em $kg\ N (kg\ dm)^{-1}$

T : tipo de cultura ou forrageira. Neste estudo cultura da soja.

$N_{BG(T)}$: N de resíduos abaixo do solo para a cultura da soja, $kg\ N (kg\ m.s.)^{-1}$.

$$Crop(T) = Yield\ Fresht.DRY \quad (4.12)$$

Onde,

Yield Fresh: Produtividade da cultura da soja por hectare. Obtido a partir de dados do inventário.

DRY: fração de matéria seca em kg m.s.(kg de peso fresco)⁻¹.

$$R_{AG(T)} = ((AG_{DM(T)} \cdot 1000) / Crop_{(T)}) \quad (4.13)$$

Onde,

AG_{DM(T)}: Resíduo de matéria seca acima do solo. Calculado pela Equação 4.14.

$$AG_{DM(T)} = (Crop_{(T)} / 1000) \cdot slope_{(T)} + intercept_{(T)} \quad (4.14)$$

Onde,

Slop_(T): Fator de correção sugerido pelo IPCC

Intercept_(T): Fator de correção sugerido pelo IPCC

$$R_{BG} = R_{BG-BIO} \cdot [((AG_{DM} \cdot 1000) + Crop_{(T)}) / Crop_{(T)}] \quad (4.15)$$

Onde,

R_{BG-BIO}: razão entre os resíduos abaixo do solo da biomassa e acima do solo.

$$F_{SOM} = [(\Delta SOC_i \cdot 1/R) \cdot 1000 \cdot 1/20 \cdot A] \quad (4.16)$$

Onde,

ΔSOC: perda média anual de carbono em t C.ha⁻¹ estimado a partir da diferença entre o carbono orgânico do solo na referência (SOC_R) e do uso efetivo do solo (SOC_A). Calculado a partir da Equação 4.7.1. Esta variável por estar relacionada diretamente com a MUT foi estimada para cada um dos cenários abordados neste estudo (C1, C2, C3 e C4).

A: é a razão entre a área de MUT e a área de soja cultivada na safra 2012/2013, os detalhes da estimativa deste fator são apresentados na seção 5.1.5.1.

R: razão C:N da matéria orgânica do solo (IPCC *default*: 15).

4.3.5.2. Emissões indiretas de N₂O

As emissões indiretas de N₂O anuais são estimadas pela Equação 4.17.

$$N_2O_{\text{INDIRETA}} = N_2O_{(V)} + N_2O_{(L)} \quad (4.17)$$

Onde,

N₂O_(V): N₂O produzido a partir da deposição atmosférica de NH₃ e NO_x, em kg N₂O. ano⁻¹.

N₂O_(L): N₂O produzido a partir da lixiviação e do escoamento superficial de N, em kg N₂O.ano⁻¹.

Da mesma forma que as emissões diretas, as emissões provenientes de dejetos de animais em pastagem, a aplicação de fertilizantes orgânicos e o uso de solos orgânicos, foram desconsiderados e valor igual a zero foi atribuído às variáveis relacionadas.

As emissões indiretas de N₂O_(V) anuais são estimadas pela Equação 4.18.

$$N_2O_{(V)} = [F_{SN} \cdot \text{Frac}_{\text{GASF}} + ((F_{ON} + F_{PRP}) \cdot \text{Frac}_{\text{GASM}})] \cdot \text{EF}_4 \cdot 44/28 \quad (4.18)$$

A fração 44/28, foi empregada para converter as emissões de N₂O-N em N₂O.

Os cálculos de cada variável dessa fórmula requerem a quantificação dos seguintes parâmetros:

F_{SN}: quantidade de N aplicada ao solo agrícola na forma de fertilizante sintético, em kg de N.ano⁻¹

Frac_{GASF}: fração do N aplicada na forma de fertilizante sintético que volatiliza como NH₃ e NO_x, em kg (NH₃-N e NO_x-N).(kg N aplicado)⁻¹.

F_{ON}: N contido nos dejetos de animais, adubo, lodo de esgoto ou outras fontes de N orgânicos, intencionalmente aplicados aos solos como fertilizante, em kg N.ano⁻¹.

Frac_{GASM}: fração de fertilizantes nitrogenados orgânicos, urina e excrementos depositados por animais em pasto, que volatiliza como NH₃ e NO_x, em kg (NH₃-N e NO_x-N).(kg N aplicado)⁻¹.

EF₄: fator de emissão para emissões de N₂O da deposição atmosférica de N em solos e superfícies de água, em fração de fertilizantes nitrogenados orgânicos, urina e excrementos depositados por animais em pasto, que volatiliza como NH₃ e NO_x, em kg N-N₂O.(kg NH₃-N + NO_x-N volatilizado)⁻¹.

F_{PRP}: montante anual de urina e excrementos N depositados por animais pastando em regiões onde a lixiviação/escoamento ocorre, em kg N.ano⁻¹.

As emissões indiretas de N₂O_(L) anuais são estimadas pela Equação 4.19.

$$N_2O_{(L)} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP} + F_{CR} + F_{SOM}) \times \text{Frac}_{\text{LEACH-(H)}} \times EF_5 \times 44/28 \quad (4.19)$$

Onde,

Frac_{LEAC-(H)}: fração do N adicionado ao solo que é perdida por lixiviação ou escoamento superficial, em kg N lixiviado ou escoado/kg de fertilizante ou esterco.

EF₅: fator de emissão de N₂O para lixiviação/escoamento, em kg N₂O-N.(kg N lixiviado/escoado)⁻¹.

Também foram utilizados os dados referentes ao uso de fertilizantes sintéticos (F_{SN}), N contido nos dejetos de animais, adubo, lodo de esgoto ou outras fontes de N orgânicos, intencionalmente aplicados (F_{ON}) e nos excretados pelos animais em pastagem (F_{PRP}), N presente nos restos culturais que retornam ao solo (F_{CR}) e quantidade anual de N mineralizado devido a MUT (F_{SOM}).

4.3.6. Metodologia para emissões de GEE provenientes da combustão de diesel nas máquinas agrícolas

São três as possíveis fontes de GEE por uso de combustível em maquinários agrícolas: uso de trator agrícola, uso de caminhão para aplicar calcário e uso de colheitadeira. As emissões decorrentes da queima de combustíveis fósseis foram estimadas a partir da Equação 4.20 e fatores de emissão específicos para os diferentes GEE emitidos (F_{gi}). Estes fatores são apresentados na Tabela 4.1.

$$E_{gi} = \left(\sum_1^n TC_i \cdot F_{gi} \right) \cdot \frac{1}{p} \quad (4.20)$$

Onde, E_{gi} (kg gás. kg soja colhida⁻¹) é a quantidade do gás “i” emitido a partir de um determinado maquinário ou intervenção, TC_i (kg.ha⁻¹) é a quantidade de diesel consumido, calculado a partir da Equação 4.4 e “p” é a produtividade de soja utilizada para estimar o resultado em termos de UA. Também, foi considerado que 30% da calagem é realizada por trator agrícola e 70% por caminhão aplicador de calcário.

Tabela 4.1. Fatores de emissão por combustão de combustível fóssil por maquinários agrícolas

Maquinário	Fator CO ₂ (kg CO ₂ .kg ⁻¹ Diesel)	Fator CO (kg CO.kg ⁻¹ Diesel)	Fator NO _x (kg NO _x .kg ⁻¹ Diesel)	Fonte
Trator	4.697	0.017	0.004	(Janulevičius et al., 2013)
Caminhão aplicador e Colheitadeira	3.179	0.008	0.048	(MMA, 2011).

4.3.7. Metodologia para emissões de GEE da aplicação de calcário

As emissões de CO₂ eq. provenientes da aplicação de carbonatos de cálcio ao solo foram calculadas segundo a metodologia *Tier1* (Equação 4.21) seguindo as premissas do IPCC (2006c).

$$E_{cal} = (M_{(CaCO_3)} \cdot EF_{(CaCO_3)}) + (M_{(CaMg(CO_3)_2)} \cdot EF_{(CaMg(CO_3)_2)}) \cdot 44/12 \cdot 1/p \quad (4.21)$$

Onde,

E_{cal} : Emissões de CO₂ eq. devido a aplicação de calcário ao solo (kg CO₂ eq.ano⁻¹.(kg soja colhida)⁻¹).

$M_{(CaCO_3)}$: Massa anual de carbonato de cálcio aplicada ao solo em kg.

$EF_{(CaCO_3)}$: Fator de emissão do carbonato de cálcio (0,12 segundo o IPPC, (2006))

$M_{(CaMg(CO_3)_2)}$: Massa anual e calcário dolomítico aplicado ao solo em kg.

$EF_{(CaMg(CO_3)_2)}$: Fator de emissão do calcário dolomítico (0,13 segundo o IPPC, (2006))

A fração 44/12, foi empregada para converter às emissões de CO₂-C em CO₂ eq.

A fração 1/p foi aplicada para se obter os resultados por kg de soja colhida (UA).

A massa anual aplicada dos respectivos carbonatos foi estimada a partir da multiplicação da quantidade de cal aplicada, obtido por meio do questionário, pelo FA da calagem, disponível na Tabela 5.2.

4.3.8. Considerações da ICV

A metodologia da ACV recomenda que as emissões que não podem ser atribuídas às suas origens, devem ser ponderadas proporcionalmente as etapas do produto ou serviço em questão. Neste contexto, este procedimento não foi realizado no presente estudo. Justifica-se o mesmo, pela necessidade de quantificar de forma independente as emissões da MUT e N₂O de solo agrícola. Todavia, dois subsistemas foram criados para a ACV e contemplam o chamado sistema de cultivo da soja. Logo, este sistema possui seis fontes de *inputs* e *outputs*, sendo quatro relacionadas às etapas de cultivo (Etapa 1, Etapa 2, Etapa 3 e Etapa 4) mais os dois subsistemas (MUT e N₂O do solo agrícola). A Figura 4.4, apresenta uma imagem do sistema da produção da soja modelado no SimaPro.

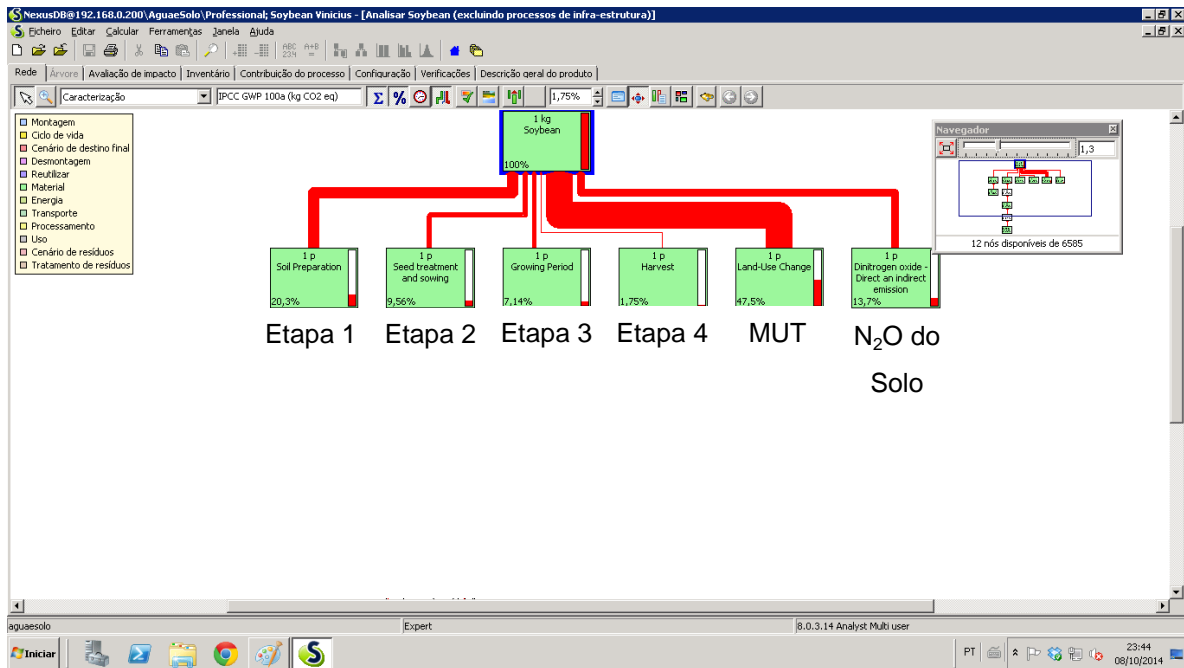


Figura 4.4. Imagem do sistema de produção da soja modelado no SimaPro.

Há muitas discussões sobre a inclusão destas fontes de emissões e muitos estudos a desconsideram, dificultando uma comparação justa. Cabe salientar que, a ponderação destas emissões pouco contribui para o estudo qualitativo das etapas de cultivo, uma vez que, só provocaria um aumento proporcional de algumas categorias nas etapas de cultivo. Deste modo, propõe-se a quantificação das emissões decorrentes da perda de carbono pela MUT e por óxido nitroso a partir de solos em duas etapas distintas, chamadas de “MUT” e “N₂O”, possibilitando aos leitores realizarem as ponderações de seu interesse.

Cabe salientar que, conforme descrito na seção 4.3.5 as emissões de N₂O foram calculadas a partir de três fontes: Emissões de restos de culturas, emissões associadas à MUT e decorrente do uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados. Todavia, estas emissões de N₂O por serem comuns a todas as etapas de cultivo foram atribuídas à etapa “N₂O” com exceção das contribuições decorrentes do uso de fertilizantes nitrogenados que foram incluídas na Etapa 2 (Semeadura e Fertilização) por estarem diretamente relacionada a esta fase. Logo, as emissões de N₂O a partir de fertilizantes nitrogenados foram subtraídas das emissões de nitrogênio ao solo (Tabela 5.10).

Devido a pouca disponibilidade de informações referente aos coeficientes de partição para os herbicidas entre as esferas e a disposição dos fertilizantes, atribui-se o pior cenário, onde todo o insumo é disposto ao solo.

Levando-se em consideração que a inoculação demanda uma pequena quantidade de açúcar, água e rizóbio (Embrapa, 2012), esta prática foi desconsiderada neste estudo.

4.4. Simulação de Monte Carlo

Uma AICV geralmente requer uma grande quantidade de dados e a incerteza destas variáveis afeta diretamente o resultado de qualquer método de impacto ambiental (Bennett, 2004). Neste contexto, o método de Monte Carlo, por sua natureza estocástica, baseada em números aleatórios, permite gerar simulações com valores médios e valor limite superior e inferior (Doka e Hirschler, 2005; Pré, 2014), sendo considerada uma poderosa ferramenta para quantificação de incertezas e variabilidade em ferramentas de avaliação ambiental (Bieda, 2005; Murphy, 2012). Vários softwares de ACV disponíveis fornecem a capacidade de avaliação de incerteza com o uso de simulação de Monte Carlo. Entre eles, os seguintes softwares podem ser destacados: SimaPro, Gabi, Umberto. As simulações de Monte Carlo foram conduzidas no software SimaPro com intervalo de confiança de 95% e mil ciclos.

5. RESULTADOS

5.1. Construção do Inventário

Nesta seção são apresentados os resultados das diferentes metodologias utilizadas para a construção do inventário. O inventário, em termos de UA, é apresentado na Tabela 5.9, Tabela 5.10, Tabela 5.11, Tabela 5.12, Tabela 5.13 e Tabela 5.14.

5.1.1. Coleta de dados

Conforme metodologia adotada, os questionários foram enviados para os municípios com maior representatividade na produção de soja. Ao final da pesquisa as respostas de vinte e três municípios foram consideradas, o que corresponde a uma cobertura de 32% da soja produzida no RS. A Figura 5.1, apresenta o mapa de distribuição da produção média de soja entre 2007-2011 no RS e os locais de coletas de dados. Pode-se observar que a pesquisa foi concentrada nos locais com maior produção o que possibilitou a coleta de dados dos vinte maiores produtores foram coletados.

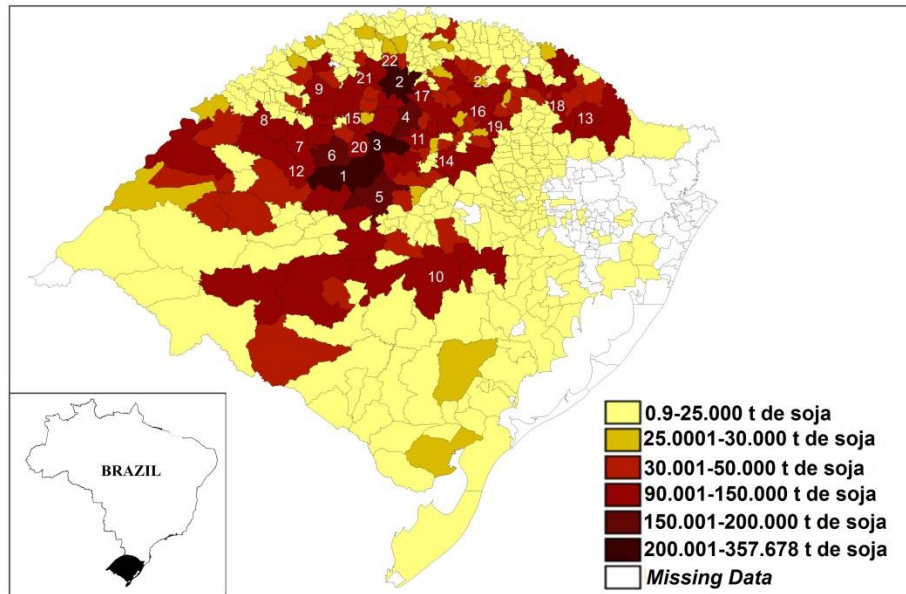


Figura 5.1. Mapa da produção média de soja no RS entre 2007-2011 e locais da coleta de dados.

Respostas dos municípios com representatividade menor que 0,01% foram desconsideradas. A Tabela 5.1 apresenta os municípios de coleta, e sua representatividade na produção agrícola.

Tabela 5.1. Municípios coletados e sua representatividade na produção de soja do RS. (Continua)

Municípios Produtores	Produção de Soja (t)	Ranking^(a)	Representatividade (%)
Tupanciretã	357,678	1 ^o	3,74%
Palmeira das Missões	254,840	2 ^o	2,66%
Cruz Alta	200,545	3 ^o	2,10%
Santa Bárbara do Sul	186,144	4 ^o	1,95%
Júlio de Castilhos	186.042	5 ^o	1.94%
Jóia	169.344	6 ^o	1.77%
São Miguel das Missões	142.740	7 ^o	1.49%

Tabela 5.1. Municípios coletados e sua representatividade na produção de soja do RS.

(Conclusão)

Municípios	Produção de Soja (t)	Ranking^(a)	Representatividade (%)
São Luiz Gonzaga	129,924	8º	1,36%
Giruá	124,274	9º	1,30%
Cachoeira do Sul	122,544	10º	1,28%
Ibirubá	118,902	11º	1,24%
Capão do Cipó	115,380	12º	1,21%
Muitos Capões	109,600	13º	1,15%
Espumoso	108,222	14º	1,13%
Ijuí	106,530	15º	1,11%
Passo Fundo	105,855	16º	1,11%
Chapada	102,792	17º	1,07%
Lagoa Vermelha	94,824	18º	0,99%
Marau	93,214	19º	0,97%
Boa Vista do Cadeado	89,068	20º	0,93%
Santo Augusto	81,416	28º	0,85%
Dois Irmãos das Missões	39,297	77º	0,41%
Rondinha	26,810	108º	0,28%
Rio Grande do Sul	9.566,368 ^a	-	-
Total			32,05%

^(a) Produção média de 2007 a 2011 (IBGE, 2013a).

5.1.2. Caracterização da Fase Agrícola

A partir do questionário foi possível caracterizar as peculiaridades da fase agrícola, principalmente o uso de maquinários e as principais práticas adotadas no cultivo da oleaginosa. Partindo desses dados, foi possível construir um fluxograma do cultivo da soja no RS (Figura 5.2). Este fluxograma apresenta de forma temporal as práticas adotadas e intervenções realizadas nas diferentes etapas do cultivo no cultivo da soja no RS.

5.1.2.1. Preparo do solo

O questionário apontou que 100% dos produtores adotam o SPD é nas lavouras de soja do RS. Também, constatou-se que 70% da correção de solo (calagem) é realizada por caminhão equipado com sistema de pulverização a lanço, e 30% dos produtores utilizam trator com implemento agrícola para este fim. A preferência pelo caminhão justifica-se por vantagens econômicas ao agricultor, uma vez que é usualmente praticado neste mercado que o fornecedor do insumo responsabilize-se tanto pelo transporte quanto pela aplicação do produto.

O intervalo médio entre as calagens é de 3,5 anos, com mínimo de dois anos e máximo de cinco anos. Este período médio está de acordo com as recomendações técnicas (Embrapa, 2012).

5.1.2.2. Semeadura e Fertilização

Perguntados sobre quais são as principais práticas adotadas nesta etapa, 100% afirmaram que aplicação de fungicida no tratamento de sementes é uma prática usual, 96% que também se utiliza inseticidas, 57% de molibdênio e 65% a praticam técnica da inoculação. A fertilização conjunta com a semeadura foi apontado por 86% dos entrevistados e a principal formulação de NPK empregada é a 02-20-20.

5.1.2.3. Tratos Culturais

O principal maquinário agrícola utilizado é o trator acoplado com um implemento de pulverização.

5.1.2.4. Colheita

A colheita é realizada com colheitadeira, e a produtividade média (\bar{p}) é de 2969,65 kg.ha⁻¹ de soja colhida, com valor mínimo de 2300 kg.ha⁻¹, máximo de 3500 kg.ha⁻¹ e desvio padrão de 294,71 kg.ha⁻¹. Segundo CONAB (2014) a produtividade registrada no RS na safra em estudo (2012/2013) é de 2714 kg.ha⁻¹.

Etapa 1

Etapa 2

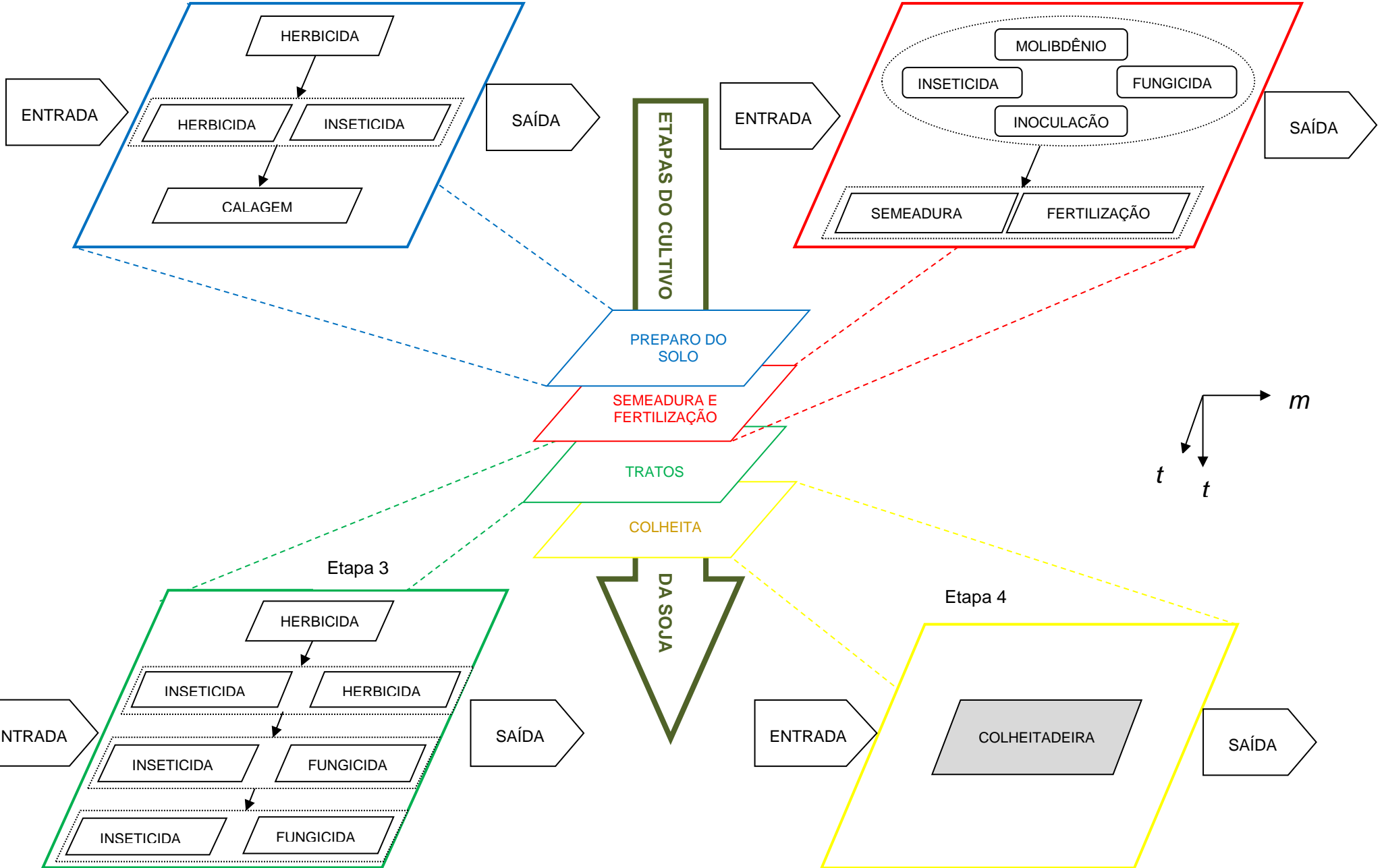


Figura 5.2. Fluxograma temporal das etapas do cultivo da soja e intervenções.

5.1.3. Fator de Ajuste

A partir dos dados coletados, calcularam-se por meio da Equação 4.1 os respectivos fatores de ajustes para cada intervenção realizada. Os resultados são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Fatores de Ajuste para as diferentes intervenções.

Intervenção	FA	Maquinário e Equipamento Agrícola	DC(km.ha ⁻¹)
Calagem	0,28	Trator + implemento	1,13
		Caminhão	0,88
Pulverização Herbicida (EPS)	1,5	Trator + pulverizador terrestre	0,68
Pulverização Inseticida (EPS)	0,5	Trator + pulverizador terrestre	0,68
Semeadura	0,5	Trator + implemento	1,71
Fertilização	0,5	Trator + implemento	1,71
Pulverização Herbicida (ETC)	1,5	Trator + pulverizador terrestre	0,68
Pulverização Inseticida (ETC)	1,5	Trator + pulverizador terrestre	0,68
Pulverização Fungicida (ETC)	1	Trator + pulverizador terrestre	0,68
Colheita	1	Colheitadeira	1,32

EPS: Etapa de Preparo do Solo; ETC: Etapa de Tratos Culturais; DC: Deslocamento.

5.1.3.1. Consumo de Diesel por maquinários agrícolas

A Tabela 5.3 apresenta os valores de consumo de Diesel por uso de maquinários agrícolas em cada intervenção e etapa.

Tabela 5.3. Consumo de Diesel por maquinários agrícola em diferentes intervenções (em kg.ha⁻¹)

Etapa	Intervenção	Valor Médio	Mínimo	Máximo	Desvio	
1	Calagem	Trator	0,59	0,21	0,78	0,56
		Caminhão	0,85	0,33	1,65	0,53
	Herbicida	4,84	2,52	12,59	2,84	
	Inseticida	1,62	0,84	4,19	0,95	
2	Semeadura	4,07	1,68	9,24	1,64	
	Fertilização	4,07	1,68	9,24	1,64	
3	Herbicida	4,84	2,52	12,59	2,84	
	Inseticida	4,84	2,52	12,59	2,84	
	Fungicida	3,24	1,68	8,40	1,89	
4	Colheita	13,30	6,00	29,99	6,56	

A Equação 4.4 foi utilizada para realizar os cálculos a partir dos dados de consumo, obtidos no questionário. O consumo de Diesel por trator agrícola e caminhão para intervenção de calagem foi multiplicado por 0,3 e 0,7 respectivamente conforme observado na coleta de dados.

5.1.4. Cálculo da quantidade de Pesticidas

A partir dos dados do questionário e da aplicação da Equação 4.5, chegou-se às quantidades de pesticidas empregados nas diferentes etapas de cultivo, apresentada na Tabela 5.4.

Tabela 5.4. Quantidade de pesticidas aplicado .

Etapa	Ingrediente Ativo	Grupo químico	CAS	Média (kg.ha ⁻¹)	Mínima (kg.ha ⁻¹)	Máxima (kg.ha ⁻¹)	Desvio (kg.ha ⁻¹)
1	Glifosato-sal de isopropilamina	Glicina substituída	1071-83-6	9,82 E ⁻¹	4,80 E ⁻¹	1,44	2,52 E ⁻¹
	2,4-D-Dimetilamina	Ácido ariloxialcanóico	94-75-7	8,86 E ⁻¹	4,34 E ⁻¹	1,30	2,28 E ⁻¹
	Diflubenuron	Benzoiluréia	35367-38-5	8,3 E ⁻²	0	3,30 E ⁻¹	9,15 E ⁻²
	Fipronil	Pirazol	120068-37-3	1,32 E ⁻¹	0	5,28 E ⁻¹	1,46 E ⁻¹
	Fludioxonil	Neonicotinóide	131341-86-1	2,52 E ⁻³	1,25 E ⁻³	5,00 E ⁻³	1,17 E ⁻³
2	Metaxil-M	Piretróide	70630-17-0	1,01 E ⁻³	5,00 E ⁻⁴	2,00 E ⁻³	4,68 E ⁻⁴
	Fipronil	Pirazol	120068-37-3	2,39 E ⁻²	1,25 E ⁻²	3,75 E ⁻²	1,09 E ⁻²
	Glifosato-sal de isopropilamina	Glicina substituída	1071-83-6	1,12	4,80 E ⁻¹	2,4	3,87 E ⁻¹
	Diflubenuron	Benzoiluréia	35367-38-5	6,41 E ⁻²	4,75 E ⁻²	1,19 E ⁻¹	2,08 E ⁻²
3	Imidacloprido	Neonicotinóide	138261-41-3	1,09 E ⁻¹	8,10 E ⁻²	4,05 E ⁻¹	6,53 E ⁻²
	Beta-ciflutrina	Piretróide	68359-37-5	1,36 E ⁻²	1,01 E ⁻²	5,06 E ⁻²	8,16 E ⁻³
	Acefato	Organofosforado	30560-19-1	1,68 E ⁻²	1,25 E ⁻¹	6,25 E ⁻¹	1,01 E ⁻¹
	Epoxiconazol	Triazol	135319-73-2	5,46 E ⁻³	3,75 E ⁻²	9,38 E ⁻²	1,49 E ⁻²
	Piraclostrobina	Estrobilirina	175013-18-0	1,45 E ⁻¹	9,98 E ⁻²	2,49 E ⁻¹	3,95 E ⁻²
	Ezoxistrobina	Estrobilurina	131860-33-8	9,10 E ⁻²	6,25 E ⁻²	1,56 E ⁻¹	2,48 E ⁻²

5.1.5. Emissões de GEE provenientes da mudança de estoque de carbono devido a Mudança do Uso da Terra (MUT)

5.1.5.1. Avanço da soja em 20 anos

Para calcular as emissões da MUT foi realizado um estudo do avanço da soja. A Figura 5.3, apresenta de forma resumida o fluxo utilizado para quantificar o avanço da soja e os cenários abordados.

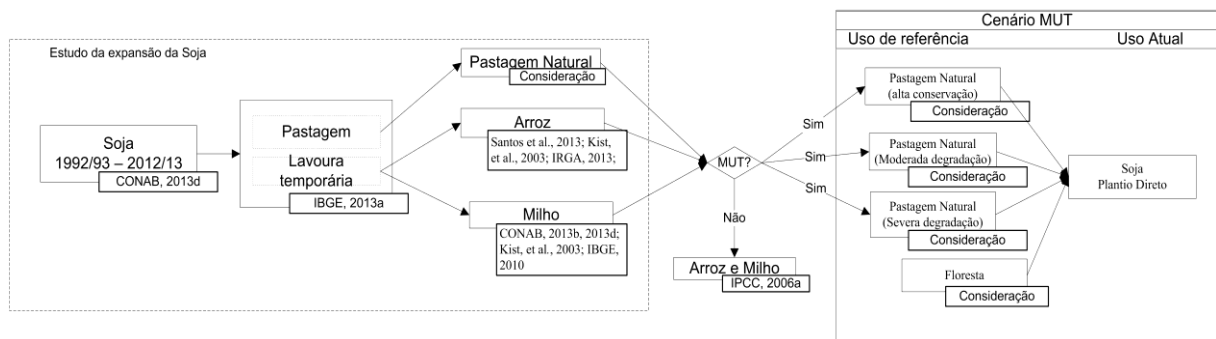


Figura 5.3. Fluxo do estudo do avanço da SRS e definições dos cenários da MUT.

A área plantada de soja registrou um aumento de 49% entre 1992-2013, segundo dados da CONAB (2013b). De forma a associar este acréscimo de área cultivada com soja com as reduções de área ocupada com outros usos da terra recorreu-se ao Censo Agropecuário 1920/2006 (IBGE, 2013b). Conforme pode ser observado na Tabela 5.5. houve uma diminuição das áreas de pastagem e aumento das áreas de lavouras e matas. Logo, se pode concluir que o avanço das áreas de lavouras ocorreu sobre áreas de pastagem.

Tabela 5.5. Uso do solo no estado do Rio Grande do Sul (hectares).

Uso do solo	1985	1996	2006	Δ 2006-96	Δ 2006-1985
Lavouras permanentes	183.784	208.993	294.187	85.194	110.403
Lavouras temporárias	6.408.301	5.426.369	6.611.395	1.185.026	203.094
Pastagens naturais	11.939.994	10.523.566	8.252.504	-2.271.062	-3.687.490
Pastagens plantadas	1.023.466	1.156.762	954.160	-202.602	-69.306
Matas naturais	1.664.612	1.881.493	2.269.334	387.841	604.722
Matas plantadas	567.848	630.138	778.524	148.386	210.676

Fonte: Adaptado de Censo Agropecuário 1920/2006 (IBGE, 2013b)

Apesar do avanço das áreas de plantio de lavouras ter ocorrido sobre áreas de pastagens, o avanço da soja não se limitou a esta tendência. Segundo dados do IRGA, parte desta expansão ocorreu em lavouras de arroz. Verificou-se isso, pois este tipo de plantio vem crescendo nos últimos anos (Santos et al., 2013; Kist, 2003), e correspondeu a 273 mil hectares, aproximadamente 6% da área total de soja na safra 2012/2013 (IRGA, 2013a, IRGA 2013b) ou 8%, se for considerada a média da área plantada nos últimos 20 anos. Segundo dados do Anuário do Arroz 2013 (Santos et al., 2013), o plantio de soja em áreas de arroz quadruplicou nos últimos três anos, e há perspectivas de alcançar 300 mil hectares na safra 2014 (IRGA, 2013a, IRGA 2013b). Porém a área de plantio de arroz permaneceu constante nos últimos anos em, aproximadamente, um milhão de hectares (CONAB, 2013c). Este fenômeno pode ser explicado pelo fato de que há 5,5 milhões de hectares de várzea disponíveis no RS. Destes, três milhões de hectares são explorados para o cultivo de arroz irrigado. No entanto, dois terços da área destinada a arroz são mantidos em pousio, ou seja, sem cultivo do arroz. Logo, a área total de arroz cultivada se mantém, não representando esta cedência de espaço para outras culturas. Portanto, é nestes locais que as culturas temporárias, principalmente milho e soja, avançam (IBGE, 2010; Santos et al., 2013).

Segundo dados do IBGE (2010) o milho também cedeu espaço para esta leguminosa. O aumento ou diminuição da área de plantio do milho está ligado diretamente ao plantio de soja, fortemente dependente do mercado internacional (IBGE, 2010). A fim de comparar a área de soja que se expandiu com a área perdida de milho, recorreu-se aos dados da CONAB da área plantada de soja e milho entre 1992-2013 (CONAB, 2013b; CONAB, 2013d).

Nos últimos 20 anos a área de milho diminuiu 534,5 mil hectares, sendo que 426,7mil hectares a partir da safra 2000/2001, neste mesmo período a lavoura de soja teve a maior expansão. Como pode ser observado na Figura 5.4, há uma relação direta entre as variações das áreas de milho e de soja em praticamente todas as safras, com poucas exceções. Os problemas enfrentados pela cultura, como preços baixos quando a safra é boa, falta de organização da cadeia produtiva e concorrência da soja, são apontados como fatores de estímulo para a preferência

da soja pelos produtores (Kist, Santos, *et al.*, 2003). Somado a tudo isso, outros fatores podem ter contribuído, como a evasão rural e o aumento da faixa etária dos produtores de pequenas propriedades, que deixaram de produzir o cereal para alimentação de seus animais e passaram a comprar ração animal. Além disso, problemas sanitários que ocorreram em países da Ásia e da Europa representaram uma ameaça para as cadeias produtivas da avicultura e suinocultura e, conseqüentemente, do milho, tendo em vista que 75% da demanda é destinada ao setor de produção animal (IBGE, 2010). Com base nisso, para este estudo foi considerado que toda a área de milho perdida foi transformada em soja e os dados da área plantada (CONAB, 2013d) correspondem à primeira safra, o milho safrinha foi desconsiderado por não ser concorrente da soja.

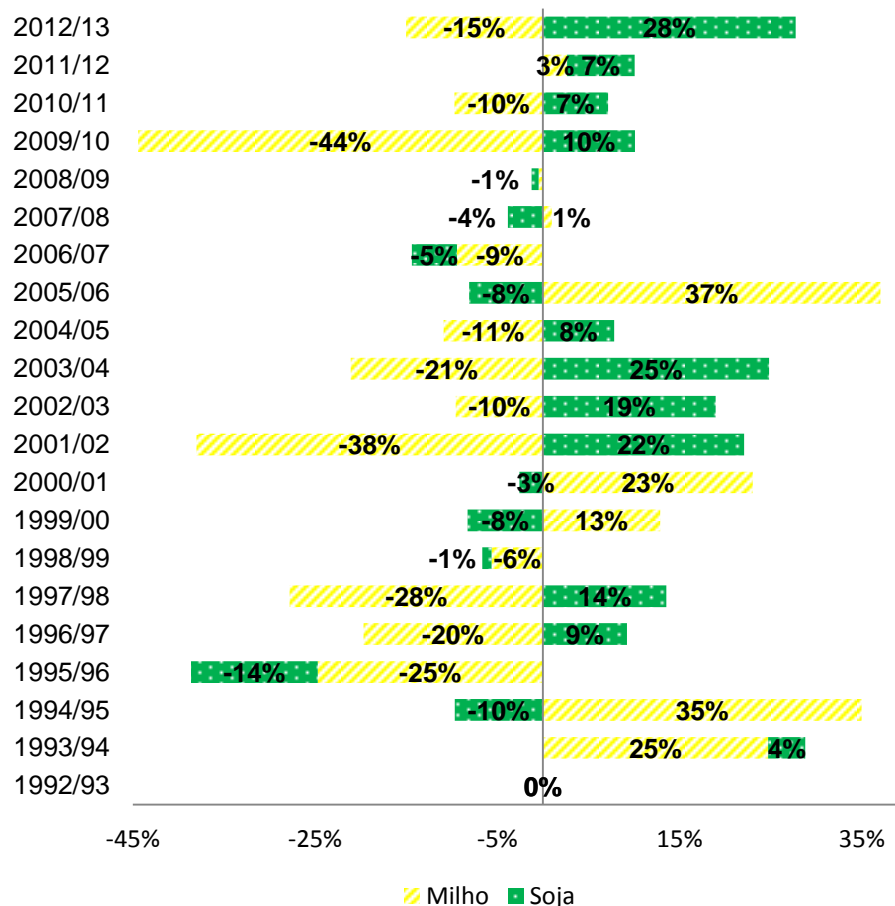


Figura 5.4. Comparativo entre a variação das áreas plantadas de milho e soja na safra de 1992/93 a 2012/13.

Fonte: Adaptado de Conab (2013b, 2013d).

O restante do avanço da soja ocorreu sobre áreas de pastagem, tornando-se importante diferenciar áreas de pastagem natural e pastagem plantada. Para

monitorar a variação do uso da terra em áreas de pastagem recorreu-se ao Censo Agropecuário 1920/2006 (IBGE, 2013b), para análise de dados entre 1985-2006 e 1996-2006, como apresentado na Tabela 5.5. Ambos os períodos apresentaram redução das áreas de pastagem natural e pastagem plantada e aumento significativo de outros usos do solo. Entre 1996-2006 a área de pastagem plantada corresponde a aproximadamente 9% da área de pastagem natural e entre 1985-2006 este valor cai para 2%. A partir destas informações considerou-se que a soja avançou sobre as áreas de pastagens naturais, considerando, para este estudo, o pior caso. Um compilado do avanço da área de soja considerado neste trabalho é apresentado na Tabela 5.6. Baldi e Paruelo (2008) em seus estudos do uso do solo em áreas pilotos no sul da América, nos períodos de 1985 a 1989 e 2002 a 2004, também afirmam, que o avanço das lavouras predominantemente ocorreu sobre áreas de pastagem.

Tabela 5.6. Distribuição do avanço da soja em 20 anos.

Usos do solo	Avanço (mil ha)	Contribuição (%)
Arroz-(Lavoura temporária)	274,0	18,4
Milho – (Lavoura Temporária)	534,5	35,1
Pastagem Natural	712,1	46,9
Total (avanço da soja)	1.518,6	100

Apesar de a expansão ter ocorrido em diferentes usos do solo, apenas áreas provenientes de pastagens são consideradas para efeitos de cálculo devido a MUT, ou seja, apenas a pastagem foi considerada, pois não se trata de uma dMUT (IPCC, 2006a). A Figura 5.5 apresenta um comparativo da área de soja em 1992 e a área plantada em 2013, assim como a origem desta ocupação em hectares. Pode-se observar que a área que corresponde a MUT representa 15,4% da área atualmente cultivável com soja e, a partir deste resultado, determinou-se o valor de 0,154 para o fator A da Equação 4.6.

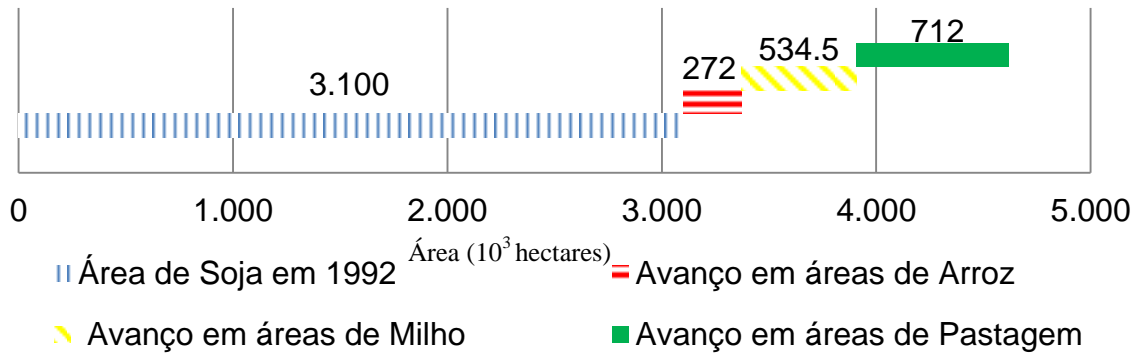


Figura 5.5. Expansão da soja em 20 anos e origem da ocupação.

5.1.5.2. Cálculo das emissões devido à mudança do estoque de carbono proveniente da MUT

A Tabela 5.7 apresenta os resultados de SOC_i calculado para o uso atual e para as origens de ocupação (R1, R2 e R3) e os fatores C_{veg}_i, F_{LU}_i, F_{MGI}_i, e F_i (*default*) adotados neste trabalho e recomendados pela EC (2010), para a região de clima mencionado, tipo de solo e sistema de gestão.

Tabela 5.7. Resultado do SOC_i e fatores adotados para uso atual e para três tipos de uso de referências de solo.

#	SOC _i					C _{VEG} (t C.ha ⁻¹)	A
	SOC _{st} (t C.ha ⁻¹)	F _{LU}	F _{MGI}	F _i	SOC _i (t C.ha ⁻¹)		
Atual	63	0.69	1.15	1	49,99	0	(1 e 0,154) ^a
R1	63	1	1.14	1,11	79,72	6,8	0,154
R2	63	1	0.95	1	59,85	6,8	0,154
R3	63	1	0.7	1	44,1	6,8	0,154
R4	63	1	1	1	63	31	1

R1: Pastagem Melhorada com alta conservação; R2: Pastagem - Degradação Moderada; R3: Pastagem com severa degradação.

^a Utilizou-se fator igual a 1 para estimar o C4 e valor fator igual a 0,154 para estimar os cenários: C1, C2 e C3.

A partir da rastreabilidade do histórico do avanço da cultura soja no RS pode-se estimar que as emissões da mudança de estoque de carbono devido a MUT (E) possuem uma variação de 0,03 a 8,07 t CO₂ eq.ha⁻¹.ano⁻¹, considerando o melhor e pior cenários, como pode ser observado na Figura 5.6.

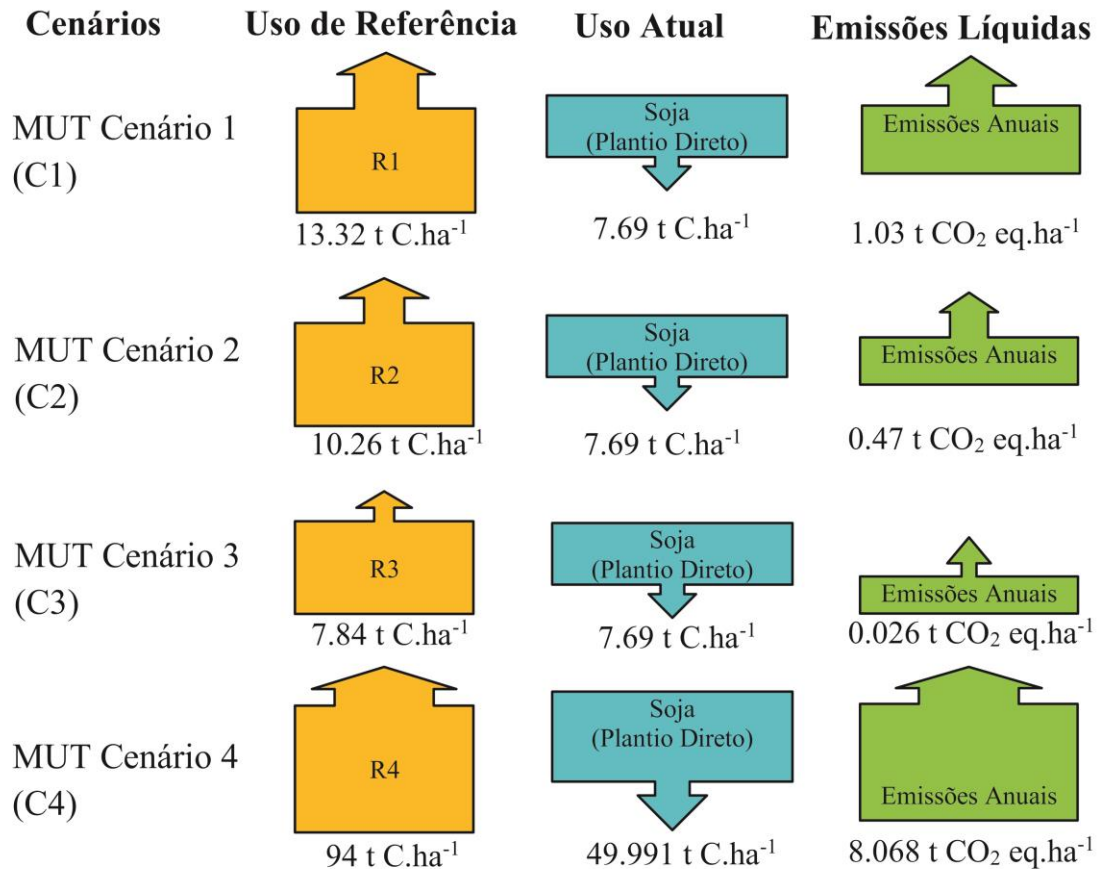


Figura 5.6. Variação dos estoques de carbono na referência (CSRi) e no uso atual (CSA) e emissões líquida anuais (E) por cenário.

A Figura 5.7 apresenta a contribuição Δ SOC e Δ Cveg de três cenários abordados, a fim de permitir uma maior compreensão da contribuição da mudança de carbono no solo e vegetação para as emissões de GEE. Como pode ser observado no C3, há captura de C, o que pode ser explicado pela adoção de práticas conservacionistas em uma área de alta degradação.

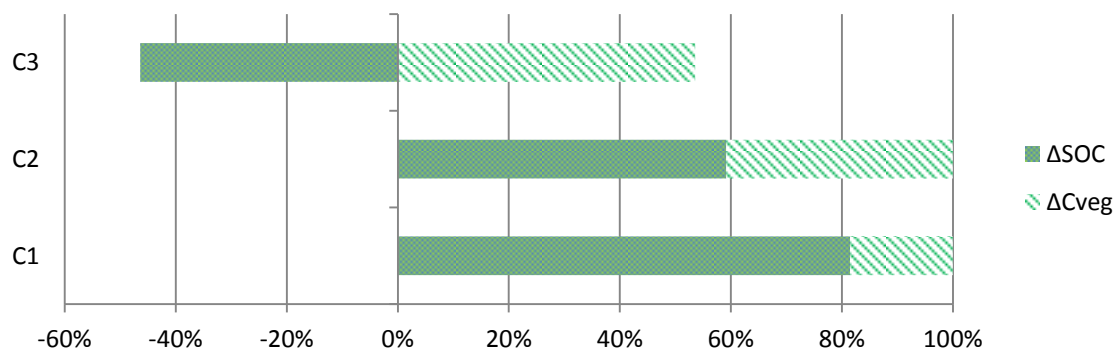


Figura 5.7. Contribuição Δ SOC e Δ Cveg para emissões de GEE em cada cenário.

A partir da rastreabilidade do avanço da soja no RS, fica evidente, conforme pode ser observado na Tabela 5.5. , que não houve avanço da cultura da soja sobre áreas de floresta, o que contradiz outros trabalhos que avaliam as emissões de GEE como, por exemplo, Castanheira e Freire (2013). Segundo os autores a substituição de florestas para dar lugar a lavouras em sistema de plantio direto no sul do Brasil produzem emissões de GEE da ordem de $8,06 \text{ t CO}_2 \text{ eq.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Grisoli et. al., (2012) em seu estudo concluem que não há avanço da soja sobre áreas de florestas, mas apenas sobre áreas de pastagens. No entanto, o estudo se limita aos dados do uso do solo do RS disponibilizado pelo IBGE (2013b), não levando em consideração possíveis avanços da soja sobre outras culturas.

A expansão da soja sobre áreas de arroz e milho é extremamente relevante e evidencia a influência de fatores econômicos e sociais sobre a cultura da soja. Além disto, a área de arroz e milho juntas correspondem a 53 % da área expandida, contribuindo significativamente para diminuição das emissões GEE provenientes da MUT, ou seja, diferentemente de outros estudos, em que a área de expansão da soja foi considerada como proveniente de uma MUT, neste estudo apenas 46,9% sofreu MUT e para cada hectare de soja atualmente cultivada, 15,4% são de áreas de pastagem, que realmente contribuem para emissões de GEE devido a mudança de estoque de carbono devido a MUT.

Os resultados aqui apresentados distanciam-se dos estudos já realizados, de acordo com Grisoli, et al. (2012) as emissões da MUT no RS são da ordem de $2,05 \text{ t CO}_2 \text{ eq.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Segundo Castanheira e Freire (2013) a transição pastagem-lavoura (soja em sistema de plantio direto) é responsável por emissões na ordem de 0.18, 3.11 e $6.78 \text{ t CO}_2 \text{ eq.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, para as referências de conservação da pastagem R3, R2 e R1 respectivamente. Esta diferença ocorre porque estes estudos consideram que o avanço da soja ocorre sobre áreas de floresta, lavouras permanentes (culturas perenes) e pastagem, desconsiderando a expansão sobre outras culturas (lavouras temporárias).

5.1.6. Emissões de óxido nitroso (N₂O) provenientes de solos agrícolas

Para o cálculo das emissões diretas e indiretas de N₂O algumas considerações e valores *default* foram assumidos. A Tabela B1 no Apêndice B apresenta esses valores, assim como os resultados das variáveis utilizadas na Equação 4.9, Equação 4.18 e Equação 4.19. Os resultados das emissões diretas, indiretas e totais para cada cenário de MUT abordado neste estudo é apresentado na Figura 5.8 e na Tabela C1 no Apêndice C.

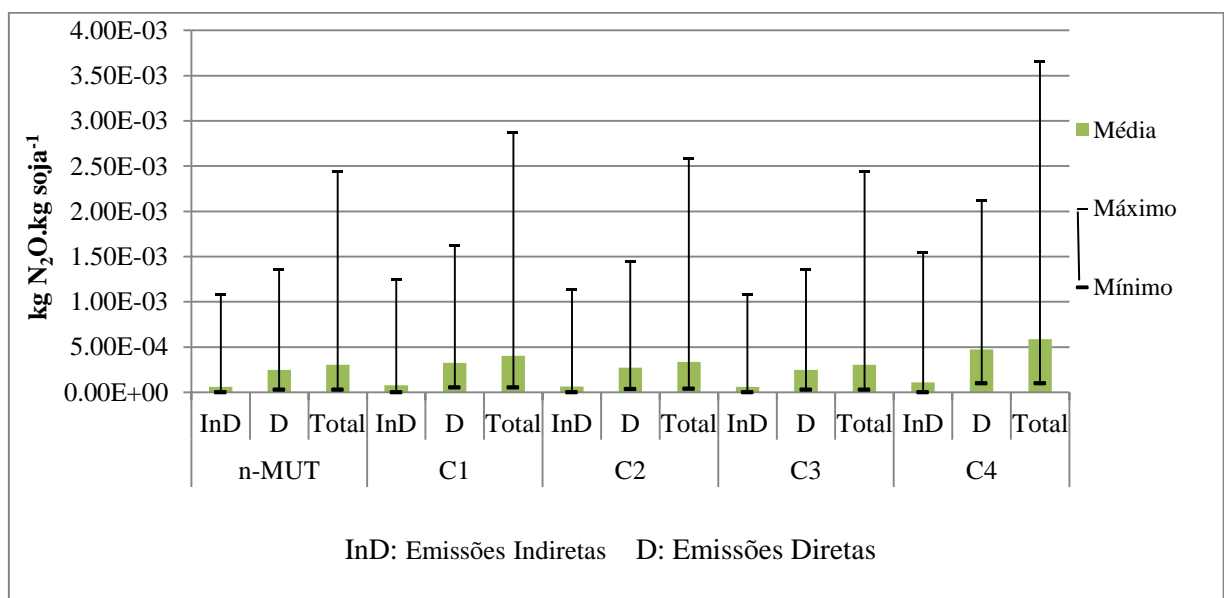


Figura 5.8. Emissões de N₂O diretas, indiretas e totais em solos agrícolas nos diferentes cenários.

Estes resultados demonstram a importância das emissões de N₂O a partir de solos agrícolas. Entretanto, observa-se que a variação entre os valores mínimos e máximos nos cálculos de emissões deste gás é significativa, e já foi apontada por outros autores. Segundo Castanheira e Freire (2013) os resultados das emissões de GEE a partir do cultivo da soja são muito sensíveis aos parâmetros e fatores de emissões adotados para o cálculo do óxido nitroso e o emprego de parâmetros mínimos e máximos podem apresentar resultados com *range* de -44% a 181%.

A Tabela 5.8 apresenta a contribuição percentual da aplicação de fertilizante nitrogenado sintético para as emissões totais do óxido nitroso. A contribuição média corresponde à aplicação de 5,57 kg de N por hectare, e zero e 15 kg para a contribuição percentual mínima e máxima respectivamente.

Tabela 5.8. Contribuição percentual da aplicação de N sintético para as emissões totais de N₂O.

Cenários	Médio	Mínimo	Máximo
n-MUT	13%	0%	25%
C1	10%	0%	21%
C2	12%	0%	23%
C3	13%	0%	25%
C4	7%	0%	17%

5.1.7. Emissões da aplicação de calcário ao solo.

Aplicando-se a Equação 4.21, a emissão devido à aplicação de calcário ao solo é de $11,45E^{-2}$ kg CO₂ eq.ano⁻¹. (kg soja colhida)⁻¹.

Neste estudo, não foram consideradas aplicações de carbonato de cálcio, apenas de calcário dolomítico. Segundo SINDICAL (2013) há uma predominância do uso do dolomítico em lavouras do RS, devido ao seu baixo custo frente ao carbonato de cálcio, que possui um valor mais elevado devido à possibilidade de aplicações mais nobres. Empregou-se o FE de 0,13 para o calcário dolomítico de acordo com o IPCC (2006c).

5.1.8. Inventário do Ciclo de Vida

A partir das metodologias empregadas foi possível construir o ICV da soja produzida no estado do RS. Os resultados dos fluxos de massa para cada etapa do cultivo são apresentados na Tabela 5.9, Tabela 5.10, Tabela 5.11, Tabela 5.12 e Tabela 5.13.

Tabela 5.9. Entradas e saídas na etapa 1.

(Continua)

Substância	Médio	Mínimo	Máximo	Desvio	Comp.*
Etapa 1 (Preparo do Solo)	(kg.kg soja ⁻¹)				
<i>Entrada</i>					
Glifosato	3,30E-04	1,62E-04	4,85E-04	8,49E-05	#
2,4-D-Dimetilamina	2,98E-04	1,46E-04	4,38E-04	7,67E-05	
Diflubenzuron	2,78E-05	0,00	1,11E-04	3,08E-05	
Fipronil	4,44E-05	0,00	1,78E-04	4,93E-05	
Calcário Dolomítico	2,40E-01	1,42E-01	3,78E-01	6,35E-02	

Tabela 5.9. Entradas e saídas na Etapa 1.

(Conclusão)

Substância	Médio	Mínimo	Máximo	Desvio	Comp.*
Etapa 1 (Preparo do Solo)	(kg.kg soja⁻¹)				
Diesel pulverização – Herbicida	1,63E-03	8,49E-04	4,24E-03	9,56E-04	
Diesel pulverização – Inseticida	5,45E-04	2,83E-04	1,41E-03	3,19E-04	
Diesel (calagem por trator)	1,97E-04	7,14E-05	2,62E-04	1,88E-04	
Diesel (calagem por caminhão)	2,86E-04	1,11E-04	5,55E-04	1,77E-04	
Diesel Total (calagem)	4,83E-04	1,82E-04	8,17E-04	3,65E-04	
Diesel Total (calagem por trator)	2,38E-03	1,20E-03	5,92E-03	1,46E-03	
Diesel Total (calagem por caminhão)	2,86E-04	1,11E-04	5,55E-04	1,77E-04	
Diesel Total	2,66E-03	1,31E-03	6,47E-03	1,64E-03	
<i>Saída</i>					
Glifosato	3,30E-04	1,62E-04	4,85E-04	8,49E-05	solo
2,4-D	2,98E-04	1,46E-04	4,38E-04	7,67E-05	solo
Diflubenzuron	2,78E-05	0,00E+00	1,11E-04	3,08E-05	solo
Fipronil	4,44E-05	0,00E+00	1,78E-04	4,93E-05	solo
CO ₂ Calcário Dolomítico	1,15E-01	6,75E-02	1,80E-01	3,03E-05	ar
CO₂ Diesel - Total	1,19E-02	5,95E-03	2,93E-02	7,35E-03	ar
NO_x Diesel - Total	5,50E-05	2,11E-05	1,30E-04	3,39E-05	ar
CO Diesel - Total	1,20E-05	5,81E-06	2,87E-05	6,48E-06	ar
CO₂ Diesel Trator Total	1,12E-02	5,65E-03	2,78E-02	6,87E-03	ar
NO_x Diesel Trator Total	4,14E-05	2,10E-05	1,03E-04	2,55E-05	ar
CO Diesel Trator Total	9,65E-06	4,89E-06	2,41E-05	5,95E-06	ar
CO₂ Diesel Calagem Total	9,26E-04	3,35E-04	1,23E-03	8,84E-04	ar
NO_x Diesel Calagem Total	3,44E-06	1,24E-06	4,56E-06	3,28E-06	ar
CO Diesel Calagem Total	8,02E-07	2,90E-07	1,06E-06	7,65E-07	ar
CO₂ Diesel calagem por caminhão (Total)	7,65E-04	2,97E-04	1,48E-03	4,72E-04	ar
NO_x Diesel calagem por caminhão (Total)	1,36E-05	1,10E-07	2,64E-05	8,41E-06	ar
CO Diesel calagem por caminhão (Total)	2,37E-06	9,19E-07	4,59E-06	5,34E-07	ar
CO ₂ Diesel calagem por Trator	9,26E-04	3,35E-04	1,23E-03	8,84E-04	ar
NO _x Diesel calagem por Trator	3,44E-06	1,24E-06	4,56E-06	3,28E-06	ar
CO Diesel calagem por Trator	8,02E-07	2,90E-07	1,06E-06	7,65E-07	ar
CO ₂ Diesel pulverização - Herbicide	7,67E-03	3,99E-03	1,99E-02	4,49E-03	ar
NO _x Diesel pulverização - Herbicide	2,85E-05	1,48E-05	7,40E-05	1,67E-05	ar
CO Diesel pulverização - Herbicide	6,64E-06	3,45E-06	1,72E-05	3,89E-06	ar
CO ₂ Diesel pulverização - Inseticide	2,56E-03	1,33E-03	6,64E-03	1,50E-03	ar
NO _x Diesel pulverização - Inseticide	9,49E-06	4,93E-06	2,47E-05	5,56E-06	ar
CO Diesel pulverização - Inseticide	2,21E-06	1,15E-06	5,75E-06	1,30E-06	ar

*Compartilhamento (ar, solo ou água)

Tabela 5.10. Entradas e saídas na Etapa 2.

Substância	Média	Mínimo	Máximo	Desvio	Comp.*
Etapa 2	(kg,kg⁻¹ soja colhida)				
<i>Entrada</i>					
Sementes	1,74E-02	1,35E-02	2,19E-02	2,62E-03	#
Fludioxonil	8,49E-07	4,21E-07	1,68E-06	3,94E-07	
Metalaxil-M	3,40E-07	1,68E-07	6,73E-07	1,58E-07	
Fipronil	8,06E-06	4,21E-06	1,26E-05	3,70E-06	
Nitrogênio (N)	1,88E-03	0,00E+00	5,05E-03	1,53E-03	
Potássio (K ₂ O)	2,08E-02	6,73E-03	2,53E-02	4,56E-03	
Fósforo (P ₂ O ₅)	2,05E-02	1,01E-02	2,56E-02	3,82E-03	
Diesel Fertilização	1,37E-03	5,66E-04	3,11E-03	5,52E-04	
Diesel Semeadura	1,37E-03	5,66E-04	3,11E-03	5,52E-04	
Diesel Total	2,73E-03	1,13E-03	6,22E-03	1,10E-03	
<i>Saída</i>					
Fludioxonil	8,49E-07	4,21E-07	1,68E-06	3,94E-07	Solo
Metalaxil-M	3,40E-07	1,68E-07	6,73E-07	1,58E-07	Solo
Fipronil	8,06E-06	4,21E-06	1,26E-05	3,70E-06	Solo
N	1,85E-03	0,00E+00	4,67E-03	1,53E-03	Solo
K ₂ O	2,08E-02	6,73E-03	2,53E-02	4,56E-03	Solo
P ₂ O ₅	2,05E-02	1,01E-02	2,56E-02	3,82E-03	Solo
N ₂ O ^a	3,91E-05	0	5,95E-04	-	ar
CO₂ Diesel Total	1,28E-02	5,31E-03	2,92E-02	5,19E-03	ar
NO_x Diesel Total	4,77E-05	1,97E-05	1,08E-04	1,92E-05	ar
CO Diesel Total	1,11E-05	4,60E-06	2,53E-05	4,49E-06	ar
CO ₂ Diesel Semeadura	6,42E-03	2,66E-03	1,46E-02	2,59E-03	ar
NO _x Diesel Semeadura	2,38E-05	9,86E-06	5,42E-05	9,62E-06	ar
CO Diesel Semeadura	5,56E-06	2,30E-06	1,26E-05	2,24E-06	ar
CO ₂ Diesel Fertilização	6,42E-03	2,66E-03	1,46E-02	2,59E-03	ar
NO _x Diesel Fertilização	2,38E-05	9,86E-06	5,42E-05	9,62E-06	ar
CO Diesel Fertilização	5,56E-06	2,30E-06	1,26E-05	2,24E-06	ar

^a Emissões de N₂O de solo agrícola a partir de fertilizantes sintético nitrogenados

*Compartilhamento (ar, solo ou água)

Tabela 5.11. Entrada e saída na Etapa 3.

Substância	Média	Mínimo	Máximo	Desvio	Com.*
Etapa 3					
(kg,kg⁻¹ Soja colhida)					
<i>Entrada</i>					
Glifosato	3,76E-04	1,62E-04	8,08E-04	1,30E-04	#
Diflubenzuron	2,16E-05	1,60E-05	4,00E-05	7,00E-06	
Imidacloprido	3,68E-05	2,73E-05	1,36E-04	2,20E-05	
Beta-ciflutrina	4,60E-06	3,41E-06	1,70E-05	2,75E-06	
Acefate	5,67E-05	4,21E-05	2,10E-04	3,39E-05	
Epoxiconazol	1,84E-05	1,26E-05	3,16E-05	5,01E-06	
Piraclostrobina	4,89E-05	3,36E-05	8,40E-05	1,33E-05	
Azoxistrobina	3,07E-05	2,10E-05	5,26E-05	8,34E-06	
Diesel Total	4,36E-03	2,26E-03	1,13E-02	2,55E-3	
Diesel pulverização - Herbicida	1,63E-03	8,49E-04	4,24E-03	9,56E-04	
Diesel pulverização -Inseticida	1,63E-03	8,49E-04	4,24E-03	9,56E-04	
Diesel pulverização - Fungicida	1,09E-03	5,66E-04	2,83E-03	6,38E-04	
<i>Saída</i>					
Glifosato	3,76E-04	1,62E-04	8,08E-04	1,30E-04	Solo
Diflubenzuron	2,16E-05	1,60E-05	4,00E-05	7,00E-06	Solo
Imidacloprido	3,68E-05	2,73E-05	1,36E-04	2,20E-05	Solo
Beta-ciflutrina	4,60E-06	3,41E-06	1,70E-05	2,75E-06	Solo
Acefate	5,67E-05	4,21E-05	2,10E-04	3,39E-05	Solo
Epoxiconazol	1,84E-05	1,26E-05	3,16E-05	5,01E-06	Solo
Piraclostrobina	4,89E-05	3,36E-05	8,40E-05	1,33E-05	Solo
Azoxistrobina	3,07E-05	2,10E-05	5,26E-05	8,34E-06	Solo
CO₂ Diesel Total	2,05E-02	1,06E-02	5,31E-02	1,20E-02	ar
NO_x Diesel Total	7,59E-05	3,94E-05	1,97E-04	4,45E-05	ar
CO Diesel Total	1,77E-05	9,20E-06	4,60E-05	1,04E-05	ar
CO ₂ Diesel pulverização - Herbicide	7,67E-03	3,99E-03	1,99E-02	4,49E-03	ar
NO _x Diesel pulverização - Herbicide	2,85E-05	1,48E-05	7,40E-05	1,67E-05	ar
CO Diesel pulverização - Herbicide	6,64E-06	3,45E-06	1,72E-05	3,89E-06	ar
CO ₂ Diesel pulverização - Inseticide	7,67E-03	3,99E-03	1,99E-02	4,49E-03	ar
NO _x Diesel pulverização - Inseticide	2,85E-05	1,48E-05	7,40E-05	1,67E-05	ar
CO Diesel pulverização - Inseticide	6,64E-06	3,45E-06	1,72E-05	3,89E-06	ar
CO ₂ Diesel pulverização - Fungicide	5,12E-03	2,66E-03	1,33E-02	3,00E-03	ar
NO _x Diesel pulverização - Fungicide	1,90E-05	9,86E-06	4,93E-05	1,11E-05	ar
CO Diesel pulverização - Fungicide	4,43E-06	2,30E-06	1,15E-05	2,59E-06	ar

*Compartilhamento (ar, solo ou água)

Tabela 5.12. Entrada e saída na Etapa 4.

Substância	Media	Mínimo	Máximo	Desvio	Com.*
	(kg,kg ⁻¹ Soja colhida)				
Etapa 4					
<i>Entrada</i>					
Diesel	4,48E-03	2,02E-03	1,01E-02	2,21E-3	-
<i>Saída</i>					
CO₂ Diesel Total	1,00E-02	4,53E-03	2,27E-02	4,97E-03	ar
NO_x Diesel Total	1,79E-04	8,07E-05	4,04E-04	8,84E-05	ar
CO Diesel Total	3,11E-05	1,40E-05	7,02E-05	1,54E-05	ar
Soja	2969	-	-		

*Compartilhamento (ar, solo ou água)

Tabela 5.13. Emissões comuns a todas as etapas.

Substância	Média	Mínimo	Máximo
	(kg,kg ⁻¹ soja colhida)		
<i>Saída</i>			
CO₂ Eq, MUT C1	3,47E-1	-	-
CO₂ Eq, MUT C2	1,58E-1	-	-
CO₂ Eq, MUT C3	8,76E-2	-	-
CO₂ Eq, MUT C4	2,72	-	-
N₂O n-MUT Total	2,83E-04	3,01E-05	2,02E-03
N₂O MUT C1 Total	3,75E-04	5,46E-05	2,36E-03
N₂O MUT C2 Total	3,14E-04	3,83E-05	2,13E-03
N₂O MUT C3 Total	2,83E-04	3,01E-05	2,02E-03
N₂O MUT C4 Total	5,45E-04	9,97E-05	3,00E-03

*Compartilhamento (ar, solo ou água)

5.2. Avaliação de Impacto

A Tabela 5.14 apresenta os impactos caracterizados para produção de 1 kg de soja no estado do RS, considerando o C1 como referencia para este estudo. A metodologia empregada para a caracterização dos impactos foi o método CML 2001, com exceção do PAG onde empregou-se o método de caracterização IPCC 2007.

Tabela 5.14. Resultados dos impactos caracterizados para o C1 (CML 2001).

Categoria de Impacto	Unidade (kg)	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	MUT	N ₂ O	Total
Acidificação	SO ₂ eq	1,54E-04	1,62E-04	6,99E-05	1,10E-04	0	0	4,97E-04
Aquecimento Global ^b	CO ₂ eq	1,50E-01	6,98E-02	5,21E-02	1,28E-02	3,47E-01	1,00E-01	7,32E-01
Depreciação Abiótica	Sb eq	2,09E-04	2,57E-04	1,58E-04	1,08E-04	0	0	7,31E-04
Depreciação do Ozônio	CFC-11 eq	1,56E-08	1,46E-08	2,68E-08	2,06E-08	0	0	7,76E-08
Eutrofização	PO ₄ eq	4,55E-05	2,84E-02	2,60E-05	2,51E-05	0	0	2,85E-02
Oxidação Fotoquímica	C ₂ H ₄ eq	1,08E-05	1,09E-05	5,52E-06	2,38E-06	0	0	2,96E-05
Toxicidade aquática	1,4-DB eq	1,10E-02	1,74E-03	5,62E-03	9,24E-04	0	0	1,93E-02
Toxicidade Humana	1,4-DB eq	1,90E-02	1,94E-02	6,46E-03	1,65E-03	0	0	4,65E-02
Toxicidade Marinha	1,4-DB eq	7,16E-03	7,01E-03	8,00E-03	3,46E-03	0	0	2,56E-02
Toxicidade Terrestre	1,4-DB eq	5,10E-04	1,92E-05	1,39E-04	1,14E-06	0	0	6,70E-04
Uso do Solo	m ² a	8,43E-01	8,55E-01	8,43E-04	8,43E-01	0	0	3,38

^b Método de caracterização IPCC 2007;

Como pode ser observado na Figura 5.12, o principal contribuinte para as emissões de GEE é o subsistema MUT (47,4%). A etapa de semeadura e fertilização (Etapa 2) contribui majoritariamente para a eutrofização (>99%). Todavia, a etapa de preparo do solo (Etapa 1) contribui em grande parte das categorias de impacto.

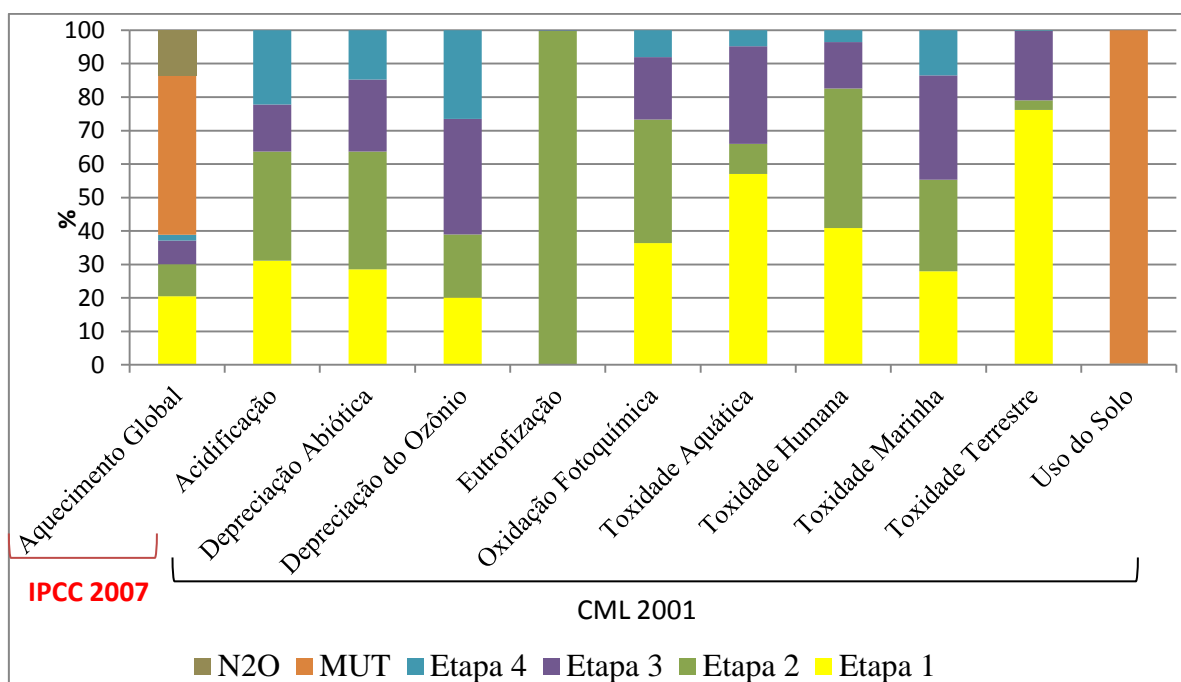
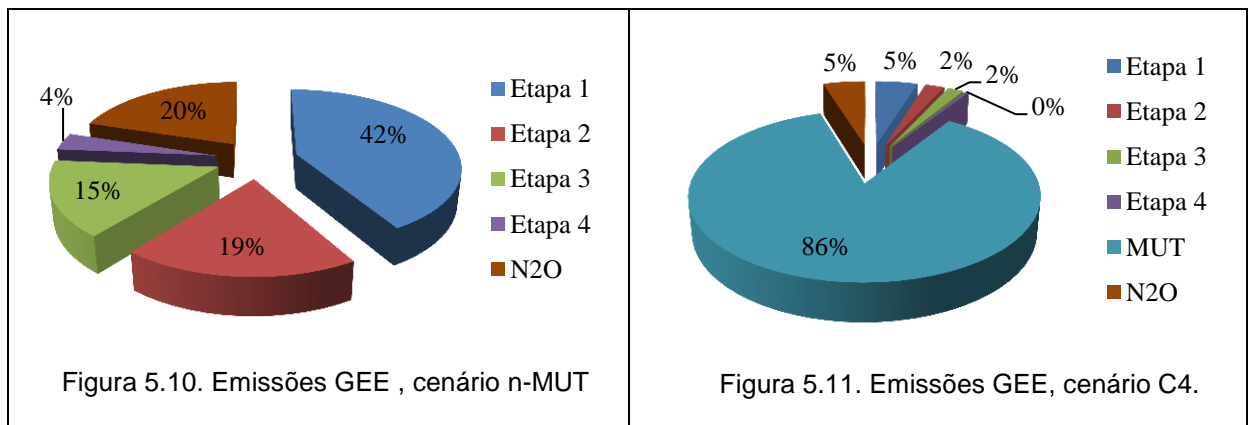


Figura 5.9. Distribuição dos escores caracterizados no sistema de cultivo da soja para o C1 deste estudo (método CML 2001 e IPCC 2007).

5.2.1. Aquecimento Global

Por tratar-se de um impacto ambiental amplamente discutido, esta categoria é abordada de forma individual. A Figura 5.7 e Figura 5.8, apresentam a contribuição de cada etapa para as emissões totais de GEE. As emissões de GEE são de 0,357 kg CO₂ eq. kg soja⁻¹, para o cenário n-MUT, 0,732 kg CO₂ eq. kg soja⁻¹ para o C1, 0,525 kg CO₂ eq. kg soja⁻¹ para o C2, 0,445 kg CO₂ eq. kg soja⁻¹ para o C3 e 3,16 kg CO₂ eq. kg soja⁻¹ para o C4.

Como pode ser observado na Figura 5.7, a etapa de preparo do solo (Etapa 1) é a que mais contribui para emissões de GEE no CV da SRS (42%), quando a MUT não é considerada. Entretanto, quando a MUT é considerada, sua contribuição tem uma variação significativa dependendo do cenário abordado (20% – 86%). Cabe salientar, que as emissões diretas e indiretas de N₂O a partir de solos foram ajustadas de acordo com os cenários abordados, levando-se em consideração a influência da MUT sobre esta fonte de emissão.



O C4 (Figura 5.8) apresenta a abordagem mais pessimista, em que todo o cultivo da soja provém de áreas de floresta. Neste cenário, as emissões da MUT são predominantes (86%) e demonstra a grande necessidade de adoção de medidas preventivas para coibir o desmatamento ilegal para o cultivo da soja. A Figura 5.9 apresenta a variação percentual das emissões de GEE em relação ao cenário n-MUT.

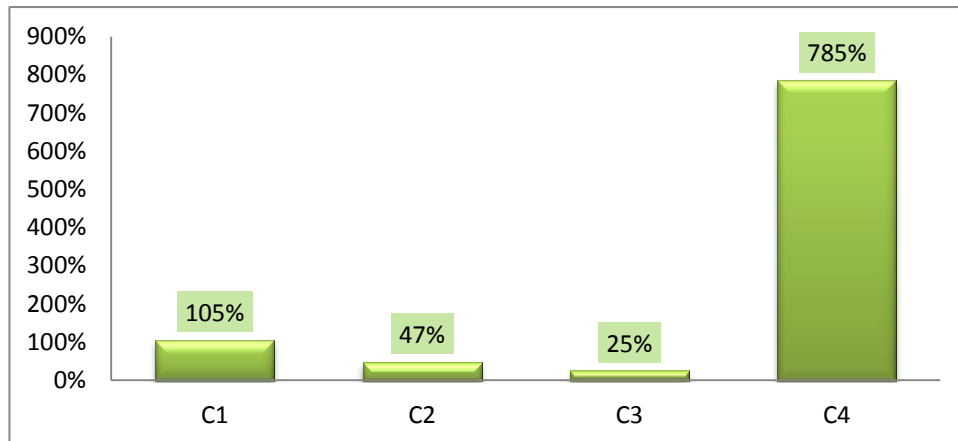


Figura 5.12. Aumento percentual de GEE do sistema SRS pela inclusão de emissões associadas à MUT nos quatro cenários considerados.

5.2.2. Normalização

Os valores de impacto normalizados para cada etapa de cultivo, incluindo transformação da terra e emissões de óxido nitroso a partir de solos agrícolas são apresentados na Tabela 5.15. Apesar de não serem elementos obrigatórios em uma ACV, seus resultados são de grande relevância para a avaliação e auxiliarem futuras tomadas de decisões.

Tabela 5.15. Resultados normalizados e agrupados, método CML 2001.

Categorias de Impactos	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	MUT	N ₂ O
Acidificação	2,30E-13	2,41E-13	1,04E-13	1,64E-13	0	0
Depreciação Abiótica	1,22E-13	1,50E-13	9,22E-14	6,29E-14	0	0
Depreciação do Ozônio	1,70E-14	1,59E-14	2,92E-14	2,24E-14	0	0
Eutrofização	9,06E-14	5,65E-11	5,18E-14	5,00E-14	0	0
Oxidação Fotoquímica	5,90E-14	5,99E-14	3,03E-14	1,31E-14	0	0
Toxicidade Aquática	1,70E-12	2,69E-13	8,71E-13	1,43E-13	0	0
Toxicidade Humana	1,02E-13	1,04E-13	3,46E-14	8,82E-15	0	0
Toxicidade Marinha	6,17E-13	6,04E-13	6,90E-13	2,98E-13	0	0
Toxicidade Terrestre	2,97E-12	1,12E-13	8,09E-13	6,64E-15	0	0
Uso do Solo	4,64E-15	4,19E-13	4,78E-15	0	1,11E-10	0

A Figura 5.13, apresenta o escore normalizado para o sistema de cultivo da soja, como pode ser observado o Uso do Solo e a Eutrofização apresentam uma

importante relevância. Todavia, para melhor interpretação, as categorias Uso do Solo e a Eutrofização foram suprimidas e os resultados são apresentados na Figura 14, que se observa que a Toxicidade Terrestre, Toxicidade Marinha e a Toxicidade Aquática ganham destaque, principalmente influenciada pela Etapa 1.

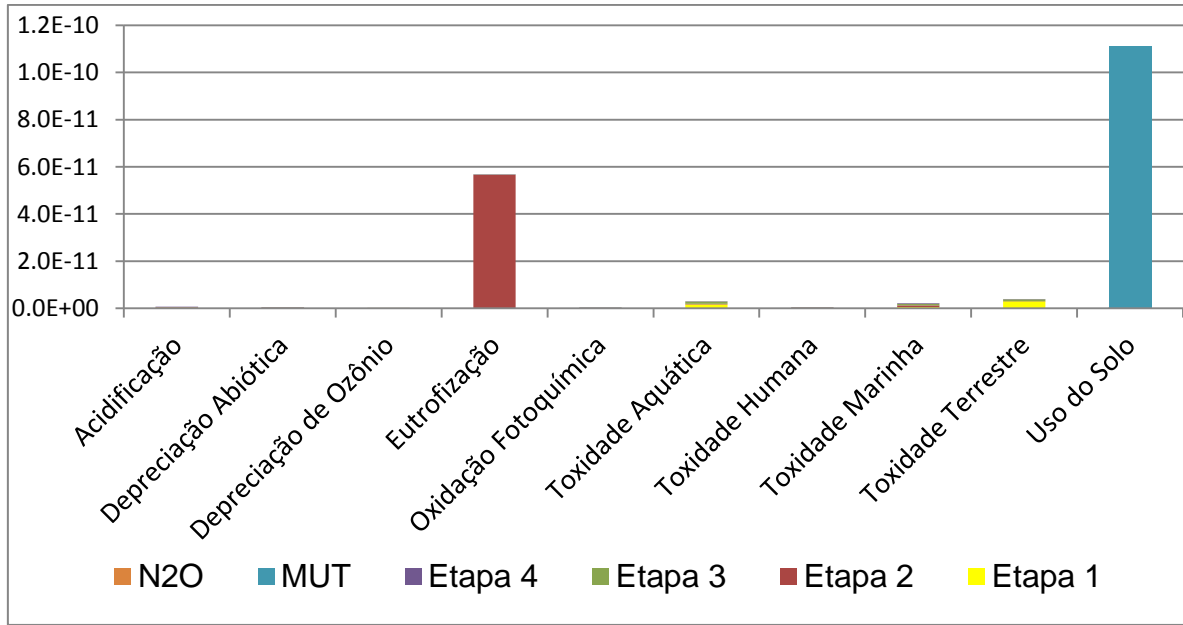


Figura 5.13. Resultados do escore normalizado para o C1 deste estudo – Método CML 2001.

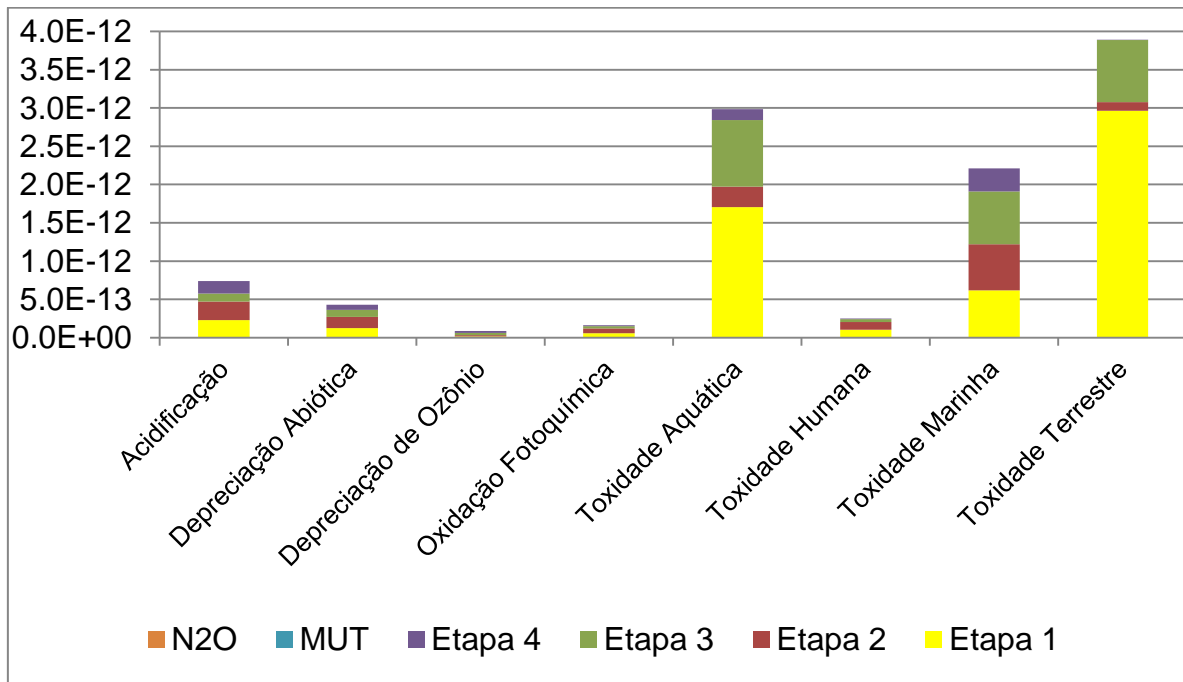


Figura 5.14. Resultados do escore normalizado para o C1 deste estudo sem o Uso do solo e a Eutrofização – Método CML 2001

5.3. Interpretação

5.3.1. Análise de contribuição

Utilizada para identificar quais são os processos e substâncias responsáveis por uma contribuição substancial no desempenho ambiental da SRS. A Tabela 5.16 apresenta os principais processos impactantes para cada categoria de impacto e sua contribuição no sistema, de acordo com o escore caracterizado. Embora uma ACV possa conter centenas de processos, buscou-se investigar aqueles que contribuem com até 30% das emissões para cada categoria. Processos que contribuem com até 1% das emissões foram desconsiderados.

Tabela 5.16. Identificação das contribuições relevantes (acima de 1%) para o CV da SRS em cada categoria do impacto, considerando o C1 (caracterizado).

Caracterização		Processo	Etapa envolvida ^a	Contribuição
Acidificação		Colheita	Etapa 4	18%
		Produção do Diesel	Várias Etapas	13%
Depreciação Abiótica		Produção do Diesel	Várias Etapas	47%
Depreciação do Ozônio		Produção do Diesel	Várias Etapas	84%
Eco toxicidade Marinha		Produção de Diesel	Várias Etapas	48%
Aquecimento Global	Não – MUT	Preparo do Solo	Etapa 1	42,3%
	C1	MUT	MUT	47,15%
	C2			30%
	C3			20%
	C4			86%
Eutrofização		Fertilização	Etapa 2	99,6%
Oxidação Fotoquímica		Produção Diesel	Etapa 1	17,6%
		Transporte dos Fertilizantes	Etapa 1 e Etapa 2	12,5%
Toxicidade Aquática		Preparo do solo	Etapa 1	47%
Toxicidade Humana		Preparo do Solo	Etapa 1	30%
Toxicidade Terrestre		Preparo do solo	Etapa 1	75%
Uso do Solo		MUT	MUT	99,3%

^a refere-se às diferentes etapas do sistema de cultivo abordado neste estudo.

A partir dos resultados da Tabela 5.16 uma análise de contribuição para as diferentes categorias de impacto foi realizada para cada um dos processos envolvidos. Esta análise tem como objetivo avaliar quais substâncias, ou ainda processos, poderão ser indicados como principais contribuintes para cada impacto, após este estudo, uma análise de sensibilidade será realizada para confirmar a real contribuição destas substâncias para a categoria em estudo no sistema de produto.

5.3.1.1. Potencial de Acidificação

A Figura 5.15 apresenta uma análise das principais substâncias contribuintes para o PA no CV da SRS, na etapa de colheita e na produção do Diesel. O impacto nesta categoria foi fundamentalmente causado pela emissão de óxidos nitrogenados (NOx) a partir da combustão de combustível fóssil pela colheitadeira e óxidos de enxofre (SOx) proveniente do processo de produção do diesel utilizado na colheita.

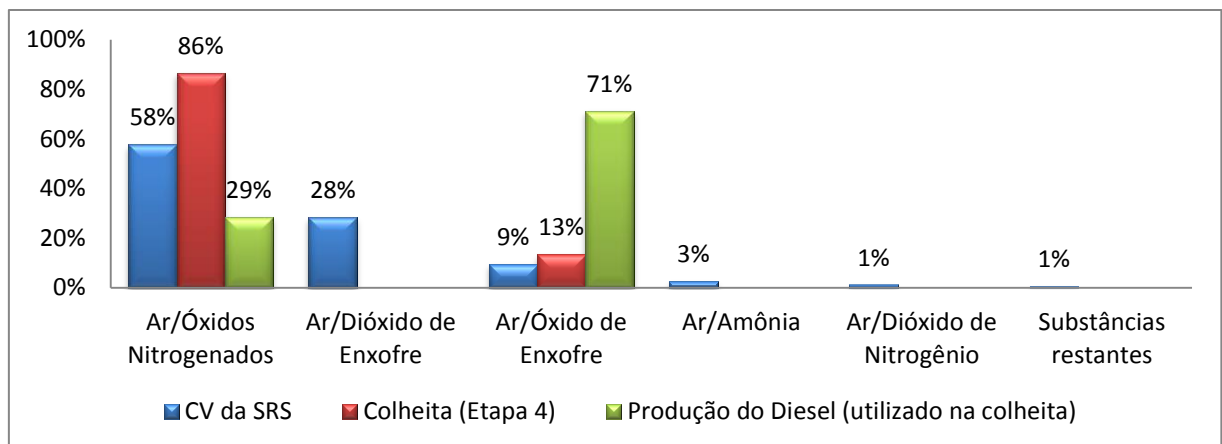


Figura 5.15. Distribuição da contribuição de substâncias para o PA no CV da SRS, na etapa de colheita e na produção do Diesel.

Podemos observar que o NOx emitido a partir da queima de combustível fóssil pela colheitadeira apresenta influência sobre a acidificação. Todavia, pode-se concluir que esta substância é a principal contribuinte da acidificação, porém sua contribuição também ocorre em diferentes etapas e processos do sistema em estudo.

As emissões de NOx foram estimadas conforme descrito na seção 4.3.6 e por estar relacionada ao fator de emissão específico e consumo médio de Diesel no

processo em questão seus resultados podem apresentar variações. Logo, uma análise de sensibilidade foi conduzida com objetivo de avaliar a influência deste parâmetro no resultado. Devido à presença de SOx como substância contribuinte para acidificação no processo de colheita, o processo de produção do Diesel também foi investigado, a partir da análise de sensibilidade.

A análise de sensibilidade foi conduzida variando os parâmetros de -100% a 100%, os resultados são apresentados na Figura 5.16. Podemos observar que ao variar as emissões de NOx de zero a $8,96E-4$, ou seja de -100% a 100%, o impacto total da acidificação apresenta variação de -6% a 6%. O mesmo foi realizado com o fluxo de SOx, presente no processo de produção do Diesel, sua emissão foi variada de zero para $2,36E-4$ e o resultado apresentou um variação de -9% a 9%.

Investigou-se a influência da substituição da base de dados do processo Diesel (kg) existente no SimaPro e elaborado pela *LCA FOOD DK* (Diesel LCA FOOD DK) pela base de dados do processo “*Diesel, low-sulfur {RoW} market for | Alloc Def, U*” da Ecoinvent (Diesel Ecoinvent-Row). Os resultados demonstram que ao variar a massa de Diesel (LCA FOOD DK) consumido de -100% a 100% o PA apresenta uma variação de -13% a 13%. Todavia, ao variar a massa do Diesel (Ecoinvent-Row) consumido o PA apresenta uma variação de -12% a 12%, ou seja, a substituição da base de dados não apresentou significativas variações no resultado para acidificação do CV da SRS.

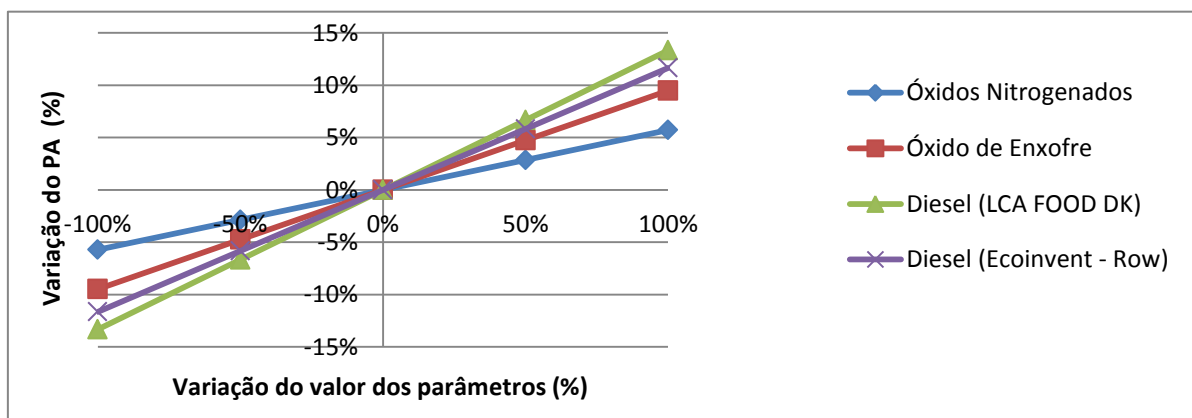


Figura 5.16. Análise de sensibilidade para o PA.

5.3.1.2. Potencial de Depleção Abiótica

A Figura 5.17 apresenta uma análise das principais substâncias contribuintes para o PDA no CV da SRS, e no processo de produção do Diesel. O impacto nesta categoria foi fundamentalmente associado à matéria-prima óleo cru, utilizado para produção do óleo Diesel.

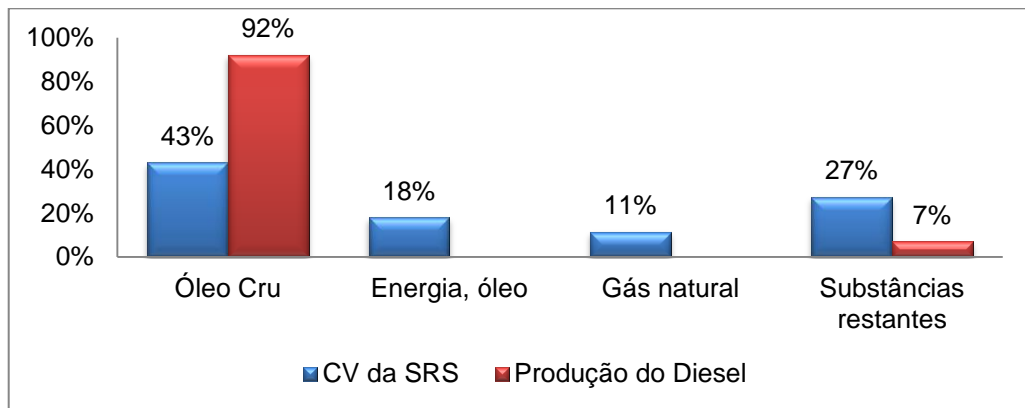


Figura 5.17. Distribuição da contribuição de substâncias para o PDA no CV da SRS e na produção do Diesel.

Uma análise de sensibilidade foi conduzida com objetivo de avaliar o parâmetro óleo cru no resultado do PDA (Figura 5.18). O parâmetro foi variado de zero a $6,29E-4$ (-100% a 100%) e os resultados demonstraram uma variação no PDA de -40% a 40%, ou seja, este fluxo apresenta uma influência significativa no CV da SRS.

Todavia, também investigou-se a influência da substituição da base de dados do processo Diesel (LCA FOOD DK) pelo Diesel (Ecoinvent-Row). Os resultados demonstram que ao variar (-100% a 100%) a massa de diesel consumido por estes processos, ambos os processos provocam variações significativas no PDA. O Diesel (LCA FOOD DK) apresenta uma sensibilidade de -46,8% a 46,8%, já o Diesel (Ecoinvent-Row) apresenta uma sensibilidade maior (-48,5% a 48,5%). No entanto, a diferença entre ambos é relativamente pequena, porém um erro nas estimativas desses parâmetros pode provocar variações significativas no resultado do PDA do CV da SRS.

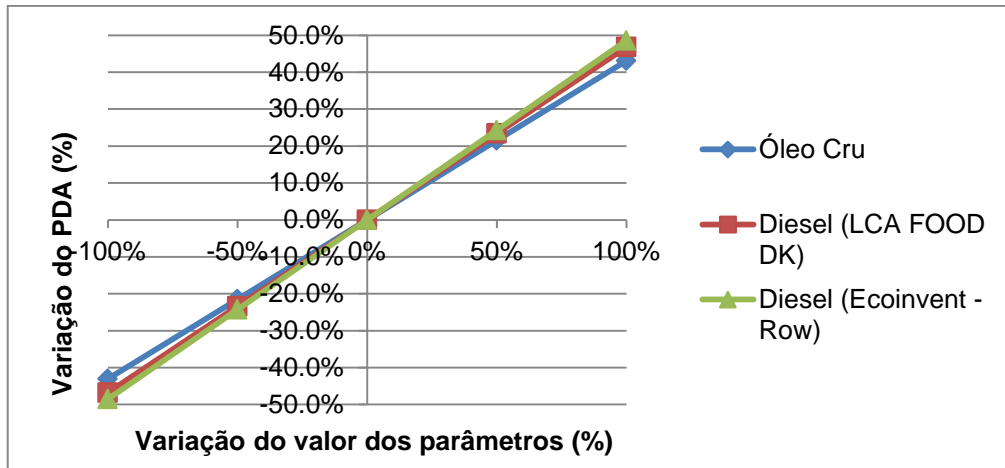


Figura 5.18. Análise de sensibilidade para o PDA.

5.3.1.3. Potencial de Depleção do Ozônio

A Figura 5.19 apresenta uma análise das principais substâncias contribuintes para o PDO no CV da SRS e na produção do Diesel. O impacto nesta categoria foi avaliado fundamentalmente causado pela emissão do tricloromonofluormetano (CFC - 11) decorrente do processo de produção do diesel.

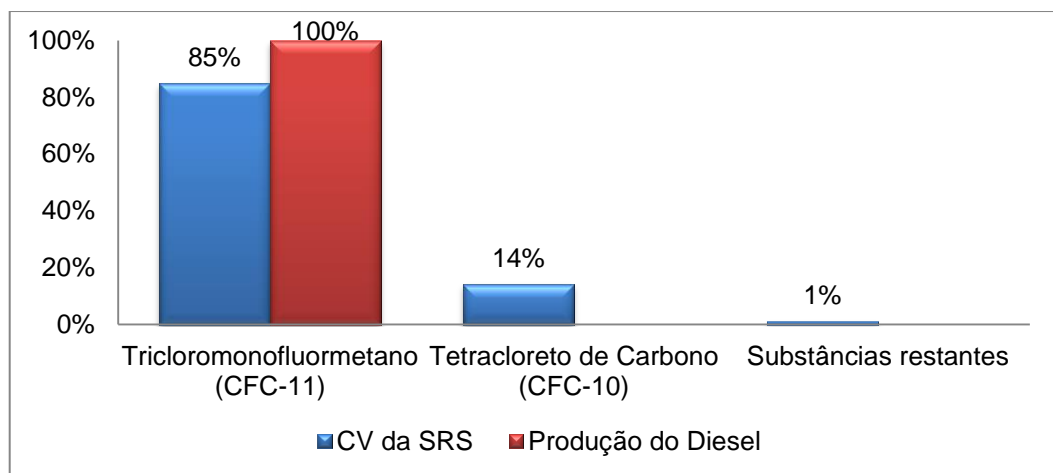


Figura 5.19. Distribuição da contribuição de substâncias para o PDO no CV da SRS e na produção do Diesel.

Uma análise de sensibilidade foi conduzida com objetivo de avaliar a influência do CFC-11 no resultado para o PDO (Figura 5.20). O parâmetro foi variado de -100% a 100% e os resultados demonstraram que um erro na estimativa deste parâmetro pode alterar em -84% a 84% os resultados para o PDO.

A emissão do CFC-11 está relacionada ao processo de produção do Diesel, neste sentido é importante analisar a sensibilidade da categoria à variação da massa do Diesel utilizado neste estudo (Diesel LCA FOOD DK). Todavia, também investigou-se a influência da substituição desse processo pelo Diesel (Ecoinvent-Row). Os resultados demonstram que ao variar o consumo do Diesel, de -100% a 100%, o PDO apresentou considerável sensibilidade (-84% a 84%) ao Diesel (LCA FOOD DK). Entretanto, a sobreposição das linhas confirma que toda a contribuição deste processo para o PDO é decorrente do fluxo de CFC-11, emitido em seu processo de produção.

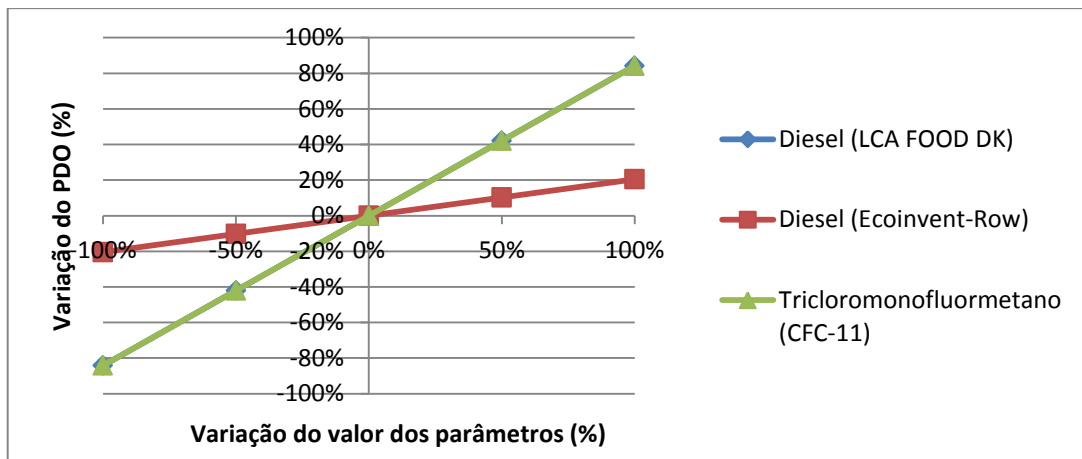


Figura 5.20. Análise de sensibilidade para o PDO.

5.3.1.4. Potencial de Toxicidade Marinha

A Figura 5.21 apresenta uma análise das principais substâncias contribuintes para o PTM no CV da SRS e na etapa produção do Diesel. O impacto nesta categoria foi fundamentalmente causado pela emissão de barita para a água durante o processo de produção do Diesel.

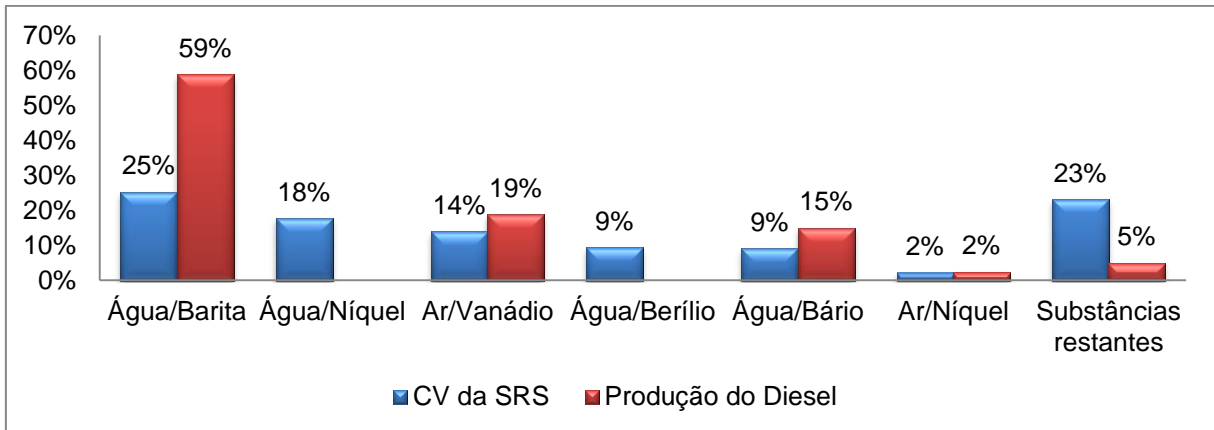


Figura 5.21. Distribuição da contribuição de substâncias para o PTM no CV do RSR e na produção do Diesel.

A barita está relacionada ao processo de produção do Diesel, neste contexto uma análise de sensibilidade foi conduzida com objetivo de avaliar a influência do Diesel ao PTM. O parâmetro foi variado de -100% a 100% e os resultados são apresentados na Figura 5.22. Também investigou-se a influência da substituição da base de dados do processo Diesel (LCA FOOD DK) pelo Diesel (Ecoinvent-Row).

Os resultados demonstram que ao variar o consumo de Diesel de -100% a 100% o PTM apresenta considerável sensibilidade ao Diesel (LCA FOOD DK), este parâmetro apresentou variação de -43% a 43%. Entretanto, o Diesel (Ecoinvent-Row) quando variado, provocou variações entre -13% a 13%, ou seja, o PDM é sensível ao parâmetro Diesel e a escolha da base de dados pode alterar significativamente os resultados deste estudo.

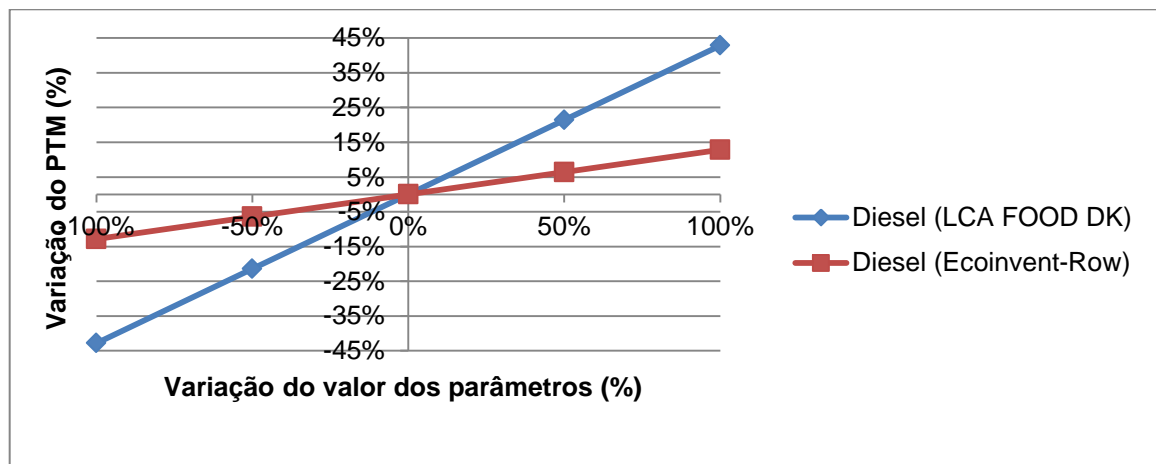


Figura 5.22. Análise de sensibilidade para o PTM.

5.3.1.5. Potencial de Aquecimento Global

Os resultados apresentaram que para produzir um kg de soja são emitidos 0,732 kg de CO₂ eq, quando considerado o C1 deste estudo. Porém, quando a MUT não é considerada este valor cai para 0,357 kg de CO₂ eq. Este valor é 96% maior que as emissões estimadas por Raucci et al., (2014) para o cultivo da soja no estado do Mato Grosso. Todavia, esta diferença pode estar relacionada à significativa diferença entre a quantidade de calcário aplicada, tipo de calcário e o consumo de Diesel, que é maior neste estudo. Cabe salientar que as emissões da produção do combustível neste estudo foram estimadas a partir de uma base de dados, diferentemente do estudo de Mato Grosso, que utilizou fatores de emissão da produção do Diesel brasileiro. Além disso, a produtividade média da soja produzida no Mato Grosso é maior (3200 kg soja.ha⁻¹) o que altera os parâmetros em termos de UA.

Cenário n-MUT: A Figura 5.23 apresenta uma análise das principais substâncias contribuintes para o PAG no CV da SRS, na etapa de preparo do solo (Etapa 1) e na etapa de semeadura e fertilização (Etapa 2), considerando o cenário n-MUT. Neste cenário o impacto foi fundamentalmente causado pela emissão de CO₂ decorrente do uso de calcário agrícola (etapa 1) e pela combustão de combustível fóssil por maquinários agrícolas, principalmente na etapa 1 e 2. Além disso, a etapa 2 também emite uma quantidade considerável de N₂O (23% de suas emissões) decorrente do uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos.

Uma análise de sensibilidade foi conduzida com objetivo de avaliar a influência das emissões do uso (aplicação) do calcário dolomítico, do CO₂ emitido pelo caminhão, trator e por ambos na etapa 1 e de N₂O da etapa 2. Todos os parâmetros foram variados de -100% a 100%, e os resultados são apresentados na Figura 5.24.

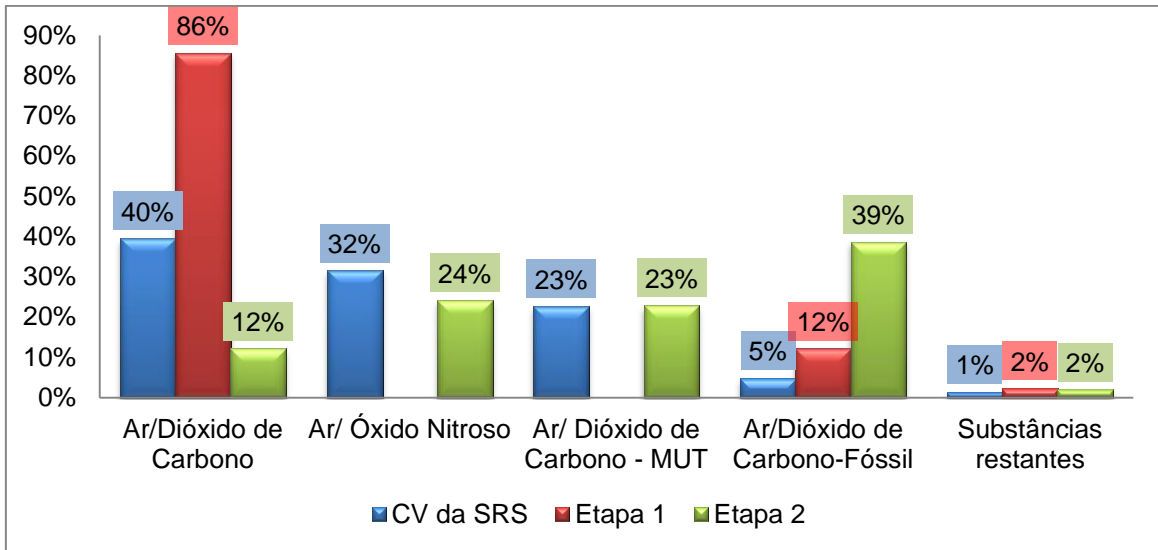


Figura 5.23. Distribuição da contribuição de substâncias para o PAG no CV da SRS, na etapa 1 e etapa 2.

O parâmetro CO_2 emitido pelo calcário apresentou a maior sensibilidade ao PAG (-32% a 32%). Cabe salientar, que esta variável está relacionada à quantidade de calcário aplicada e ao tempo de reaplicação, ou seja, o erro na determinação deste parâmetro pode afetar significativamente os resultados para o PAG. A emissão de N_2O por uso de fertilizantes nitrogenados, também foi analisada, e apresentou significativa sensibilidade (-21% a 21%). O emprego de fertilizantes nitrogenados sintéticos na cultura da soja é uma prática usual, porém, por muitas vezes desnecessária em leguminosas (Embrapa, 2012). As emissões da queima de combustível fóssil por maquinários agrícolas não apresentaram relevantes resultados (<-5% a <5%).

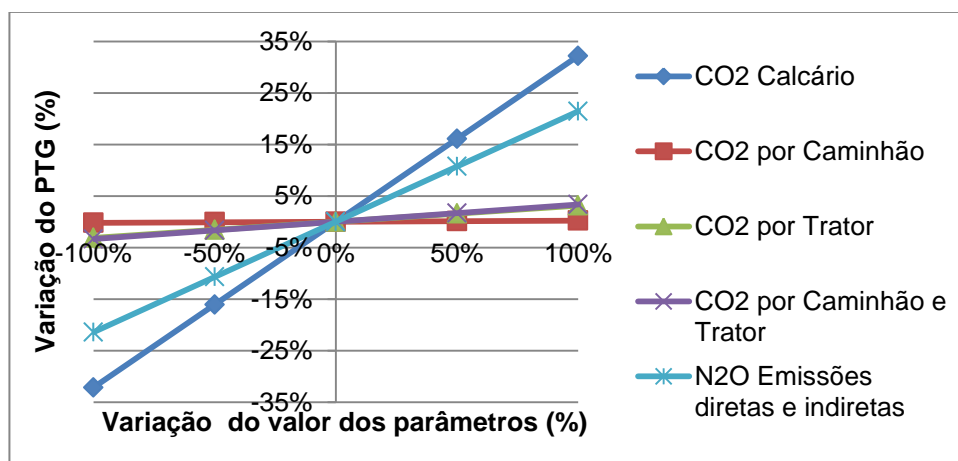


Figura 5.24. Análise de sensibilidade para aquecimento global, cenário n-MUT

Demais cenários (C1, C2, C3 e C4): O impacto para o PAG no CV da soja nos quatro cenários foi avaliado como fundamentalmente causado pelas emissões CO₂ eq. a partir da transformação do solo e uso de calcário agrícola, e de N₂O a partir do solo. Observa-se na Figura 5.25 que à medida que as emissões de CO₂ provenientes da transformação do solo diminuem (cenário 1, 2 e 3) a contribuição de CO₂ por uso de calcário aumenta, assim como a do N₂O. O C4 apresenta o pior cenário de emissões de gases de efeito estufa, onde a transformação do solo contribui com 87% das emissões de GEE.

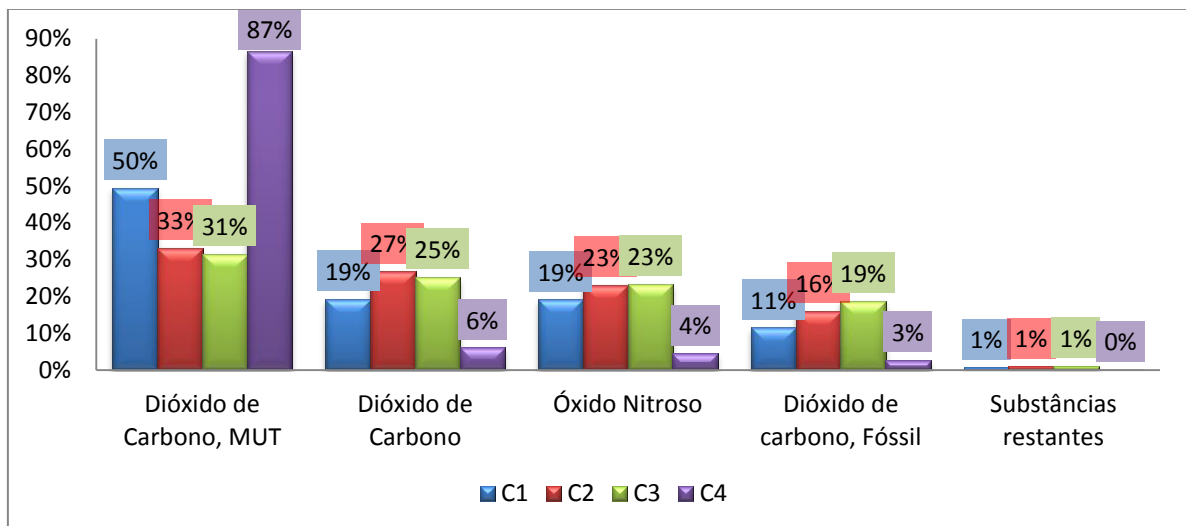


Figura 5.25. Distribuição da contribuição de substâncias para o PAG no CV da SRS, C1, C2, C3 e C4.

5.3.1.6. Potencial de Eutrofização

A Figura 5.26 apresenta uma análise das principais substâncias contribuintes para o PE no CV da SRS, na etapa de colheita e na produção do Diesel. O impacto nesta categoria foi causado majoritariamente pela disposição de fertilizantes fosfatados ao solo.

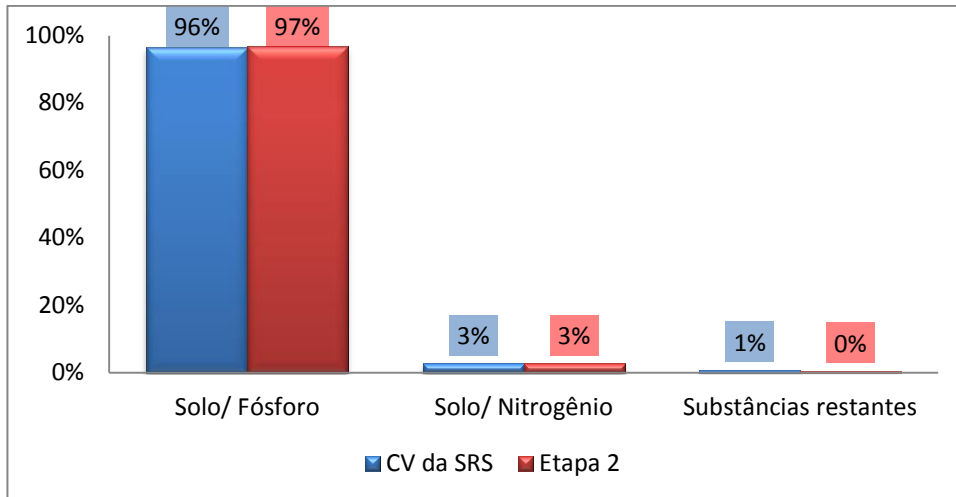


Figura 5.26. Distribuição da contribuição de substâncias para o PE no CV da SRS e na produção do Diesel.

Todavia, este estudo considerou que todo o fertilizante fosfatado foi emitido ao solo, desconsiderando possíveis absorções, lixiviação ou escoamento. Neste sentido, uma análise de sensibilidade foi conduzida com objetivo de avaliar a influência deste parâmetro sobre a categoria de impacto e as possíveis influências da escolha da disposição do fertilizante (solo e água). A massa do fertilizante foi variada de zero a $5,49E-2$, ou seja, de -100% a 100%, assim como sua disposição para o solo e água. Como pode ser observado na Figura 5.27 o PE é extremamente sensível a este parâmetro (-96% a 96%) e um erro em sua estimativa pode afetar significativamente os resultados para esta categoria. Todavia, a escolha da disposição não apresentou variações nos resultados da sensibilidade.

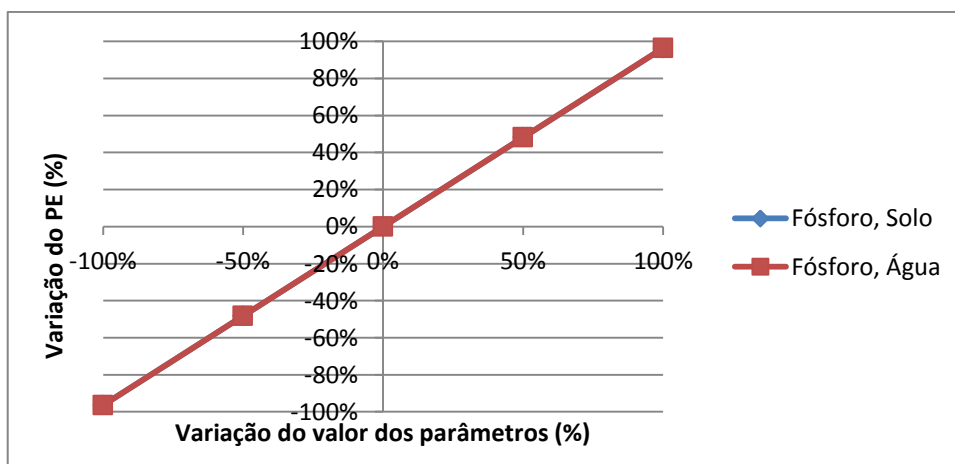


Figura 5.27. Análise de sensibilidade para o PE.

5.3.1.7. Potencial de Oxidação Fotoquímica

A Figura 5.28 apresenta uma análise das principais substâncias contribuintes para o POF no CV da SRS, na etapa de colheita e na produção do Diesel. O impacto nesta categoria foi fundamentalmente causado pelo SO_2 , emitido para o ar. Outras fontes para este impacto foram investigadas nos processos que mais contribuem para esta categoria, são elas: CO , emitido para ar pelo transporte dos fertilizantes; SO_2 emitidos para ar, no processo de produção do Diesel utilizado no transporte dos fertilizantes e SO_x emitido para o ar, a partir da produção do Diesel consumido pela colheitadeira.

Cabe salientar que, devido à grande quantidade de substâncias que contribuem de forma minoritária para a oxidação fotoquímica, foi necessário agrupá-las como substâncias restantes.

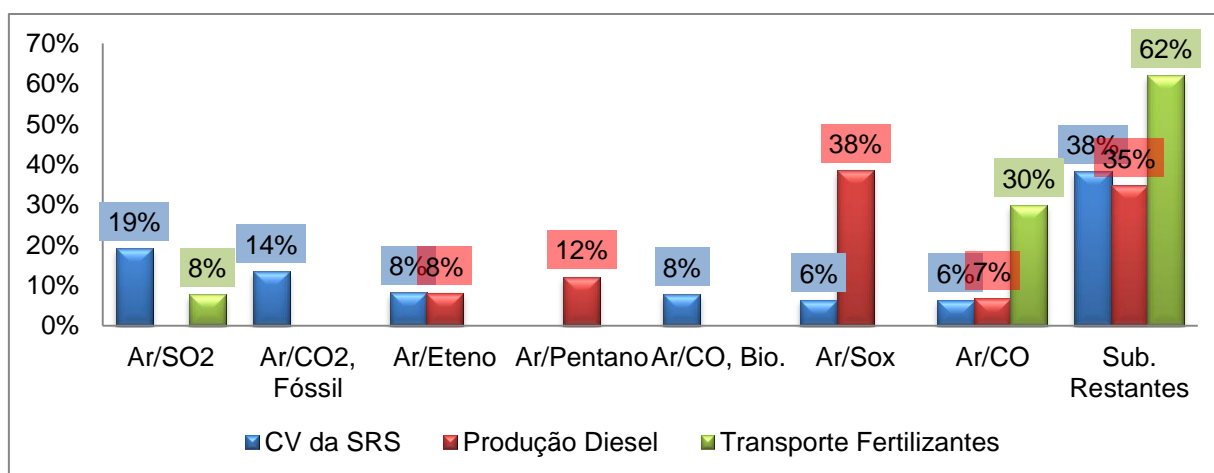


Figura 5.28. Distribuição da contribuição de substâncias para o POF no CV da SRS, produção do Diesel e transporte dos fertilizantes.

Uma análise de sensibilidade foi conduzida com objetivo de avaliar a influência das emissões do CO emitidos a partir do caminhão utilizado no transporte dos fertilizantes e o fluxo de SO_2 emitido no processo de produção do Diesel utilizado por este caminhão. Também, foi avaliado o SO_x emitido para o ar, no processo de produção do Diesel consumido pela colheitadeira. Todos os parâmetros foram variados de -100% a 100%, os resultados apontam que estas variáveis apresentam pouca influência sobre a oxidação fotoquímica (Figura 5.29), ao

aumentar em 100% as emissões do CO, SO₂ e SO_x a oxidação aumento em 1,4%, 1,2% e 6,4% respectivamente.

Todavia, as emissões destas substâncias esta relacionada com a escolha da base de dados empregada para o Diesel utilizado nas intervenções e o caminhão utilizado para o transporte dos fertilizantes. Neste cenário, investigou-se a influência da substituição da base de dados do processo Diesel (LCA FOOD DK) pelo Diesel (Ecoinvent-Row). Além disso, também avaliou-se a substituição do caminhão modelo EURO IV pelo EURO III.

Os resultados demonstram que o POF é principalmente sensível ao Diesel. No Diesel (LCA FOOD DK) a sensibilidade é maior (-16,6% a 16,6%), porém o Diesel (Ecoinvent-Row) apresentou variações entre -13,9% a 13,9%, ou seja, a substituição do Diesel não afetou consideravelmente o POF. A substituição do tipo de caminhão não apresentou benefícios consideráveis, ao variar o deslocamento de -100% a 100%, o caminhão com motor Euro III influenciou de -15,2 a 15,2% as emissões do POF e para o Euro IV este valor variou de -15,4% a 15,4%..

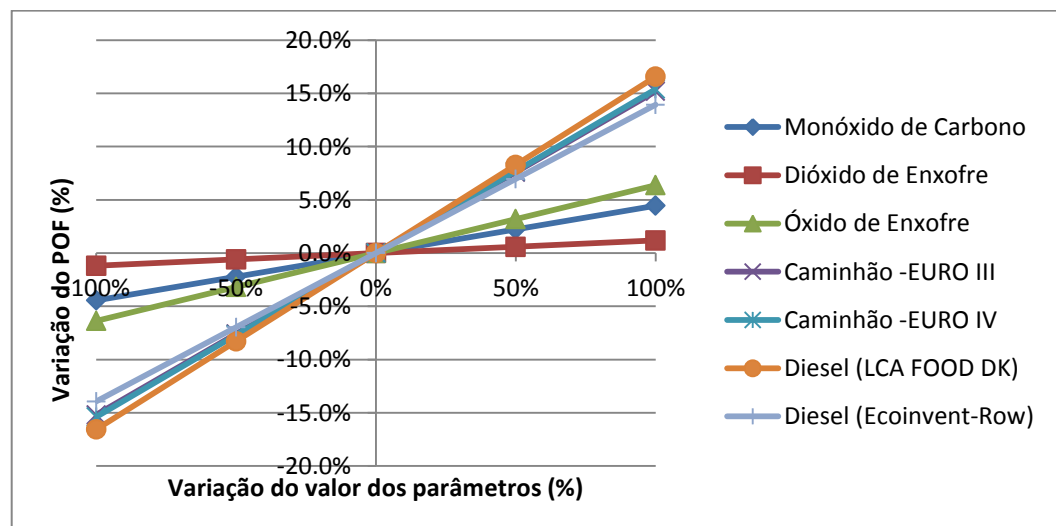


Figura 5.29. Análise de sensibilidade para o POF.

5.3.1.8. Potencial de Toxicidade Terrestre

A Figura 5.30 apresenta uma análise das principais substâncias contribuintes para o PTT no CV da SRS e na etapa 1. O impacto nesta categoria foi avaliado fundamentalmente causado pela emissão do herbicida 2,4-D ao solo.

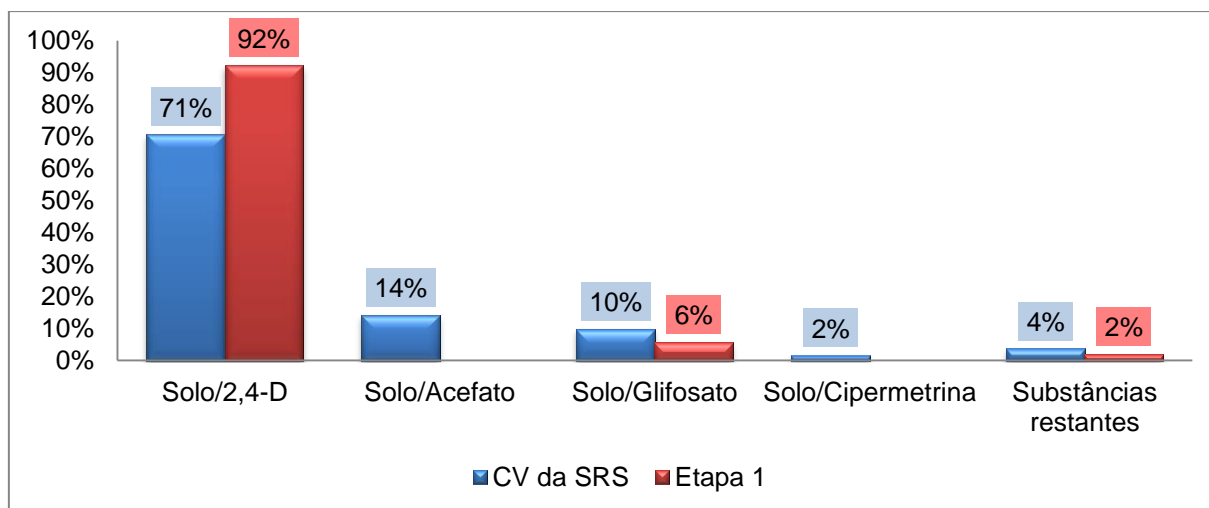


Figura 5.30. Distribuição da contribuição de substâncias para o PTT no CV da SRS e na produção do Diesel.

Devido às dúvidas relacionadas à fração do herbicida 2,4-D que é disposta ao solo, água ou ar, uma análise de sensibilidade foi conduzida com objetivo de avaliar a influência da escolha da disposição sobre o PTT. A massa do herbicida foi variada de -100% a 100% (0 kg a 5,96E-4kg). Conforme pode ser observado na Figura 5.31, o PTT apresenta considerável sensibilidade à variação do herbicida 2,4-D (-70% a 70%), quando dispostos ao solo. Entretanto, quando a disposição do herbicida é considerada como somente para o ar ou água, não há influência. Ou seja, a consideração realizada neste estudo, em que 100% do herbicida é disposto ao solo, pode afetar consideravelmente os resultados do PTT. Neste cenário, é importante salientar há necessidade de coletar informações adicionais que avaliem o coeficiente de partição deste e outros defensivos agrícolas.

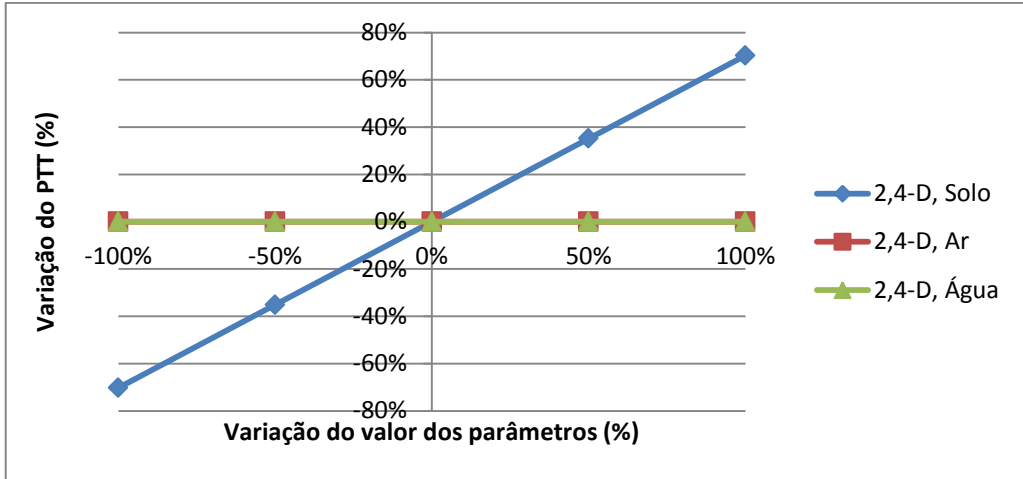


Figura 5.31. Análise de sensibilidade para o PTT.

5.3.1.9. Potencial de Toxicidade aquática

A Figura 5.32 apresenta uma análise das principais substâncias contribuintes para toxicidade aquática no CV da SRS e na etapa 1. O impacto nesta categoria foi avaliado fundamentalmente pelo uso do herbicida 2,4-D, emitido para o solo no processo de preparo do solo.

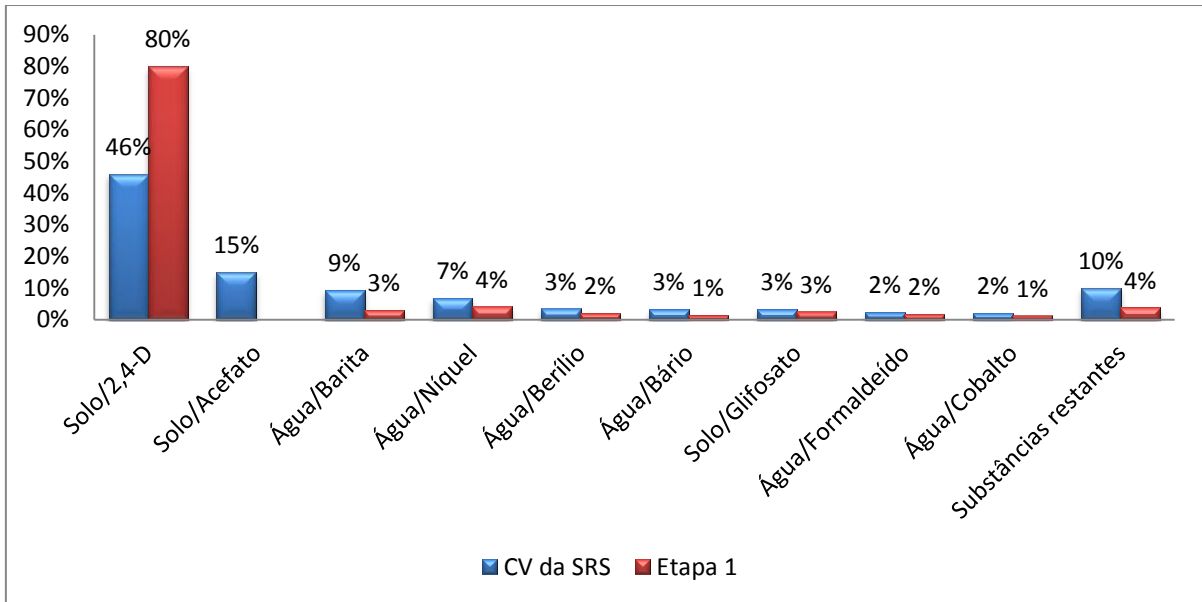


Figura 5.32. Distribuição da contribuição de substâncias para o PTA no CV da SRS e na Etapa 1..

Devido às dúvidas relacionadas à escolha da disposição do herbicida 2,4-D a um determinado compartimento (ar, água ou solo), uma análise de sensibilidade foi conduzida com objetivo de avaliar a influência deste parâmetro e da escolha da

disposição sobre o PTA. A massa do herbicida foi variada de -100% a 100% (0 kg - 5,96E-4kg). A Figura 5.33 apresenta os resultados, onde, quando a disposição do herbicida é considerada como somente para o ar ou água, não há influência sobre a toxicidade aquática. Ou seja, a consideração realizada neste estudo, que 100% do herbicida é disposto ao solo, pode influenciar significativamente os resultados.

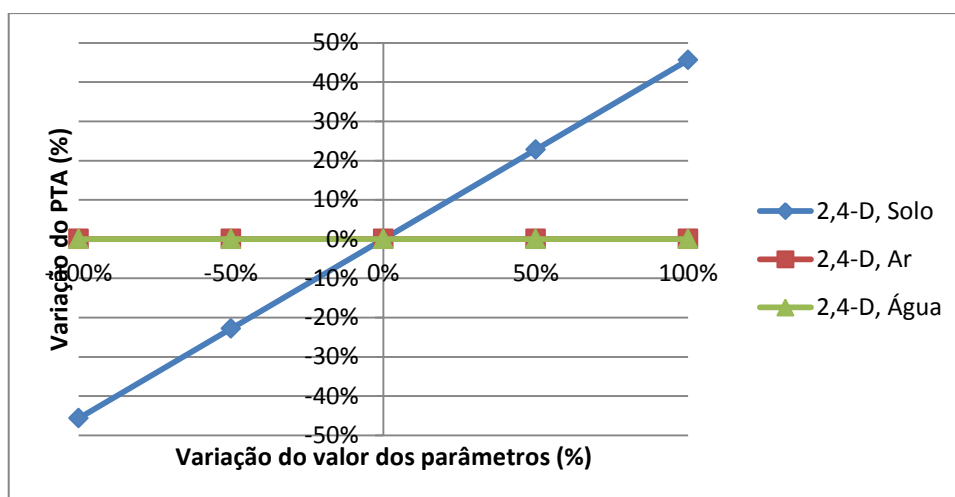


Figura 5.33. Análise de sensibilidade para o PTA.

5.3.1.10. Potencial de Toxicidade Humana

A Figura 5.34 apresenta uma análise das principais substâncias contribuintes para o PTH no CV da SRS e na etapa 1. O impacto nesta categoria foi avaliado fundamentalmente causado pela emissão de HAP para o ar e do 2,4-D para o solo no processo de preparo do solo.

O HAP destaca-se como substância majoritária, está substância encontra-se envolvida no processo de produção do Diesel utilizado no transporte do calcário e também, no processo de gestão do solo para produção das sementes empregadas na etapa 2. Em função da pouca disponibilidade de dados referente à produção de sementes de soja empregadas nas lavouras do RS, utilizou-se uma base de dados disponível no SimaPro. Todavia, as propriedades de produção de sementes são submetidas a regras e peculiaridades específicas, principalmente decorrentes da necessidade de garantir a segurança sanitária nestas fazendas (Brasil, 2005), o que provavelmente deve influenciar os fluxos mássicos e energéticos de energia e massa.

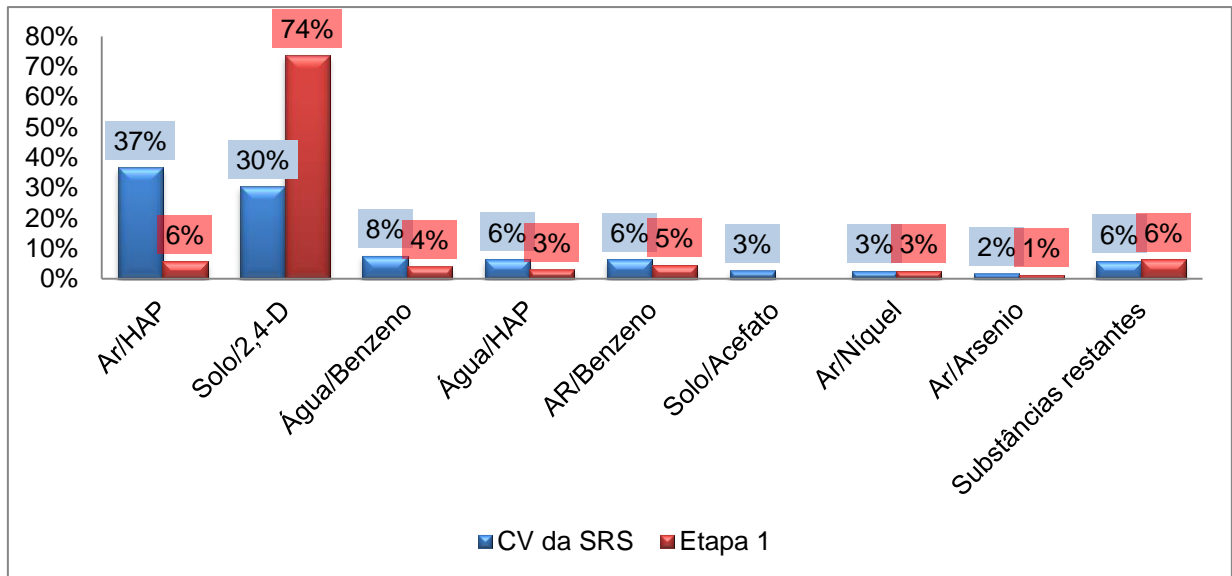


Figura 5.34. Distribuição da contribuição de substâncias para a depreciação do ozônio no CV da SRS e na produção do Diesel.

Uma análise de sensibilidade foi conduzida com objetivo de avaliar a influência das emissões do HAP, do processo de produção de sementes e da disposição do herbicida 2,4-D. Todos os parâmetros foram variados de -100% a 100%. É possível observar na Figura 5.35 que o PTH apresentou maior sensibilidade ao parâmetro “sementes” (-34% a 34%). Quando a disposição do herbicida, 2,4-D, é considerada como somente para o ar ou água, não há influência sobre a toxicidade humana. Ou seja, a consideração realizada neste estudo, que 100% do herbicida é disposto ao solo, pode influenciar significativamente os resultados.

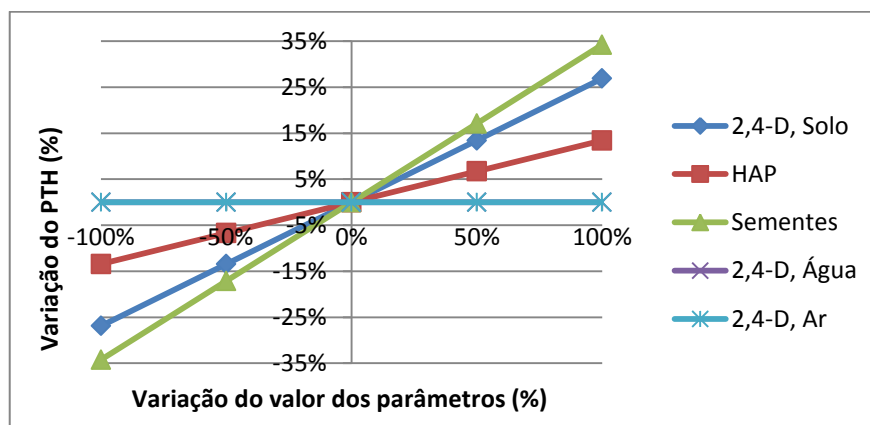


Figura 5.35. Análise de sensibilidade para o PTH.

5.3.1.11. Potencial de Uso do Solo

A categoria uso do solo é majoritariamente associada ao fluxo de área média necessária para ao cultivar a soja.

5.4. Avaliação de Bancos de Dados

Três bases de dados referente à produção da soja do Brasil estão disponíveis no SimaPro, e foram comparadas individualmente a este estudo. O Quadro 5.1 apresenta o nome dos processos disponíveis no *software* e as suas respectivas fontes.

Quadro 5.1. Processos referentes a produção de soja no Brasil disponíveis no SimaPro,.

Nome do processo no SimaPro	Fonte
<i>Soybean, at farm/BR mass</i>	<i>Agri-footprint</i>
<i>Soybean {BR} production –Alloc Def, U</i>	<i>Ecoinvent 3</i>
<i>Soybean {BR} production, on land recently transformed – Alloc Def, U</i>	<i>Ecoinvent 3</i>

A simulação de Monte Carlo foi executada com mil ciclos e nível de confiança de 95% para estimar as incertezas nas comparações entre as bases de dados disponíveis pelo software e este estudo. Cabe salientar que estas simulações foram realizadas considerando a SRS abordada no C1, cenário adotado como padrão deste estudo e o método de caracterização CML 2001.

Como observado na Figura 5.36, é possível afirmar com 95% de certeza que em 100% dos casos o PA, PAG, PDA e PTH são menores na SRS. Todavia, o PE e o PDO são, em 100% dos casos, maior ou igual quando comparados ao processo “*Soybean, at farm/BR mass*”. Cabe salientar que o inventário deste processo não contempla o uso de fertilizante sintético nitrogenado e defensivos agrícolas e tampouco as emissões decorrentes de seu uso. O inventário também apresenta valores menores de uso de fertilizantes fosfatados, potássicos, e calcário agrícola.

A Figura 5.37 apresenta os resultados ao comparar este estudo com a ACV do processo “*Soybean {BR} production –Alloc Def, U*” do *Ecoinvent*. De maneira geral, a SRS apresentou desvantagens ambientais. Os PDO, PDA e PAG

apresentaram, em 100% dos casos, valores iguais ou superiores aos resultados da base de dados. Esta diferença pode estar relacionada ao fato que o inventário da base de dados apresenta valores menores de uso de fertilizantes e não contempla as emissões de N_2O e CO_2 associados à MUT.

Os resultados da comparação deste estudo com o processo “*Soybean {BR} production, on land recently transformed – Alloc Def, U*” são apresentados na Figura 5.38. Esta comparação apresentou uma considerável desvantagem ambiental, quando comparado ao processo da base de dados. Os resultados com 95% de certeza apontam que o PDO, em 100% dos casos, é maior neste estudo, assim como ao PDA (96,1%) e PAG (94,3%).

As divergências apontadas nesta comparação podem estar relacionadas ao fato de o ICV da SRS ter sido construído a partir de dados primários, diferentemente dos ICVs das bases de dados, estes muitas vezes generalizados a partir de dados secundários. Estes resultados ressaltam a necessidade de estudos de ICV regionais para a adequada implementação da metodologia da ACV.

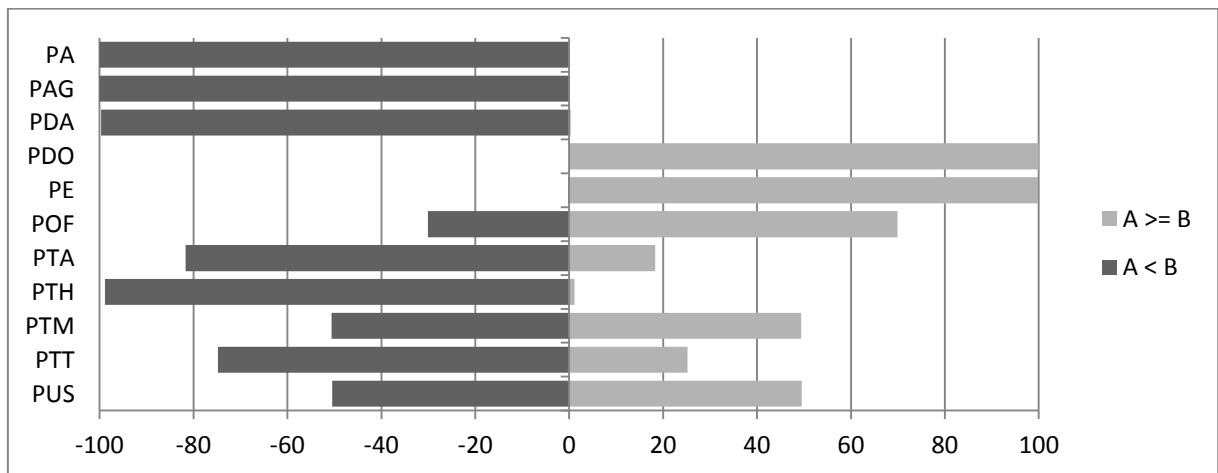


Figura 5.36. Análise de Monte Carlo – Comparação entre SRS (A) e a base de dados “Soybean, at farm/BR mass” (B) disponível no SimaPro - CML 2001.

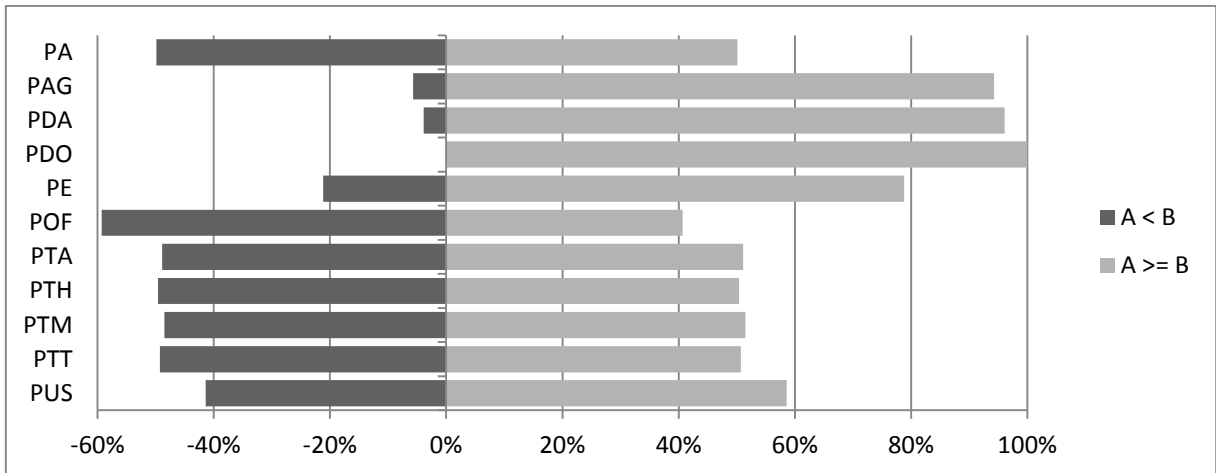


Figura 5.37. Análise de Monte Carlo – Comparação entre SRS (A) e a base de dados “Soybean {BR} production – Alloc Def, U (B)” disponível no SimaPro – CML 2001.

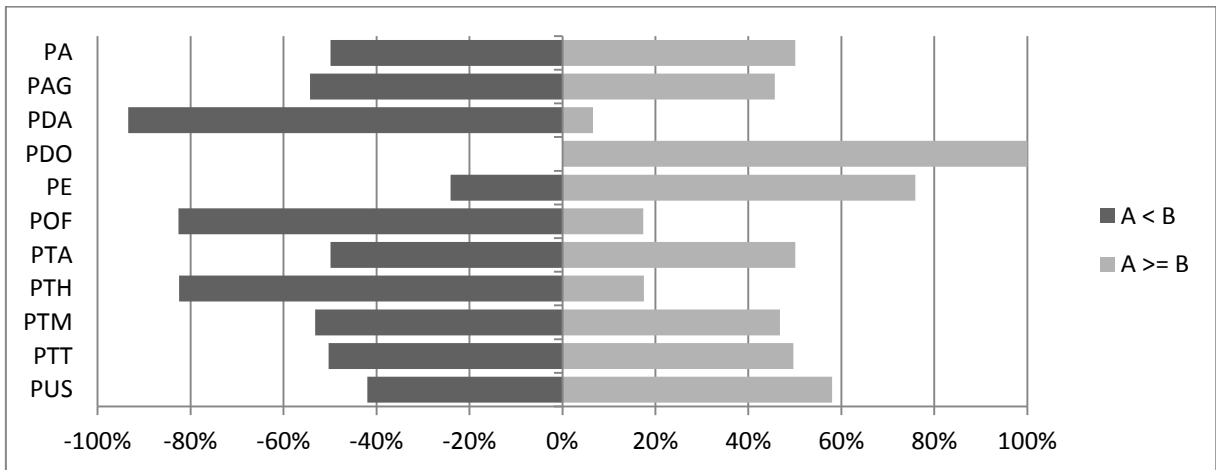


Figura 5.38. Análise de Monte Carlo – Comparação entre SRS (A) e a base de dados “Soybean {BR} production, on land recently transformed – Alloc Def, U” (B) disponível no SimaPro - CML 2001.

5.4.1. Análises das etapas das intervenções.

Com a finalidade de avaliar os impactos associados ao ato de realizar uma intervenção, uma análise de contribuição foi realizada. Os resultados são apresentados na Tabela 5.17. Cabe salientar que todos os fluxos de *inputs* e *outputs*, e os processos associados a cada intervenção foram modelados no SimaPro, de forma a determinar estes resultados. A análise apresenta que a intervenção que mais contribui para os impactos ambientais caracterizados é a fertilização, influenciada principalmente pelo PE.

Tabela 5.17. Análise de contribuição das intervenções para as diferentes categorias de impacto.

Categorias	Calagem	Her.¹	Ins.²	Fertilização	Semeadura	Her.³	Ins.⁴	Fun.⁵	Colheita
PA	18%	10%	3%	21%	12%	7%	4%	3%	22%
PAG	18%	2%	0%	5%	4%	3%	3%	2%	2%
PDA	15%	11%	3%	27%	8%	10%	7%	5%	15%
PDO	3%	11%	6%	9%	10%	11%	14%	10%	27%
PE	0%	0%	0%	99%	0%	0%	0%	0%	0%
POF	24%	11%	2%	15%	22%	10%	5%	4%	8%
PTH	5%	33%	3%	6%	36%	3%	8%	4%	4%
PTM	6%	18%	3%	16%	12%	17%	8%	6%	13%
PTT	1%	76%	0%	1%	2%	6%	14%	0%	0%
PUS	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

⁽¹⁾ Herbicida, etapa 1; ⁽²⁾ Inseticida, etapa 1; ⁽³⁾ Herbicida, etapa 3; ⁽⁴⁾ Inseticida, etapa 3; ⁽⁵⁾

Fungicida, etapa 3;

5.5. Simulação de Monte Carlo

Com base na probabilidade de distribuição dos resultados dos indicadores de caracterização, a incerteza foi investigada. O intervalo de confiança de 95% (Tabela 5.18) indica que, em 95% dos casos, os resultados caracterizados para a ACV da SRS, encontram-se dentro do intervalo (U,V). O coeficiente de variação (CV) é o indicador de dispersão nos resultados dos indicadores de categoria.

Tabela 5.18. Resultados da análise de incerteza para ACV caracterizada da SRS - C1.

Categoria de Impacto	Unidade (kg)	Média	Mediana	SD	CV^a	U (2.50%)	V (97.50%)	Err.Pad. da média
PA	SO ₂ eq	4.99E-04	5.12E-04	1.34E-03	268%	-2.14E-03	3.17E-03	2.68E-02
PAG	CO ₂ eq	9.91E-01	9.93E-01	2.39E-01	24.10%	5.42E-01	1.43E+00	2.41E-03
PDA	Sb eq	7.33E-04	7.34E-04	4.70E-05	6.41%	6.42E-04	8.27E-04	6.41E-04
PDO	CFC-11 eq	7.77E-08	7.76E-08	7.47E-09	9.62%	6.31E-08	9.26E-08	9.62E-04
PE	PO ₄ ⁻ eq	2.85E-02	2.85E-02	2.57E-03	9.02%	2.35E-02	3.35E-02	9.02E-04
POF	C ₂ H ₄ eq	2.97E-05	2.96E-05	5.57E-06	18.70%	1.93E-05	4.15E-05	1.87E-03
PTA	1,4-DB eq	2.09E-02	2.08E-02	7.03E-02	336%	-1.15E-01	1.60E-01	3.36E-02
PTH	1,4-DB eq	4.86E-02	4.77E-02	7.73E-02	159%	-1.03E-01	2.01E-01	1.59E-02
PTM	1,4-DB eq	2.86E-02	2.79E-02	1.54E-01	540%	-2.70E-01	3.31E-01	5.40E-02
PTT	1,4-DB eq	8.43E-04	8.57E-04	7.23E-03	858%	-1.34E-02	1.49E-02	8.58E-02
PUS	m ² a	3.16E+00	3.06E+00	1.71E+01	542%	-3.10E+01	3.68E+01	5.42E-02

^a Coeficiente de Variação

O CV (Tabela 5.18) e as barras de erros (Figura 5.39) sugerem que um grande grau de incerteza é introduzido sobre a toxicidade terrestre. O PDA, PDO e PE apresentaram os resultados mais seguros, respectivamente. O PAG apresentou média de 0,991 kg CO₂ eq. kg soja⁻¹ e CV de 24,1% oque sugere baixa dispersão, quando comparado aos resultados das outras categorias.

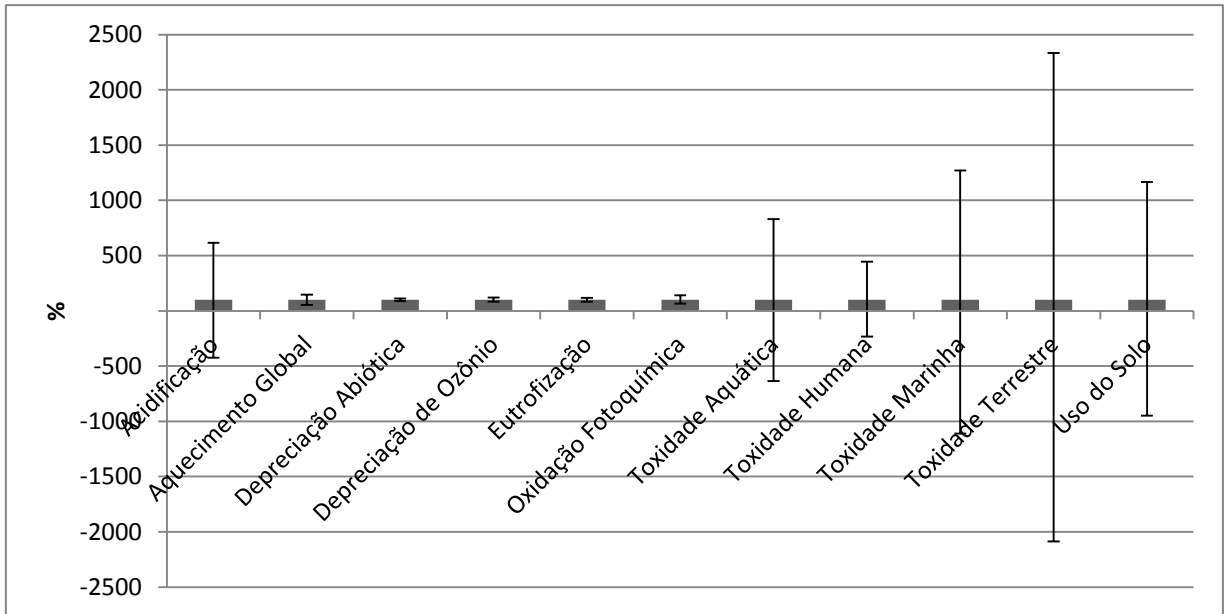


Figura 5.39. Análise de incerteza da ACV caracterizada da SRS (as barras de erro representam o intervalo de incerteza)

6. CONCLUSÃO

É consenso comum que a produção de soja pode ser apontada como a principal fonte de impactos ambientais para o CV do biodiesel de soja. Todavia, é uma pequena parcela de seu óleo que é destinada para este fim, destacando-se principalmente seu uso como fonte de proteína e mais recentemente para produção de produtos químicos, que buscam explorar sua característica renovável. Neste sentido, acredita-se que, devido à sua cadeia produtiva consolidada e sua versatilidade, é provável que a soja seja explorada por muitos anos,

O estado do Rio Grande do Sul destaca-se como um importante produtor mundial do grão e suas peculiaridades regionais podem influenciar a quantidade de insumos e conseqüentemente os impactos ambientais. Neste contexto, concluir-se que a representatividade geográfica dos dados para um estudo de ACV é um fator chave, principalmente na avaliação de produtos agrícolas diretamente dependentes das condições locais, como clima, temperatura e tipo do solo. Além disso, é imprescindível que em um ACV de produtos agrícolas, as emissões de óxido nitroso e a MUT sejam contempladas a partir de informações representativas sobre as transições que ocorreram antes do cultivo da cultura em estudo.

Neste contexto, o questionário adotado para coleta de dados primários do cultivo da soja mostrou-se satisfatório e proporcionou uma grande quantidade de dados. Todavia, a partir desta abordagem foi possível identificar, por exemplo, a variedade de máquinas usadas na produção de soja e as distâncias percorridas por estes equipamentos. Logo, nove intervenções na área onde a soja é cultivada foram necessárias, e foram usados três tipos diferentes de equipamentos durante estas intervenções. Portanto, este estudo sugere um fator chamado fator de ajuste que por meio de equações considera variáveis, como tipo de máquinas, distância percorrida, número de intervenções e a influência temporal de cada intervenção. Este fator

auxilia, por meio de cálculos, a ponderar os benefícios e consequências que muitas vezes podem ultrapassar o período temporal da safra em questão. Além disso, o emprego de mais de um insumo em uma intervenção é uma prática comum, logo, necessita de correções. Portanto, este fator de ajuste pode ser sugerido como um método para coleta de dados do cultivo de produtos agrícolas.

A partir do estudo das transições do uso do solo foi possível identificar que não houve desflorestamento para o cultivo da soja, mas revelou que a SRS avançou principalmente sobre pastagens (46,9%), lavouras de milho (35,1%) e lavouras de arroz (18,4%). Entretanto, somente o avanço sobre áreas de pastagens são consideradas como dMUT, ou seja, apenas 15,4% da SRS foi cultivada sobre áreas dMUT. As emissões da MUT foram estimadas a partir de diferentes cenários e apresentaram valores entre 0,03 a 1,03 t CO₂ eq.ha⁻¹.ano⁻¹. Como podemos observar a variação entre os cenários é considerável, podendo assim concluir que um estudo de ACV, de produtos agrícolas, não deve negligenciar as emissões relacionadas à MUT, sob pena de estar superestimando ou subestimando os verdadeiros impactos.

No entanto, é importante destacar que o avanço sobre a cultura de arroz exige atenção, especialmente porque essa expansão foi feita em áreas que usam um sistema de plantio chamado "micro-camaleão". Nesse caso, as emissões de GEE que podem resultar deste tipo da cultura em zonas húmidas não são abrangidas pela metodologia do IPCC quando esta área é utilizada para o cultivo de soja. Todavia, não há estudos sobre os impactos ambientais decorrentes desta prática, que podem ser consideráveis, principalmente pela necessidade de realizar a drenagem e preparação dos micro-camaleões para o cultivo da soja que após o período de pousio é preparada novamente para o cultivo do arroz.

As emissões de N₂O do solo apresentaram variações significativas, isto ocorre, devido à generalização de fatores de emissões disponíveis pelo IPCC. Entretanto, destaca-se a relação entre a MUT e esta fonte de emissão.

Cabe salientar que diferentemente de outros estudos, este não tratou a fase agrícola da produção do biodiesel de soja como uma "caixa preta", pelo contrário, o

estudo demonstra de forma transparente os fluxos envolvidos em cada etapa do cultivo da soja. Além disso, dois subsistemas foram criados para as emissões relacionadas à MUT e N₂O do solo. Esta abordagem proporcionou uma avaliação detalhada dos impactos e uma rica quantificação dos resultados, o que possivelmente será um facilitador para o uso dos dados por tomadores de decisão.

A ACV foi conduzida a partir do inventário contemplado neste estudo e dos dados secundários disponíveis nas bases de dados do SimaPro e literatura consultada. A análise de contribuição do escore caracterizado revelou que a produção do Diesel e o preparo do solo são majoritariamente as principais fontes de impacto no cultivo da soja para as categorias em estudo. O processo de produção do Diesel da *LCA FOOF DK* foi apontado como o principal contribuinte em várias categorias de impacto. Porém, uma análise de sensibilidade revelou significativas influências deste processo em diferentes categorias, o que pode ter influenciado significativamente os resultados. Além disso, a inexistência de base de dados da produção do Diesel brasileiro pode distanciar este resultado da realidade.

Várias substâncias foram responsáveis pelo mau desempenho do Diesel, porém no preparo do solo destacou-se o uso do calcário e do pesticida 2,4-D. As emissões de CO₂ do uso do calcário contribuíram majoritariamente para o PAG (47,15%) quando o cenário n-MUT é considerado, e o pesticida 2,4-D influenciou outras três categorias de impacto. A partir desses resultados, observa-se a necessidade de se avaliar o uso excessivo de corretivos em solos. Os impactos decorrentes do uso do pesticida 2,4-D apresentaram considerável sensibilidade, e um erro em suas estimativas pode influenciar significativamente os resultados, principalmente devido a pouca informação sobre sua real disposição.

Quando a MUT foi considerada o PGA foi majoritariamente influenciado por esta fonte. Os resultados apresentaram que, para produzir um kg de soja são emitidos 0,732 kg de CO₂ eq, quando considerado o C1 deste estudo. No entanto, quando a MUT não é considerada, essas emissões são na ordem de 0,357 kg CO₂ eq. Kg soja⁻¹. Uma análise de sensibilidade revelou que o PAG é sensível às emissões do uso do calcário agrícola neste cenário.

Para os resultados do Potencial de Eutrofização a abordagem por etapas de cultivo revelou-se uma importante aliada, proporcionando a determinação da etapa responsável pelo impacto da categoria. Neste contexto, revelou-se que a etapa de semeadura e fertilização (Etapa 2) contribui com 99,6% dos impactos desta categoria em decorrência do uso de fertilizante fosfatado. Todavia, a análise de sensibilidade não há influência sobre a escolha da disposição dos fertilizantes, porém, a sensibilidade é considerável, demonstrando que se um erro na consideração realizada neste estudo pode influenciar consideravelmente o resultado. Frente a este resultado, pode-se concluir que há uma necessidade de maiores informações sobre o balanço de fósforo em sistema de plantio direto para o cultivo da soja.

A análise de incerteza de Monte Carlo foi realizada para comparar os resultados deste estudo com três bases de dados disponíveis no SimaPro. Esta simulação demonstra que há grandes variações nos resultados, diretamente dependentes dos fluxos existentes nos inventários. Em geral, quando a MUT é considerada, a SRS apresenta menores emissões de GEE e, em todas as comparações, o PDO e o PDA são maiores. Cabe salientar que, este resultado demonstra que ao considerar à transição floresta-lavoura de soja, em um estudo de ACV, este pode estar superestimando os impactos do PGA, devido à enorme emissão de GEE relacionado a esta transição. Todavia, este resultado é um alerta para que se ressalte a necessidade de coibir o desmatamento para o cultivo da soja.

Portanto, a técnica da ACV mostrou-se eficiente para construção do inventário e sua avaliação e o uso do questionário e do fator de ajuste foram imprescindíveis para realização do estudo. Cabe salientar que, os resultados do ICV da soja, apresentados neste estudo, podem ser empregados para qualquer produtor derivado da soja.

7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir, sugerem-se algumas propostas que podem ser utilizadas em trabalhos futuros:

- Elaborar a ACV do biodiesel produzido a partir da soja produzida no RS e qualquer outro produto derivado da cultura da soja.
- Elaborar ACV dos chamados “*green materials*” que utilizam em suas rotas de síntese o óleo de soja.
- Elaborar a ACV a partir do ICV apresentado neste estudo utilizando uma base de dados da produção do Diesel brasileiro.
- Realizar um estudo da volatilização, absorção, sorção e lixiviação de herbicidas, assim como modelagem de coeficientes de participação para os herbicidas entre as esferas em que pode ser distribuir.
- Realizar um estudo dos impactos ambientais do cultivo da soja em áreas de arroz.
- Realizar um estudo comparativo do ICV apresentado neste estudo com outros publicados.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009). NBR ISO 14040. Gestão ambiental. **Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura**. Brasil: ABNT. Agosto. 21p. (a)

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009). NBR ISO 14044 Gestão ambiental. **Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e orientações**. Brasil: ABNT. Agosto. 46p. (b)

ADHVARYU, A.; Erhan, S. Z. **Epoxidized soybean oil as a potential source of high-temperature lubricants**. *Industrial Crops and Products* 15. 18 dezembro 2001. (ISSN 247–254)

AMEZAGA, J. M.; Maltiz, G. V.; Boyes, S. **Assessing the Sustainability of Bioenergy Projects in Developing Countries: a framework for policy evaluation**. *Newcastle*. 2010. (ISBN 978-9937-8219-1-9).

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **BOLETIM MENSAL DO BIODIESEL**. Agosto 2013. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em Outubro 2013.

ARANSIOLA, E. F.; Ojunmu, T.V.; Oyekola, O.O.; Madzimbamuto, T.F.; Ikhuomeregbe, D.I.O. **A review of current technology for biodiesel production: State of the art**. *Biomassa and Bioenergy* 61. 2013. (ISSN 2014 274-297)

BALDI, G.; PARUELO, J. M. **Land-use and land cover dynamics in South American temperate rangelands**. *Ecology and Society* 13(2). 2008.

BASTOS, G.; Nakazone, D.; Bruggemann. G.; Melo. H. **Rally da safra 2007**. In: **Uma avaliação do plantio direto no Brasil**. Revista Plantio Direto. Passo Fundo. setembro/outubro de 2007. Edição 101.

BENNETT, G. F. **Integrated Life-Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes**: Guido Sonnemann. Francesc Castells. Marta Schuhmacher. Lewis Publishers. Boca Raton. FL. 2004. . 386 pp.. ISBN 1-56670-644-0. Journal of Hazardous Materials. 108. 218-219.

BIEDA, Boguslaw. **Application of stochastic approach based on Monte Carlo (MC) simulation for life cycle inventory (LCI) to the steel process chain: Case study**. Science of the Total Environment. 2013. (ISSN 481 (2014) 649-655)

BRASIL. Ministério da Agricultura. Pecuária e Abastecimento. **AGROFIT – Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Disponível <<http://www.agricultura.rs.gov.br/>> .Acesso em Janeiro de 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 9. de 2 de junho de 2005. Disponível <<http://www.agricultura.rs.gov.br/>> .Acesso em Setembro de 2014.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2013: Ano Base 2012**. Rio de Janeiro. 2013. 288p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por veículos Automotores Rodoviários**. 2011. Disponível <http://www.mma.gov.br>. Aceso em Abril de 2014.

BROCH, A.; Hoekman. S. K.; Unnasch. S. **A review of variability in indirect land use change assessment and modeling in biofuel policy**. Environmental Science & Policy 29. 3 Fevereiro 2013. (ISSN 1 4 7 – 1 5 7)

BRUJIN, H. **Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards**. Volume 7. New York: Kluwer Academic Publishers. 2004. 675p. ISBN 0-306-48055-7

CAMPO, R.J.; Lantmann. A.F. **Efeitos de micronutrientes na fixação biológica do nitrogênio e produtividade da soja**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília. v.33. n.8. p.1245-1253. 1998.

CASTANHEIRA, É. G.; Freire, F. **Greenhouse gas assessment of soybean production: implications of land use change and different cultivation systems**. Journal of Cleaner Production. may 2013. 54 (2013) 49-60.

CASTANHEIRA, E. G.; Grisoli. R.; Freire. F.; Pecora. V.; Coelho. S. T.; **Environmental sustainability of biodiesel in Brasil**. Energy Policy 65. Setembro. 2013. (ISSN 680-691).

CAVALETT, O. **Análise do Ciclo de Vida da Soja**. São Paulo. 2008. 206p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Brasil.

CAVALETT, O.; Ortega, E. **Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in Brazil**. Journal of Cleaner Production. september 2010.

CHEREBE, J.R.B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos**. 1º Reimpressão ed. Qualitymark. 2002. 120p.

CHERUBINI, F. **GHG balances of bioenergy systems: Overview of key steps in the chain and methodological concerns**. Renewable Energy 35 (2010) 1565–1573. 2010.

CML. Centre of Environmental Scienc. **Quality Assessment for LCA**. Centre of Environmental Science. Leiden University. 1999. Disponível em: <<http://www.leiden.edu>>. Acesso em: junho de 2014.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Primeiro Levantamento Grãos Safra 2013/2014 - Out/2013**. 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: Outubro 2013. (a)

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas - 1ª safra Milho 2012/13**. 2013. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: Outubro 2013. (d)

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas - Arroz 2012/13**. 2013. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em Outubro 2013. (c)

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas – Soja 2012/13**. 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em Outubro 2013. (b)

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries Históricas Soja Produtividade: Safras 1976/77 a 2013/14**. Disponível <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 16 de fevereiro de 2014.

DOKA, G.; HISCHE, R. **Waste treatment and assessment of long-term emissions**. Journal LCA. 2005. (ISSN 10(1):77–84)

EC. EUROPEAN COMMISSION. **Commission decision 2010/335/EU of 10 June 2010 on guidelines for the calculation of land carbon stocks for the purpose of Annex V to directive 2009/28/EC**; 2010. (a)

EC. EUROPEAN COMMISSION. **Directive 2009/28/ec of the european parliament and of the council on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing**. Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC of 23 April 2009.

EC. EUROPEAN COMMISSION. **Report from the commission on indirect land-use change related to biofuels and bioliquids. COM (2010) 811 final**; December 22. 2010. (b)

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Biomassa para Química Verde**. Brasília: Embrapa Agroenergia. 2013. 196p. (ISBN: 987-85-7035-230-9).(b)

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Embrapa**

oferece treinamento em avaliação de ciclo de vida. Embrapa. Brasília. 25 de outubro de 2013. Disponível em <<http://www.embrapa.com.br/>>. Acesso 20 de novembro de 2013. (a)

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina. safras 2012/2013 e 2013/2014.** Passo Fundo. Embrapa Trigo e Apassul. 2012. 242p. (ISSN 1516-5582)

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS **Final 2011 Data and Preliminary 2012 Data for 5 major commodity aggregates Now Available.** November 2013. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em Novembro 2013.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Biofuels and the sustainability challenge: **A global assessment of sustainability issues. trends and policies for biofuels and related feedstocks.** Trade and Markets Division. Rome. 2013. Disponível: <<http://www.fao.org/docrep/017/i3126e/i3126e.pdf>>. Acesso em fevereiro de 2014.

FEE. FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. Secretaria de Coordenação e Planejamento. **A expansão da soja no Rio Grande do Sul 1950-75.** Porto Alegre. 1986. 105p.

FRITSCHÉ, U. R. **Bioenergy life cycle analysis: beyond biofuels.** In: **Background paper for the EEA expert meeting in Copenhagen.** June 10. 2008 (Draft version). O" ko Institute; 2008

GNANSOUNOU, E.; Dauriat, A.; Villegas, J.; Panichelli, L.; **Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances. Review.** Bioresource Technology. 2009. 100 (2009) 4919–4930

GRISOLI, R.; Nogueira, A.; Castanheira, É.; Freire, F.; Silva, G. A.; Coelho, S.; **Emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida do Biodiesel de Soja produzido no Brasil.** III Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços. Maringá. 2012. p. 464. ISBN: 978-85-88020-78-8.

HUMPENODER, F.; Schaldach, R.; Cikovani, Y.; Schbek, L. **Effects of land-use change on the carbon balance of 1st generation biofuels: An analysis for the European Union combining spatial modeling and LCA.** Biomassa and Bionergy. 3 de março de 2013. (ISSN I66-178)

HUNGRIA, M.; Franchini, J.; Campo, R.; Graham, P.; **The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America.** In: Werner. D.. Newton. W. (Eds.). Nitrogen Fixation in Agriculture. Forestry. Ecology. and the Environment. Springer. Netherlands. pp. 25–42. 2005 (a)

HUNGRIA, M.; Loureiro, M.; Mendes, I.; Campo, R.; Graham, P. **Inoculant preparation. production and application.** In:Werner. D..Newton. W. (Eds.).Nitrogen Fixation in Agriculture. Forestry Ecology and the Environment. Springer. Netherlands. pp. 223–253. 2005(b)

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 1920/2006 - Séries Históricas e Estatísticas.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br> >. Acesso em: Junho 2013. (b)

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Quantidade produzida (t) de soja. segundo as unidades da Federação. Mesorregiões. Microrregiões e os Municípios produtores. Brasil 2005 a 2011.** 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em maio de 2013. (a)

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Uso da Terra no Estado do Rio Grande do Sul.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. p. 151. 2010.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANG. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis.** Stockholm. 2013.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANG. **Generic methodologies applicable to multiple landuse categories.** In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. vol 4: Agriculture. Forestry and

Other Land Use. IGES. Japan. 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>> (b)

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **N₂O emissions from managed solos. and CO₂ emissions from lime and urea application.** In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. vol 4: Agriculture. Forestry and Other Land Use. IGES. Japan. 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>> (c)

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** IGES. Japan. 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>>. (a)

IRGA. INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Dados cultivo da soja em áreas de arroz.** 2013. Entrevista com Pesquisadora IRGA Cláudia Erna Lang. (b)

IRGA. INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ. **Estimativa da safra de arroz 2013/2014.** 25 Outubro 2013. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/>>. Acesso em: Outubro 2013. (a)

JANULEVICIUS, A.; Juostas, A.; Pupinis, G; **Tractor's engine performance and emission characteristics in the process of ploughing.** Energy Conversion and Management 75. 2013. (ISSN 2013 498-508).

JAVNI, I.; Hong, D.P.; Perovic, Z. S. **Polyurethanes from Soybean Oil. Aromatic. and Cycloaliphatic Diamines by Nonisocyanate** Route. Applied Polymer Science. 14 junho de 2012.

KENDALL, A.; Chang, B. **Estimating life cycle greenhouse gas emissions from corn ethanol: a critical review of current U.S. practices.** Journal of Cleaner Production. 18 de abril de 2009. (ISSN 1175–1182)

KIAKALAIEH, A.; Amin, N.; Mazaheri, H. **A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil.** Applied Energy. 28 de dezembro de 2012. (ISSN 683–710)

KIST, B. [Editor]. **Anuário brasileiro da soja**. Santa Cruz. p. 144. 2003. (CDD: 633.340981).

LAPOLA, D. M.; Martinelli, L. A.; Peres, C. A.; Ometto, J.P.H.B.; Ferreira, M.E.; Nobre, C.A.; Aguiar, A.P.D.; Bustamante, M.M.C.; Cardoso, M.F.; Costa, M.H.; Joly, C.A. Leite, C.C.; Moutinho, P.; Sampaio, G.; Strassburg, B.B.N.; Vieira, I.C.G. **Pervasive transition of the Brazilian land-use system. Review Article**. Nature Climate Change. 20 de dezembro de 2013.

MALÇA, J.; Freire, F. **Addressing land use change and uncertainty in the life-cycle assessment of wheat-based bioethanol**. Energy. 22 Março 2012.

MALÇA, J.; Freire, F. **Life-cycle studies of biodiesel in Europe: A review addressing the variability of results and modeling issues**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15. 2 de setembro 2010. (338–351).

MENGEL, K.; Kirkby, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5 ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2001. 849p.

MENTEN, F.; Cheze, B.; Patouillard, L.; Bouvart, F.; **A review of LCA greenhouse gas emissions results for advanced biofuels: The use of meta-regression analysis**. Renewable and Sustainable Energy Review. 19 de Junho de 2013. (ISSN 108-134)

MF. Ministério da Fazenda. **Panorama do mercado de fertilizantes**. Secretaria de Acompanhamento Econômico – SEAE. Panoramas Setoriais. Disponível em: <<http://www.seae.fazenda.gov.br>>. Acesso em: março de 2014.

MILAZZO, M.F.; Spina, F.; Carvalho, S.; Bart, J.C.J. **Sustainable soy biodiesel**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14 de julho de 2013. (ISSN 806–852)

MME. Ministério de Minas e Energia. **Produto RT 55 Perfil do Calcário Agrícola**. Secretaria de Geologia. Mineração e Transformação Mineral – SGM. Setembro. 2009.

MULLER, G.T. **Emprego da pegada hídrica e da análise de ciclo de vida para a avaliação do uso da água na cadeia produtiva do Biodiesel de Soja**. Porto

Alegre. 2012. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil

MURPHY, R. j.; Guo, M. **LCA data quality: Sensitivity and uncertainty analysis.** Science of the Total Environment. 2012. (ISSN 435-436 (2012) 230-243)

PANICHELLI, L.; Dauriat, A.; Ganansounou, E. **Life cycle assessment of soybean-based biodiesel in Argentina for export.** Journal Life Cycle Assess. 2008. (ISSN 14:144-159).

POUSA, G. P. A. G.; Santos, A. L. F.; Suarez, P. A. Z. **History and policy of biodiesel in Brazil.** Energy Policy. July 2007. (ISSN 35 (2007) 5393–5398).

PRÉ. Pré – Sustainability. **SimaPro Tutorial.** Report version 5.1. San Francisco. California. USA. Maio. 2014.

RAUCCI, G. S.; Moreira, C. D. ; Alves, P. A.; Mello, F. F. C.; Frazão, L. A.; Cerri, C. E. P.; Cerri, C. C. **Greenhouse gas assessment of Brazilian soybean production: a case study of Mato Grosso State.** Journal of Cleaner Production. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.02.064. 2014

REIJNDERS, L.; Huijbregts, M.A.J.; **Nitrous oxide emissions from liquid biofuel production in life cycle Assessment.** Environmental Sustainability. 20 agosto de 2011. (ISSN 432-437)

ROY, P.; Nei, D.; Orikasa, T.; Xu, Q.; Okadome, H.; Nakuma, N.; Shiina, T. **A review of live cycle assessment (LCA) on some food products.** Journal of Food Engineering. June. 2008. 90(2009)1-10.

RUCIGAJ, A.; Alic, B.; Krajnc, M.; Sebenik, U. **Investigation of cure kinetics in a system with reactant evaporation: Epoxidized soybean oil and maleic anhydride case study.** European Polymer Journal. 8 janeiro de 2014. (ISSN 105-116)

SALVAGIOTTI, F.; Cassman, K.G.; Specht, J.E.; Walters, D.T.; Weiss, A. Dobermann, A. **Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review.** Field Crops Research. 2008.

SANTOS, E. D.; Beling, R. R.; Silveira, D. N. D.; Santos, C. E. D.; Reetz, E. R.; Silveira, D. N. D.; Neumann, R. I.; Jungblut, G.; Ávila, S. ; Assmann, I.; Giuliani, R. ; Machado, M. O. **Anuário brasileiro do Arroz**. Gazeta Santa Cruz Ltda. (ISSN 1808-1088). 2013

SBCS. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre. 2004. 400 p

SEBRAE. SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO AS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Cartilha Biodiesel**. Brasília. 2007. 68 p.

SINDICALC. SINDICATO DA INDÚSTRIA DE CALCÁRIO NO RIO GRANDE DO SUL. Presidente do Sindicalc. **Produção e comercio de calcário no RS**. Depoimento: [Agosto de 2013]. Porto Alegre. Entrevista concedida a Vinícius Gonçalves Maciel.

THOMPSON, J.C.; HE, B. B. **Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks**. Applied Engineering in Agriculture. v.22. p.261–265. 2006.

VILLANUEVA, J.L.C. **Análisis de la Confiabilidade de las Metodologías EICV**. Oviedo. 2012. 144p. (Mestrado em gestão de projetos). Universidade de Oviedo. Espanha

YANG, D.; Peng, X.; Zhong, L.; Cao, X.; Chen, W.; Zhang, X. ; Liu, S.; Sun, R. **“Green” films from renewable resources: Properties of epoxidized soybean oil plasticized ethyl cellulose films**. Carbohydrate Polymer. 14 de dezembro de 2013. (ISSN 198– 206)

APÊNDICE A

PESQUISA DA SOJA GAÚCHA SAFRA 2012/2013

<https://docs.google.com/forms/d/1tXkGnpQ0ScT8e86LsPW56ZZz...>

[Editar este formulário](#)

PESQUISA DA SOJA GAÚCHA SAFRA 2012/2013

NOME DA PESQUISA: PRODUÇÃO DA SOJA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.

Mestrando: Vinicius Gonçalves Maciel. Telefone: 5181938745; E-mail:

vinicius.maciel@acad.pucrs.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5601580412065357>

Curso: Pós-Graduação Stricto-sensu - Nível Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais.

Orientador: Dr. Marcus Seferin. E-mail: seferin@pucrs.br

Grupo de Desenvolvimento de Materiais e Tecnologias Limpas, FAQUI - PUCRS

A pesquisa esta dividida em 4 etapas.

ETAPA 1: Preparo do solo: Práticas realizadas antes da sementeira.

ETAPA 2: Tratamento de semente, sementeira e fertilização: Práticas realizadas durante o plantio.

ETAPA 3: Tratos Culturais: Práticas realizadas durante o crescimento da soja.

ETAPA 4: Colheita: Produtividade e método de colheita.

CONSIDERE A SAFRA 2012/2013 PARA RESPONDER ÀS PERGUNTAS

ETAPA 1 - PREPARO DO SOLO

As perguntas abaixo refere-se as atividades realizadas durante o preparo do solo.

1.1. Qual seu município?

1.2. Em qual das opções você melhor se enquadra?

- Cooperativa - Área Técnica
- Emater/Ascar
- Produtor Rural
- Profissional da área Técnica
- Secretaria Municipal da Agricultura
- Sindicato Rural
- Outro: _____

1.3. Que tipo de Sistema de Plantio é predominante em seu município?

- Plantio Direto
- Convencional
- Plantio Mínimo
- Outro: _____

1.4. CALAGEM - Indique o intervalo entre calagens.

- A cada 2 anos
- A cada 3 anos
- A cada 4 anos

A cada 4 anos

mais de 5 anos

Outro:

1.5. CALAGEM - Qual quantidade média de calcário aplicada (kg/ha) ?

1.6. CALAGEM - Como o calcário é aplicado?

Quais dos equipamentos abaixo são utilizados para a prática da calagem.

Trator mais aplicador

Caminhão com pulverizador a lança

Outro:

1.7. CALAGEM - Qual o alcance da aplicação? Considerando o equipamento utilizado para realizar a calagem.

Indique a largura que o aplicador alcança em metros.

1.8. Indique o número de vezes que há necessidade de entra na lavoura nesta etapa (Preparo do Solo) de acordo com aplicações abaixo:

	1	2	3	4	5	Zero
Aplicações Simultâneas (Inseticida + Fungicida)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aplicações Simultâneas (Inseticida + Herbicida)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Apenas Herbicidas (Antes da semeadura)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Apenas Inseticidas (Antes da semeadura)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Apenas Fungicidas (Antes da semeadura)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

1.09. Marque quais os agrotóxicos utilizados nesta etapa.

Acefato

Cascade - Flufenoxurom

Connect - Imidacloprido + beta-ciflutrina

Dimilin - Diflubenzurom

- DMA - 2,4 D
- Dual Gold - S-metolacoloro
- Flumysin - Flumioxazina
- Folicur - Tebuconazole
- Gamit - Clomazona
- Gramocil - Diurom + dicloreto de paraquate
- Gramoxone - Dicloreto de paraquate
- Impact - Flutriafol
- Intrepid - Metoxifenozido
- Lorsban - Clorpirifós
- Nativo - Trifloxistrobina + tebuconazole
- Opera - Epoxiconazole + piraclostrobina
- Prio - Azoxistrobina
- Roundup - Glifosato
- Stallion - Gama-cialotrina
- Talstar - Bifentrina
- Tracer - Espinosade
- Outro: _____

1.10. AGROTÓXICOS - Qual a quantidade TOTAL (EM LITROS) de cada agrotóxico aplicado nesta etapa (Preparo do Solo) por hectare?

	0,5 L	1,0 L	1,5 L	2,0 L	2,5 L	3,0 L	3,5 L	4,0 L	Zero
Herbicidas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inseticidas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fungicidas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

1.11. Em média quantos litros de diesel são gastos por hectare na calagem?

ETAPA 2 - TRATAMENTO DE SEMENTES, SEMEADURA E FERTILIZAÇÃO.

Nesta etapa as perguntas são relacionadas as práticas de tratamento de sementes, semeadura e fertilização.

2.1. TRATAMENTO DE SEMENTES - Marque as práticas realizadas para tratar as sementes.

- Fungicidas
- Inseticidas
- Herbicidas
- Molibdenio
- Inoculante

Não realizo tratamento

Outro: _____

2.2. TRATAMENTO DE SEMENTES - Quantidade TOTAL de agrotóxico aplicado em Litros por hectare

	0,05L	0,06L	0,07L	0,08L	0,09L	0,10L	0,15L	0,20L	Zero
Herbicida	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inseticida	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fungicida	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2.3. SEMEADURA. Quantidades de sementes utilizadas (kg/ha)

Quantidade de sementes de soja semeadas por hectare.

2.4. NITROGÊNIO - Qual a quantidade de NITROGÊNIO é aplicada por hectare?

Se não há aplicação passe para pergunta 2.6.

2.5. Qual a principal fonte de nitrogenio utilizada?

2.6. FÓSFORO - Qual a quantidade FÓSFORO é aplica por hectare?

2.7. Qual a principal fonte de Fósforo utilizada?

2.8. POTÁSSIO - Qual a quantidade POTÁSSIO é aplica por hectare?

2.9. Qual a principal fonte de potássio utilizada?

2.10. Fertilizante e Sementes são aplicadas ao mesmo tempo?

- Sim
 Não

2.11. Quantos litros de Diesel são utilizados para SEMEADURA E ADUBAÇÃO por hectare.

Para realizar a semeadura e a fertilização.

2.12. Largura do implemento nesta Etapa (Fertilizantes e sementeira)

Alcance do implemento utilizado para aplicação do fertilizantes e/ou sementeira

ETAPA 3 - CRESCIMENTO DA SOJA. APÓS SEMEADURA ATÉ COLHEITA**3.1. APLICAÇÕES - Quanta vezes você entra na lavoura e para qual tipo de aplicação?**

Algumas vezes podemos aplicar mais de um agrotóxico ao mesmo tempo. Considere a última safra e marque quais agrotóxicos você aplicou em cada vez que entrou na lavoura.

	1	2	3	4	5	Zero
Aplicações simultâneas (Inseticida e Fungicida) (Após plantio)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aplicações simultâneas (Inseticida e Herbicida) (Após plantio)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Apenas Herbicida (Após plantio)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Apenas Inseticida (Após plantio)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Apenas Fungicida (Após plantio)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3.2. AGROTÓXICOS. Qual a quantidade TOTAL de cada tipo de agrotóxico aplicado após a sementeira por hectare?

	1,0 L	1,5 L	2,0 L	2,5 L	3,0 L	3,5 L	4,0 L	4,5 L	5,0 L	Zero
Herbicida	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inseticidas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Fungicidas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3.3. Marque quais os agrotóxicos utilizados nesta etapa.

- Acefato
- Cascade - Flufenoxurom
- Connect - Imidacloprido + beta-ciflutrina
- Dimilin - Diflubenzurom

- DMA - 2,4 D
- Dual Gold - S-metolaclopro
- Flumysin - Flumioxazina
- Folicur - Tebuconazole
- Gamit - Clomazona
- Gramocil - Diurom + dicloreto de paraquate
- Gramoxone - Dicloreto de paraquate
- Impact - Flutriafol
- Intrepid - Metoxifenozido
- Lorsban - Clorpirifós
- Nativo - Trifloxistrobina + tebuconazole
- Opera - Epoxiconazole + piraclostrobina
- Priori - Azoxistrobina
- Roundup - Glifosato
- Stallion - Gama-cialotrina
- Talstar - Bifentrina
- Tracer - Espinosade
- Outro: _____

3.4. Em média quantos litros de Diesel são consumidos para cada pulverização por hectare?

3.5. Qual a largura da barra do pulverizador utilizado?

ETAPA 4 - COLHEITA

4.1. PRODUTIVIDADE - Marque aproximadamente qual a produtividade de soja por hectare.


4.2. Largura da colheitadeira

Qual a largura da colheitadeira nesta etapa?

4.3. Quantos litros de Diesel são gastos pela colheitadeira por hectare?

Enviar

Nunca envie senhas em Formulários Google.

Powered by


Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

[Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Termos Adicionais](#)

APÊNDICE B

Tabela B1. Valores *default* e considerações assumidas para cálculo das emissões de N₂O e resultados parciais. (Continua)

Variáveis	Valor	Considerações e Fontes
$EF1$	0,01 kg N ₂ O-N. (kg N input) ⁻¹	Valor <i>default</i> (IPCC, 2006) Tabela 11.1
F_{SN}	5,51 kg.ha ⁻¹	Obtido a partir do questionário
F_{CR}	40,89 kg N.ano ⁻¹	Calculado Eq. 4.11
$Area_{(T)}$	1 ha	Considerou-se valor igual a um, afim de calcular a quantidade por hectare.
$Area_{burnt(T)}$	0	Considerou-se igual à zero, pois não há registro de queimadas após colheita da cultura da soja.
C_f	0	Desconsiderado, pois não há queimadas.
$Frac_{Renew(T)}$	1	Valor <i>default</i> para as culturas anuais (IPCC, 2006)
$Frac_{Remove(T)}$	0	Assumiu-se que não há remoção de restos de cultura.
$Crop_{(T)}$	2702,38 kg ms. ha ⁻¹	Calculado Eq.4.12
$Yield_{Fresh}$	2970 kg.ha ⁻¹ .	Obtido a partir do questionário
$N_{Ag(T)}$	0,008 kg N.ms ⁻¹	Valor <i>default</i> (IPCC, 2006) Tabela 11.2
$N_{Bg(T)}$	0,008 kg N.ms ⁻¹	Valor <i>default</i> (IPCC, 2006) Tabela 11.2
$R_{Ag(T)}$	1,43 kg ms.(kg ms.) ⁻¹	Calculado Equação 4.13
$AG_{DM(T)}$	3,86	Calculado Equação 4.14
DRY:	0,91 kg ms. (Kg de peso fresco) ⁻¹	Valor <i>default</i> (IPCC, 2006) Tabela 11.2
Slop_(T)	0,93 adm	Valor <i>default</i> (IPCC, 2006) Tabela 11.2
Intercept_(T)	1,35 adm	Valor <i>default</i> (IPCC, 2006) Tabela 11.2

Tabela B1. Valores *default* e considerações assumidas para cálculo das emissões de N₂O e resultados parciais. (Conclusão)

R_{BG}	0,46 kg ms.(kg ms) ⁻¹ .	Calculado Equação 4.8
R_{BG-BIO}	0,19 adm	Valor <i>default</i> (IPCC, 2006) Tabela 11.2
F_{SOM (Não- MUT)}	0 kg N. ha.ano ⁻¹	Calculado Equação 4.16
F_{SOM (C1)}	15,26 kg N. ha.ano ⁻¹	Calculado Equação 4.16
F_{SOM (C2)}	5,06 kg N. ha.ano ⁻¹	Calculado Equação 4.16
F_{SOM (C3)}	-	Calculado Equação 4.16
F_{SOM (C4)}	43,37 kg N. ha.ano ⁻¹	Calculado Equação 4.16
ΔSOC	-	Calculado Seção 5.1.4
R	15 adm	Valor <i>default</i> , empregado em mudanças de florestas ou pastagens para lavouras (IPCC, 2006)
Frac_{GAS F}	0,1 kg N volatilizado.(kg N aplicado) ⁻¹	Valor <i>default</i> (IPCC, 2006) Tabela 11.3
F_{ON}	0	Assumiu-se que não há aplicação de fertilizantes orgânicos
Frac_{GAS M}	0	Assumiu-se que não há aplicação de fertilizantes orgânicos
EF₄	0,01 kg N-N ₂ O. (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilizado) ⁻¹	Valor <i>default</i> (IPCC, 2006) Tabela 11.3
F_{PRP}	0	Assumiu-se que não há aplicação de fertilizantes orgânicos
Frac_{LEAC-(H)}	0,3 kg N.(kg de N aplicado) ⁻¹	Valor <i>default</i> (IPCC, 2006)
EF₅	0,0075 kg N ₂ O-N.(kg N lixiviado) ⁻¹	Valor <i>default</i> (IPCC, 2006) Tabela 11.3

APÊNDICE C

Tabela C1. Resultados das emissões diretas, indiretas e totais de N₂O a partir de solo agrícola.

Cenários	#	Valor Médio	Valor Mínimo	Valor Máximo
		(kg N ₂ O. kg soja ⁻¹).		
n-MUT	InD	5,83E-05	4,97E-07	1,08E-03
	D	2,46E-04	2,98E-05	1,33E-03
	Total	3,04E-04	3,03E-05	2,41E-03
C1	InD	7,64E-05	9,01E-07	1,25E-03
	D	3,27E-04	5,40E-05	1,57E-03
	Total	4,03E-04	5,49E-05	2,82E-03
C2	InD	6,43E-05	6,31E-07	1,14E-03
	D	2,73E-04	3,79E-05	1,41E-03
	Total	3,37E-04	3,85E-05	2,55E-03
C3	InD	5,83E-05	4,97E-07	1,08E-03
	D	2,46E-04	2,98E-05	1,33E-03
	Total	3,04E-04	3,03E-05	2,41E-03
C4	InD	1,10E-04	1,64E-06	1,54E-03
	D	4,75E-04	9,87E-05	2,02E-03
	Total	5,85E-04	1,00E-04	3,56E-03

^{Ind.} Emissões indiretas de N₂O a partir do solo no cenário.

^{D.} Emissões diretas de N₂O a partir do solo no cenário.

^{Total.} Soma total das emissões diretas e indiretas em cada cenário.

Tabela C2. Simulação de contribuição da escolha do caminhão Euro III e Euro IV (Método CML 2001)

Categorias	Euro 4	Euro 3
Acidificação	15%	18%
Aquecimento Global	2%	2%
Depreciação Abiótica	14%	14%
Depreciação do Ozônio	0%	0%
Eutrofização	0%	0%
Oxidação Fotoquímica	15%	15%
Toxicidade Aquática	0%	0%
Toxicidade Humana	3%	4%
Toxicidade Marinha	4%	4%
Toxicidade Terrestre	0%	0%
Uso do Solo	0%	0%

APÊNDICE D

Tabela D1. Base de dados disponíveis no SimaPro e utilizadas neste estudo.

Nome do processo	Fonte	Fluxo relacionado
<i>Glyphosate {GLO} market for Alloc Def, U</i>	<i>Ecoinvet 3</i>	Glifosato
<i>2,4-dichlorotoluene {GLO} market for Alloc Def, U</i>	<i>Ecoinvet 3</i>	2,4-D
<i>Pesticide, unspecified {GLO} market for Alloc Def, U</i>	<i>Ecoinvet 3</i>	Pesticidas (descritos na seção 4.2.4)
<i>Dolomite production alloc def, U</i>	<i>Ecoinvet v2</i>	Calcário dolomítico
<i>Diesel (kg)</i>	<i>LCA FOOD DK</i>	Diesel consumido
<i>Soybean seed, for sowing {GLO} market for Alloc Def, U</i>	<i>Ecoinvet</i>	Sementes
<i>Transport, truck 10-20t, EURO3, 80%LF, default/GLO Mass</i>	<i>Agri-footprint</i>	Transporte dos insumos
<i>Potassium chloride, as K2O {GLO} market for Alloc Def, U</i>	<i>Ecoinvet v3.</i>	Fertilizante Potássico
<i>Urea, as 100% CO(NH2)2 (NPK 46.6-0-0), at plant/RER Mass</i>	<i>Agri-footprint</i>	Fertilizante Nitrogenado
<i>Ammonium nitrate, as 100% (NH4)(NO3) (NPK 35-0-0), at plant/RER Mass</i>	<i>Agri-footprint</i>	Fertilizante Nitrogenado
<i>Ammonium sulphate, as 100% (NH4)2SO4 (NPK 21-0-0), at plant/RER Mass</i>	<i>Agri-footprint</i>	Fertilizante Nitrogenado
<i>Nitrogen fertiliser, as N {RER} monoammonium phosphate production Alloc Def, U</i>	<i>Ecoinvet v3</i>	Fertilizante Nitrogenado
<i>Phosphate rock (32% P2O5, 50% CaO) (NPK 0-32-0)/RER Mass</i>	<i>Agri-footprint</i>	Fertilizante Fosfatado
<i>Triple superphosphate, as 80% Ca(H2PO4)2 (NPK 0-48-0), at regional storehouse/RER Mass</i>	<i>Agri-footprint</i>	Fertilizante Fosfatado
<i>Single superphosphate, as 35% Ca(H2PO4)2 (NPK 0-21-0), at regional storehouse/RER Mass</i>	<i>Agri-footprint</i>	Fertilizante Fosfatado