



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

KÁSSIO RICARDO GARCIA LUCAS

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ÓLEO DE GIRASSOL

Londrina
2015

KÁSSIO RICARDO GARCIA LUCAS

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ÓLEO DE GIRASSOL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Bioenergia, Área de Concentração em Biocombustíveis.

Orientador: Prof. Dr. Cesar de Castro

Londrina
2015

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

L933a Lucas, Kássio Ricardo Garcia.
Avaliação do ciclo de vida do óleo de girassol / Kássio Ricardo Garcia Lucas. –
Londrina, 2015.
92 f. : il.

Orientador: César de Castro.
Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Londrina,
Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, 2015.
Inclui bibliografia.

1. Plantas oleaginosas na produção do biodiesel – Teses. 2. Ciclo de vida do
produto – Aspectos ambientais – Teses. 3. Desenvolvimento sustentável – Teses.
4. Óleo de girassol – Teses. 5. Impacto ambiental – Avaliação – Teses. I. Castro,
César de. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa
de Pós-Graduação em Bioenergia. III. Universidade Estadual de Maringá.
IV. Universidade Estadual de Ponta Grossa. V. Universidade Estadual do Centro-Oeste.
VI. Universidade do Oeste do Paraná. VII. Universidade Federal do Paraná.
VIII. Título.

CDU 662.755

KÁSSIO RICARDO GARCIA LUCAS

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ÓLEO DE GIRASSOL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Bioenergia, Área de Concentração em Biocombustíveis.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Cesar de Castro
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –
EMBRAPA

Dra. Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –
EMBRAPA

Prof.ª. Dra. Carmen Luísa Barbosa Guedes
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 13 de Maio de 2015.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Edinilson e Marcia, ao meu irmão Luiz Felipe, de quem sem o apoio não seria possível a concretização desta gloriosa etapa. A pesquisadora, Dr^a. Marília Folegatti Matsuura, pela inigualável oportunidade de aprendizado e crescimento profissional, intelectual e pessoal.

AGRADECIMENTO

A Deus, por todas as oportunidades e por me conceder força e determinação nos momentos necessários.

Ao meu orientador Dr. Cesar de Castro primeiramente por me aceitar como orientado, posteriormente por tornar possível a realização desta pesquisa, por toda atenção, confiança e paciência ao longo de todas as etapas, por todo valioso conhecimento que me forneceu, mas sobretudo por sua amizade.

À Dr^a. Marília Folegatti Matsuura pelo enorme auxílio, dedicação e paciência, com os quais tornou possível a realização deste trabalho, e o enriqueceu enormemente de inúmeras maneiras a qualidade deste material, também agradeço por toda atenção, confiança e paciência, por todo valioso conhecimento, sobretudo por sua amizade.

À Universidade Estadual de Londrina – UEL, por todas as oportunidades, a todos os professores do curso por dividirem seus conhecimentos, em especial à Prof^a. Dr^a. Carmen Guedes que geriu o curso com excelência, atenção e compreensão.

À CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Unidades de Soja e Meio Ambiente, por colocar a disposição sua estrutura.

Ao Marcelo Hirakuri, analista da Embrapa Soja, que não só nos laureou com seu conhecimento, mas glorificou nosso estudo com participações que tornaram possível a conclusão e a garantia de qualidade deste estudo, sendo sua presença extremamente marcante.

Aos inúmeros pesquisadores das Unidades das Embrapa, que de forma direta ou indireta auxiliaram e enriqueceram com o fornecimento de informações e dados de extrema qualidade, agradeço a atenção e dedicação de todos.

Aos produtores da microrregião do Parecís, por dedicarem seu tempo, por toda atenção e compreensão. À indústria de óleo Parecís Alimentos S/A, especialmente ao gerente Eduardo Monesso, que foi muito paciente e extremamente dedicado em nos atender.

A meus pais, por tornarem possível a concretização desta etapa e que sempre me incentivaram.

A todos que participaram e contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, o meu muito obrigado!

*Estamos condenados a civilização. Ou evoluímos
ou desaparecemos.*

Euclides da Cunha

GARCIA, Kássio Ricardo Garcia Lucas. **Avaliação do Ciclo de Vida do Óleo de Girassol**. 2015. 92f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

RESUMO

O agronegócio nacional, além de gerar riqueza, é responsável também pela garantia da segurança alimentar da população brasileira. Com a consolidação deste setor, novos desafios têm sido lançados, como a busca da sustentabilidade. Várias ferramentas podem ser adotadas para estudos de desempenho ambiental de produtos, como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Esta ferramenta é capaz de determinar o desempenho ambiental de produtos, processos e serviços, pela quantificação de recursos naturais consumidos e poluentes gerados durante o seu ciclo de vida. O girassol é uma cultura importante na microrregião de Parecis, no estado do Mato Grosso, local onde se concentra a maior produção nacional deste grão. Este trabalho oferece uma contribuição às bases de dados de Inventários de Ciclo de Vida (ICV) de produtos agrícolas e agroindustriais brasileiros, ainda incipientes. O objetivo foi avaliar o desempenho ambiental da produção de grãos e de óleo bruto de girassol, visando propor melhorias nos processos produtivos de modo a reduzir impactos ambientais. O sistema de produção de girassol, em sucessão à soja, também foi avaliado e comparado à produção destes grãos em monocultivo, explorando-se diferentes abordagens metodológicas. Foram consideradas todas as atividades relacionadas à produção agrícola de ambas as culturas e, na fase industrial, todos os procedimentos de processamento do óleo bruto de girassol, desconsiderando-se as etapas de refinamento do óleo, e distribuição. Os dados referentes à produção de grãos e de óleo foram majoritariamente primários enquanto os dados da etapa precedente foram secundários, provenientes de base de ICV. Quanto aos dados de emissão, foram estimados por modelos matemáticos disponíveis na literatura científica, tendo seus parâmetros técnicos adaptados à realidade nacional. Os resultados mostraram que a maior parte dos impactos ambientais ocorre na fase agrícola de produção e se devem principalmente ao aporte de agroquímicos, causando impactos relacionados às categorias Mudança Climática, Oxidação Fotoquímica e Acidificação Terrestre. No que se refere à comparação do sistema de produção soja-girassol com o sistema de monocultivo, ficou evidente que as culturas produzidas isoladamente apresentam desempenho ambiental pior do que as culturas em rotação. Nesta segunda condição, o compartilhamento de insumos pelas duas culturas e a fixação biológica de nitrogênio promovida pela soja foram os fatores que favoreceram o sistema reduzindo impactos nas categorias Mudança Climática, Depleção de Recursos Fósseis e Acidificação Terrestre.

Palavras-chave: Impacto ambiental. Desempenho ambiental. Sustentabilidade ambiental. Soja. Sistema de produção.

GARCIA, Kássio Ricardo Garcia Lucas. **Life Cycle Assessment of Sunflower Oil**. 2015. 92p. Dissertation (Master's degree in Bioenergy) – State University of Londrina, Londrina, 2015.

ABSTRACT

The national agribusiness generates richness and it is also responsible for guaranteeing the food safety of Brazilian population. Due to the consolidation of this sector, new challenges have emerged, such as the search for sustainability. Several tools may be adopted in studies of product environmental performance, such as Life Cycle Assessment (LCA). This tool is able to determine the environmental performance of products, processes, and services based on the quantification of natural resources consumed and pollutants generated during their life cycle. Sunflower is an important crop in the microregion of Parecis, in the state of Mato Grosso, where the greatest production of this grain is concentrated. This study offers a contribution to the Life Cycle Inventory (LCI) database of Brazilian agricultural and agroindustrial products, still incipient. The objective was to assess the environmental performance of sunflower grain and crude oil production, aiming to propose improvements in the production systems in order to reduce the environmental impact. Sunflower production system in rotation with soybean was also evaluated and compared with the grain production of sunflower monoculture, using different methodological approaches. All the activities related to the agricultural production of both crops and, during the industrial phase, all the steps of sunflower crude oil production were taken into consideration, whereas all the steps of the oil refining process and distribution were not considered. Data regarding grain and oil production were predominantly primary, while data of the following phase were secondary, originated from LCI database. Emission data were estimated by mathematical models available in the literature, adapting the technical parameters to the Brazilian reality. The results showed that the greatest environmental impact occurs during the agricultural production phase, mainly due to the use of agrochemicals, causing impact related to the categories Climatic Change, Photochemical Oxidation, and Soil Acidification. In the comparison of soybean–sunflower production system with sunflower monoculture, it was evidenced that the isolated crops presented worse environmental performance than the crops in rotation. In the latter situation, the factors that favored the system were sharing agricultural supplies by both crops and biological nitrogen fixation in soybean, which reduced the environmental impact in the categories Climatic Change, Depletion of Fossil Resources, and Soil Acidification.

Keywords: Environmental impact. Environmental performance. Environmental sustainability. Soybean. Production system.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|--------------------|---|----|
| Figura 1 – | Estrutura de Avaliação de Ciclo de Vida | 23 |
| Figura 2 – | Relacionamento dos elementos da fase de interpretação com as outras fases da ACV | 29 |
| Figura 3 – | Sistema de produto e sua fronteira, delimitada pela linha pontilhada. | 37 |
| Figura 4 – | Localização da microrregião do Parecis | 38 |
| Figura 5 – | Fluxograma de produção de grãos de girassol | 41 |
| Figura 6 – | Fluxograma de produção de grãos de soja | 49 |
| Figura 7 – | Fluxograma de produção de óleo bruto de grãos de girassol | 55 |
| Figura 8 – | Inventários a compor a ACV de produção de óleo de girassol | 56 |
| Figura 9 – | Contribuição das etapas do ciclo de vida do óleo de girassol nas emissões de poluentes | 67 |
| Figura 10 – | Desempenho do girassol e da soja, em monocultura e em <i>crop system</i> (com alocação por tempo de uso do solo) para as categorias de impacto ambiental consideradas | 68 |
| Figura 11 – | Principais substâncias responsáveis pelo impacto na categoria de Mudança Climática, para a produção de girassol e soja como monocultura e <i>crop system</i> (com alocação por tempo de uso do solo)..... | 69 |
| Figura 12 – | Principais substâncias responsáveis pela Acidificação Terrestre para o girassol e a soja, em monocultura e <i>crop system</i> (com alocação por tempo do uso do solo) | 70 |
| Figura 13 – | Principais substâncias responsáveis pela categoria Toxicidade Humanas para o girassol e soja em monocultura e <i>crop system</i> (considerando a alocação por tempo do uso do solo) | 71 |
| Figura 14 – | Impactos do girassol e da soja em monocultura e sistema de sucessão (<i>crop system</i>), com diferentes sistemas de alocação, em porcentagem de contribuição para o total de impactos..... | 73 |
| Figura 15 – | Soma do total de substâncias emitidas em cada categoria de impacto para o cultivo de girassol em monocultura e <i>crop system</i> (considerando todas as alocações avaliadas) | 76 |
| Figura 16 – | Soma do total de substâncias emitidas em cada categoria de impacto para o cultivo de soja em monocultura e <i>crop system</i> (considerando todas as alocações avaliadas) | 77 |

| | |
|---|----|
| Figura 17 – Impactos da produção de soja e girassol em <i>crop system</i> , em relação aos impactos da produção de duas monoculturas somados | 78 |
| Figura 18 – Variação na emissão relacionada à Mudança Climática, em função do critério de alocação, para soja..... | 79 |
| Figura 19 – Variação na emissão relacionada à Mudança Climática, em função do critério de alocação, para girassol..... | 80 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Tabela 1 | – Atividades do sistema de cultivo do girassol | 41 |
| Tabela 2 | – Operações de maquinários agrícolas utilizado no sistema de cultivo do Girassol | 42 |
| Tabela 3 | – Parâmetros técnicos adotados para a estimacão da lixiviacão de nitrato (NO_3) no sistema de cultivo do girassol | 43 |
| Tabela 4 | – Parâmetros técnicos adotados para a estimacão das emissões atmosféricas de N_2O no sistema de cultivo do girassol | 45 |
| Tabela 5 | – Teores de metais pesados contidos nos fertilizantes | 47 |
| Tabela 6 | – Atividades do sistema cultivo da soja | 48 |
| Tabela 7 | – Operações de maquinário agrícola utilizado no sistema de cultivo da soja | 49 |
| Tabela 8 | – Parâmetros técnicos adotados para a estimacão da lixiviacão de nitrato (NO_3) no sistema de cultivo da soja | 50 |
| Tabela 9 | – Parâmetros técnicos adotados para a estimacão das emissões atmosféricas de N_2O no sistema de cultivo da soja | 50 |
| Tabela 10 | – Metais pesados exportados pelos grãos de soja | 51 |
| Tabela 11 | – Valores calculados representando os estoques de carbono dos diferentes usos da terra | 51 |
| Tabela 12 | – Valores utilizados para determinacão do estoque de carbono (CS_R) para vegetacão nativa substituída por soja e estoque de carbono (CS_R) para pastagem substituída por soja | 52 |
| Tabela 13 | – Valores utilizados para determinacão do estoque de carbono (CS_A) para soja que substituiu vegetacão nativa | 53 |
| Tabela 14 | – Valores utilizados para determinacão do estoque de carbono orgânico do solo (SOC_i) ocupado com soja, vegetacão nativa e pastagem. | 54 |
| Tabela 15 | – Categorias de impactos consideradas no estudo | 58 |
| Tabela 16 | – Inventário de entradas e saídas do sistema de cultivo do girassol em crop system, com alocaão por tempo de ocupacão da terra | 59 |
| Tabela 17 | – Inventário de entradas e saídas do sistema de cultivo da soja em crop system, com alocaão por tempo de ocupacão da terra | 61 |
| Tabela 18 | – Inventário da producao do óleo de girassol | 63 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Tabela 19 - | Aspectos ambientais que diferem entre os inventários dos processos de produção de girassol em monocultura e em sistema de sucessão de culturas (<i>crop system</i>) e de soja em monocultura e em sistema de sucessão de culturas, para 1 t de cada produto | 64 |
| Tabela 20 - | Aspectos ambientais que diferem nos inventários dos processos de produção de girassol em monocultura e em sucessão de culturas (<i>crop system</i>) e de soja em monocultura e em sistema de sucessão de culturas, aplicando-se alocação mássica, por tempo de uso do solo e econômica, para 1 t de cada produto..... | 65 |
| Tabela 21 - | Perfil ambiental do girassol e da soja, em monocultura e em sistema de sucessão (<i>crop system</i>), com diferentes alocações, para 1 t de cada produto | 72 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------------|--|
| ABCV | Associação Brasileira de Ciclo de Vida |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ACV | Avaliação do Ciclo de Vida |
| AISI | <i>American Iron and Steel Institute</i> |
| AICV | Avaliação de Impactos do Ciclo de vida |
| AISI | American Iron and Steel Institute |
| ANVISA | Agência Nacional de Vigilância Sanitária |
| ASCV | Análise de Sustentabilidade de Ciclo de Vida |
| CAPES | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| CID | Departamento de Ciência da Informação da Universidade de Brasília |
| CONMETRO | Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial |
| CPM | <i>Swedish Life Cycle Center</i> |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| ECI | <i>European Cooper Institute</i> |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| GEE | Gases de Efeito Estufa |
| GP2 | Grupo de Prevenção da Poluição |
| IBICT | Instituto Brasileiro de Ciência e Tecnologia |
| ICV | Inventário de Ciclo de Vida |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia |
| IPCC | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> |
| MUT | Mudança do Uso da Terra |
| OACV | Ontologia da Avaliação do Ciclo de Vida |
| PBACV | Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida |
| REPA | Resources and Environmental Profile Analysis |
| REPA | <i>Resources and Environmental Profile Analysis</i> |
| SETAC | <i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i> |
| SETEC | Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica |
| SICV Brasil | Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira |

| | |
|-------|--|
| SPINE | <i>Sustainable Product Information Network for the Environment</i> |
| UNB | Universidade de Brasília |
| UNEP | <i>United Nations Environment Program Industry and Environment</i> |
| USP | Universidade Estadual de São Paulo |
| UTFPR | Universidade Tecnológica Federal do Paraná |
| WSDA | <i>Washington State Department of Agriculture</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 16 |
| 2 | OBJETVO | 18 |
| 2.1 | OBJETIVO..... | 18 |
| 2.2 | JUSTIFICATIVA | 18 |
| 2.3 | PÚBLICO ALVO | 18 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 19 |
| 3.1 | AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA | 19 |
| 3.1.1 | História | 19 |
| 3.1.2 | Série ISO 14040 | 21 |
| 3.1.3 | Aplicações e limitações da ACV | 22 |
| 3.1.4 | Prática da ACV | 23 |
| 3.1.4.1 | Definição de objetivo e escopo | 24 |
| 3.1.4.2 | Análise de inventário | 24 |
| 3.1.4.3 | Avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) | 26 |
| 3.1.4.4 | Categorias de impactos de AICV | 27 |
| 3.1.4.4 | Interpretação | 28 |
| 3.1.5 | Metodologias de ACV utilizadas e suas perspectivas | 30 |
| 3.1.6 | Banco de dados de ICV | 31 |
| 3.1.6.1 | Definição de banco de dados e seu suporte à ACV | 31 |
| 3.1.6.2 | Bancos de dados existentes..... | 31 |
| 3.1.6.3 | Criação de banco de dados brasileiros | 32 |
| 3.2 | PRODUÇÃO DE GIRASSOL E SOJA NA MICRORREGIÃO DO PARECIS | 33 |
| 3.3 | ÓLEO VEGETAL | 34 |
| 3.3.1 | Óleo de girassol | 34 |
| 3.3.1.1 | Óleo de girassol para a produção de biocombustíveis | 35 |
| 4 | ESCOPO | 36 |
| 4.1 | SISTEMA DE PRODUTO | 36 |
| 4.2 | UNIDADE FUNCIONAL | 36 |
| 4.3. | FRONTEIRAS DO SISTEMA | 37 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.4 | PROCEDIMENTO DE ALOCAÇÃO | 37 |
| 4.5 | REQUISITOS DE QUALIDADE DOS DADOS | 38 |
| 5 | MATERIAL E MÉTODOS | 40 |
| 5.1 | PRODUÇÃO DE GRÃOS DE GIRASSOL | 40 |
| 5.2 | PRODUÇÃO DE GRÃOS DE SOJA | 47 |
| 5.3 | PRODUÇÃO DE ÓLEO DE GIRASSOL | 54 |
| 5.4 | ENERGIA ELÉTRICA, DIESEL, TRANSPORTE, FERTILIZANTES E CORRETIVOS, ADJUVANTES, PESTICIDAS, E OPERAÇÕES AGRÍCOLAS | 57 |
| 5.5 | MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS | 57 |
| 6 | RESULTADOS E DICUSSÃO | 59 |
| 6.1 | INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO GIRASSOL | 59 |
| 6.2 | INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DA SOJA | 61 |
| 6.3 | INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO ÓLEO DE GIRASSOL | 63 |
| 6.4 | INVENTÁRIO DE PRODUÇÃO DE GIRASSOL E SOJA COM DISTINTOS CRITÉRIOS DE ALOCAÇÃO..... | 64 |
| 6.5 | AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO CICLO DE VIDA (AICV) | 66 |
| 6.5.1 | AICV da Produção de Óleo de Girassol | 66 |
| 6.5.2 | AICV da Produção de Grãos de Girassol e Soja | 67 |
| 6.5.2.1 | AICV – comparação entre girassol e soja (adotando-se a alocação por tempo de uso da terra) | 67 |
| 6.5.2.2 | AICV – comparação entre monocultura e <i>crop system</i> , adotando-se diferentes critérios de alocação..... | 71 |
| 6.5.2.3 | AICV – comparação do desempenho ambiental da produção de girassol e de soja em monocultura e <i>crop system</i> , em função dos critérios de alocação | 79 |
| 7 | CONCLUSÕES | 81 |
| | REFERÊNCIAS | 83 |
| | GLOSSÁRIO | 91 |

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento econômico das nações, o consumo de alimentos, fibras, energia ou produtos industrializados tem crescido. Isto aumenta a necessidade da produção de matérias-primas e do desenvolvimento de técnicas agrônomicas e industriais, aumentando consequentemente a demanda por recursos naturais e a geração de poluentes.

O agronegócio tem sido muito importante para a geração de riquezas para a economia brasileira, graças às novas tecnologias que tornaram o Brasil um grande produtor de alimento. Não obstante a consolidação do agronegócio brasileiro, o setor tem se defrontado com novos desafios, como a busca pela sustentabilidade ambiental. É tendência no mercado mundial o requerimento de rótulos e certificações de produtos, com base em critérios ambientais, como condição para importação e comercialização (CLAUDINO e TALAMINI, 2013). Assim, existe a necessidade de uma ferramenta padronizada, com reconhecimento internacional, que avalie o desempenho ambiental dos produtos.

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia capaz de estimar o desempenho ambiental de produtos, pela quantificação da energia e material consumidos e das emissões geradas em seu ciclo de vida. As etapas do ciclo de vida, bem como as substâncias, responsáveis pelos impactos ambientais do produto são identificadas, oferecendo subsídios para a melhoria de processos e para a redução de impactos ambientais.

A ACV é uma metodologia normatizada pela *International Organization for Standardization* (ISO), particularmente pela ISO 14040:2006, denominada “Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura, e ISO 14044:2006, “Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida: Requerimentos e guia.

A aplicação da ACV tem se expandido, abrangendo os setores agrícola e agroindustrial, que lidam diretamente com a gestão dos recursos naturais, incluindo o uso da terra. (BARBOSA JUNIOR, 2008).

Guinée et al. (2011) indicam que a ACV deve ser ampliada, passando a incluir, além da dimensão ambiental, também as dimensões econômica e social, orientando-se para a análise de sustentabilidade de produtos.

Apesar de a ACV ser ainda pouco conhecida no setor empresarial brasileiro, o segmento agroindustrial já tem feito uso dessa ferramenta a fim de levantar questões ambientais relativas às etapas de produção, distribuição e consumo de seus produtos. Isto possibilita melhorar o desempenho do processo produtivo e promover a redução de impactos

ambientais, dando suporte a tomadas de decisão quanto à seleção de insumos e a investimentos em novas tecnologias (BARBOSA JUNIOR, 2008). Conforme Ruviano et al (2012) os estudos de ACV na produção agrícola são relevantes para todas as cadeias produtivas e os produtores que não estão se adequando aos requisitos ambientais estão se deparando com dificuldades para acessar determinados mercados.

Apesar da cultura do girassol não ter destaque na economia nacional, tem grande potencial de produção e de expansão de área, principalmente em sistema de produção em sucessão à soja. A microrregião do Parecis, no Mato Grosso, é a principal região produtora de girassol no país (AMM, 2014), concorrendo para o desenvolvimento econômico e social.

O girassol tem vários usos, com destaque para a produção de óleo e de farelo. Na agroindústria, o produto com maior valor agregado é o óleo, com excelente qualidade nutricional e organoléptica (MANDARINO, 2005), e como coproduto há a torta, utilizado na agropecuária para o arraçãoamento de animais. Castro et al. (2010) relatam que o teor de óleo nos grãos pode variar de 30% a 55%, valor muito superior ao da cultura da soja, que apresenta teor entre 18% a 22% de óleo (VELOSO et al., 2010). Não obstante a qualidade nutricional do óleo de girassol, este poderia também ser utilizado para a produção de biodiesel.

Portanto, este trabalho faz uso da ACV para avaliar a produção do óleo de girassol, buscando identificar as decisões e ações que possam contribuir para a melhoria ambiental em sua cadeia de produção.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho dos aspectos e impactos ambiental da produção de grãos e de óleo bruto de girassol, na microrregião do Parecis no estado do Mato Grosso.

2.2 JUSTIFICATIVA

A razão deste estudo é a necessidade de se avaliar ambientalmente todas as atividades potencialmente poluidoras da produção de grãos e óleo de girassol, utilizando uma ferramenta quantitativa, com forte base científica, como a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Como um estudo pioneiro, este oferecerá uma contribuição às bases de dados de Inventários de Ciclo de Vida de produtos agrícolas e agroindustriais brasileiros, ainda incipientes.

Em relação à região escolhida, trata-se da maior região produtora de girassol do país, detentora de um elevado nível tecnológico, cujos produtores estão organizados em cooperativa. Esta absorve a produção de grãos da região, realiza o processamento de óleo e promove sua comercialização (apoiando os cooperados, inclusive, nos processos de despachos portuários).

2.3 PÚBLICO ALVO

O público-alvo deste estudo são gestores públicos e atores da cadeia produtiva comprometidos com a melhoria da eficiência da cadeia produtiva do óleo do girassol.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

O desenvolvimento econômico promove o aumento de demanda por matérias-primas e por novas técnicas industriais, ampliando a extração de recursos naturais e a geração de substâncias nocivas ao meio ambiente.

Viana (2008) destaca que a evolução de tecnologias industriais tem acelerado e intensificado a transformação do meio ambiente, modificando a natureza e aumentando a poluição ambiental. Para medir esses impactos tem-se buscado ferramentas capazes de identificar e categorizar a poluição em diversos elos das cadeias de produção.

Uma das ferramentas mais promissoras para esse fim é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), uma técnica que permite avaliar o comportamento ambiental de um produto, processo ou serviço por todo o seu ciclo de vida, considerando desde a extração de recursos naturais até sua disposição final.

Segundo Rebitzer et al (2004), na ACV são consideradas as atividades desde a extração e processamento das matérias-primas, incluindo manufatura, transporte, uso, reuso, até a disposição final do produto. Estas atividades ocasionam impactos ambientais devido ao consumo de recursos, emissão de substâncias poluidoras e por outras relações ambientais.

A ACV vem se estabelecendo como uma imprescindível ferramenta da Gestão Ambiental (SEO e KULAY, 2006), pelo fato de ser a única de sua classe que permite tanto a identificação de oportunidades de melhoria do desempenho ambiental de um produto, quanto à comparação ambiental de produtos que desempenhem a mesma função.

3.1.1 História

As primeiras análises, relacionadas à ACV, focando a questão ambiental, datam de meados da década de 60 do último século, quando algumas corporações, preocupadas em reduzir seus custos operacionais, decidiram inventariar os consumos energéticos decorrentes da fabricação de seus produtos (SEO & KULAY, 2006).

Segundo Chehebe (1998), a primeira crise do petróleo, na década de 1960, causou preocupações globais a respeito do decréscimo das fontes energéticas não renováveis,

ocasionando a realização de múltiplos estudos para estimar e racionalizar o consumo dessas fontes.

Fabi et al. (2004) apresenta o exemplo do estudo conduzido em 1969 por Franklin & Associates, a pedido da Coca-Cola Corporation, no qual foram levantados os consumos de matérias-primas e de energia dos processos de fabricação das embalagens. Esse processo ficou conhecido como *Resources and Environmental Profile Analysis* (REPA).

De acordo com Seo & Kualy, (2006), na segunda metade dos anos de 1980, uma época em que se percebeu que a preservação da natureza poderia diminuir despesas operacionais, as corporações passaram por uma evolução de atitudes na administração dos seus negócios, alterando sua conduta quanto à ocorrência de impactos, agora caracterizada pela adoção de ações de prevenção. Pretendiam não apenas atender aos padrões legais estabelecidos, mas também evitar ou reduzir a geração de rejeitos e promover o seu aproveitamento.

No ano de 2002 se consolida, por intermédio de um acordo entre o *United Nation Environmental Program* (UNEP) e a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (Setac), uma ação que passa a ser chamada de *Life Cycle Initiative*. Um dos objetivos dessa iniciativa foi tratar a ACV por meio de três programas de competência mundial. O primeiro foi denominado Inventário de Ciclo de Vida (*Life Cycle Inventory*) e se dedicou ao desenvolvimento de metodologia para elaboração de inventários ambientais. O segundo, denominado Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida (*Life Cycle Impact Assessment*), que se dedicou à consolidação da etapa de Avaliação de Impactos que integra os estudos de ACV. Os objetivos se tornam completos com o programa Gestão do Ciclo de Vida (*Life Cycle Management*), no qual se buscou a agregação de uma perspectiva de ciclo de vida às ações essenciais à gestão empresarial, com o objetivo de se obter o aumento da eficiência ambiental de produtos, processos e serviços (REBITZER et al, 2004).

No Brasil, a história do ACV se inicia em 1993 (SEO e KULAY, 2006). De acordo com Kulay (2004), no ano de 1998 foi registrado um marco na trajetória do ACV no país, com o surgimento do Grupo de Prevenção da Poluição (GP2), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Outra frente de trabalho para a difusão da ACV no Brasil foi estabelecida em 2002, com a criação da Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV).

3.1.2 Série ISO 14040

A *International Organization for Standardization* (ISO) realizou em 1997 a normalização das metodologias para o desenvolvimento da ACV em estudos ambientais, assim sendo, surgiu à família ISO 14040, incorporada à série 14000 (ISO, 2014).

O desenvolvimento destas normas consolidou os procedimentos e métodos de ACV. Esse passo foi essencial para a aceitação geral da ACV na comunidade internacional (FINKBEINER et al., 2006).

A princípio, as normas a integrar a família da ISO 14040 eram as especificadas a seguir, como citado por Viana (2008) e Seo e Kualy, (2006):

- ISO 14040: *Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and framework* (1997).
- ISO 14041: *Environmental management – Life Cycle Assessment - Goal and scope definition and inventory analysis* (1998).
- ISO 14042: *Environmental management – Life Cycle Assessment – Life cycle impact assessment* (2000).
- ISO 14043: *Environmental management – Life Cycle Assessment – Life cycle interpretation* (2000).

Também compõem o grupo da ISO 14000 três relatórios técnicos:

- ISO/TR 14047: *Environmental management – Life Cycle Assessment – Illustrative examples on how to apply ISO 14042* (2001);
- ISO 14048/TR: *Environmental management – Life Cycle Assessment – Data documentation format* (2002);
- ISO/TR 14049: *Environmental management – Life Cycle Assessment – Example for the application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analyses* (2000);

Em 2006 foi atualizada a norma ISO 14040 e lançada à norma 14044 - *Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e orientações* -, que substituiu as normas ISO 14041/42/43. Em 2009 as normas ISO 14040 e 14044 foram traduzidas pela ABNT.

No dia 21 e 22 de julho de 2014, a ABNT NBR ISO 14044:2009 e a ABNT NBR ISO 14040:2009, respectivamente, foram canceladas e substituídas pela ABNT NBR

ISO 14044:2009 Versão Corrigida: 2014 e ABNT NBR ISO 14040:2009 Versão Corrigida: 2014 (ABNT CATÁLOGOS, 2014a; ABNT CATÁLOGOS, 2014b).

3.1.3 Aplicações e limitações da ACV

Segundo a norma ABNT NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a), a ACV possibilita:

- A identificação de oportunidades para a melhoria do desempenho ambiental de produtos em diversos pontos de seu ciclo de vida;
- A ampliação do nível de informação dos tomadores de decisão para a gestão ambiental na indústria e nas organizações governamentais ou não governamentais;
- A seleção de indicadores de desempenho ambiental relevantes, incluindo técnicas de medição;
- O marketing ambiental (por exemplo, na implantação de um esquema de rotulagem ambiental ou na elaboração de uma declaração ambiental de produto).

Esta norma informa que os estudo de ACV podem ser aplicados a qualquer bem ou serviço, categorizados da seguinte forma:

Produto;

- Serviço (por exemplo, transporte);
- Informação (por exemplo, programa de computador);
- Materiais e equipamentos (por exemplo, parte mecânica de um motor);
- Materiais processados (por exemplo, lubrificantes).

Serviços;

- Uma atividade realizada em um produto material fornecido pelo cliente (por exemplo, o reparo de um automóvel);
- Uma atividade desenvolvida em um produto inalterável fornecido pelo cliente (por exemplo, uma declaração de rendimento necessária à elaboração de um pedido de restituição de imposto);
- A entrega de um produto inalterável (por exemplo, a transferência de informações em um contexto de transmissão de conhecimento);
- A criação de ambiência para o cliente (por exemplo, em hotéis e restaurante).

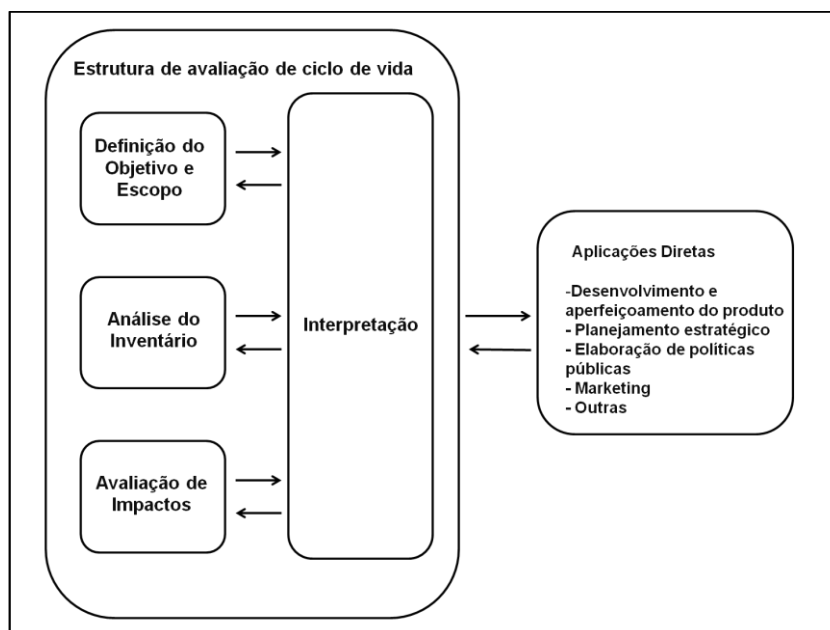
Entretanto algumas limitações técnicas ainda persistem, conforme afirmam Udo de Haes e Rooijen (2005), que apontam as limitações operacionais, como a elevada quantidade de dados necessários à sua execução; e a indisponibilidade de modelos para a avaliação de impactos ambientais de ordem regional e local, quando estes ocorrem em países do hemisfério sul.

3.1.4 Prática da ACV

As ANBT NBR ISO 14040 e a 14044 (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b) determinam que um estudo de ACV deva ser composto por quatro fases: definição de objetivos e escopo; análise de inventário; avaliação de impactos; e interpretação.

As fases são correlacionadas e estão sujeitas a modificações em qualquer etapa do estudo (ABNT, 2009a). A figura 1 apresenta essa interação e exemplifica algumas aplicações diretas da ACV.

Figura 1 – Estrutura de Avaliação de Ciclo de Vida.



Fonte: ABNT, 2009b.

A ABNT NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a), não define um método único para se conduzir uma ACV. As organizações podem implementar o estudo de acordo com a aplicação pretendida e com suas próprias necessidades.

Estas normas abrangem dois tipos de estudos, inventário de ciclo de vida (ICV) e a avaliação de ciclo de vida (ACV). Os estudos de ICV não incluem a fase avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV). Estudos de ICV não devem ser confundidos com a fase de análise de inventário de um estudo de ACV (ABNT, 2009a).

Cada etapa a compor os estudos de ACV, suas principais imposições e conduta serão posteriormente discorridos.

3.1.4.1 Definição de objetivo e escopo

O objetivo e escopo de uma ACV devem ser coerentes com a função pretendida.

Definido o objetivo de uma ACV, os itens subsequentes devem ser definidos de maneira clara (ABNT, 2009a):

- A aplicação pretendida;
- As razões para a realização do estudo;
- O público-alvo, ou seja, aquele que a quem se pretende comunicar os resultados do estudo;
- Se existe a intenção de utilizar os resultados em afirmações comparativas e a serem divulgadas publicamente.

Já na definição do escopo são considerados aspectos metodológicos de ordem executiva essenciais para o estudo, tais como o estabelecimento de parâmetros como função, unidade funcional e fluxo de referência do produto, fixação de fronteiras, critérios para a alocação de cargas ambientais, bem como a definição das categorias de impacto a serem consideradas. Ainda no estabelecimento do escopo devem ser definidos os aspectos geográficos, temporais e tecnológicos do sistema de produto, para efeito de refino das fronteiras e seleção de informações a serem utilizadas posteriormente no inventário (SEO e KULAY, 2006).

3.1.4.2 Análise de inventário

Após a Definição dos Objetivos e do Escopo, deve ser iniciada a condução do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) (KULAY & SEO, 2010).

A norma ABNT NBR ISO 14.044 divide esse estágio em três procedimentos: coleta de dados; procedimentos de cálculos; e alocação (ABNT, 2009b).

A coleta de dados deve ser feita para cada processo unitário incluído na fronteira do sistema. Os dados medidos, calculados ou estimados são empregados para quantificar as entradas e saídas de um processo unitário. Para aqueles dados que podem ser importantes para as conclusões do estudo, devem ser informados o processo de coleta dos dados, o período em que foram coletados e outros esclarecimentos relevantes. Caso sejam usados dados que não atendem aos requisitos de qualidade, esta condição deve ser declarada (ABNT, 2009b).

Para Rabitzer et al. (2004) há três atividades importantes para a coleta de dados: a elaboração de um fluxograma com nível de detalhamento suficiente para poder representar os processos unitários que compõem o sistema de produto, incluindo suas inter-relações; a preparação de formulários para a coleta de dados; e a definição de critérios de exclusão de dados.

Todos os procedimentos de cálculo devem ser documentados de forma transparente e os pressupostos devem ser declarados e justificados (ABNT, 2009b). Deve ser estabelecido um fluxo adequado para cada processo unitário. Os dados quantitativos de entrada e saída devem ser calculados em relação a esse fluxo. Com base no fluxograma e nos fluxos entre processos unitários, os fluxos de todos os processos unitários devem estar relacionados ao fluxo de referência. Todos os dados de entrada e saída do sistema devem ter como referência a unidade funcional. O nível de agregação dos dados deve ser coerente com o objetivo do estudo (ABNT, 2009b).

A decisão pela inclusão de um dado deve se basear em uma análise de sensibilidade, para determinar sua significância. A fronteira do sistema originalmente proposta deve ser revista, de acordo com o critério de corte estabelecido no escopo do estudo (ABNT, 2009a).

Quando um processo resulta em mais de um produto, as cargas ambientais devem ser adequadamente atribuídas a cada um deles. A alocação deve ser evitada pela subdivisão do processo unitário em subprocessos ou pela expansão das fronteiras do sistema de produto.

Quando a alocação não pode ser evitada, todas as entradas e saídas devem ser alocadas aos diferentes produtos em concordância com critérios claramente definidos. A soma das entradas e saídas alocadas de um processo unitário deve ser igual à soma dessas

entradas e saída antes da alocação. Este procedimento deve ser feito de tal forma que a partição das entradas e saídas do sistema entre os diferentes produtos reflita as relações físicas entre eles. (ABNT, 2009b).

3.1.4.3 Avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV)

A avaliação de impacto é um processo tanto qualitativo como quantitativo, adotado para o entendimento e a avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais, que toma como base os resultados obtidos na análise do inventário, considerando os efeitos que podem ser causados ao meio ambiente e à saúde do homem. Os níveis de detalhe, a escolha dos impactos a serem avaliados e a metodologia a ser utilizada dependem do objetivo e do escopo do estudo. A análise do impacto converte os resultados do inventário para um grupo selecionado de impactos, tais como mudança climática, destruição da camada de ozônio, eutrofização, formação fotoquímica de ozônio, toxicidade, ocupação de área, entre outros (SEO & KULAY, 2006).

A avaliação de impacto é, geralmente, constituída dos seguintes elementos:

- Seleção e definição das categorias de impacto – onde são identificadas as questões ambientais e as categorias e indicadores que o estudo utilizará. As categorias devem ser definidas com base no conhecimento científico dos processos e mecanismos ambientais;
- Classificação – onde os dados do inventário são classificados e agrupados nas diversas categorias selecionadas (como mudança climática, destruição da camada de ozônio, acidificação, toxicidade humana, depleção dos recursos naturais, etc.);
- Caracterização – quando os aspectos ambientais são convertidos em seus impactos correspondentes, procedimento realizado por meio da aplicação de fatores de caracterização. O resultado desta etapa corresponde ao Perfil de Impactos Ambientais do produto em estudo.

São também considerados, para efeito de execução da Avaliação de Impactos, muito embora em caráter não obrigatório, os procedimentos de Normalização e Ponderação, cuja aplicação se destina à consolidação do perfil de cargas ambientais em um índice único (ABNT, 2009b; SEO e KULAY, 2006).

3.1.4.4 Categorias de impactos de AICV

As categorias de impactos avaliadas são brevemente relatadas de acordo com Goedkoop et al. (2009) e Lopes Silva (2012):

- **Mudança Climática:** Proveniente das emissões de gases de efeitos estufa, majoritariamente CO₂ e metano (CH₄), é responsável pela elevação das temperaturas terrestre, tendo como consequência o aumento da temperatura média global e mudanças climáticas intempestivas, agredindo o ecossistema e tudo e todos que dele vincula-se;

- **Depleção da Camada de Ozônio:** Refere-se da fragilização da camada de ozônio (O₃), na estratosfera, principalmente pelo lançamento de clorofluorcarbono (CFCs), que interferem nas reações no ciclo do oxigênio. A intensificação da incidência de radiação ultravioleta sobre a superfície do planeta é uma das decorrências resultantes desta forma de impacto, causando malefícios como doenças humanas, desequilíbrio no ecossistema, entre outros;

- **Acidificação Terrestre:** Atribui-se, em especial, as substâncias ácidas, como óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxidos de enxofre (SO_x) emitidos a atmosfera e depositados no solo e na água. Ocasionalmente no aumento da acidez do solo e/ou da água ocasionando chuvas ácidas, que causará danos à fauna e flora;

- **Eutrofização de Água Doce:** É o enriquecimento súbito e imoderado, destacavelmente de substâncias com base nitrogênio e/ou fósforo, a um corpo hídrico. Tendo como impacto a diminuição na concentração de oxigênio dissolvido, danificando a estabilidade dos organismos que dependem do meio;

- **Toxicidade Humana:** Provenientes de atividades antrópicas, por irradiarem substâncias tóxicas a saúde humana. Isto posto, não são cogitados os efeitos tóxicos oriundos da exposição no ambiente de trabalho, e sim na antroposfera. Dentre os efeitos estão os crônicos, carcinogênicos e não carcinogênicos impactos associados a uma massa qualquer de um elemento químico lançado ao ambiente;

- **Oxidação Fotoquímica:** É a influência dos raios ultravioletas que reagem com os NO_x e compostos orgânicos voláteis (VOCs), propiciando oxidantes que fomentam em *smog* (nevoeiro fotoquímico). Este nevoeiro pode alterar o nicho ecológico de organismos, além de ser considerado prejudicial à saúde humana;

- **Material Particulado:** Representa uma combinação entrelaçada de compostos orgânicos e inorgânicos, como emissões de dióxido de enxofre (SO₂) amônia

(NH₃) óxido de nitrogênio (NO_x) e por conseguinte, o ozônio que é formado em decorrência da reação fotoquímica de NO_x. Como resultados ocorrem problemas de saúde a quem inala estas substâncias, ocasionando diversos problemas de saúde;

- Ecotoxicidade Terrestre e Aquática: É a ação de substâncias tóxicas, a fauna e flora sendo prejudicial e em alguns casos irreversível, das atividades antrópicas. Afetam os organismos vivos, a função e a estrutura de um ecossistema;

- Ocupação de Solo Agrícola: É o dano do ecossistema pelo efeito de ocupação e transformação do solo, possuindo como ação a perda da biodiversidade, número de espécies, entre outros;

- Depleção Hídrica: É a extração e o emprego da água, acarretando danos como depleção de ecossistemas e de atividades agrícolas e lesões à saúde humana. Levando em consideração o dano econômico também, assim como as demais categorias de depleção;

- Depleção de Metais: É o consumo de fontes minerais, considerando sua potencial escassez;

- Depleção de Combustíveis Fósseis: Considera os impactos da carência de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás mineral.

3.1.4.4 Interpretação

A interpretação consiste na análise dos resultados obtidos na fase de inventário ou de avaliação de impactos do estudo de ACV (SEO & KULAY, 2006), observando o objetivo e escopo do estudo (ABNT, 2009b).

A norma ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) aponta alguns elementos mandatórios para esta fase:

- Identificação das questões significativas com base nos resultados das fases de ICV e AICV da ACV;

- Uma avaliação do estudo verificando completeza, sensibilidade e consistência;

- Conclusões, limitações e recomendações.

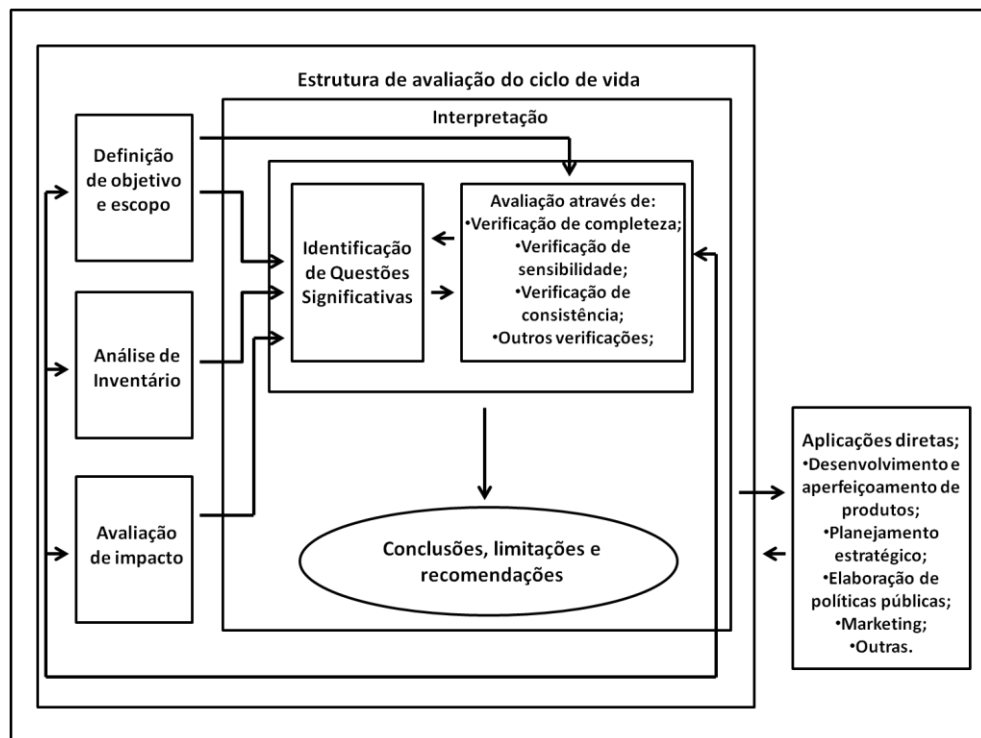
A figura 2 ilustra a relação desta fase de interpretação com as outras fases da ACV.

A verificação de completude tem o intuito de assegurar que todas as informações de alta relevância e os dados indispensáveis para que as interpretações estejam disponíveis e completos.

A verificação de sensibilidade avalia a confiabilidade dos resultados finais e conclusões, determinando como são afetadas pela incerteza dos dados, método de alocação ou cálculo de categoria de impacto, dentre outros.

A verificação de consistência determina se os pressupostos, métodos e dados são consistentes com o objetivo e escopo.

Figura 2 – Relacionamento dos elementos da fase de interpretação com as outras fases da ACV.



Fonte: ABNT, 2009b.

A conclusão desta etapa deve ser feita de forma iterativa com os outros elementos da fase de interpretação do ciclo de vida. As recomendações devem estar apoiadas pelas conclusões finais do estudo e devem refletir uma consequência dessas conclusões.

3.1.5 Metodologias de ACV utilizadas e suas perspectivas

Historicamente os grandes apoiadores e propagadores da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) são o *United Nations Environment Program* (UNEP, 1996) e a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) (SEO & KULAY, 2006). A família de normas ISO 14040 teve um importante papel na especificação de requisitos e provimento de orientações gerais para estudos de ACV, conferindo a eles qualidade.

Existem muitas metodologias para estudos de ACV, cada qual com sua singularidade, mas todas compostas pela estruturação básica: definição de objetivo e escopo, elaboração e análise de inventário, avaliação dos impactos ambientais e interpretação.

Embora muito se tenha avançado no desenvolvimento desta ferramenta, ainda existem desafios a enfrentar, com a regionalização de modelos para estimações de emissões, para a elaboração de inventários, e de fatores de caracterização, para a avaliação de impactos. A adoção de modelos globais não permite a consideração das diversidades regionais e locais. É hoje uma tendência a inclusão das dimensões social e econômica em estudos de ACV, que assim passam a representar estudos de avaliação de sustentabilidade. O UNEP dedica um guia específico a esta abordagem, denominada S-LCA (HUNKELER e REBITZER, 2005; UNEP, 2009).

Para Guinée et al. (2011), a elaboração de uma Análise de Sustentabilidade de Ciclo de Vida é o maior desafio para a comunidade científica global e órgãos governamentais internacionais.

A ACV para aplicação no setor agrícola é outra área que requer aprimoramento metodológico, considerando-se ter sido esta uma ferramenta originalmente dedicada ao setor industrial. Várias equipes no mundo têm se dedicado a este desenvolvimento. Um exemplo é o Agroscope (centro de pesquisa vinculado ao *Federal Office for Agriculture*, da Suíça), que tem elaborado e atualizado guias metodológicos para inventários agrícolas, como o relatório *Methods of assessment of direct field emission for LCIs of agricultural production systems (data v3.0)*, de Nemecek e Schnetzer (2012).

A quantidade de estudos de ACV realizados no Brasil ainda é pequena e limita a composição de um Banco de Dados Nacional de Inventários de Ciclo de Vida. No entanto, instituições públicas têm se dedicado, como o IBICT, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, UTFPR, UnB e EMBRAPA, apoiadas por instituições privadas,

como as representadas da Rede Empresarial Brasileira de ACV, atualmente presidida pela Braskem. Conforme Mendes et al. (2013), um levantamento feito em maio de 2013 pelo banco de teses e dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) evidenciou que o ano de 2012 foi o que apresentou a maior quantidade de estudos citando a ACV, 35, enquanto que nos anos de 2010 e 2011 foram, respectivamente, 17 e 23 estudos. Deste total, porém, uma quantidade considerável se refere a estudos de ICV, fato que pode estar relacionado à falta de inventários nacionais atualmente disponíveis.

Em resumo, o aumento da disponibilidade de dados é uma das chaves para o desenvolvimento qualitativo desta ferramenta, assim como a regionalização dos dados e modelos, que visa garantir a representação das peculiaridades regionais do objeto de estudo.

3.1.6 Banco de dados sobre ACV

3.1.6.1 Definição de banco de dados e seu suporte à ACV

As bases de dados para estudos de ACV reúnem inventários de processos, que trazem quantificadas as entradas e saídas de material e energia de cada processo. As entradas podem advir diretamente do meio ambiente (como recursos naturais) ou de outros processos produtivos; as saídas destinam-se a outros processos produtivos (como produtos intermediários) ou ao meio ambiente (como emissões atmosféricas, efluentes líquidos ou resíduos sólidos). Como o estudo de ACV demanda um volume muito grande de dados é imprescindível o uso de bancos de dados de inventários (RIBEIRO, 2009).

3.1.6.2 Banco de dados existentes

A execução de estudos de ACV em regiões tropicais se depara com a escassez de dados. A maior parte dos bancos de dados para ACV integra processos desenvolvidos para Europa e América do Norte.

Estes bancos de dados podem ser divididos em dois grandes grupos, conforme Ribeiro (2009): os de instituições governamentais e os de organizações setoriais (principalmente industriais).

Os bancos de dados construídos por instituições governamentais são em número superior a quinze, incluindo o Ecoinvent, o maior banco de dados do mundo.

Apresenta dados de inventários para geração de energia (térmica, nuclear, hidroelétrica, eólica e solar); produção de derivados de petróleo; produtos químicos orgânicos e inorgânicos; produtos agrícolas e florestais, entre muitos outros, sendo de abrangência europeia e global (RIBEIRO, 2009). Uma versão atualizada e ampliada, Ecoinvent v.3, foi lançada em maio de 2013, passando a abranger 90% da geração de eletricidade global, com dados específicos a países distintos, a produção de produtos químicos e agrícolas, dentre outros (ECOINVENT, 2014).

A *United State LCI Database* e o SPINE@CPM são outros exemplos de bancos de dados de instituições governamentais. O primeiro, resultado de um projeto de parceria de instituições públicas e privadas, foi concebido para atender à necessidade de um banco de dados norte-americano e conta com cerca de 880 conjuntos de dados (NREL, 2014). Quanto ao SPINE@CPM, elaborado pelo CPM (*Competence Center for Environmental Assessment of Product and Material Systems*) e SPINE (*Sustainable Product Information Network for the Environment*), criado na Suécia por instituições públicas, como a *Chalmers University of Technology*, e auxiliado por instituições privadas, existente desde 1998, passou a disponibilizar inventários de processos on-line desde o ano 2000, abrangendo atualmente um número superior a 500 inventários, com informações a respeito de atividades como transporte, energia, produção de materiais, entre outros. Ainda dispõe de três modelos para avaliação de impactos, EPS, EDIP e ECO-Indicador, além de um “calculador” de avaliação de impactos (CPM, 2014).

Os bancos de dados citados acima são apenas alguns exemplos de bancos de dados geridos por instituições governamentais, no entanto outros não menos importantes ampliam a gama de informações ofertadas.

A respeito dos bancos de dados construídos por organizações setoriais, são exemplos o *European Cooper Institute* (ECI), *EDP-Norway*, *American Iron and Steel Institute* (AISI) e *PlasticsEurope* (RIBEIRO, 2009).

3.1.6.3 Criação de banco de dados brasileiros

Skone e Curran (2005) observam que muitos progressos foram feitos quanto à padronização, entretanto quanto à oferta de inventários de qualidades tem-se alcançado menor sucesso.

Viana (2008) chama atenção ao fato de que são muitos comuns problemas de incompatibilidade de escala de medição, escopo espacial, temporal e tecnológico, pressupostos, dentre outros, em estudos de ACV.

Sendo assim, projetos direcionados à elaboração de um banco de dados brasileiro têm sido elaborados, como o projeto “Inventário de Ciclo de Vida para a Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira (SICV Brasil)”, de 2006, coordenado pelo IBICT e INMETRO, em parceria com a Universidade de Brasília (UnB), Universidade de São Paulo (USP) e Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

O SICV Brasil propiciou o estabelecimento de uma infraestrutura de serviços técnicos especializados em ACV, constituída de banco de dados para armazenamento de inventários brasileiros, metodologia de elaboração de inventários e ontologia. Seguiu-se a este projeto o Programa Brasileiro de ACV (PBACV), criado por meio da resolução CONMETRO 004/2010 (IBICT, 2014).

Um dos resultados obtidos por essas iniciativas, como mencionado, foi a Ontologia da ACV, onde é apresentada uma padronização terminológica, desenvolvida pelo Departamento de Ciência da Informação (CID) da UnB, com apoio da Escola Politécnica de USP e Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV). Seus objetivos são: a) possibilitar a aquisição, representação e manipulação de conhecimento sobre ACV, por meio de um conjunto consistente de conceitos básicos modelados; b) estruturar e organizar bibliotecas de conhecimento, permitindo o acesso organizado ao conteúdo de normas da família ISO 14040 e à documentação especializada; c) difundir terminologias brasileiras padronizadas na área de ACV; d) apoiar o processo de aprendizagem na área de ACV, utilizando a ontologia como material instrucional; e) e melhorar a compreensão e visão compartilhada do domínio ACV (IBICT, 2008; IBICT, 2010).

Outros resultados são uma parceria com a Comissão Europeia para a elaboração de uma plataforma para a oferta de inventários no formato ILCD; e a elaboração de um site de informações sobre ACV (<http://acv.ibict.br>) (IBICT, 2010).

3.2 PRODUÇÃO DE GIRASSOL E SOJA NA MICRORREGIÃO DO PARECIS

A microrregião do Parecis, no estado do Mato Grosso, é a principal região produtora de girassol no país. O município de Campo Novo do Parecis tem sido considerado a “casa” do girassol no Brasil, sendo o local responsável por 61% e 45% da produção regional e

nacional (respectivamente) deste grão na safra 2013/2014 (AMM, 2014). A empresa responsável por processar a maior parte da produção da região é a Parecis Alimentos S/A, que tem sido considerada um dos maiores investimentos da América Latina e o maior do Brasil no setor de óleo de girassol (AMM, 2014).

Nesta região, o girassol é produzido em sucessão à soja. Esta última é a cultura agrícola brasileira de maior importância econômica, tendo sua área de produção aumentado em 49% nas últimas três décadas, fato devido à viabilização do seu cultivo no cerrado, em decorrência do desenvolvimento de tecnologia agrícola específica para o bioma (MAPA, 2015).

3.3 ÓLEO VEGETAL

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) define os óleos vegetais como: produtos constituídos principalmente de glicerídeos de ácidos graxos de espécies vegetais. Podem conter pequenas quantidades de outros lipídeos, como fosfolipídios, constituintes insaponificáveis e ácidos graxos (ANVISA, 2005).

Os óleos vegetais são fundamentalmente compostos de triglicerídeos, porém podem conter monoglicerídeos e diglicerídeos. Sua qualidade está essencialmente associada à constituição de ácidos graxos, sendo predominantes os insaturados, apresentando-se em estado líquido à temperatura ambiente. Ácidos graxos insaturados apresentam em suas moléculas uma ou mais ligações duplas entre os átomos de carbono, também diferindo quanto ao número de átomos de carbono que o formam. Uma fonte oleaginosa costuma ter mais de dez ácidos graxos diferentes (MANDARINO, 1992; RAMALHO e SUAREZ, 2013).

A quantidade de ácidos graxos saturados, insaturados e poli-insaturados que compõe o óleo corresponde a uma forma de classificação do produto. A composição em ácidos graxos determina as propriedades físicas e químicas dos óleos, como viscosidade, densidade e temperatura de fusão (PINHO e SUAREZ, 2013; RAMALHO e SUARES, 2013).

3.3.1 Óleo de girassol

Em média, o grão de girassol tem em sua composição 24% de proteínas, 47% de óleos, 20% de carboidratos totais e 4% de minerais. Para cada tonelada de grãos de girassol são produzidos 400 kg de óleo, 250 kg de casca e 350 kg de torta, contendo de 45 a

50% de proteína. O óleo de girassol é rico em ácidos graxos insaturados, destacando-se o ácido linoleico (C18:2), cerca de 60%, considerado essencial à saúde humana (CASTRO; CASTIGLIONI; BALLA, 1996; MANDARINO, 2005). Os ácidos graxos essenciais são aqueles que não podem ser sintetizados pelo organismo humano por meios metabólicos próprios.

As modificações na qualidade do óleo de girassol podem ocorrer por alterações na proporção relativa dos ácidos graxos, que são extremamente influenciadas pelas condições ambientais, principalmente pela temperatura, durante o desenvolvimento das sementes. Em temperaturas elevadas, há aumento nos níveis de ácido oleico e diminuição nos níveis de linoleico, afetando a qualidade, as propriedades e a aplicabilidade do óleo (CASTRO e FARIAS, 2005; MANDARINO, 1992; REGIONATO-D'ARCE, 2014).

3.3.1.1 Óleo de girassol para a produção de biocombustíveis

Para Gazzoni (2005), o girassol e o seu óleo atendem à maioria dos requisitos para serem utilizados como matéria-prima para a produção de energia. Dentre estes requisitos estão: a) elevado teor de óleo no grão e produção por hectare de óleo; b) composição adequada de ácidos graxos; c) cultura adaptável à rotação e possível de ser associada a culturas alimentícias; d) possibilidade de aproveitamento da torta ou farelo.

Outras características importantes a serem consideradas são os aspectos físico-químicos dos óleos, dentre eles: o número de cetano; o poder calorífico superior; a viscosidade cinemática; o ponto de fluidez e o número de iodo. Considerando todas estas características, Lima e Castro (2010), analisando diferentes matérias-primas para a produção de biocombustível, ressaltam que não existe um óleo que apresente sozinho todas as características desejáveis, mas que o óleo de girassol está entre os que apresentam melhor combinação dessas características.

4 ESCOPO

4.1 SISTEMA DE PRODUTO

O produto avaliado foi o óleo bruto de girassol. O estudo adotou uma abordagem do berço ao portão de saída, da usina de óleo, desconsiderando os processos de distribuição e uso deste material.

Foram incluídas no estudo da fase agrícola todas as atividades que demandam recursos naturais, incluindo o uso do solo, agroquímicos (corretivos agrícolas, fertilizantes e pesticidas com distintas finalidades) tendo em vista uma produtividade apropriada, igualmente foram compreendidas as operações agrícolas e operações de transporte, considerando o uso de combustíveis.

A fim de compor uma avaliação mais representativa da realidade, a soja, que é cultivada antecedendo o cultivo de girassol, também foi considerada como componente do sistema de produção.

Na fase industrial, foram computados todos os procedimentos de processamento da matéria-prima, de acordo com os métodos adotados pela Parecis Alimentos S/A, empresa presente no município de Campos Novos do Parecis, pertencente à cooperativa local de produtores de girassol. A usina utiliza o processo extração de óleo por via mecânica.

4.2 UNIDADE FUNCIONAL

A unidade funcional determinada foi 1 t (tonelada) de óleo bruto de girassol. Os inventários concebidos tomaram como referência este valor.

No que diz respeito ao fluxo de referência, para a produção de 1 t de óleo foram utilizados cerca de 2.778 kg de grãos, produtividade por hectare média para cultivares alto oleicos e cultivares convencionais, com em média 36% de óleo. Considerando a eficiência de extração de óleo do método mecânico, é necessário 1,57 ha para a produção de 1 t de óleo bruto, já que a produtividade média é de 1.774 kg de grãos/ha.

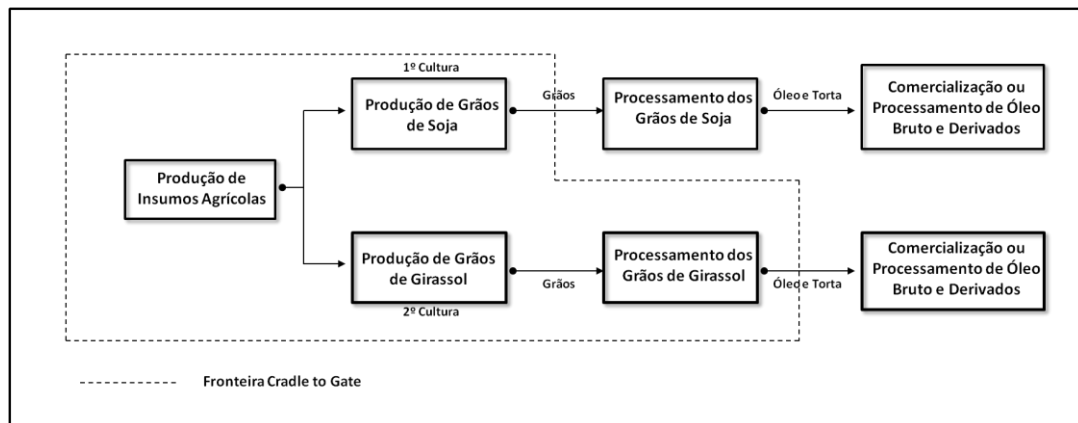
Para a soja foi considerada uma produtividade de 3.120 kg de grãos/ha. Estes valores correspondem à produtividade média da região, observada nos últimos dois anos, levantada por meio de entrevistas a produtores e consulta a especialistas.

4.3 FRONTEIRAS DO SISTEMA

As etapas de produção incorporadas ao estudo foram à fase de produção de grãos de girassol (considerando o consumo de recursos naturais, agroquímicos e diesel, para as operações agrícolas e de transportes) e a fase industrial de produção de óleo bruto. Não foram consideradas as etapas de transformação do óleo bruto, nem de distribuição de seus derivados.

A cultura da soja, que compõe um sistema de produção com o girassol, também foi inventariada, sendo consideradas todas as operações agrícolas, desde o preparo da área até a colheita do grão. O sistema de produto e sua fronteira são apresentados na figura 3.

Figura 3 - Sistema de produto e sua fronteira, delimitada pela linha pontilhada.



Fonte: Autoria própria (2014).

4.4 PROCEDIMENTO DE ALOCAÇÃO

As cargas ambientais geradas pelo sistema de produção devem ser devidamente alocadas entre as duas culturas que o compõem.

No sistema de produção soja-girassol (*crop system*) os impactos relacionados à mudança de uso da terra, às emissões dela derivadas e ao uso de calcário foram alocados à cada cultura por três critérios: tempo de ocupação da área por cada produto (120 dias para a soja e 115 dias para o girassol); produção de grãos por área, ou alocação mássica, 3120 kg/ha⁻¹ de soja e 1774 kg/há⁻¹ de girassol; e renda da venda dos grãos, ou alocação econômicas. Para o critério de alocação por renda, uma simplificação foi feita: como a renda gerada pelo girassol no sistema de sucessão com a soja é muito pequena, quando comparada à

renda gerada pela soja, os impactos relacionados à mudança de uso da terra, emissões dela derivadas e ao uso de calcário foram totalmente atribuídos à soja. Os demais insumos e emissões foram atribuídos exclusivamente ao produto gerador do consumo ou emissão, em todos os três critérios de alocação. Exceto quando explicitamente mencionado, o critério de alocação *default* usado neste trabalho foi o de tempo de ocupação da área.

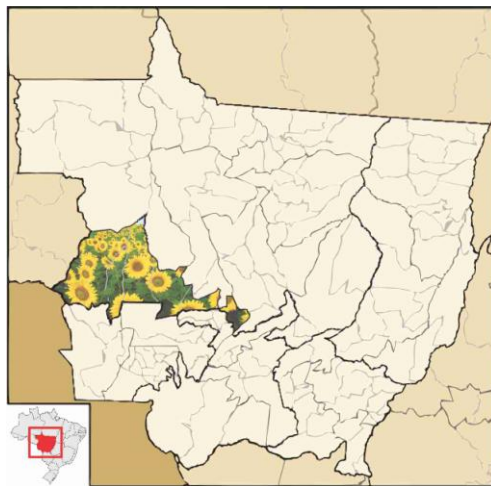
Para a fase industrial, a alocação entre óleo de girassol e farelo adotou o critério mássico, considerando a produção de 36% de óleo e 55% de torta para o total de grãos processados.

4.5 REQUISITOS DE QUALIDADE DOS DADOS

Os dados usados neste trabalho respeitam a cobertura temporal, geográfica e tecnológica aqui estabelecida, sendo:

Cobertura geográfica: o trabalho foi realizado na microrregião de Parecis, no estado de Mato Grosso, pelo fato de ser esta a região de maior produção da cultura em território nacional. A figura 4 ilustra a área em estudo.

Figura 4 - Localização da microrregião do Parecis.



Fonte: Disponível em:

http://pt.wikipedia.org/wiki/Microrregi%C3%A3o_de_Parecis. Acessado em: 23/03/2015. Adaptada.

- Cobertura temporal: abrange as safras agrícolas de 2012/2013 e 2013/2014 e a atividade industrial dos anos de 2013 e 2014.

- Cobertura tecnológica: sistema de plantio direto, para o cultivo das oleaginosas (girassol e soja) e extração de óleo de girassol por via mecânica. O plantio direto é o sistema de cultivo mais comumente adotado, quanto à forma de extração de óleo, é a única a ser utilizada pela a agroindústria na região.

As entradas de energia se deram pelo consumo de combustíveis nas operações agrícolas e transporte dos grãos e pela utilização de energia elétrica para o processamento dos grãos.

Na elaboração dos ICV foi dada prioridade a dados primários. Quando isto não foi possível, foram empregados dados secundários obtidos em publicações científicas, para as condições brasileiras, ou em bases de dados de inventários de ciclo de vida internacionais. Com referência aos dados secundários, precauções foram tomadas para se respeitar as circunstâncias de mercado e tecnologias existentes na realidade nacional.

Os dados coletados pretendem representar a produção de grãos e de óleo de girassol na microrregião do Parecis, sendo assim, os dados para a composição dos inventários foram obtidos por entrevistas diretas a cinco produtores da microrregião do Parecis. Em seguida, os dados foram organizados e validados por consulta à literatura científica e a especialistas nas culturas do girassol e soja (CASTRO; CONTE; DIBIASI; HIRAKURI; MATSSURA; OLIVEIRA JUNIOR).

Quanto aos dados de emissões, foram estimados com base em modelos apresentados na literatura científica (CANALS, 2003; IPCC, 2006a; NEMECECK e SCHNETZER, 2011).

Os dados da produção de insumos agrícolas vieram da base Ecoinvent v2.2, tendo sido excluídos os processos de transporte de insumos agrícolas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 PRODUÇÃO DE GRÃOS DE GIRASSOL

Todos os dados referentes às entradas da produção de grãos de girassol foram obtidos em entrevistas diretas a produtores, inclusive os dados de utilização e eficiência de maquinário. Posteriormente foi realizada uma consulta a especialistas da Embrapa, para compor o sistema de cultivo modal da região.

As atividades praticadas na produção de girassol são as de aplicação de corretivos e fertilizantes, semeadura, aplicação de pesticidas e colheita.

A calagem é uma operação única, praticada a intervalos de dois anos, que atende às culturas do girassol e da soja. Para esta operação é usado um distribuidor tracionado por um trator. A dessecação é feita em pré-emergência, dando início às atividades de preparo para cultivo, em sistema de plantio direto. A fertilização em cobertura usa o mesmo conjunto de trator e distribuidor de adubos. O plantio é feito com sementes previamente tratadas com inseticidas e fungicidas e se dá na mesma operação de aplicação de fertilizantes.

Após o estabelecimento das plantas foram iniciadas as atividades de manutenção da cultura, sendo realizadas aplicações de pesticidas para o controle de plantas invasoras, pragas e doenças (Tabela 1).

Os processos de manutenção e cuidados com a cultura encerram-se ao ser atingida a maturidade fisiológica das plantas, quando ocorre a colheita e o transporte dos grãos até a usina esmagadora.

A colheita do girassol é realizada a com as mesmas colhedadeiras utilizadas na soja, substituindo a plataforma¹ (informação verbal).

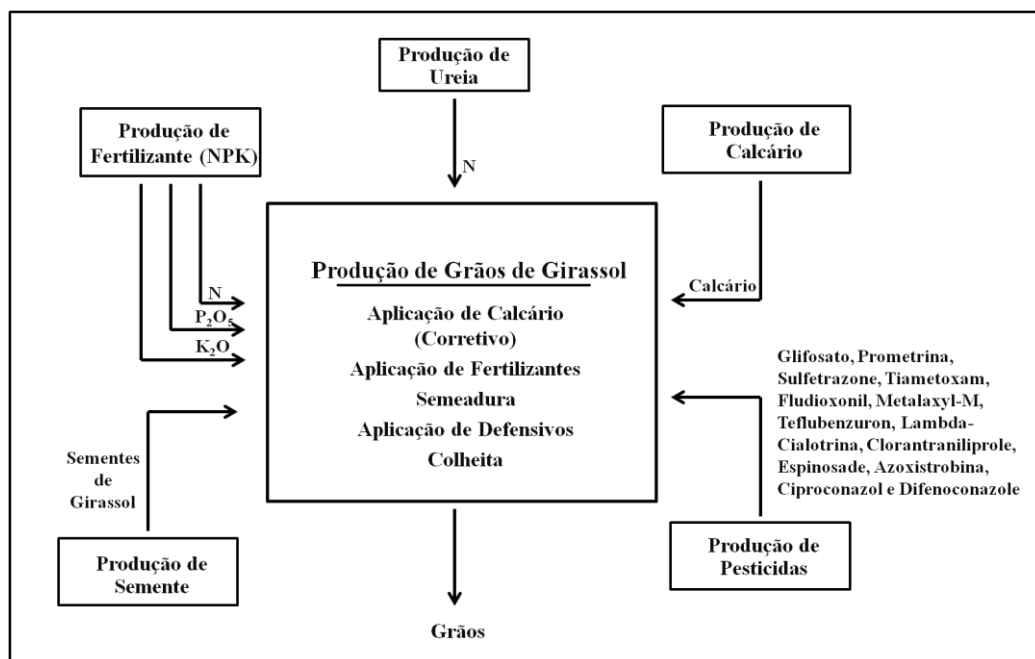
Para todas as atividades citadas acima é consumido óleo diesel. A figura 5 apresenta o fluxograma da produção de grãos de girassol.

¹ Informação fornecida por pesquisador da Embrapa Soja, César de Castro, 2014.

Tabela 1 - Atividades do sistema de cultivo do girassol.

| Operações |
|--|
| Atividades Pré-Semeadura |
| 1. Aplicação de Calcário |
| 2. Dessecação |
| Semeadura |
| 3. Tratamento de Sementes |
| 4. Adubação/semeadura |
| Tratos Culturais |
| 5. Herbicida em pré-emergência |
| 6. Adubação de cobertura |
| 7. Aplicação de fungicida + inseticida |
| 8. Aplicação de fungicida + inseticida |
| 9. Aplicação de inseticida |

Fonte: Autoria própria (2014).

Figura 5 - Fluxograma de produção de grãos de girassol.

Fonte: Autoria própria (2014).

A produção do girassol tem como entradas: calcário; fertilizante NPK (ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio), e ureia (cobertura); sementes de girassol; pesticidas (glifosato, prometrina, sulfetrazone, tiametoxam, fludioxonil, metalaxyl-m, teflubenzuron, lambda-cialotrina, clorantranilprole, espinosade, azoxistrobina, ciproconazol e difenoconazole); e óleo diesel.

Quanto à produção de sementes, foi considerado o mesmo sistema de cultivo que o para a obtenção de grãos, devido à grande similaridade dos manejos.

Todos os insumos que entram na produção de grãos tiveram as cargas ambientais de sua própria produção consideradas. Da mesma forma, foram consideradas as cargas ambientais da produção do maquinário agrícola, proporcionais ao tempo de uso, considerando a vida útil dos equipamentos.

Foi considerada a produção de 1.774 kg de grãos de girassol por hectare. Sendo necessário 1,57 ha para produzir 2.778 kg de grãos de girassol, produção a tender a unidade de referência de 1 t de óleo.

O modal de operações de maquinários agrícolas foi composto pelas informações fornecidas pelos produtores e por consulta a especialista² (informação verbal). Estas informações são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Operações de maquinários agrícolas utilizado no sistema de cultivo do girassol.

| Operação | Fonte de Potência | Especificação | Implemento | Especificação | Consumo de Combustível (l/h) | CCE* (ha/h) |
|-------------------------|-------------------|---------------|--------------|---------------|------------------------------|-------------|
| Calagem | Trator | 120 cv | Distribuidor | 10 t | 12 | 15 |
| Aplicação de defensivos | Autopropelido | 160 cv | - | - | 20 | 25 |
| Semeadura/adubação | Trator | 180 cv | Semeadora | 15 linhas | 18 | 4 |
| Adubação de cobertura | Trator | 120 cv | Distribuidor | 10 t | 12 | 15 |
| Colheita | Autopropelido | 240 cv | - | - | 25 | 4,5 |

Fonte: Produtores de girassol entrevistados e especialista (2014). *Capacidade de Campo Efetiva.

Considerou para a ureia 46% de N (CATANI; ALCARDE; FURLANI, 1968), 46% de P₂O₅ no superfosfato triplo (STP) (LOURENÇO; MEDRADO; LISBOA, 1988) e 60% de K₂O para o cloreto de potássio (KCl) (WATANABE et al., 2005).

Para as emissões de pesticidas, considerou-se que a quantidade total de cada princípio ativo aplicado ao sistema resultou em emissão para o solo, conforme recomendação do Ecoinvent (NEMECEK & SCHNETZER, 2011).

Para as emissões derivadas do uso de fertilizantes foram aplicadas os modelos indicados por Nemecek & Schnetzer (2011). Entretanto, sempre que possível, os parâmetros de entrada destes modelos foram substituídos por parâmetros específicos para a

² Consulta realizada ao pesquisador da Embrapa Soja, Osmar Conti, 2014.

região em estudo, para melhor representar sua realidade. Os parâmetros ou dados que não trazem especificada a fonte de informação são provenientes de Nemecek & Schnetzer (2011).

Para a determinação da emissão de nitrato (NO_3) lixiviado foi empregada à equação abaixo:

$$N = 21,37 + P/(c \times L)[0,0037 \times S + 0,0000601 \times N_{\text{org}} - 0,00362 \times U] \quad (1)$$

Onde:

N = NO_3 -N lixiviado (kg de N/ha/ano)

P = precipitação + irrigação (mm/ano)

c = argila contida (%).

L = profundidade de enraizamento (m)

S = fornecimento de nitrogênio através de fertilizantes (kg de N/ha)

N_{org} = nitrogênio na matéria orgânica (kg de N/ha)

U = nitrogênio exportado pela cultura (kg N/ha)

Os valores utilizados para Precipitação média (P), Teor de argila (c), Profundidade de enraizamento (L) e Absorção de N pela cultura são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros técnicos adotados para a estimação da lixiviação de nitrato (NO_3) no sistema de cultivo do girassol.

| Dados | Valores | Unidades |
|---|----------|------------|
| P =Precipitação média ^a | 1,75E+03 | mm/safra |
| c =Teor de argila ^b | 6,50E+01 | % |
| L =Profundidade de raiz ^c | 5,00E-01 | m |
| S =Fornecimento de nitrogênio pelo fertilizante | 4,42E+01 | kg de N/ha |
| N_{org} =Nitrogênio na matéria orgânica ^d | 4,00E+03 | kg de N/ha |
| U =Absorção de N pela cultura ^e | 7,27E+01 | kg de N/ha |

Fonte: a. MATO GROSSO E SEUS MUNICÍPIOS (2008); b. CASTRO e OLIVEIRA JUNIOR³ (informação verbal); c. BORDIN (2008); d; DEBIASI (informação verbal)⁴; e. CASTRO e OLIVEIRA (2005).

³ Informação fornecida por pesquisadores da Embrapa Soja, César de Castro e Adilson Oliveira Junior, 2014.

⁴ Informação fornecida por pesquisador da Embrapa Soja, Henrique Debiasi, 2014.

Sobre as emissões de fósforo, Nemecek & Schnetzer (2011) indicam haver três mecanismos: a) lixiviação para águas subterrâneas; b) escoamento para águas superficiais (*run-off*); e c) por erosão superficial. Conforme Novais e Smyth (1999) o fósforo apresenta mecanismos para fixação no solo, transformando-se, e com irreversibilidade restrita, em fósforo não lixiviável. Em solos tropicais mais intemperizados, essa fixação é ainda maior e a transformação na forma não lixiviável é ainda mais rápida. Do teor total de fósforo no solo menos de 0,1% se encontra na forma solúvel, este baixo valor em solos brasileiros limita a dessorção do fósforo e sua mobilidade, inclusive para águas subterrâneas. Assim, os problemas causados por lixiviação não devem ser observados no Brasil. Portanto, somente a perda de fósforo por erosão superficial do sistema produtivo para o meio ambiente foi considerado.

A emissão de fósforo por erosão superficial é determinada pela equação:

$$P_{er} = S_{er} \times P_{cs} \times F_r \times F_{erw} \quad (2)$$

Onde:

S_{er} = Quantidade de solo perdido

P_{cs} = Fósforo contido na camada superficial do solo

F_r = Fator de enriquecimento do Fósforo

F_{erw} = Fração do solo erodido que atinge o rio

O valor para Fração do solo erodido que atinge corpos d'água (F_{EW}) foi 0 (zero), devido à declividade quase nula, assim assumiu-se que não há perda de fósforo por erosão.

A respeito da emissão de amônia para o ar foi considerada uma taxa de emissão de 15%, em relação a toda a ureia utilizada no sistema de cultivo (NEMECEK & SCHNETZER, 2011).

Com referência ao cálculo de emissão de N_2O para o ar, este derivou do método do IPCC (EGGLESTON et al. 2006). As emissões diretas e indiretas de N_2O são integradas na equação utilizada. No caso de emissões indiretas de N_2O , o nitrogênio anteriormente emitido como amônia (NH_3) ou nitrato (NO_3^-) é convertido para N_2O (NEMECEK e SCHNETZER, 2011). A equação para determinar esta emissão é:

$$N_2O = 44/28 \times [0,01 (N_{tot} + N_{cr} + 0,01 \times 14/17 \times NH_3 + 0,0075 \times 14/62 \times NO_3^-)] \quad (3)$$

Onde:

N_2O = emissão de N_2O (kg de N_2O /ha)

N_{tot} = total de nitrogênio aportado como fertilizante (kg de N/ha)

N_{cr} = nitrogênio contido nos restos culturais (kg de N/ha)

NH_3 = perda de nitrogênio na forma de amônia (kg de NH_3 /ha)

NO_3^- = perda de nitrogênio na forma de nitrato (kg NO_3^- /ha)

Os valores dos parâmetros adotados para este cálculo são apresentados pela tabela 4. Para Nitrogênio contido nos restos culturais foi consultado Castro e Oliveira (2005).

Tabela 4 - Parâmetros técnicos adotados para a estimativa das emissões atmosféricas de N_2O no sistema de cultivo do girassol.

| Dados | Valores | Unidades |
|--|----------|--------------------|
| N_{tot} = total de nitrogênio em fertilizantes | 4,42E+01 | (kg de N_2O /ha) |
| N_{cr} = nitrogênio contido nos resíduos da cultura ^a | 3,21E+01 | (kg de N/ha) |
| NH_3 = perda de nitrogênio na forma de amônia | 1,44E+00 | (kg de N/ha) |
| NO_3^- = perda de nitrogênio na forma de nitrato | 1,87E+01 | (kg NO_3^- /ha) |

Fonte: a. Castro e Oliveira (2005).

Durante o processo de desnitrificação no solo, pode ocorrer a emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x). Esta emissão foi estimada pela equação:

$$NO_x = 0,21 \times N_2O \quad (4)$$

Sobre a emissão de CO_2 pelo consumo da ureia, foi levado em conta que em cada kg de ureia aplicada, 1,570 g são emitidos na forma de CO_2 (NEMECEK e SCHNETZER, 2011).

Para as emissões de metais pesados, os seguintes metais foram considerados: Cádmi (Cd), Cobre (Cu), Zinco (Zn), Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Cromo (Cr), conforme Barakat (2011) que considera estes elementos os mais relevantes dentro do contexto ambiental.

De acordo com a metodologia utilizada, Canals (2003), dois tipos de emissões podem ser estimadas: 1) emissões de metais pesados para águas superficiais; 2) emissões de metais pesados para solo agrícola.

As emissões de metais pesados para águas superficiais são calculadas pela equação abaixo:

$$\text{EmissãoMPA} = (\text{MMPF} - \text{MMPG}) * \text{MFERT}/1.000.000 * \text{FE} \quad (5)$$

Onde:

EmissãoMPA = emissão do metal pesado para águas superficiais (em kg)

MMPF= (soma da) quantidade do metal pesado no calcário e nos fertilizantes (mg/kg)

MMPG= quantidade do metal pesado no grão colhido (mg/kg)

MFERT= (soma da) quantidade de calcário e fertilizante aportados ao sistema (em kg)

FE = fator de emissão, 0,0001

Sobre as emissões de metais pesados para solo agrícola, estas são calculadas pela equação abaixo:

$$\text{EmissãoMPS} = [(\text{MMPF} - \text{MMPG}) * \text{MFERT}/1.000.000] - \text{EmissãoMPA} \quad (6)$$

Onde:

EmissãoMPS = emissão do metal pesado para o solo (kg)

MMPF= (soma da) quantidade do metal pesado no calcário e nos fertilizantes (mg/kg)

MMPG= quantidade do metal pesado no grão colhido (mg/kg)

MFERT= (soma da) quantidade de calcário e fertilizante aportados ao sistema (kg)

EmissãoMPA = emissão do metal pesado para águas superficiais (kg)

Não foram localizados teores de metal pesado no grão colhido de girassol, portanto no cálculo das emissões de metais pesados não foi descontada a quantidade exportada nos grãos (o que corresponde a uma opção conservadora).

Os cálculos foram feitos separadamente para cada fonte de nutriente e para o corretivo (ureia, STP, KCl e calcário). O teor de metais pesados contido em cada tipo de fertilizante é expresso na tabela 5.

Tabela 5 - Teores de metais pesados contidos nos fertilizantes.

| Metal | Ureia | Superfosfato triplo (TSP) | Cloreto de potássio (KCl) | Calcário |
|-------------|--------|---------------------------|---------------------------|----------|
| | | mg/kg | | |
| Cádmio (Cd) | 0,033 | 51,998 | 0,052 | 0,000 |
| Cobre (Cu) | 3,935 | 45,002 | 4,363 | 6,000 |
| Zinco (Zn) | 28,863 | 299 | 40,16 | 7,000 |
| Chumbo (Pb) | 0,721 | 3,501 | 4,803 | 0,000 |
| Níquel (Ni) | 1,313 | 43,999 | 1,833 | 0,000 |
| Cromo (Cr) | 1,313 | 260,999 | 1,744 | 9,900 |

Fonte: Guilherme, et al. (2011).

As emissões de CO₂ decorrentes da mudança do uso da terra (MUT) para o sistema de produção soja-girassol foram compartilhadas entre as duas culturas (segundo os critérios de alocação já apresentados), por fazerem uso do mesmo solo que foi transformado. Quando cada cultura (soja e girassol) foi observada como monocultura, as emissões da MUT foram atribuídas à cultura da soja, que é a cultura que justifica a abertura de novas áreas, por sua rentabilidade econômica, substituindo a vegetação nativa e pastagem. Portanto, a cultura do girassol (como monocultura) não assume diretamente estas emissões.

5.2 PRODUÇÃO DE GRÃOS DE SOJA

A produção de grãos de soja utilizou dados primários, obtidos por entrevistas a produtores e consulta as especialistas.

As atividades integrantes do sistema de cultivo da soja são: aplicação de calcário, aplicação de fertilizantes, semeadura, aplicação de pesticidas e colheita.

A operação de calagem atende às culturas da soja e girassol e já foi descrita anteriormente (item 5.1).

A dessecação é realizada de forma semelhante à feita na cultura do girassol, fazendo emprego dos mesmos maquinários, no entanto neste caso ocorrem duas operações.

O preparo do cultivo, bem como as demais operações realizadas para a manutenção da cultura e colheita foram similares às praticadas para o girassol, entretanto com um número maior de aplicação de pesticidas, como pode ser notado na tabela 6.

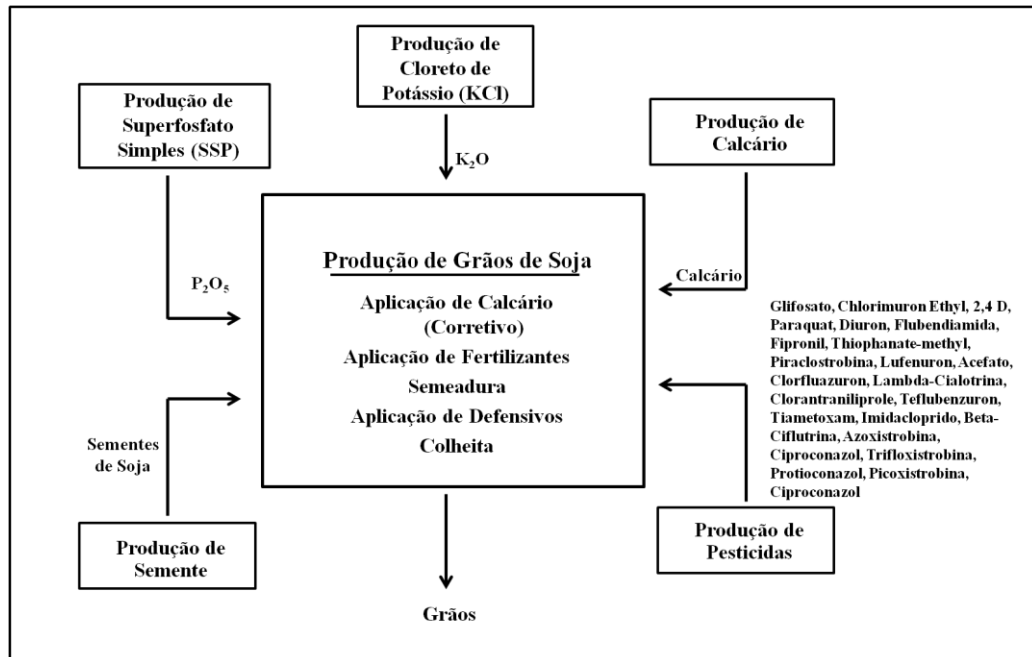
Tabela 6 - Atividades do sistema de cultivo da soja.

| Operações |
|---------------------------------|
| Atividades Pré-Semeadura |
| 1. Aplicação de Calcário |
| 2. Dessecação |
| 3. Dessecação |
| Semeadura |
| 4. Tratamento de Sementes |
| 5. Adubação |
| 6. Semeadura |
| Tratos Culturais |
| 7. Herbicida + Inseticida |
| 8. Adubação |
| 9. Herbicida + Inseticida |
| 10. Fungicida + Inseticida |
| 11. Fungicida + Inseticida |
| 12. Fungicida + Inseticida |
| 13. Inseticida |

Fonte: Autoria própria (2014).

Para todas as atividades citadas acima é consumido diesel. A figura 6 mostra o fluxograma da produção dos grãos de soja.

Os fluxos de entrada desse sistema incluem o calcário, fertilizantes (superfosfato simples e cloreto de potássio), pesticidas (Glifosato, Chlorimuron Ethyl, 2,4 D, Paraquat, Diuron, Flubendiamida, Fipronil, Thiophanate-methyl, Piraclostrobina, Lufenuron, Acefato, Clorfluazuron, Lambda-cialotrina, Clorantraniliprole, Teflubenzuron, Tiametoxam, Imidacloprido, Beta-ciflutrina, Azoxistrobina, Ciproconazol, Trifloxistrobina, Protioconazol, Picoxistrobina, Ciproconazol) e óleo diesel.

Figura 6 - Fluxograma de produção de grãos de soja.

Fonte: Autoria própria (2014).

O modal de operações de maquinários agrícola foi gerado pela integração das informações fornecidas pelos produtores e por consulta a especialista⁵ (informação verbal) (tabela 7).

Tabela 7 – Operações de maquinário agrícola utilizado no sistema de cultivo da soja.

| Operação | Fonte de Potência | Especificação | Implemento | Especificação | Consumo de Combustível (l/h) | CCE* (ha/h) |
|-------------------------|-------------------|---------------|--------------|---------------|------------------------------|-------------|
| Calagem | Trator | 120 cv | Distribuidor | 10 t | 12 | 15 |
| Aplicação de defensivos | Autopropelido | 160 cv | - | - | 20 | 25 |
| Semeadura/adubação | Trator | 180 cv | Semeadora | 15 linhas | 25 | 4 |
| Adubação de cobertura | Trator | 120 cv | Distribuidor | 10 t | 12 | 15 |
| Colheita | Autopropelido | 240 cv | - | - | 26 | 4 |

Fonte: Produtores de girassol entrevistados e especialista (2014). *Capacidade de Campo Efetiva.

Os cálculos das emissões da produção de grãos de soja adotam os mesmos métodos utilizados para cultura do girassol, descritos em 5.1. No entanto, há diferenças nos parâmetros de entrada de algumas equações, em consequência de diferenças inerentes à

⁵ Consulta realizada ao pesquisador da Embrapa Soja, Osmar Conti, 2014.

cultura e ao seu sistema de cultivo. Os aspectos que se diferenciam entre as culturas são apresentados abaixo.

A respeito da determinação da emissão de nitrato (NO_3) por lixiviação, os valores dos parâmetros adotados para a soja são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros técnicos adotados para a estimativa da lixiviação de nitrato (NO_3) no sistema de cultivo da soja.

| Dados | Valores | Unidades |
|---|----------|------------|
| P=Precipitação média ^a | 1,75E+03 | mm/safra |
| c=Teor de argila ^b | 6,50E+01 | % |
| L=Profundidade de raiz ^c | 4,90E-01 | m |
| S=Fornecimento de nitrogênio pelo fertilizante | 0,00E+00 | kg de N/ha |
| N _{org} =Nitrogênio na matéria orgânica ^d | 4,00E+03 | kg de N/ha |
| U=Absorção de N pela cultura ^e | 7,80E+01 | kg de N/ha |

Fonte: a. MATO GROSSO E SEUS MUNICÍPIOS (2008); b. CASTRO e OLIVEIRA JUNIOR⁶ (informação verbal); c. BORDIN (2008); d. DEBIASI (informação verbal)⁷; e. NEMECEK e SCHNETZER (2011).

Para a determinação da emissão de N_2O para o ar os parâmetros técnicos para a cultura da soja estão presentes na tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros técnicos adotados para a estimativa das emissões atmosféricas de N_2O no sistema de cultivo da soja.

| Dados | Valores | Unidades |
|---|----------|---------------------------------------|
| N _{tot} = total de nitrogênio em fertilizantes | 0,00E+00 | (kg de N_2O /ha) |
| N _{cr} = nitrogênio contido nos resíduos da cultura ^a | 1,08E+02 | (kg de N/ha) |
| NH ₃ = perda de nitrogênio na forma de amônia | 0,00E+00 | (kg de N/ha) |
| NO ₃ ⁻ = perda de nitrogênio na forma de nitrato | 1,91E+01 | (kg NO ₃ ⁻ /ha) |

Fonte: a. DUARTE e CANTARELLA (2007).

Para a determinação das emissões de metais pesados, diferentemente do ocorrido para o girassol, foi descontada a fração de metais pesados exportados para os grãos de soja, que são apresentados pela tabela 10. Não foram localizados dados da exportação de chumbo (Pb) para grãos de soja, sendo assim, neste caso, esta fração não foi descontada nos cálculos.

⁶ Informação fornecida por pesquisadores da Embrapa Soja, César de Castro e Adilson Oliveira Junior, 2014.

⁷ Informação fornecida por pesquisador da Embrapa Soja, Henrique Debiassi, 2014.

Tabela 10 - Metais pesados exportados pelos grãos de soja.

| Cádmio (Cd) ^a | Cobre (Cu) ^b | Zinco (Zn) ^b | Chumbo (Pb) | Níquel (Ni) ^a | Cromo (Cr) ^a |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------|
| mg/kg | | | | | |
| 0,01 | 10 | 40 | - | 3,1 | 0,2 |

Fonte: a. FERREIRA et al. (2003); b. EMBRAPA (2013).

As emissões de mudança do uso da terra (MUT) foram calculadas para as extensões de área onde houve substituição de vegetação nativa e pastagem para soja.

As emissões de CO₂ decorrentes da alteração no estoque de carbono do solo causada pela MUT foram calculadas pela equação abaixo, conforme o IPCC (2006b) e a Diretiva2009/28/EC (EC, 2009, 2010; IPCC, 2006c).

$$E = (CS_R - CS_A) * (44/12) * (1/20) \quad (7)$$

Onde:

E = Emissões anuais de GEE em função da MUT (t de CO₂ eq/ha/ano)

CS_R = Estoque de carbono da referência de uso da terra (t de C/ha)

CS_A = Estoque de carbono associado ao uso atual da terra, para cultivo de soja (t de C/ha)

A fração de 44/12 é usada para converter os resultados de CO₂-C a CO₂. À fração de 1/20 é empregada para se obter valores anuais, considerando o prazo de 20 anos, convencionado como o previsto para que o estoque de carbono do novo uso alcance o seu equilíbrio (segundo o IPCC). Os valores dos estoques de carbono dos diferentes usos da terra (CS_{Ri} e CS_{Ai}) são apresentados na tabela 11.

Tabela 11 - Valores calculados representando os estoques de carbono dos diferentes usos da terra.

| Dados | Valores | Unidades |
|--|----------|-------------|
| CS _{Ri} = Estoque de carbono da floresta | 3,52E+01 | (t de C/ha) |
| CS _{Ri} = Estoque de carbono do pasto | 3,01E+01 | (t de C/ha) |
| CS _{Ai} = Estoque de carbono da soja sobre floresta | 5,38E+00 | (t de C/ha) |
| CS _{Ai} = Estoque de carbono da soja sobre pasto | 1,54E+00 | (t de C/ha) |

O CS_R e o CS_A foram calculados pela equação abaixo:

$$CS = (SOC + C_{veg}) * A \quad (8)$$

Onde:

SOC = Estoque de carbono orgânico do solo (t de C/ha). Neste caso é considerado o estoque para “região tropical semi-úmida”; “solos com argila de baixa atividade” (47 t C/ha). Quando se trata de solo sob vegetação nativa, não são aplicados os fatores de uso do solo (EC, 2010)

C_{veg} = Estoque de carbono da biomassa (t de C/ha). Quando se trata de vegetação nativa, é adotado o estoque para “floresta tropical úmida de folha caduca, América do Sul” (47 t C/ha). Quando se trata de pastagem, é adotado o estoque para "região tropical semi-úmida e úmida" (8,1 t C/ha). Quando se trata da soja, uma cultura anual, o estoque de carbono da biomassa é zero (EC, 2010)

A = Fator de conversão da superfície modificada (ha/unidade de superfície), derivado da porcentagem da área sujeita à MUT nos últimos 20 anos, em relação à área total atualmente ocupada pela cultura em estudo (neste caso, a soja)

O cálculo do estoque de carbono no solo (SOC) ocupado com pastagem e soja é apresentado mais adiante no texto.

Os valores utilizados para a determinação do CS_R para vegetação nativa e do CS_R para pastagem a serem substituídas por soja estão presentes na tabela 12.

Tabela 12 - Valores utilizados para determinação do estoque de carbono (CS_R) para vegetação nativa substituída por soja e estoque de carbono (CS_R) para pastagem substituída por soja.

| Dados | Vegetação nativa | Pastagem | Unidades |
|---|------------------|----------|-------------|
| SOC = Estoque de carbono orgânico do solo | 4,70E+01 | 4,56E+01 | (t de C/ha) |
| C_{veg} = Estoque de carbono em camadas superiores e subterrânea da vegetação | 1,33E+02 | 8,10E+00 | (t de C/ha) |
| A = Relação entre a área de MUT com área plantada | 0,196 | 0,560 | |

A tabela 13 apresenta os valores utilizados para a determinação do CS_A para soja que substituiu vegetação nativa e CS_A para soja que substituiu pastagem.

Tabela 13 - Valores utilizados para determinação do estoque de carbono (CS_A) para soja que substituiu vegetação nativa.

| Dados | Vegetação nativa | Pastagem | Unidades |
|---|------------------|----------|-------------|
| SOC = Estoque de carbono orgânico do solo | 2,75E+01 | 2,75E+01 | (t de C/ha) |
| C_{veg} = Estoque de carbono em camadas superiores e subterrânea da vegetação | 0,00E+00 | 0,00E+00 | (t de C/ha) |
| A = Relação entre a área de MUT com área plantada | 0,196 | 0,560 | |

Para se calcular o valor de “A” foi realizada uma investigação sobre o avanço da soja no período de 1990 a 2010, e sobre o perfil desta expansão (CONAB, 2015; MACEDO et al., 2012; NEMECEK; SCHNETZER; REINHARD, 2014).

A área cultivada com soja no estado do Mato Grosso aumentou de 1,5 milhão de hectares, em 1990, para 6,14 milhões de hectares, em 2010 (CONAB, 2014), avançando segundo o padrão indicado por Macedo et al. (2012): até 2005, 26% da expansão da soja foi sobre vegetação nativa e 74% sobre pastagem; no período seguinte, foi de 9% sobre vegetação nativa e 91% sobre pastagem. O avanço da soja sobre outras culturas anuais é suposto não causar mudanças no estoque de carbono do sistema.

Para calcular o carbono orgânico no solo em estoque mineral (SOC) foi utilizada a equação abaixo:

$$SOC_i = SOC_{ST} * F_{LU} * F_{MG} * F_I \quad (9)$$

Onde:

SOC_{ST} = Estoque de carbono orgânico do solo (t de C/ha)

F_{LU} = Fator referente ao tipo de uso do solo

F_{MG} = Fator referente ao manejo do solo (ou intensidade de uso do solo)

F_I = Fator referente ao nível de aporte de matéria orgânica ao solo

Os valores utilizados para a determinação do estoque de carbono orgânico no solo (SOC) ocupado com soja vegetação nativa e pastagem são apresentados na tabela 14, respectivamente. O SOC da área de referência correspondeu ao da descrição “região tropical

semi-úmida”; “solos com argila de baixa atividade” (47 t C/ha). Quando se tratou de solo sob soja, os fatores de uso do solo corresponderam aos de “cultura anual” (F_{LU}), “práticas culturais sem movimentação do solo” (F_{MG}) e “com médio aporte de matéria orgânica” (F_I). Quando se tratou de pastagem, foi considerado o estoque para “*Savannah*” (F_{LU}), “degradação moderada” (F_{MG}) e “médio aporte de matéria orgânica” (F_I), segundo EC (2010).

Tabela 14 - Valores utilizados para determinação do estoque de carbono orgânico do solo (SOC_i) ocupado com soja, vegetação nativa e pastagem.

| Dados | Soja | Vegetação nativa | Pastagem | Unidades |
|---|----------|------------------|----------|-------------|
| SOC_{ST} = Estoque de carbono orgânico no solo | 4,70E+01 | 4,70E+01 | 4,70E+01 | (t de C/ha) |
| F_{LU} = Fator referente ao tipo de uso do solo | 4,80E-01 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | |
| F_{MG} = Fator referente ao manejo do solo | 1,22E+00 | 1,00E-01 | 0,97E-01 | |
| F_I = Fator referente ao aporte de matéria orgânica ao solo | 1,00E+00 | 1,00E+00 | 1,00E+00 | |

5.3 PRODUÇÃO DE ÓLEO DE GIRASSOL

A coleta de dados sobre a produção de óleo de girassol foi realizada por visita e entrevista ao técnico da usina esmagadora (Momesso⁸, informação verbal).

A usina em estudo é a Parecis Alimentos S/A, localizada na chapada do Parecis, no município de Campo Novo do Parecis - MT, na rodovia MT 235 km 04, que opera há mais de cinco anos. Conta com uma capacidade de processamento de grãos de girassol de 100 t/dia.

Esta usina trabalha com dois tipos de girassol, o de alto teor de ácido oleico e o convencional. O processamento destes dois tipos não ocorre de forma simultânea, para evitar problemas de classificação.

O transporte dos grãos do campo à usina é efetuado por caminhões, que percorrem uma distância média de 80 km. A classificação é feita na usina, no recebimento dos grãos, que então seguem para o armazenamento.

A etapa de pré-limpeza separa resíduos sólidos, como torrões, pedras, poeira e farelo de grãos quebrados, dos grãos íntegros. Estas impurezas correspondem a um percentual de 1% a 5%, em relação à massa dos grãos recebidos. Depois de separados, os resíduos são triturados e posteriormente incorporados à torta para ração animal.

⁸ Informação fornecida pelo gerente da Parecis Alimentos S/A, Eduardo Momesso, 2014.

A extração de óleo se dá por método mecânico, que dispensa o uso de solventes e de qualquer outro insumo. O único recurso consumido é energia elétrica (a usina não faz uso de caldeira geradora de vapor). Cerca de 200 mil kw/mês são consumidos pela usina esmagadora, operando em três turnos, duração de 24 horas diárias. Este consumo de energia se deve ao funcionamento de motores de alta potência.

O consumo de água é muito reduzido. Esta não é empregada no processamento, mas sim na higienização da planta.

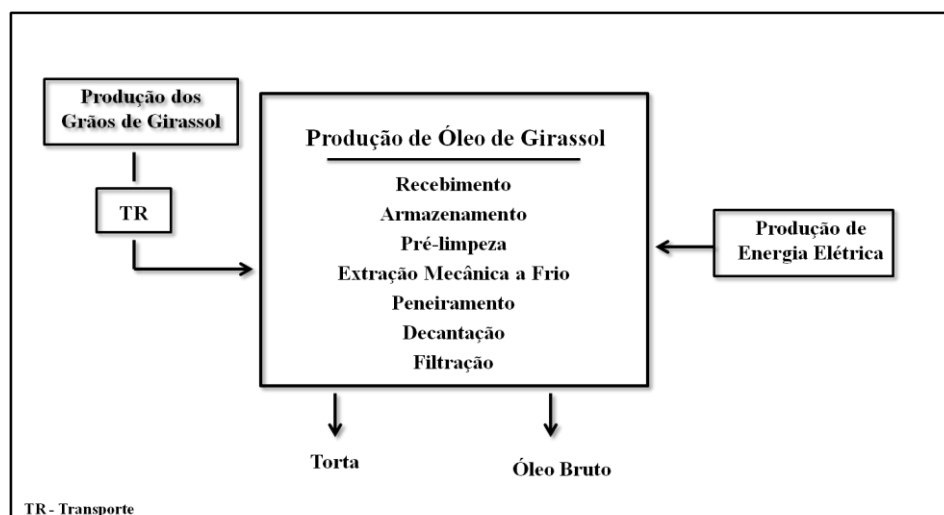
Outro resíduo da extração de óleo, a borra, também é agregado à torta. O volume de borra produzido é de cerca de 1%, em relação à quantidade de óleo processado. Na composição final da torta, 0,73% corresponde à borra.

O produto e coproduto, óleo e torta, são vendidos a granel, dispensando o uso de embalagens.

Da massa total de grãos de girassol recebidos pela usina 36% correspondem à produção de óleo, 55% à produção de torta e 9% a perdas, principalmente de umidade. Portanto cada 1 t de grãos processados são produzidos 360 kg de óleo e 550 kg de torta, demandando 72.000 kw e 110.000 kw de energia elétrica. A figura 7 apresenta o fluxograma da produção de óleo de girassol.

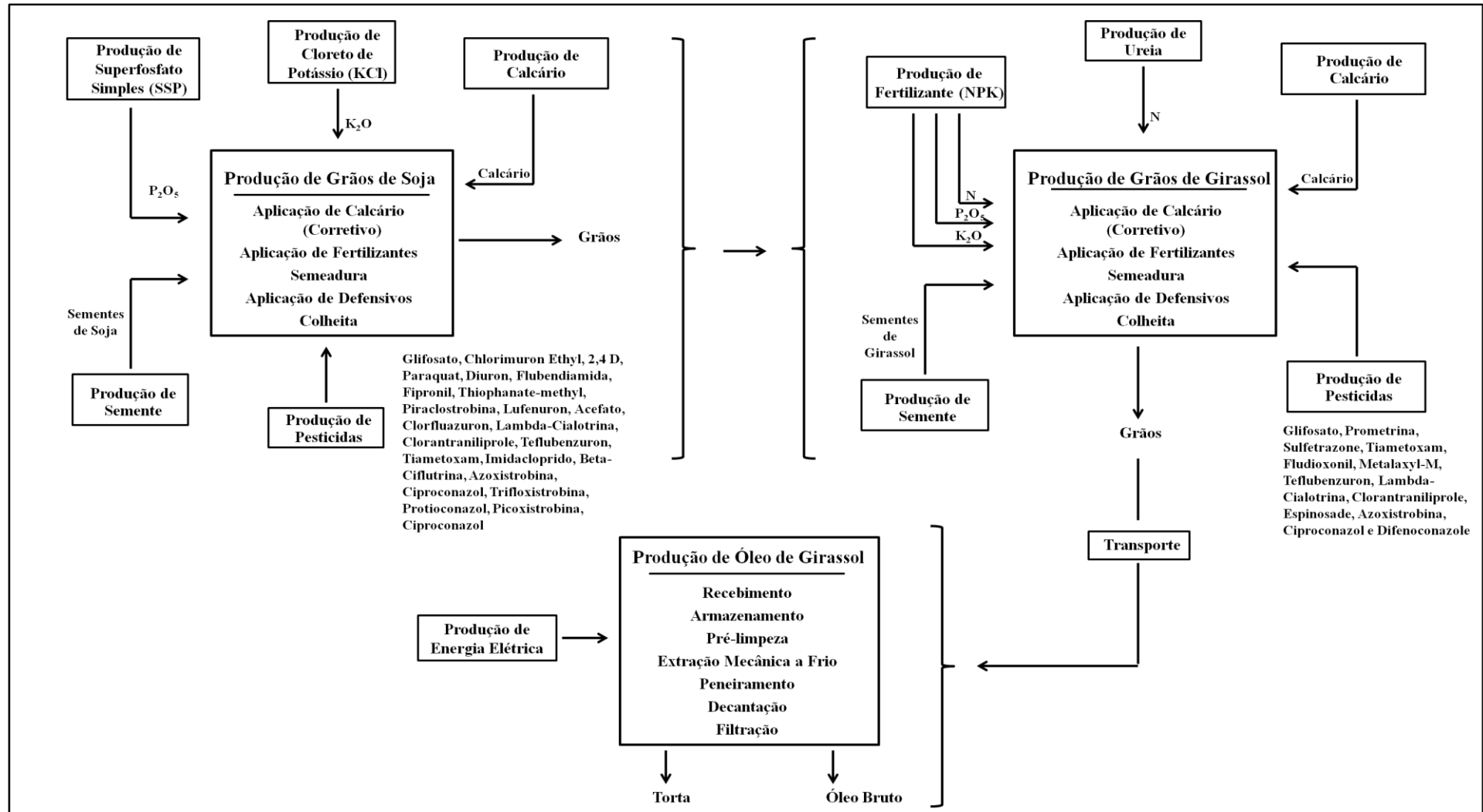
A figura 8 expõe a união e interação entre os inventários deste produto.

Figura 7 - Fluxograma de produção de óleo bruto de grãos de girassol.



Fonte: Autoria própria (2014).

Figura 8 - Inventários a compor a ACV de produção de óleo de girassol.



Fonte: Autoria própria (2014).

5.4 ENERGIA ELÉTRICA, DIESEL, TRANSPORTE, FERTILIZANTES E CORRETIVOS, ADJUVANTES, PESTICIDAS, E OPERAÇÕES AGRÍCOLAS

Os inventários foram obtidos na base de dados Ecoinvent v2.2., e correspondem aos processos de produção dos principais insumos empregados na produção de girassol e soja.

5.5 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

Na avaliação dos impactos ambientais do ciclo de vida se fez uso do método ReCiPe Midpoint (H) V1.07 / World ReCiPe H/A, desconsiderando-se as categorias de impacto não pertinentes à natureza dos processos principais em estudo. Foi usado como software de apoio o SimaPro, versão 8.0.4.26.

As categorias de impactos, que são as classes que representam as questões ambientais às quais os resultados das análises do inventário de ciclo de vida podem ser associados (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b), elegidos a este estudo estão presentes na tabela 15.

As categorias escolhidas a este estudo foi em virtude da consulta a especialistas que apontaram que as categorias mais destacáveis a este tipo de pesquisa são as listadas previamente, condizendo com a realidade do ambiente e dos materiais que o compõe. Quanto a literatura esta escolha esta em conformidade com Brentrup et al. (2004).

Os métodos de avaliação dos impactos consideraram como embasamento as análises das questões ambientais expressivas ao ciclo de vida dos produtos em estudo, sequencialmente foram confrontadas com as categorias de impactos ambientais efetivos no SimaPro aos métodos de AICV.

Tabela 15 - Categorias de impactos consideradas no estudo.

| Categorias de Impactos | Unidade | Abreviação das Categorias de Impactos | Fatores de Caracterização |
|----------------------------------|--------------------------|--|---|
| Mudança Climática | kg (CO ² eq) | CC | global warming potential |
| Depleção de Ozônio | kg (CFC-11 eq) | OD | ozone depletion potential |
| Acidificação Terrestre | kg (SO ² eq) | TA | terrestrial acidification potential |
| Eutrofização de Água Doce | kg (P eq) | FE | freshwater eutrophication potential |
| Toxicidade Humana | kg (1,4-DB eq) | HT | human toxicity potential |
| Oxidação Fotoquímica | kg (NMVOC) | POF | photochemical oxidant formation potential |
| Formação de Material Particulado | kg (PM ₁₀ eq) | PMF | particulate matter formation potential |
| Ecotoxicidade Terrestre | kg (1,4-DB eq) | TET | terrestrial ecotoxicity potential |
| Ecotoxicidade Aquática | kg (1,4-DB eq) | FET | freshwater ecotoxicity potential |
| Ocupação de Solo Agrícola | m ² *ano | ALO | agricultural land occupation potential |
| Depleção Hídrica | m ³ | WD | water depletion potential |
| Depleção de Metais | kg (Fe eq) | MRD | mineral depletion potential |
| Depleção de Combustíveis Fósseis | kg (óleo mineral eq) | FD | fossil depletion potential |

Fonte: Goedkoop et al. (2009).

6. RESULTADOS E DISCUSÃO

6.1 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO GIRASSOL

Os valores do inventário de entradas e saídas da produção de girassol, em sistema de sucessão com a soja (*crop system*) com alocação por tempo de uso do solo, são apresentados pela tabela 16.

Tabela 16 - Inventário de entradas e saídas do sistema de cultivo do girassol em *crop system*, com alocação por tempo de ocupação da terra.

| Entradas e Saídas do Sistema | | |
|---|-------------|----------------------------|
| Produtos | 1 ha | 1,57 ha⁹ |
| Grãos de Girassol (kg) | 1,77E+03 | 2,77E+03 |
| Recursos naturais | | |
| Ocupação, cultura anual (ha/ano) | 3,29E-01 | 5,15E-01 |
| Materiais e combustíveis | | |
| Ácido bórico (kg) | 6,80E-01 | 1,06E+00 |
| Azoxistrobina (kg) | 1,32E-01 | 2,07E-01 |
| Calcário (kg) | 2,55E+02 | 3,99E+02 |
| Ciproconazol (kg) | 5,28E-03 | 8,27E-03 |
| Cloreto de potássio, como K ₂ O (kg) | 2,40E+01 | 3,76E+01 |
| Clorantriliprole (kg) | 1,00E-02 | 1,57E-02 |
| Difenoconazole (kg) | 1,28E-02 | 2,00E-02 |
| Diesel (kg) | 1,32E+01 | 2,07E+01 |
| Espinosade (kg) | 2,41E-02 | 3,77E-02 |
| Fludioxonil (kg) | 2,61E-03 | 4,09E-03 |
| Glifosato (kg) | 1,05E+00 | 1,64E+00 |
| Lambda-cialotrina (kg) | 3,46E-02 | 5,42E-02 |
| Metalaxyl-M (kg) | 1,05E-03 | 1,64E-03 |
| Óleo mineral (kg) | 2,98E-01 | 4,67E-01 |
| Prometrina (kg) | 9,63E-01 | 1,51E+00 |

⁹ Área necessária para a produção de grãos suficiente para produzir 1 t de óleo de girassol

| | | |
|--|----------|----------|
| Sementes (kg) | 3,50E+00 | 5,48E+00 |
| Superfosfato triplo, como P ₂ O ₅ (kg) | 1,84E+01 | 2,88E+01 |
| Sulfetrazone (kg) | 8,56E-01 | 1,34E+00 |
| Teflubenzuron (kg) | 1,80E-01 | 2,82E-01 |
| Tiametoxam (kg) | 3,93E-02 | 6,15E-02 |
| Ureia, como N (kg) | 4,42E+01 | 6,92E+01 |
| Emissões para o ar | | |
| Amônia (kg) | 1,44E+01 | 2,26E+01 |
| Dióxido de carbono, CO ₂ , ureia (kg) | 6,93E-02 | 1,09E-01 |
| Dióxido de carbono, CO ₂ , MUT (kg) | 4,16E+03 | 6,51E+03 |
| Óxido nitroso, N ₂ O (kg) | 1,87E+00 | 2,93E+00 |
| Óxidos de nitrogênio, NO _x (kg) | 3,92E-01 | 6,14E-01 |
| Emissões para águas superficiais | | |
| Cádmio, Cd (kg) | 2,09E-07 | 3,27E-07 |
| Chumbo, Pb (kg) | 4,01E-08 | 6,28E-08 |
| Cobre, Cu (kg) | 3,44E-07 | 5,39E-07 |
| Cromo, Cr (kg) | 1,24E-06 | 1,94E-06 |
| Níquel, Ni (kg) | 1,96E-07 | 3,07E-07 |
| Zinco, Zn (kg) | 1,76E-06 | 2,76E-06 |
| Emissões para águas subterrâneas | | |
| Nitrato, NO ³ (kg) | 2,89E+01 | 4,53E+01 |
| Emissões para o solo | | |
| Ácido bórico (kg) | 6,80E-01 | 1,06E+00 |
| Azoxistrobina (kg) | 1,32E-01 | 2,07E-01 |
| Cádmio, Cd (kg) | 2,09E-03 | 3,27E-03 |
| Ciproconazol (kg) | 5,28E-03 | 8,27E-03 |
| Chumbo, Pb (kg) | 4,01E-04 | 6,28E-04 |
| Clorantraniliprole (kg) | 1,00E-02 | 1,57E-02 |
| Cobre, Cu (kg) | 3,44E-03 | 5,39E-03 |
| Cromo, Cr (kg) | 1,24E-02 | 1,94E-02 |
| Difenoconazole (kg) | 1,28E-02 | 2,00E-02 |
| Espinosade (kg) | 2,41E-02 | 3,77E-02 |
| Fludioxonil (kg) | 2,61E-03 | 4,09E-03 |
| Glifosato (kg) | 1,05E+00 | 1,64E+00 |
| Lambda-cialotrina (kg) | 3,46E-02 | 5,42E-02 |
| Metalaxyl-M (kg) | 1,05E-03 | 1,64E-03 |
| Níquel, Ni (kg) | 1,96E-03 | 3,07E-03 |
| Óleo mineral (kg) | 2,98E-01 | 4,67E-01 |

| | | |
|--------------------|----------|----------|
| Prometrina (kg) | 9,63E-01 | 1,51E+00 |
| Sulfentrazone (kg) | 8,56E-01 | 1,34E+00 |
| Teflubenzuron (kg) | 1,80E-01 | 2,82E-01 |
| Tiametoxam (kg) | 3,93E-02 | 6,15E-02 |
| Zinco, Zn (kg) | 1,76E-02 | 2,76E-02 |

Fonte: Autoria própria (2014).

6.2 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DA SOJA

O inventário de entradas saídas da produção de soja, em sucessão com o girassol (*crop system*), com alocação por tempo de uso do solo, é apresentado na tabela 17.

Tabela 17 - Inventário de entradas e saídas do sistema de cultivo da soja em *crop system*, com alocação por tempo de ocupação da terra.

| Entradas e Saídas do Sistema | |
|---|-------------|
| Produtos e coprodutos | 1 ha |
| Grãos de Soja (kg) | 3,12E+03 |
| Recursos naturais | |
| Ocupação, cultura anual (ha/ano) | 3,15E-01 |
| Materiais e combustíveis | |
| 2,4 D (kg) | 1,65E-01 |
| Acefato (kg) | 1,49E-01 |
| Azoxistrobina (kg) | 6,60E-02 |
| Beta-Ciflutrina (kg) | 1,12E-02 |
| Calcário, (kg) | 2,45E+02 |
| Ciproconazol (kg) | 5,32E-02 |
| Cloreto de potássio, como K ₂ O (kg) | 7,50E+01 |
| Clorantraniliprole (kg) | 8,04E-03 |
| Chlorimuron Ethyl (kg) | 1,02E-02 |
| Clorfluazuron (kg) | 2,38E-03 |
| Diesel (kg) | 1,81E+01 |
| Diuron (kg) | 9,90E-02 |
| Enxofre (S) | 4,00E+01 |
| Fipronil (kg) | 2,50E-02 |
| Flubendiamida (kg) | 4,13E-02 |

| | |
|--|----------|
| Glifosato (kg) | 3,57E+00 |
| Imidacloprido (kg) | 8,97E-02 |
| Lambda-cialotrina (kg) | 9,86E-02 |
| Lufenuron (kg) | 1,69E-02 |
| Paraquat (kg) | 1,98E-01 |
| Picoxistrobina (kg) | 6,69E-02 |
| Piraclostrobina (kg) | 2,44E-03 |
| Protioconazol (kg) | 7,81E-02 |
| Sementes (kg) | 4,00E+01 |
| Superfosfato triplo, como P ₂ O ₅ (kg) | 4,08E+01 |
| Teflubenzuron (kg) | 1,20E-02 |
| Thiophanate-methyl (kg) | 2,24E-02 |
| Tiametoxam (kg) | 1,26E-01 |
| Trifloxistrobina (kg) | 6,70E-02 |
| Ureia, como N (kg) | 1,84E+00 |
| Emissões para o ar | |
| Dióxido de carbono, CO ₂ , MUT (kg) | 3,99E+03 |
| Óxidos de nitrogênio, NO _x (kg) | 5,55E-01 |
| Óxido nitroso, N ₂ O (kg) | 2,64E+00 |
| Emissões para águas superficiais | |
| Cádmio, Cd (kg) | 2,08E-06 |
| Chumbo, Pb (kg) | 2,02E-07 |
| Cromo, Cr (kg) | 1,07E-05 |
| Níquel, Ni (kg) | 8,17E-07 |
| Zinco, Zn (kg) | 1,73E-07 |
| Emissões para águas subterrâneas | |
| Nitrato, NO ₃ (kg) | 1,91E+01 |
| Emissões para o solo | |
| 2,4 D (kg) | 1,65E-01 |
| Acefato (kg) | 1,49E-01 |
| Azoxistrobina (kg) | 6,60E-02 |
| Beta-Ciflutrina (kg) | 1,12E-02 |
| Cádmio, Cd (kg) | 2,08E-02 |
| Ciproconazol (kg) | 5,32E-02 |
| Chumbo, Pb (kg) | 2,02E-03 |
| Clorantraniliprole (kg) | 8,04E-03 |

| | |
|-------------------------|----------|
| Chlorimuron Ethyl (kg) | 1,02E-02 |
| Clorfluazuron (kg) | 2,38E-03 |
| Cromo, Cr (kg) | 1,08E-01 |
| Diuron (kg) | 9,90E-02 |
| Fipronil (kg) | 2,50E-02 |
| Flubendiamida (kg) | 4,13E-02 |
| Imidacloprido (kg) | 3,57E+00 |
| Glifosato (kg) | 8,97E-02 |
| Lambda-cialotrina (kg) | 9,86E-02 |
| Níquel, Ni (kg) | 8,17E-03 |
| Paraquat (kg) | 1,98E-01 |
| Picoxistrobina (kg) | 6,69E-02 |
| Piraclostrobina (kg) | 2,44E-03 |
| Protiokonazol (kg) | 7,81E-02 |
| Teflubenzurom (kg) | 1,20E-02 |
| Thiophanate-methyl (kg) | 2,24E-02 |
| Tiametoxam (kg) | 1,26E-01 |
| Trifloxistrobina (kg) | 6,70E-02 |
| Zinco, Zn (kg) | 2,25E-03 |

Fonte: Autoria própria (2014).

6.3 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO ÓLEO DE GIRASSOL

Para a produção de 1 t de óleo são necessários aproximadamente 2.778 kg de grão e 72.000 kW de energia elétrica, gerando paralelamente 1.528 kg de torta, que necessitam de 110.000 kW de energia elétrica para secagem, ocorrendo uma perda em umidade de 250 kg (tabela 18).

Tabela 18 - Inventário da produção do óleo de girassol

| Entradas | |
|-----------------------|----------|
| Grãos de Girassol, kg | 2,78E+03 |
| Energia elétrica, kW | 2,00E+02 |
| Saídas | |
| Óleo, kg | 1,00E+03 |
| Torta, kg | 1,53E+03 |
| Perda em Umidade, kg | 2,50E+02 |

Fonte: Autoria própria (2014).

6.4 INVENTÁRIO DE PRODUÇÃO DE GIRASSOL E SOJA COM DISTINTOS CRITÉRIOS DE ALOCAÇÃO

Foram gerados inventários para ambas as culturas (girassol e soja) em sistema de monocultura. A tabela 19 apresenta os aspectos ambientais que diferiram quando comparados os inventários em monocultura e *crop system*, considerando a alocação por tempo de uso do solo. A tabela 20 apresenta os inventários para ambas as culturas obtidos com os três critérios de alocação, considerando apenas os valores que se distinguem entre monocultura e *crop system*.

Tabela 19 - Aspectos ambientais que diferem entre os inventários dos processos de produção de girassol em monocultura e em sistema de sucessão de culturas (*crop system*) e de soja em monocultura e em sistema de sucessão de culturas, para 1 t de cada produto.

| Aspectos ambientais | Girassol Monocultura | Girassol (<i>Crop System</i>) | Soja Monocultura | Soja (<i>Crop System</i>) |
|--|-------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| kg | | | | |
| Entradas | | | | |
| Calcário | 5,00E+02 | 2,55E+02 | 5,00E+02 | 2,45E+02 |
| Ureia, como N | 6,42E+01 | 4,42E+01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Emissões para o ar | | | | |
| Amônia | 2,09E+01 | 1,44E+01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Dióxido de carbono, CO ₂ (ureia) | 1,01E+02 | 6,93E+01 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Dióxido de carbono, CO ₂ (MUT) | - | 4,16E+03 | 8,16E+03 | 3,99E+03 |
| Óxido de nitrogênio, NOx | 4,95E-01 | 3,92E-01 | 5,55E-01 | 5,55E-01 |
| Óxido nitroso, N ₂ O | 2,36E+00 | 1,87E+00 | 2,64E+00 | 2,64E+00 |
| Emissões para águas superficiais | | | | |
| Chumbo, Pb | 4,33E-08 | 4,01E-08 | 2,02E-07 | 2,02E-07 |
| Cobre, Cu | 5,52E-07 | 3,44E-07 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Cromo, Cr | 1,56E-06 | 1,24E-06 | 1,10E-05 | 1,07E-05 |
| Níquel, Ni | 2,02E-07 | 1,96E-07 | 8,17E-07 | 8,17E-07 |
| Zinco, Zn | 2,11E-06 | 1,76E-06 | 3,52E-07 | 1,73E-07 |
| Emissões para o solo | | | | |
| Chumbo, Pb | 4,33E-04 | 4,01E-04 | 2,02E-03 | 2,02E-03 |
| Cobre, Cu | 5,52E-03 | 3,44E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Cromo, Cr | 1,56E-02 | 1,24E-02 | 1,10E-01 | 1,07E-01 |
| Níquel, Ni | 2,02E-03 | 1,96E-03 | 8,17E-03 | 8,17E-03 |
| Tiametoxam | 5,37E-02 | 3,93E-02 | 1,26E-01 | 1,26E-01 |
| Zinco, Zn | 2,11E-02 | 1,76E-02 | 3,52E-03 | 1,73E-03 |

Fonte: Autoria própria (2014).

Tabela 20 - Aspectos ambientais que diferem nos inventários dos processos de produção de girassol em monocultura e em sucessão de culturas (*crop system*) e de soja em monocultura e em sistema de sucessão de culturas, aplicando-se alocação mássica, por tempo de uso do solo e econômica, para 1 t de cada produto.

| Substâncias | Girassol (<i>Crop System</i> – tempo de uso do solo) | Girassol (<i>Crop System</i> – mássica) | Girassol (<i>Crop System</i> – econômica) | Soja (<i>Crop System</i> –tempo de uso do solo) | Soja (<i>Crop System</i> – mássica) | Soja (<i>Crop System</i> – econômica) |
|---|---|--|--|--|--|--|
| kg | | | | | | |
| Entradas | | | | | | |
| Calcário | 2,55E+02 | 1,81E+02 | 0,00E+00 | 2,45E+02 | 3,19E+02 | 5,00E+02 |
| Emissões para o ar | | | | | | |
| Dióxido de carbono, CO ₂ (MUT) | 4,16E+03 | 2,96E+03 | 0,00E+00 | 3,99E+03 | 5,20E+03 | 8,16E+03 |
| Emissões para águas superficiais | | | | | | |
| Cobre, Cu | 3,44E-07 | 3,44E-07 | 2,35E-07 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Cromo, Cr | 1,24E-06 | 1,24E-06 | 1,06E-06 | 1,07E-05 | 1,08E-05 | 1,10E-05 |
| Zinco, Zn | 1,76E-06 | 1,76E-06 | 1,63E-06 | 1,73E-07 | 2,25E-07 | 3,52E-07 |
| Emissões para o solo | | | | | | |
| Cobre, Cu | 3,44E-03 | 3,44E-03 | 2,35E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 |
| Cromo, Cr | 1,24E-02 | 1,24E-02 | 1,06E-02 | 1,07E-01 | 1,08E-01 | 1,10E-05 |
| Zinco, Zn | 1,76E-02 | 1,76E-02 | 1,63E-02 | 1,73E-03 | 2,25E-03 | 3,52E-07 |

Fonte: Autoria própria (2014).

6.5 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO CICLO DE VIDA (AICV)

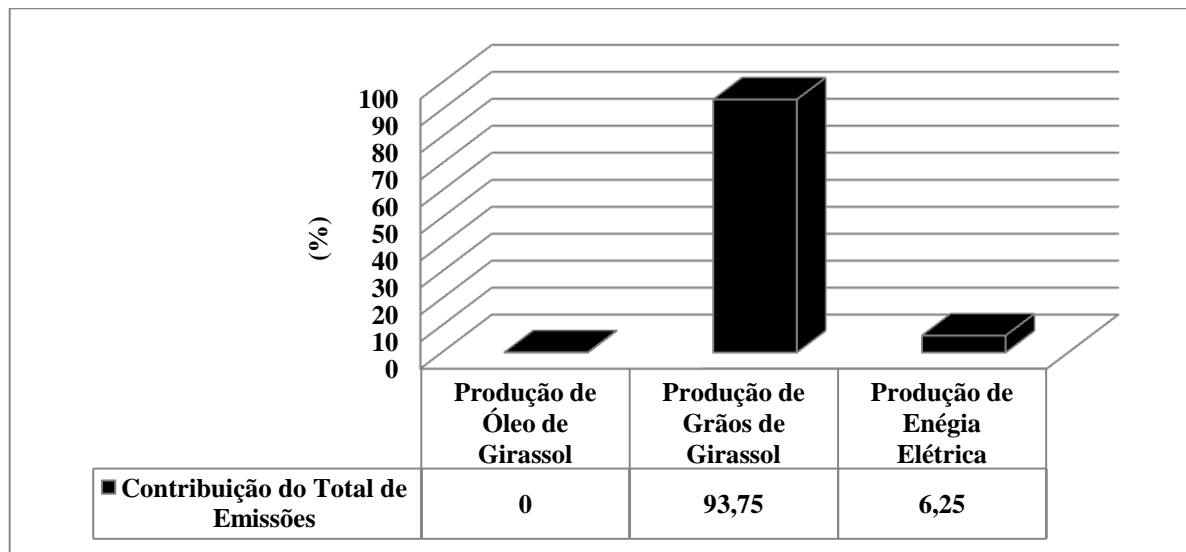
6.5.1 AICV da Produção de Óleo de Girassol

A fase agrícola de produção respondeu pela maior parte das emissões da produção de óleo de girassol, considerando-se todas as etapas do ciclo de vida à montante deste processo (isto é, a produção de grãos de girassol e seus insumos, diesel e eletricidade, e os processos que os antecedem na cadeia de produção). Vale destacar que nesta avaliação foi considerada a produção de grãos de girassol por *crop system*, com alocação por tempo de uso do solo, até a produção final do óleo bruto.

A produção agrícola contribuiu com mais de 90% das emissões totais. A energia elétrica usada na fase industrial da produção de óleo também gerou emissões. Vale destacar que a fase industrial da produção do óleo não exige outros insumos (produtos químicos, embalagens, outras fontes de energia, água), além dos grãos de girassol e energia elétrica. A figura 9 apresenta esta comparação.

Este resultado é semelhante ao obtido por Nucci et al. (2014), que em avaliação também da produção de óleo de girassol observaram que a fase agrícola se destacou como a maior emissora de poluentes. Resultados equivalentes foram observados para estudos da produção de óleos vegetais de outras fontes, como o realizado por Avraamides e Fatta (2008), para azeite de oliva; Schmidt (2010), para óleo de palma e canola, e Mattsson, Cederberg e Blix (2000), Simone et al. (2009) e Spinelli, Jez e Basosi (2012), para o girassol.

Figura 9 – Contribuição das etapas do ciclo de vida do óleo de girassol nas emissões de poluentes.



Fonte: Autoria própria (2014).

6.5.2 AICV da Produção de Grãos de Girassol e Soja

6.5.2.1 AICV – comparação entre girassol e soja (adotando-se a alocação por tempo de uso da terra)

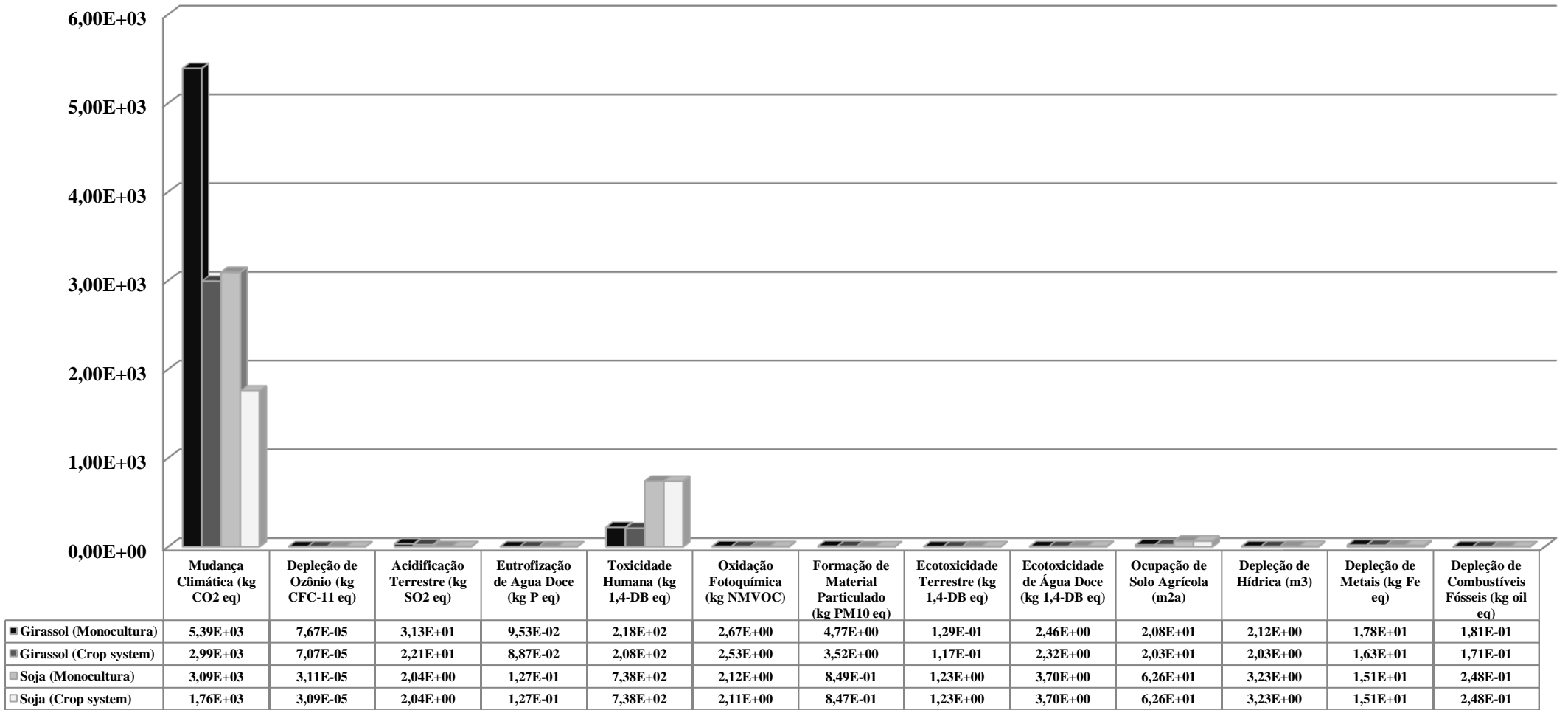
O desempenho ambiental de cada produto variou entre as categorias de impacto avaliadas, sendo que em metade das categorias o girassol demonstrou melhor desempenho, enquanto que na outra metade o demonstrou a soja. Não se pode deixar de destacar que a maior produtividade da soja influenciou os resultados a seu favor.

A categoria de impacto Mudança Climática foi a mais relevante dentre as avaliadas, quando os dados foram normalizados (figura 10).

A causa do impacto Mudança Climática pode ser atribuída principalmente às emissões de gás carbônico decorrentes da mudança do uso da terra e das emissões de óxido nítrico decorrentes do uso de fertilizantes nitrogenados, como ilustra a figura 11 (na qual é considerado o *crop system*, com alocação por tempo de uso do solo).

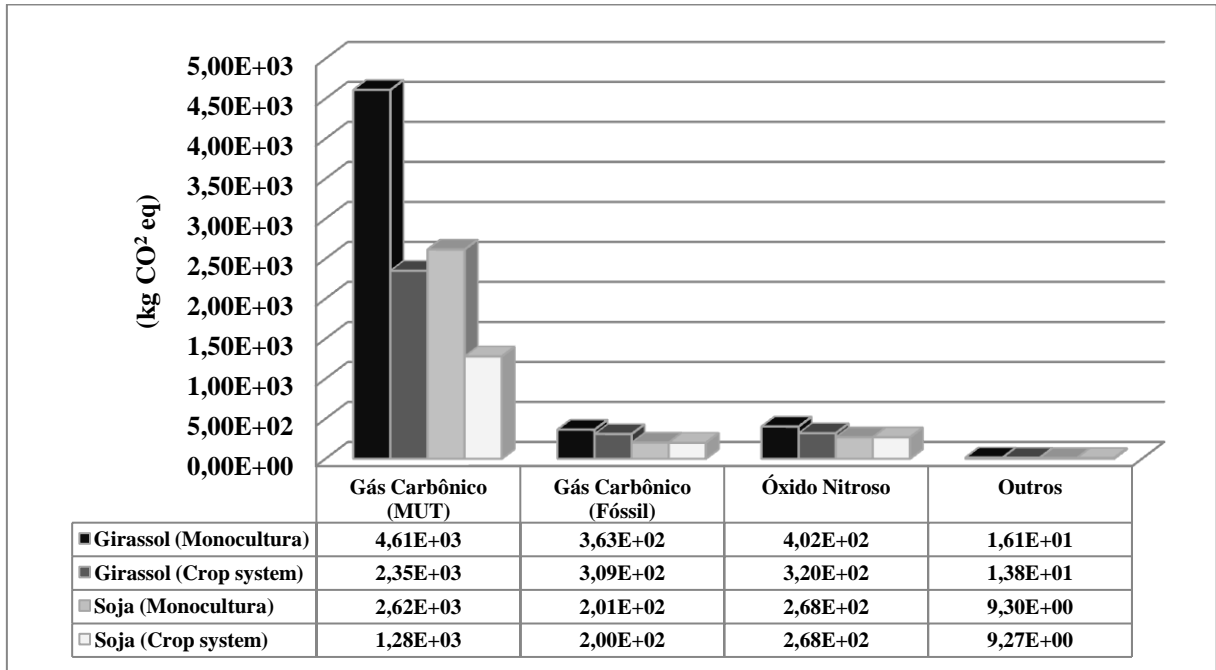
Pode-se notar um pior desempenho do girassol nesta categoria, quando comparado à soja. Spinelli et al. (2013a) apontam que a adubação nitrogenada, no sistema de cultivo do girassol, contribuiu para todas as categorias de impactos avaliadas em seu estudo de ACV, sendo elas Mudança Climática, Toxicidade Humana, Ecotoxicidade, Acidificação e Depleção de Combustíveis Fósseis. Neste trabalho, a principal atividade poluidora do sistema de produção de girassol foi à utilização de fertilizantes.

Figura 10 – Desempenho do girassol e da soja, em monocultura e em *crop system* (com alocação por tempo de uso do solo) para as categorias de impacto ambiental consideradas.



Fonte: Autoria própria (2014).

Figura 11 - Principais substâncias responsáveis pelo impacto na categoria de Mudança Climática, para a produção de girassol e soja como monocultura e *crop system* (com alocação por tempo de uso do solo).

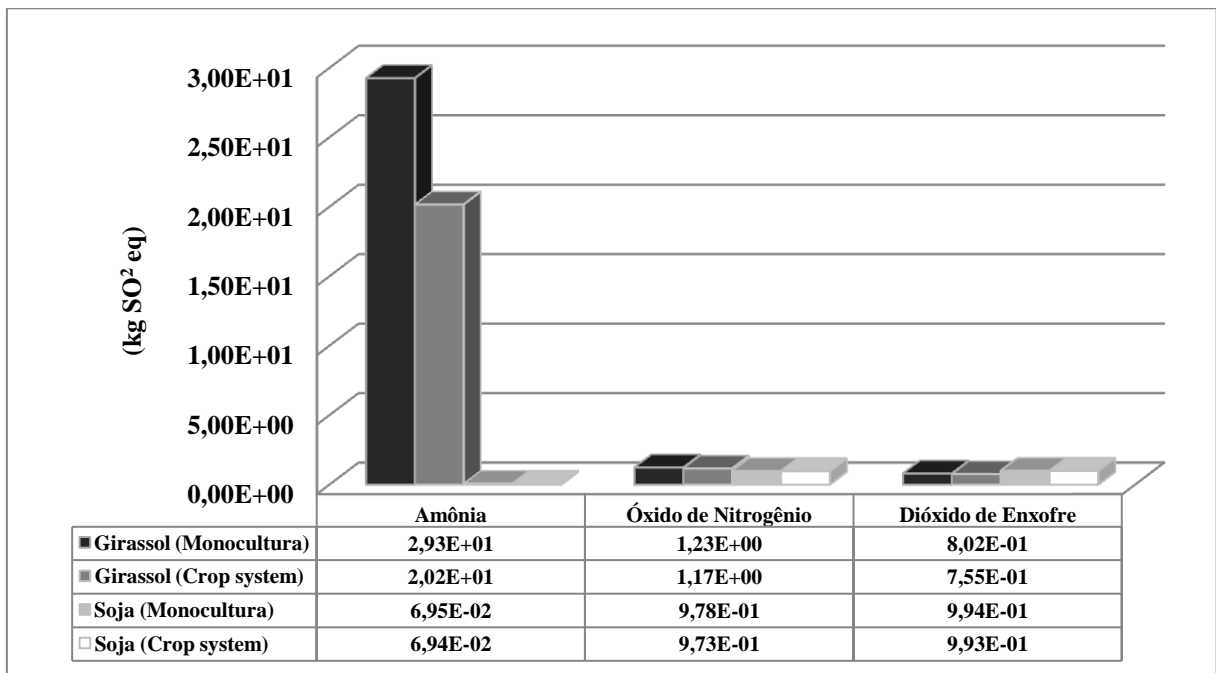


Fonte: Autoria própria (2014).

De acordo com Brock et al. (2012), as emissões de GEE podem ser reduzidas pela diminuição nos níveis de fertilizantes utilizados, desde que esta diminuição não implique em redução de rendimento (produtividade).

Nas categorias Acidificação Terrestre, Oxidação Fotoquímica e Material Particulado, a soja apresentou resultados melhores que o girassol. Para todas estas categorias de impacto as principais substâncias contaminantes foram à amônia e os óxidos de nitrogênio, também relacionados à adubação nitrogenada. A figura 12 apresenta as principais substâncias responsáveis pela Acidificação Terrestre para o girassol, cultura que requer a aplicação de fertilizantes nitrogenados. O melhor desempenho da soja sobre o girassol nas categorias citadas deve ser atribuído à capacidade da soja em fixar nitrogênio atmosférico.

Figura 12 - Principais substâncias responsáveis pela Acidificação Terrestre para o girassol e a soja, em monocultura e *crop system* (com alocação por tempo do uso do solo).



Fonte: Autoria própria (2014).

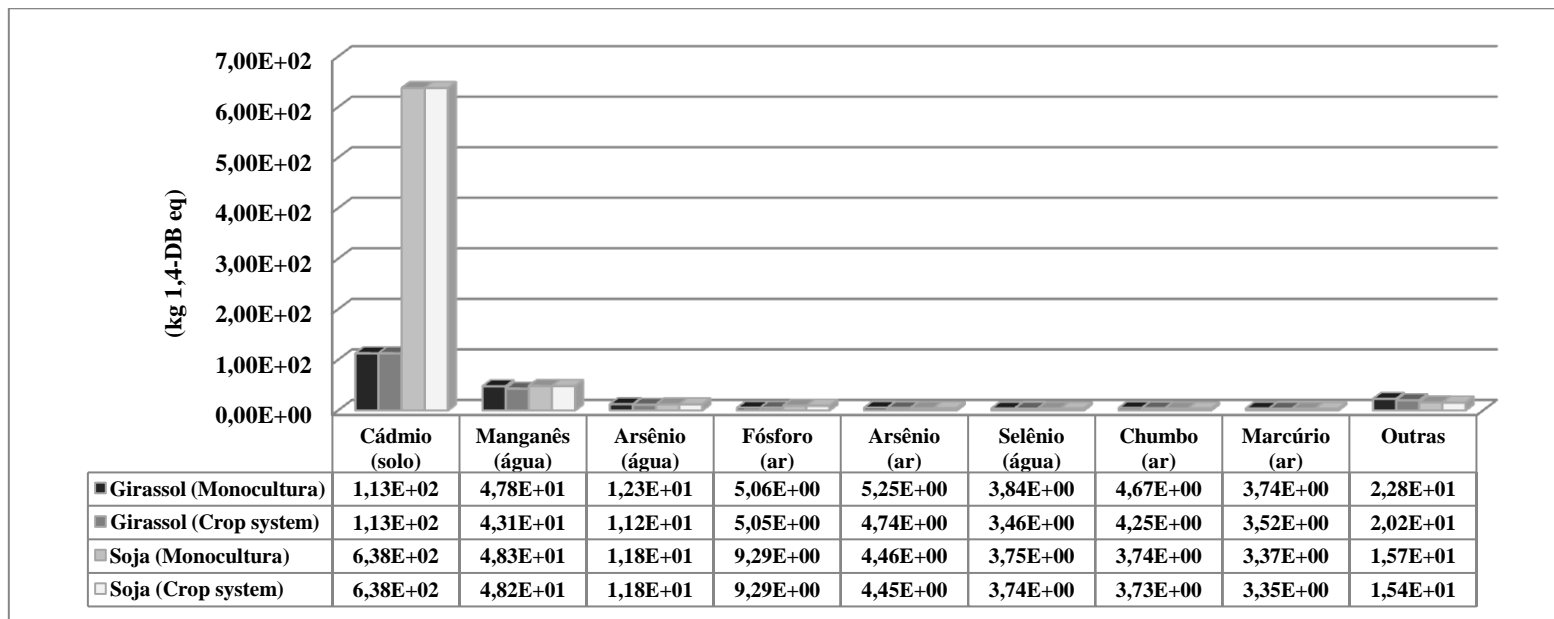
O uso de fertilizantes nitrogenados, depois da emissão decorrente das mudanças de uso da terra (que nem sempre ocorre), é a principal causa de emissões de gases de efeito estufa na maioria dos sistemas de produção agrícola, podendo responder por de 48 a 61% dos impactos ligados ao sistema. A soja como fixadora de nitrogênio, além de requerer menor aporte de fertilizantes, dispensa a operação de máquina para sua aplicação, assim reduzindo as emissões de GEE e outros poluentes (HAYER et al., 2010).

A soja teve pior desempenho nas categorias de Toxicidade Humana e Ecotoxicidade Aquática e Terrestre. Estes impactos podem ser atribuídos às emissões de metais pesados que ingressem no sistema produtivo por meio do calcário, fertilizantes e sementes, e pela emissão de pesticidas. Para Toxicidade Humana, destacam-se as substâncias cádmio, emitido para solo; manganês, arsênio e selênio, emitidos para água; e fósforo, arsênio, chumbo e mercúrio, emitidos para o ar, conforme mostrado na figura 13. A emissão de fósforo para água foi a principal causa da Ecotoxicidade, tanto para o girassol, quanto para a soja.

Skowrońska e Filipek (2013) também observaram a utilização de insumos que contêm metais pesados contribuindo para estas mesmas categorias de impacto.

Cabe destacar que, independentemente dos critérios de alocação empregados, a soja recebe a maior fração das cargas ambientais do sistema de produção por requerer mais insumos e em maior quantidade, como sementes, insumo de elevado teor de metais pesados, e pesticidas (24 produtos, contra 13 utilizados pelo girassol).

Figura 13 - Principais substâncias responsáveis pela categoria Toxicidade Humanas para o girassol e soja em monocultura e *crop system* (considerando a alocação por tempo do uso do solo).



Fonte: Autoria própria (2014).

6.5.2.2 AICV – comparação entre monocultura e *crop system*, adotando-se diferentes critérios de alocação

O perfil ambiental do girassol e soja, produzidos em monocultura ou em sistema de produção (*crop system*), sujeitos à alocação de cargas ambientais por diferentes critérios, é apresentado pela tabela 21. Na figura 14 é apresentado o quanto cada categoria de impacto se destacou em relação ao total de emissões de cada sistema considerado.

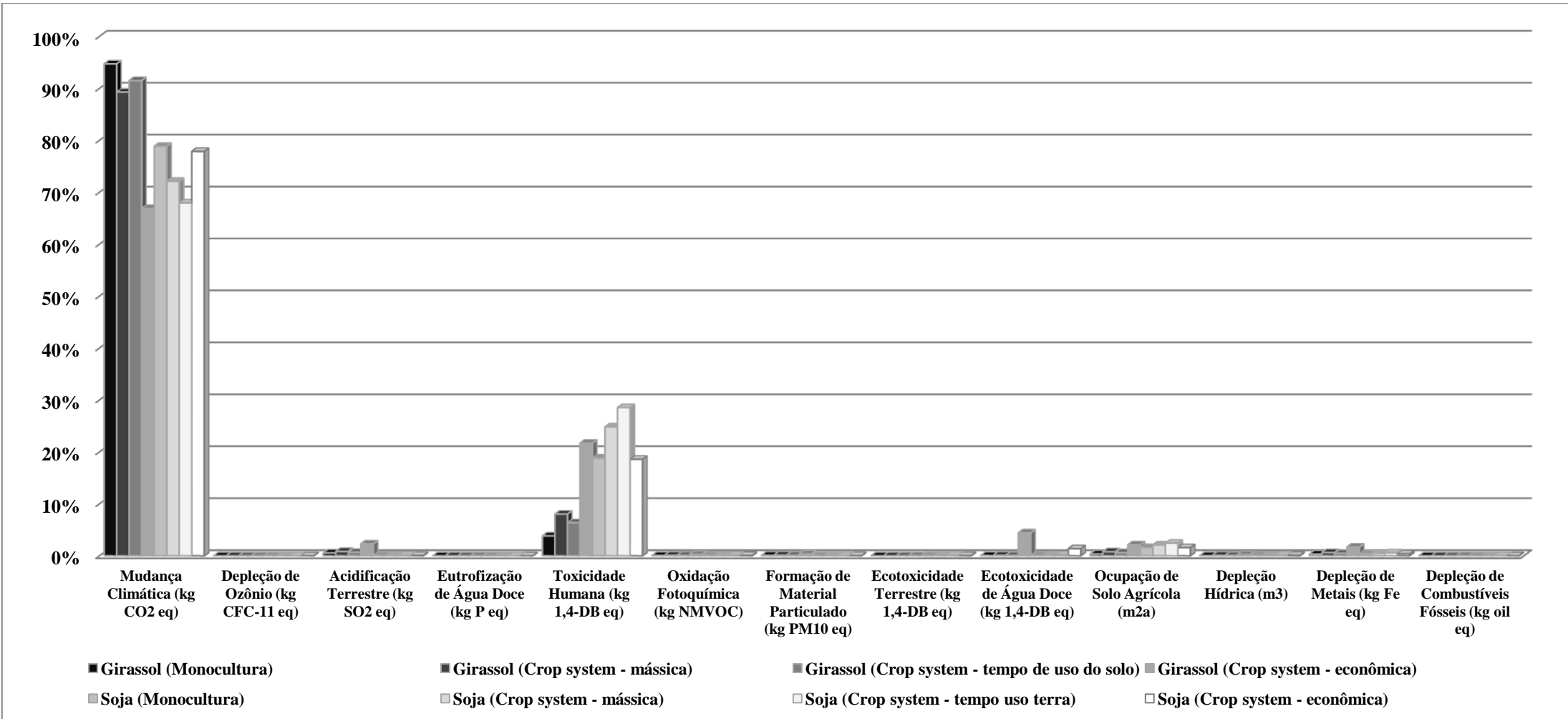
A categoria de impacto Mudança Climática foi a mais expressiva, independentemente de ser monocultura ou do critério de alocação utilizado em *crop system*, no entanto, observou-se que as emissões de gases de efeito estufa (GEE) foram menores para *crop system*.

Tabela 21 - Perfil ambiental do girassol e da soja, em monocultura e em sistema de sucessão (*crop system*), com diferentes alocações, para 1 t de cada produto.

| Categorias de Impactos | Unidade | Girassol (Monocultura) | Girassol (<i>Crop System</i> – tempo de uso do solo) | Girassol (<i>Crop System</i> – mássica) | Girassol (<i>Crop System</i> – econômica) | Soja (Monocultura) | Soja (<i>Crop System</i> – tempo de uso do solo) | Soja (<i>Crop System</i> – mássica) | Soja (<i>Crop System</i> – econômica) |
|----------------------------------|-----------------------|------------------------|---|--|--|--------------------|---|--------------------------------------|--|
| Mudança Climática | kg CO ² eq | 5,39E+03 | 2,99E+03 | 2,31E+03 | 6,41E+02 | 3,09E+03 | 1,76E+03 | 2,14E+03 | 3,09E+03 |
| Depleção da Camada de Ozônio | kg CFC-11 eq | 7,67E-05 | 7,07E-05 | 7,06E-05 | 7,04E-05 | 3,11E-05 | 3,09E-05 | 3,10E-05 | 3,11E-05 |
| Acidificação Terrestre | kg SO ₂ eq | 3,13E+01 | 2,21E+01 | 2,21E+01 | 2,21E+01 | 2,04E+00 | 2,04E+00 | 2,04E+00 | 2,04E+00 |
| Eutrofização de Água Doce | kg P eq | 9,53E-02 | 8,87E-02 | 8,87E-02 | 8,86E-02 | 1,27E-01 | 1,27E-01 | 1,27E-01 | 1,27E-01 |
| Toxicidade Humana | kg 1,4-DB eq | 2,18E+02 | 2,08E+02 | 2,08E+02 | 2,08E+02 | 7,38E+02 | 7,38E+02 | 7,38E+02 | 7,38E+02 |
| Oxidação Fotoquímica | kg NMVOC | 2,67E+00 | 2,53E+00 | 2,52E+00 | 2,51E+00 | 2,12E+00 | 2,11E+00 | 2,12E+00 | 2,12E+00 |
| Formação de Material Particulado | kg PM10 eq | 4,77E+00 | 3,52E+00 | 3,52E+00 | 3,52E+00 | 8,49E-01 | 8,47E-01 | 8,47E-01 | 8,49E-01 |
| Ecotoxicidade Terrestre | kg 1,4-DB eq | 1,29E-01 | 1,17E-01 | 1,15E-01 | 1,10E-01 | 1,23E+00 | 1,23E+00 | 1,23E+00 | 1,23E+00 |
| Ecotoxicidade de Água Doce | kg 1,4-DB eq | 2,46E+00 | 2,32E+00 | 2,32E+00 | 2,32E+00 | 3,70E+00 | 3,70E+00 | 3,70E+00 | 3,70E+00 |
| Ocupação de Solo Agrícola | m ² a | 2,08E+01 | 2,03E+01 | 2,03E+01 | 2,03E+01 | 6,26E+01 | 6,26E+01 | 6,26E+01 | 6,26E+01 |
| Depleção Hídrica | m ³ | 2,12E+00 | 2,03E+00 | 2,03E+00 | 2,02E+00 | 3,23E+00 | 3,23E+00 | 3,23E+00 | 3,23E+00 |
| Depleção de Metais | kg Fe eq | 1,78E+01 | 1,63E+01 | 1,63E+01 | 1,62E+01 | 1,51E+01 | 1,51E+01 | 1,51E+01 | 1,51E+01 |
| Depleção de Combustíveis Fósseis | kg oil eq | 1,81E-01 | 1,71E-01 | 1,71E-01 | 1,71E-01 | 2,48E-01 | 2,48E-01 | 2,48E-01 | 2,48E-01 |

Fonte: Autoria própria (2014).

Figura 14 - Impactos do girassol e da soja em monocultura e sistema de sucessão (*crop system*), com diferentes sistemas de alocação, em porcentagem de contribuição para o total de impactos.



Fonte: Autoria própria (2014).

Pode ser observado que o girassol cultivado em *crop system* tem impacto ambiental menor, independentemente do critério de alocação utilizado, quando comparado com o cultivado em monocultura (figura 15). O girassol em *crop system* se beneficia do fato de ser antecedido pela cultura da soja, uma espécie fixadora de nitrogênio no solo, aportando aproximadamente 20 kg deste elemento por hectare, assim diminuindo a necessidade de adubação nitrogenada e, conseqüentemente, as emissões derivadas da sua aplicação.

Hayer et al. (2010) destacam que a sucessão de culturas, incluindo uma fixadora de nitrogênio, resulta em uma menor emissão de nitrato e óxidos de nitrogênio, como observado no presente trabalho.

Segundo Nemecek e Erzinger (2005), a produção de fertilizantes nitrogenados é um processo que consome muita energia, recurso cujo consumo é indiretamente reduzido com o melhor aproveitamento do fertilizante pela introdução de uma cultura leguminosa em um sistema de produção (*crop system*). Além de reconhecerem ser a produção de fertilizantes nitrogenados um processo onde ocorre elevada emissão de poluentes, Spinelli et al. (2013b) também ressaltam que a ureia é a fonte de nitrogênio com maior índice de emissões na sua produção, fonte que foi utilizada no sistema de cultivo do girassol. A substituição parcial deste fertilizante, pela presença da soja no sistema de produção, foi extremamente importante para a redução de impactos ambientais.

A soja em *crop system* com o girassol, por sua vez, se beneficiou desta integração por compartilhar com esta cultura a carga ambiental decorrente das MUT. Assim, em *crop system*, a soja apresentou menor impacto apenas na categoria de Mudança Climática. A figura 16 apresenta a comparação da soja em monocultura e em *crop system*, para todos os critérios de alocação.

Observa-se que o *crop system* soja-girassol tem impacto reduzido em todas as categorias quando comparado a uma dupla de sistemas de monocultura de soja e girassol que produzam as mesmas quantidades de cada grão com as mesmas produtividades do *crop system* (3120 kg ha⁻¹ de soja e 1774 kg ha⁻¹ de girassol), comparação presente na figura 17.

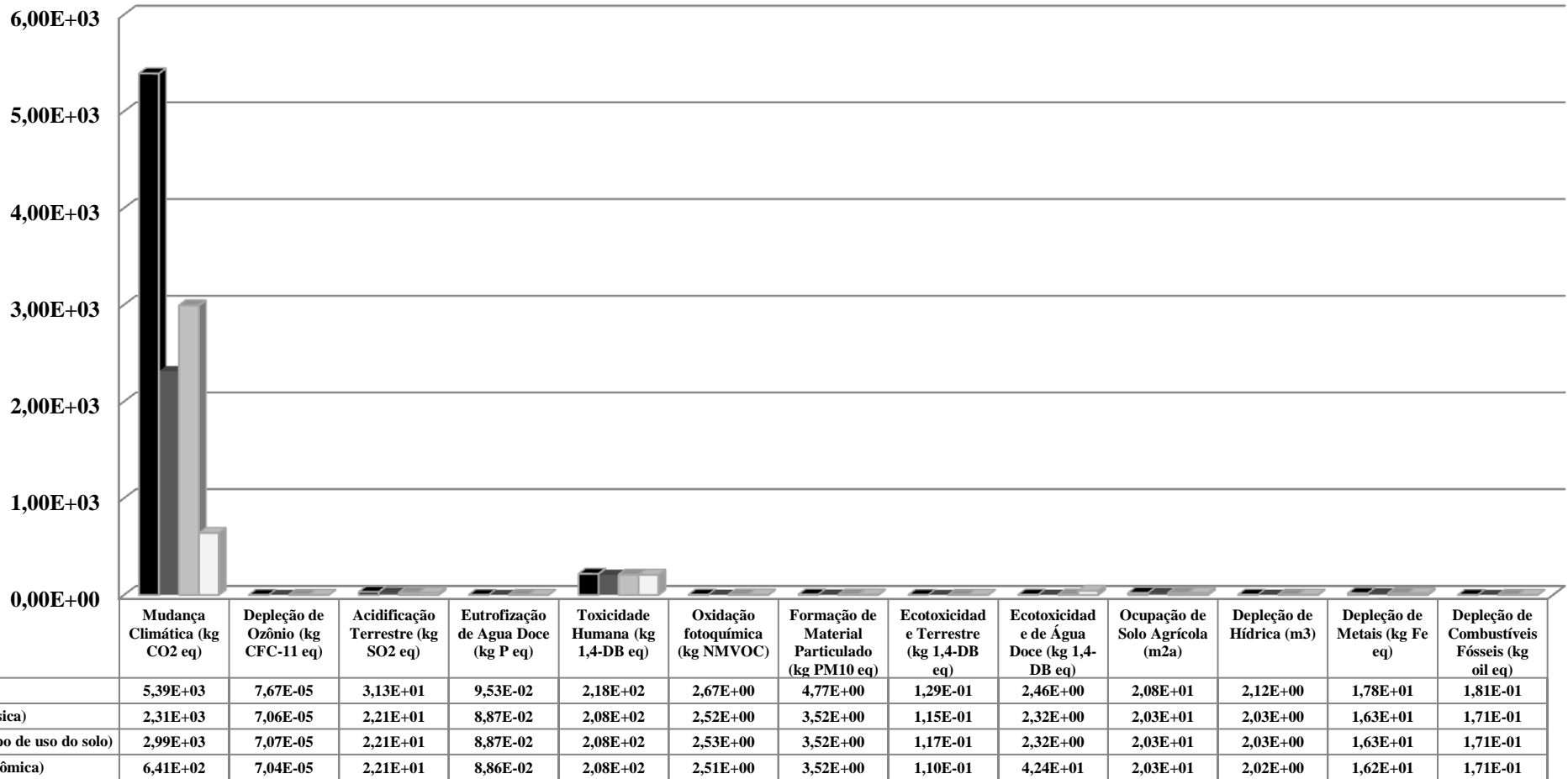
Nemecek et al. (2008) também notaram que a adoção de uma cultura fixadora de nitrogênio em *crop system*, em sistemas que anteriormente praticavam a monocultura, possibilita uma redução significativa nos impactos de Mudanças Climáticas, Depleção da Camada de Ozônio e o consumo de fontes de energia não renovável. De acordo com Brentrup e Lammel (2011) apud Skowrońska e Filipek (2013) e Nemecek et al. (2011) os melhores resultados em termos de eficiência ambiental são obtidos por cultivos em *crop*

systems de produção de média intensidade – a intensidade é definida como a quantidade de entradas (por exemplo, kg de nitrogênio e princípio ativos de pesticidas) ou a frequência de intervenção por área e tempo.

No presente trabalho, as categorias onde houve maior redução de impactos foram Mudança Climática, Acidificação Terrestre e Formação de Material Particulado, para as quais o impacto do *crop system* equivaleu, respectivamente, a 56%, 74% e 80% do impacto somado das duas monoculturas, para a mesma produção e produtividade de grãos do *crop system* (3120 kg ha⁻¹ de soja e 1774 kg ha⁻¹ de girassol) (figura 17)

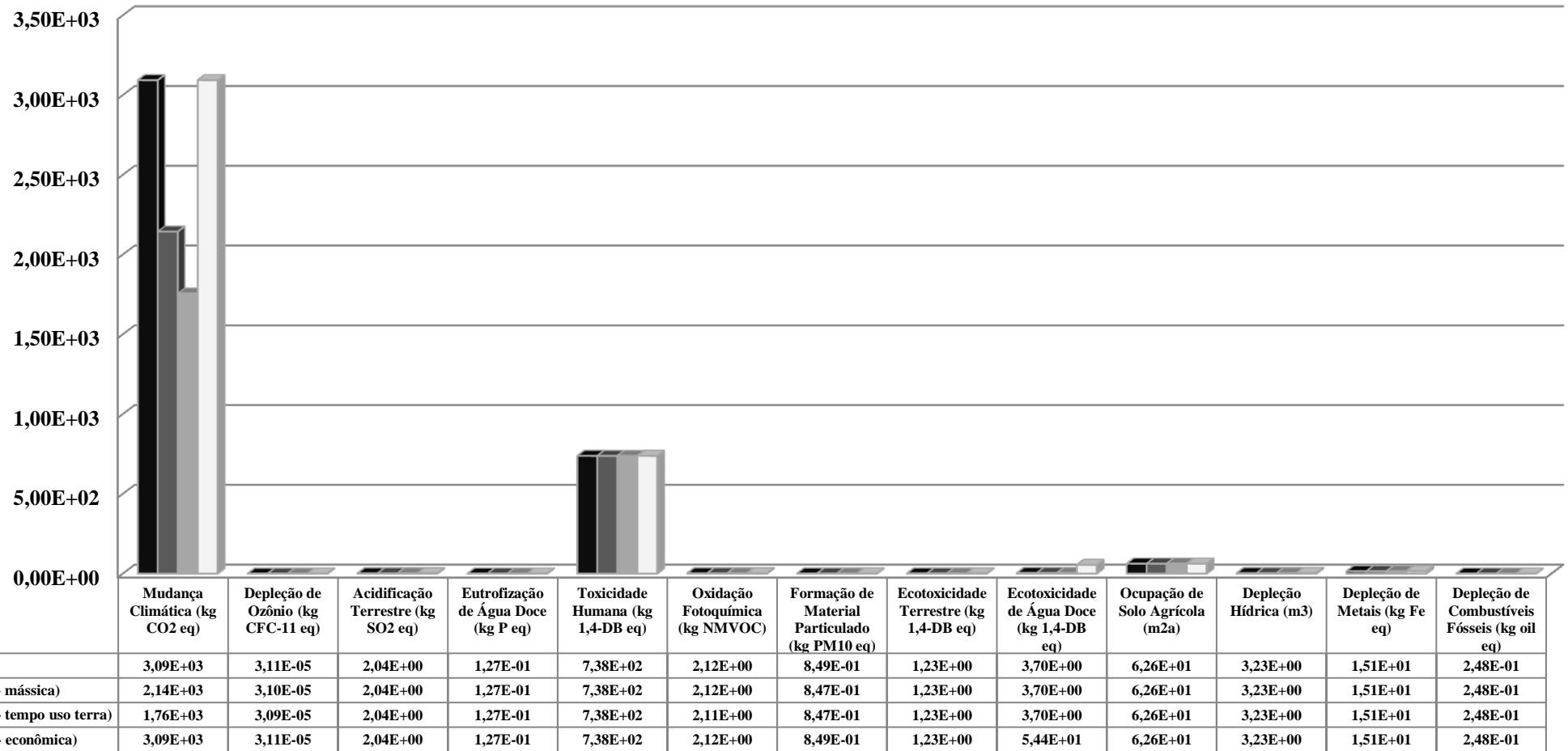
Estes resultados se mostram de acordo com os de Hayer et al. (2010) e Nemecek et al. (2008), que também observaram um melhor desempenho ambiental em *crop systems* que integram uma cultura fixadora de nitrogênio, melhorando principalmente a categoria de Mudanças Climáticas, devido à menor quantidade de emissões provenientes da produção e utilização de fertilizantes nitrogenados (notadamente gás carbônico e óxidos de nitrogênio).

Figura 15 - Soma do total de substâncias emitidas em cada categoria de impacto para o cultivo de girassol em monocultura e *crop system* (considerando todas as alocações avaliadas).



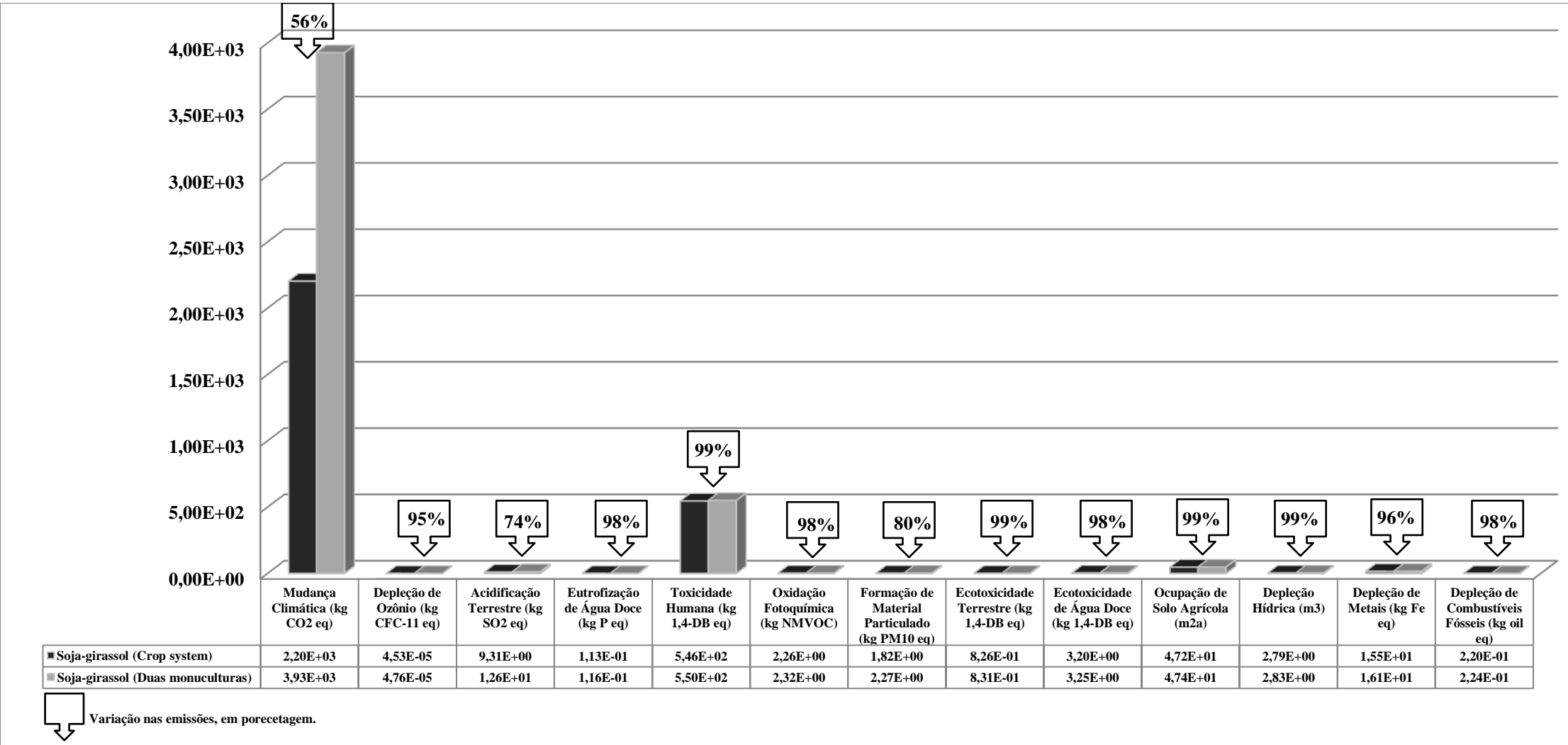
Fonte: Autoria própria (2014).

Figura 16 - Soma do total de substâncias emitidas em cada categoria de impacto para o cultivo de soja em monocultura e *crop system* (considerando todas as alocações avaliadas).



Fonte: Autoria própria (2014).

Figura 17 –Impactos da produção de soja e girassol em *crop system*, em relação aos impactos da produção de duas monoculturas somados.



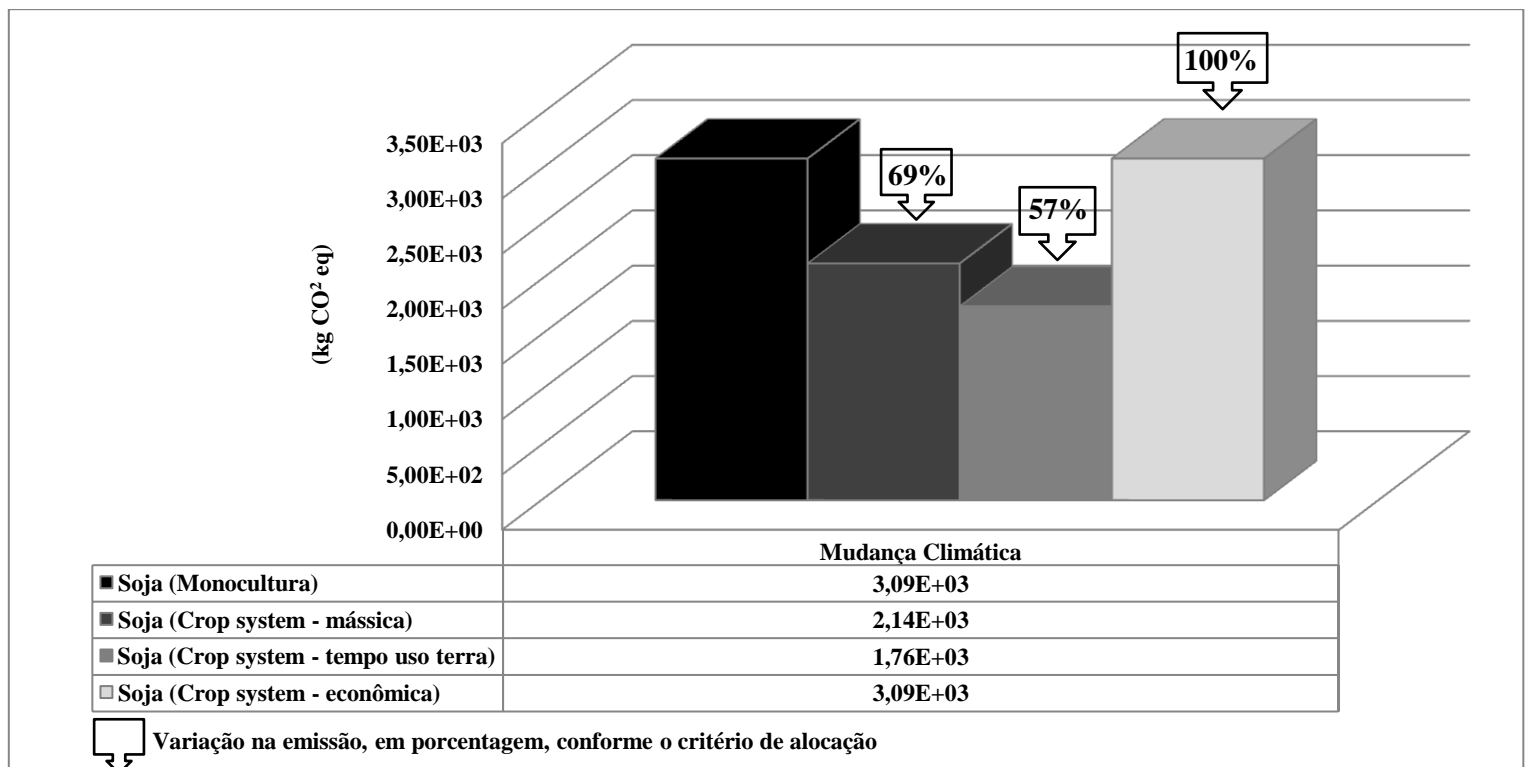
Fonte: Autoria própria (2014).

6.5.2.3 AICV – comparação do desempenho ambiental da produção de girassol e de soja em monocultura e *crop system*, em função dos critérios de alocação

Os critérios de alocação aplicados também foram avaliados, com o intuito de verificar seus possíveis efeitos na decisão entre *crop system* ou monocultura. Os resultados de uma ACV podem ser muito afetados pelo critério de alocação, que muitas vezes pode inculir erros e incertezas aos estudos, sendo sua escolha correta fundamental para a credibilidade dos resultados (BRANKATSCHK e FINKBEINER, 2014).

A mudança no critério de alocação afetou somente uma categoria de impacto de modo sensível para a soja: Mudança Climática. O impacto nesta categoria correspondeu a 69%, 57% e 100% do impacto da soja em monocultura, para os critérios de alocação mássico, tempo de uso do solo e econômico, respectivamente. Atribuir 100% da carga ambiental à soja corresponde a assumi-la como monocultura, o que ocorre quando é adotada a alocação econômica (figura 18).

Figura 18 - Variação na emissão relacionada à Mudança Climática, em função do critério de alocação, para soja.

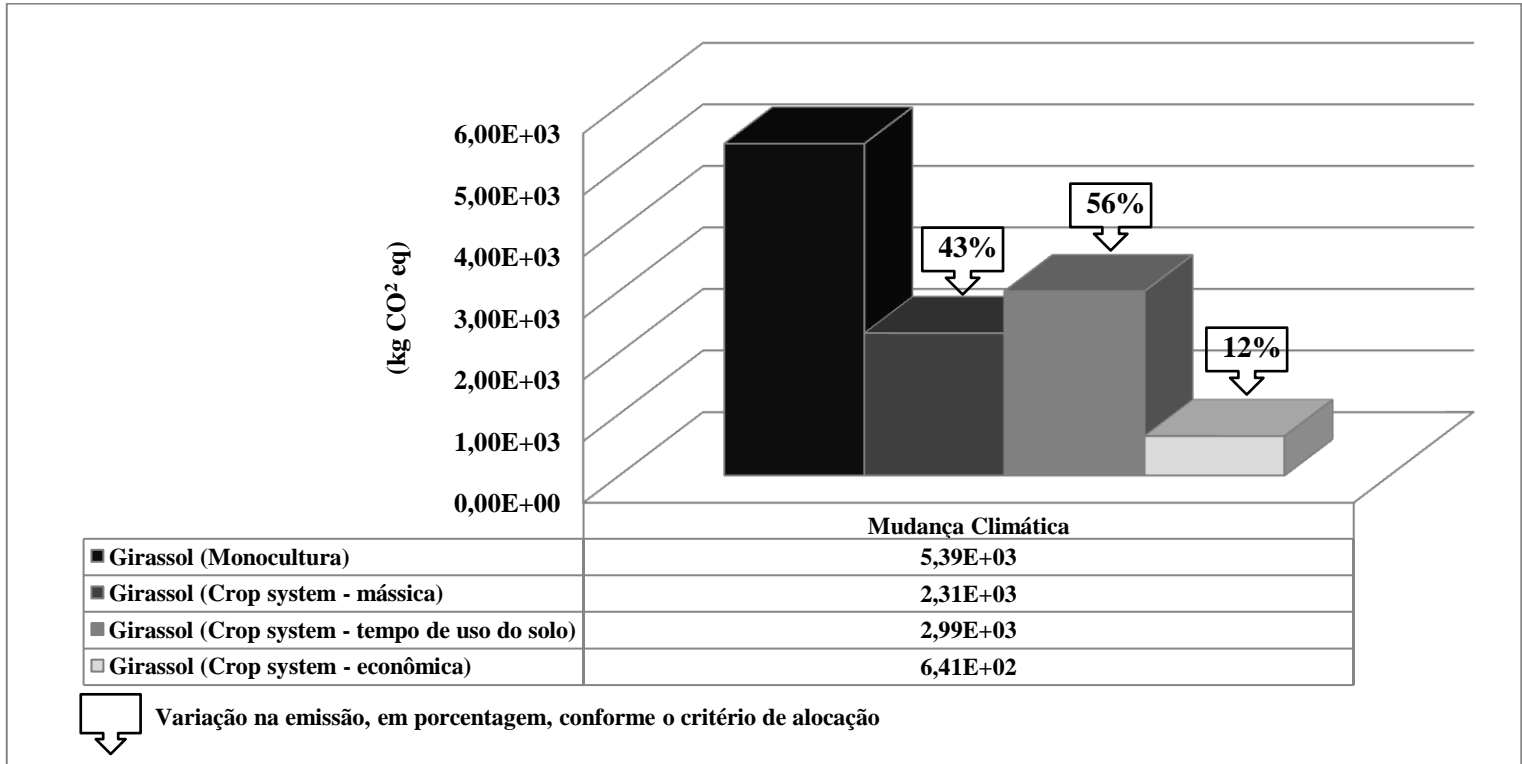


Fonte: Autoria própria (2014).

Para o girassol, a categoria de impacto Mudança Climática foi ainda mais afetada em função da mudança de critério de alocação. O impacto correspondeu a 43%, 56% e 12% do impacto do girassol em monocultura, para os critérios de alocação mássicos, tempo de uso do solo e econômico, respectivamente. Grande parte da redução de impacto nesta categoria quando adotado o critério de alocação econômico se deve à alocação à soja de todo o impacto relacionado à mudança de uso da terra, emissões dela derivadas e do uso de calcário (figura 19).

Outra categoria onde houve pequena variação para o girassol foi a de Ecotoxicidade Terrestre. O impacto correspondeu a 89%, 90% e 85% do impacto do girassol em monocultura, para os critérios de alocação mássicos, tempo de uso do solo e econômico, respectivamente. Esta categoria é afetada pelos metais pesados que são aportados através dos insumos agrícolas (calcário, fertilizantes e sementes) e, pela alocação econômica, a carga ambiental correspondente aos contaminantes provenientes do calcário é destinada unicamente à soja. Para as demais categorias, nenhuma outra apresentou variação superior a 1% para o girassol ou para a soja, em função do critério de alocação.

Figura 19 - Variação na emissão relacionada à Mudança Climática, em função do critério de alocação, para girassol.



Fonte: Autoria própria (2014).

7 CONCLUSÕES

Este trabalho realizou a ACV do óleo de girassol. Buscou-se descrever processos de produção de grãos e óleo de girassol, assim como de grãos de soja, representativos da realidade nacional.

Este estudo oferece uma contribuição ao incipiente banco de dados nacional de inventários de ciclo de vida e poderá apoiar futuros trabalhos de ACV. Pode-se destacar o esforço empreendido para a seleção e adaptação de dados, modelos e métodos para as condições brasileiras, particularmente para as estimações de emissões ocorridas na etapa agrícola de produção.

Observou-se que a maior parte dos impactos do ciclo de vida do óleo de girassol é proveniente da fase agrícola de produção, e não da fase industrial. Isto se dá devido ao elevado consumo de insumos na fase agrícola, enquanto que a fase industrial praticamente dispensa a utilização de insumos industriais e outros recursos.

Se, por um lado, uma elevada produtividade agrícola pode concorrer para uma maior sustentabilidade (econômica e ambiental) do sistema, por outro, os insumos que se fazem necessários para garanti-la pode causar impactos ambientais, como os relacionados à Mudança Climática, Oxidação Fotoquímica e Acidificação Terrestre.

Como se trata de um sistema no qual a terra é ocupada no ano agrícola por duas culturas que compartilham insumos e se afetam mutuamente, ficou evidente que quando avaliada uma cultura isolada o seu desempenho ambiental é pior (o que ocorreu com ambas às culturas consideradas, girassol e soja). Os sistemas que contemplam a integração de culturas apresentam um desempenho ambiental melhor devido ao compartilhamento de insumos e também das emissões geradas com o seu uso. No caso desta avaliação, a fixação de nitrogênio pela soja, dispensando o uso de fertilizantes, favoreceu o desempenho ambiental também do girassol, permitindo confirmar os benefícios ambientais na interação de cultivos (*crop system*). Desta forma verificou-se que a associação soja/girassol contribuiu para a redução dos impactos ambientais de Mudança Climática, Depleção de Recursos Fósseis e Acidificação Terrestre.

Sendo assim, o grande desafio para melhorar o desempenho ambiental da produção, tanto de óleo quanto de grãos de girassol, consiste na otimização do uso de insumos, assim como na adoção de sistemas de produção que integrem culturas capazes de

promover um efeito sinérgico, como a soja proporcionou no sistema de sucessão avaliado por este trabalho.

Como qualquer atividade antrópica, a produção agrícola gera impactos ambientais. Entretanto, a utilização de insumos agrícolas é indispensável à produção agrícola de larga escala, por sua vez responsável pelo desenvolvimento agrícola e econômico do Brasil. A relação ótima entre produtividade, rentabilidade e sustentabilidade ambiental deve ser buscada.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro, 2009a.

_____. **NBR ISO 14044: Gestão Ambiental – Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, 2009b.

ABNT CATÁLOGOS – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Catálogos. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=316461>. Acessado em: 13 de nov. de 2014a.

ABNT CATÁLOGOS – Associação Brasileira de Normas Técnicas - Catálogos. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=40200>. Acessado em: 13 de nov. de 2014b.

AMM - Associação Mato-Grossense dos Municípios. **Campo Novo do Parecis**: maior produtor de girassol do país. 2014. Disponível em: <http://www.amm.org.br/amm/constitucional/noticia.asp?iId=272829&iIdGrupo=6233>. Acessado em: 14 de jul. de 2014.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Regulamento Técnico para Óleos e Gorduras Vegetais**. Resolução de diretoria colegiada - RDC Nº. 270. 2005. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/82d8d2804a9b68849647d64600696f00/RDC_n_270.pdf?MOD=AJPERES. Acessado em: 21 de mar. de 2014.

AVRAAMIDES, M., FATTA, D. Resource consumption and emissions from olive oil production: a life cycle inventory case study in Cyprus. **Journal of Cleaner Production**. v. 16, n. 7, p. 809-821, maio 2008.

BARAKAT, M. A. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 4, n. 4, p. 361-377, out. 2011.

BARBOSA JUNIOR, A. F. Conceitos e aplicações de análise do ciclo de vida (ACV) no Brasil. **Revista Gerenciais**, São Paulo, v.7, n. 1, p.39-44, 2008.

BORDIN, I.; NEVES, C.S.V.J.; MEDINA, C.de C.; SANTOS, J.C.F.dos; TORRES, E.; URQUIAGA, S. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.12, p.1785-1792, dez. 2008.

BRANKATSCHK, G.; FINKBEINER, M. Application of the Cereal Unit in a new allocation procedure for agricultural life cycle assessments. **Journal of Cleaner Production**, v. 73, n. 15, p. 72-79, jun. 2014.

BRENTROP, F.; KUSTERS, J.; KUHLMANN, H.; LAMMEL, J. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. **European Journal of Agronomy**, v. 20, n. 3, p. 247-264, fev. 2004.

BROCK, P.; MADDEN, P.; SCHWENKE, G.; HERRIDGE, D. Greenhouse gas emissions profile for 1 tonne of wheat produced in Central Zone (East) New South Wales: a life cycle assessment approach. **Crop and Pasture Science**, v. 63, n. 4, p. 319-329, jun. 2012.

CANALS, L. M. **Contributions to LCA methodology for agricultural systems**. 2003. Teses (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, 2003.

CASTRO, C.de; CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A. Cultura do girassol; tecnologia de produção. **Documento técnico da Embrapa Soja**, Londrina, n. 67, p. 5-6, 1996.

CASTRO, C.de; CASTRO, C. N.; SOUSA, T. C. R.; LAZZAROTTO, J. J. Sistema produtivo de girassol para a produção de biodiesel. In: CASTRO, A. M. G.; LIMA, S. M. V.; SILVA, J. F. V. **Complexo agroindustrial de biodiesel no Brasil: Competitividade das cadeias produtivas de matérias-primas**. 1 ed. Brasília-DF, Embrapa Agroenergia. 2010. P. 375-419.

CASTRO, C.de; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. C., BRIGHENTI, A. M., CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. (Ed.). Londrina: EMBRAPA, 2005. p. 163 – 218.

CASTRO, C.de; OLIVEIRA, F. A. Nutrição e adubação do girassol. In: LEITE, R. M. V. B. C., BRIGHENTI, A. M., CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. (Ed.). Londrina: EMBRAPA, 2005. p. 317 – 374.

CATANI, R. A.; ALCARDE, J. C.; FURLANI, P. R. A determinação da ureia em fertilizantes, pelo método volumétrico da uréase. **Anuário Escolar Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 25, p. 39-46, 1968.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos**. Ferramenta gerencial da ISO 14000. (Ed.). Rio de Janeiro: Qualitymark, p.120. 1998.

CLAUDINO, E. S.; TALAMINI, E. Análise do ciclo de vida (ACV) aplicado ao agronegócio – uma revisão de literatura. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Agriambi)**, v. 17, n. , p. 77-88, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – Grãos**. v. 1- Safra 2013/2014, n.6 – Sexto Levantamento, Brasília, p. 1-83, mar. de 2014. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_03_12_08_41_24_boletim_graos_marco_2014.pdf. Acessado em: 30 de jun. de 2014.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=3. Acessado em: 10 de mar. de 2015.

CPM - The Swedish Life Cycle Center. **About CPM LCA Database**. Disponível em: <http://cpmdatabase.cpm.chalmers.se/AboutDatabase.htm>. Acessado em: 08 de mar. de 2014.

DUARTE, A.P.; CANTARELLA, H. Adubação em sistemas de produção de soja e milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DO MILHO SAFRINHA: RUMO A ESTABILIDADE, n. 9, 2007, Dourados, 2007. **Anais...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007. p.44-61.

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 Off. Official Journal of the European Union. p. 16-62. 2009. Disponível em: <https://www.energycommunity.org/pls/portal/docs/360177.PDF>. L140/16 of 5.6.2009. Acessado em: 20 de mar. de 2015.

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. Off. Official Journal of the European Union. Union. p. 19-41. 2010. Disponível em: <http://www.ebheu.org/sustaindl/EC%20Decision%20land%20carbon%20stocks%20June%202010.pdf> . L151/19 of 17.06.2010. Acessado em: 20 de mar. de 2015.

ECOINVENT. **Apresentação – Discover ecoinvent version 3**. Disponível em: http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/Data_Quality_Guidelines/ecoinvent_v3_intro_presentation_20130506.pdf. Acessado em 30 de nov. de 2014.

EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (Eds.) 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Hayama, Japan. 2006.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil 2014. **Sistema de Produção**. Londrina: Embrapa Soja, n. 16, 2013. 265 p.

FABI, A.R.; ENSINAS, A.V.; MACHADO, I.P.; BIZZO, W.A. Uso da avaliação de ciclo de vida em embalagens de plástico e de vidro na indústria de bebidas no Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. n. 1, out., 2004.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 27, n. 4, p. 755-763, jul/ago. 2003.

FINKBEINER, M.; INABA, A.; TAN, R. B. H.; CRISTIENSEN, K.; KLÜPPEL, H. The New International Standards for Life Cycle Assessment: ISO 14040 e ISO 14044. . **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 2, p. 80-85, mar. 2006.

GAZZONI, D. Óleo de girassol como matéria-prima para biocombustíveis. In: LEITE, R. M. V. B. C., BRIGHENTI, A. M., CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. (Ed.). Londrina: EMBRAPA, 2005. p. 145-162.

GUILHERME, L. R. G.; MARCHI, G.; GONÇALVES, V. C.; de PINHO, P. J.; PIERANGELI, M. A. P.; REIN T. A. **Metais em fertilizantes inorgânicos:avaliação de risco a saúde após a aplicação**. 2 ed. Brasília: Editora UFLA. 2011. p. 246.

GOEDKOOOP, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; SCHRYVER, A.; STRUIJS, J.; VAN ZELM, R. **ReCiPe 2008** – a life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation. 2009.

GUINÉE, J.B.; ZAMAGNI, A.; MASONI, P.; BUONAMICI, R.; EKVALL, T.; RYDBERG, T. Life cycle assessment: past, present, and future. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n.1, p. 90 – 96, set. 2011.

HAYER, F.; BONNIN, E.; CARROUÉE, B.; GAILLARD, G.; NEMECEK, T.; SCHNEIDER, A.; VIVER, C. Designing sustainable crop rotations using Life Cycle Assessment of crop combinations. In: European IFSA Symposium, n. 9. 2010. Viena. **Anais**. Viena: Universität für Bodenkultur. 2010. Disponível em: http://ifsa.boku.ac.at/cms/fileadmin/Proceeding2010/2010_WS2.1_Hayer.pdf. Acessado em 05 de dez. de 2014.

HUNKELER, D; REBITZER, G. The Future of Life Cycle. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 10, n. 5, p. 305-308, set. 2005.

IBICT - INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIENCIA E TECNOLOGIA. **Avaliação do ciclo de vida de produtos e sistemas produtivos (ACV)**. Disponível em: <http://www.ibict.br/inclusao-social-e-popularizacao-da-ciencia/avaliacao-do-ciclo-de-vida-de-produtos-e-sistemas-produtivos/apresentacao>. Acessado em: 09 de nov. de 2014.

_____. **Ontologia de Inventário de Ciclo de Vida (OICV)**. 2008. Disponível em: <http://www.ibict.br/Sala-de-Imprensa/noticias/2008/ontologia-de-inventario-do-ciclo-de-vida-oacv>. Acessado em: 20 de nov. de 2014.

_____. **Projeto Brasileiro Inventário do Ciclo de Vida para Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira (SICV Brasil)**. Disponível em:

http://www.ciclodevida.ufsc.br/congresso/16_00h_Mesa_Redonda_4_Celina_Lamb.pdf. Acessado em: 10 mar. de 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. In: **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use**. Japan v. 4. 2006b.

_____. **General Guidance and Reporting**. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Japan. v. 1. 2006c.

_____. N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. In: IPCC. **Guidelines for national greenhouse gas inventories: Agriculture, forestry and other land use**. Japan: IPCC, v. 4, p.11.1-11.54. 2006a.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Disponível em: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=23151. Acessado em: 13 de nov. de 2014.

KULAY, L. **Uso da Análise de Ciclo de Vida para a Comparação do Desempenho Ambiental das Rotas Úmida e Térmica de Produção de Fertilizantes Fosfatados**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo. 2004.

KULAY, L.; SEO, E. S. M. Orientações Conceituais para Elaboração de Inventários de Ciclo de Vida. **Revista de Gestão integrada em saúde do trabalho e meio ambiente**, v. 5, n.1, jan./abr. 2010.

LIMA, S. M. V.; CASTRO, A. M. G. Agronegócio do óleo biodiesel e suas matérias-primas. In: CASTRO, A. M. G.; LIMA, S. M. V.; SILVA, J. F. V. **Complexo agroindustrial de biodiesel no Brasil: Competitividade das cadeias produtivas de matérias-primas**. 1 ed. Brasília-DF: Embrapa Agroenergia, 2010. p. 45-112.

LOPES SILVA, D. A. **Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Pannel de Madeira MDF no Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo-USP, São Carlos, 2012.

LOURENÇO, R. S.; MEDRADO, M. J. S.; LISBOA, S. M. Resposta a NPK por seringueiras em viveiros nas condições do estado de Rondônia. **Boletim de Pesquisa da Embrapa**, Porto Velho. n. 11, p. 8-10, 1988.

MACEDO, M. N.; DEFRIES, R. S.; MORTON, D. C.; STICKLER, C. M.; GALFORD, G. L.; SHIMABUKURO, Y. E. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **PNAS**. vol. 109, n. 4, p. 1341-1346, jan. 2012.

MANDARINO, J. M. G. Características bioquímicas e nutricionais do óleo e do farelo de girassol. **Documento técnico da Embrapa Soja**, Londrina, n. 52, p. 8-11, 1992.

MANDARINO, J. M. G. Óleo de girassol como alimento funcional. In: LEITE, R. M. V. B. C., BRIGHENTI, A. M., CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. (Ed.). Londrina: EMBRAPA, 2005. p. 43-50.

MAPA - Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja> . Acessado em: 06 de maio de 2015.

MATO GROSSO E SEUS MUNICÍPIOS. **Chuvras em Mato Grosso**. Denemet. 2008. Disponível em: <http://www.mtseusmunicipios.com.br/geografia/chuvras-em-mato-grosso/1208>. Acessado em: 03 de mar. de 2015.

MATTSSON, B., CEDERBERG, C., BLIX, L. Agricultural land use in Life Cycle Assessment (LCA): case studies of three vegetable oil crops. **Journal of Cleaner Production**, v. 8, n. 4, p. 283-292, ago. 2000.

MENDES, L. da L.; PIEKARSKI, C. M.; ZOCHE, L.; FRANCISCO, A. C. Desenvolvimento acadêmico brasileiro em análise do ciclo de vida: tendências e perspectivas. In: CONGRESSO LATINO-IBEROAMERICANO DE GESTÃO DE TECNOLOGIA ALTEC, 15., 2013. Porto. **Anais**. Porto. Disponível em: http://www.altec2013.org/programme_pdf/1101.pdf . Acessado em: 03 mar. 2014.

NEMECEK, T.; ELIE, O. H.; DUBOIS, D.; GAILLARD, G.; SCHALLER, B.; CHERVET, A. Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production, **Agricultural Systems**, v. 104, n. 3, p. 233-245, mar. 2011.

NEMECEK, T.; ERZINGER, S. Modelling representative life cycle inventories for Swiss arable crops. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 10, n. 1, p. 68–76. jan. 2005.

NEMECEK, T.; SCHNETZER, J.; REINHARD, J. Updated and harmonized greenhouse gas emissions for crop inventories. **The international Journal of Life Cycle Assessment**, fev. 2014.

NEMECEK, T.; SCHNETZER, J. **Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural productions systems**. data v3.0. Zürich: ART, 2012. 34 p. (Ecoinvent Report, 15).

NEMECEK, T.; VON RICHTHOFEN, J.; DUBOIS, G.; CASTA, P.; CHARLES, R.; PAHL, H. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 3. p. 380–393, abr. 2008.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

NREL - National Renewable Energy Laboratory. **U.S. Life cycle inventory database**. Disponível em: <http://www.nrel.gov/lci/>. Acessado em: 08 de mar. de 2014.

NUCCI, B.; PUCCINI, M.; PELAGAGGE, L.; VITOLO, S.; NICOLELLA C. Improving the environmental performance of vegetable oil processing through LCA. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, n. 1, p. 310-322, fev. 2014.

PINHO, D. M. M.; SUAREZ, P. A. Z. A hidrogenação dos óleos e gorduras e suas aplicações industriais. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 47-62, fev. 2013.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A química dos óleos e seus processos de extração e refino. **Rev. Virtual Química**, v. 5, n. 1, p. 2-15, nov. 2013.

REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D.; NORRIS, G.; RYDBERG, W.; SCHMIDT, W. P.; SUH, S.; WEIDEMA B. P.; PENNINGTON, D. W. Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, v. 30, n. 5, p. 701-720, jul. 2004.

REGIONATO-D'ARCE, M. A. B. **Grãos e óleos vegetais: matérias-primas** Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/departamentos/lan/pdf/materiasoleaginosas.pdf>. Acessado em: 02 de abr. de 2014.

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo. 2009.

RUVIANO, C. F.; GIANEZINI, M.; BRANDÃO F. S.; WINCK, C. A.; DEWES, H. Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. **Journal of Cleaner Production**, v.28, p.9-24, jun. 2012.

SEO, E. S. M.; KULAY, L. Avaliação do Ciclo de Vida: Ferramenta Gerencial para Tomada de Decisão. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v. 1, n.1, ago. 2006.

SIMONE, M., BIENTINESI, M., NICOLELLA, C., PETARCA, L. Integration of a small biofuel refinery in a rural context. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 87, n. 9, p. 1191-1205, set. 2009.

SKOWRONSKA, M.; FILIPEK, T. Life cycle assessment of fertilizers: a review. **International Agrophysics**. v. 28, p. 101-110. 2014.

SPINELLI, D.; BARDI, L.; FIERRO, A.; JEZ, S.; BASOSI, R. Environmental analysis of sunflower production with different forms of mineral nitrogen fertilizers. **Journal of Environmental Management**, v. 129, n. 15, p. 302-308, nov. 2013b.

SPINELLI, D.; JEZ, S.; BASOSI, R. Integrated environmental assessment of sunflower oil production. **Process Biochemistry**, v. 47, n. 11, p. 1595-1602, nov. 2012.

SPINELLI, D., JEZ, S., POGNI, R., BASOSI, R. Environmental and life cycle analysis of a biodiesel production line from sunflower in the Province of Siena (Italy). **Energy Policy**, v. 59, p. 492-506, ago. 2013a.

SKONE, T. J.; CURRAN, M. A. LCAccess – Global Directory of LCI resources. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, p. 1345-1350, jul. 2005.

SCHMIDT, H.J. Comparative life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 15, n. 2, p. 183-197, fev. 2010.

UDO DE HAES, H. A.; ROOIJEN, M. V. Life cycle approaches: The road from analysis to practice. França: United Nations Environment Programme/Life Cycle initiative, 2005.

UNEP - United Nations Environment Programme Industry and Environment. **Guidelines for social life cycle assessment of products**. United Nation Publication. Paris, France. 2009.

_____. **Life Cycle Assessment: What it is and How to do it**. United Nation Publication. Paris, France. 1996.

VELOSO, J. F. S.; RICHETTI, A.; HIRAKURI, M. H.; CASTRO, A. M. G. Sistema produtivo de soja para a produção de biodiesel. In: CASTRO, A. M. G.; LIMA, S. M. V.; SILVA, J. F. V. **Complexo agroindustrial de biodiesel no Brasil: Competitividade das cadeias produtivas de matérias-primas**. 1 ed. Brasília-DF: Embrapa Agroenergia, 2010. p. 500-542.

VIANA, M. M. **Inventário do ciclo de vida do biodiesel ético do óleo do girassol**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo-USP. São Paulo, 2008.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; FONSECA, I. F.; SEIFERT, A. L.; SANTIAGO, D. C.; CRESTE, J. E.; HARADA, A.; CUCOLOTTI, M. Produtividade da cultura de soja em função da densidade populacional e da porcentagem de cátions (Ca, Mg e K) no complexo sortivo do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 4, p. 477-484, out./dez. 2005.

GLOSSÁRIO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) conta com uma terminologia própria, do qual, conhecê-la possibilita uma melhor compreensão dos estudos que são realizados através desta metodologia. Sua terminologia é normatizada pela ABNT NBR ISO 14040/44.

As terminologias utilizadas no trabalho são apresentadas abaixo conforme a ABNT (2009a) e ABNT (2009b);

- Análise de inventário de ciclo de vida: fase da avaliação do ciclo de vida envolvendo a compilação e quantificação das entradas e saídas de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida;

- Alocação: repartição dos fluxos de entrada ou saída de um processo ou sistema de produto entre o sistema de produto em estudo e outro(s) sistema(s) de produto;

- Avaliação do ciclo de vida (ACV): compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida;

- Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV): fase da avaliação do ciclo de vida que visa ao entendimento e a avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do ciclo de vida do produto;

- Categorias de impactos: classe que representa as questões ambientais relevantes às quais os resultados da análise do inventário do ciclo de vida podem ser associados;

- Ciclo de vida: estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou de sua geração a partir de recursos naturais até a disposição final;

- Entrada: fluxo de produto, material ou energia que entra em um processo elementar. Nota - materiais e produtos incluem matérias-primas, produtos intermediários e coprodutos;

- Fluxo de referência: medida da saída de um processo em um dado sistema de produto, requeridas para realizar a função expressa pela unidade funcional;

- Fronteira do sistema: conjunto de critérios que especificam quais processos elementares faz parte de um sistema de produto;

- Interpretação: fase da avaliação do ciclo de vida na qual as constatações da análise de inventário ou da avaliação de impacto, ou de ambas, são avaliadas com relação ao objetivo e escopo definidos, a fim de se chegar a conclusões e recomendações;

- Processo: conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas que transformam entradas em saídas;

- Processo elementar: menor elemento considerado na análise de inventário do ciclo de vida para o qual dados de entrada e saída são quantificados;

- Unidade funcional: desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como uma unidade de referência;

- Saída: fluxo de produto, material ou energia que deixa um processo elementar. Nota - material e produtos incluem matérias-primas, produtos intermediários, coprodutos e liberação;

- Sistema de produto: conjunto de processos elementares, com fluxos elementares e de produto, desempenhando uma ou mais funções definidas e que modela o ciclo de vida de um produto.