

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

RAFAEL PAZETO ALVARENGA

**SUBSÍDIOS PARA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE MODO
SIMPLIFICADA DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE MILHO, POR
MEIO DE UM ESTUDO DE CASO**

**BAURU
2012**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

RAFAEL PAZETO ALVARENGA

**SUBSÍDIOS PARA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE MODO
SIMPLIFICADA DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE MILHO, POR
MEIO DE UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Bauru da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, área de concentração em Gestão Estratégica e Operações.

Orientador: Prof. Adilson Renóbio, Dr.

**BAURU
2012**

Alvarenga, Rafael Pazeto.

Subsídios para Avaliação do Ciclo de Vida de modo simplificada da produção agrícola de milho, por meio de um estudo de caso / Rafael Pazeto Alvarenga, 2012 162 f.

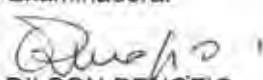
Orientador: Adilson Renóbio

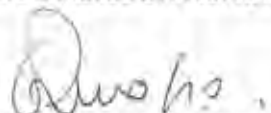
Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2012

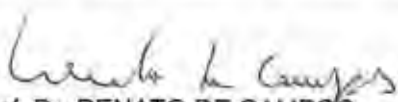
1. Sustentabilidade. 2. Agricultura. 3. ACV. 4. Milho. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE RAFAEL PAZETO ALVARENGA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 31 dias do mês de janeiro do ano de 2012, às 14:30 horas, no(a) ANFITEATRO DA SEÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE ENGENHARIA, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ADILSON RENOFIO do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. ALDO ROBERTO OMETTO do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Prof. Dr. RENATO DE CAMPOS do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de RAFAEL PAZETO ALVARENGA, intitulado "AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA SIMPLIFICADA DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE MILHO: UM ESTUDO DE CASO". Após a exposição, o discente foi argüido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. ADILSON RENOFIO


Prof. Dr. ALDO ROBERTO OMETTO


Prof. Dr. RENATO DE CAMPOS

Dedicatória

No decorrer deste percurso, duas das mais importantes pessoas de minha vida foram convidadas para tomar um café e saborearem um queijo com goiabada na companhia de Deus. E é a memória destes estimados e muito mais do que meros tios que dedico este trabalho. Obrigado por tudo, Ti'Adão e Tia Veva!

AGRADECIMENTOS

Com absoluta certeza, penso que não existem palavras que consigam expressar o quão sou agradecido por Deus ter colocado em meu caminho pessoas tão especiais quanto minha mãe, Nininha, e minha tia, Terezinha. Sem vocês, esta conquista jamais seria alcançada e provavelmente eu ainda estaria patinando em meus sonhos de cursar uma universidade de excelência. Além da gratidão a vocês, meus sinceros agradecimentos aos seguintes.

Aos meus familiares, entre eles meu pai, minha irmã e meus primos quase irmãos Marcelo, Marquinho e Evânio.

Ao professor e orientador Adilson, ao professor Aldo e também aos seguintes professores: Rosane, Otávio, Renato e Rosani.

A minha noiva Marizinha.

Aos meus amigos, Zezão, Denis, Timóteo, Jennifer, Taina, Binho, Junior Rosante e Adriana.

Aos funcionários da seção de Pós-Graduação da FEB, em especial ao Gustavo, à Célia e ao Rafael.

A CAPES e a UNESP.

"Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito"

Chico Xavier

RESUMO

Este trabalho faz uma análise sobre a problemática ambiental envolvida com a produção agrícola de milho de uma grande unidade produtiva localizada no município de Cristalina – GO. Atualmente, as principais características do perfil agrícola deste município são: oitavo maior produtor de milho do Brasil, maior município com área irrigada da América Latina, um dos municípios brasileiros que mais colhe milho por hectare e um grande consumidor de tecnologia voltada à agricultura. Utiliza como método para essa análise uma abordagem simplificada de condução de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para avaliar o panorama ambiental associado à produção agrícola do milho. Tal ACV é desenvolvida ao se levar em consideração tanto o processo agrícola de produção do grão de milho, como também uma das etapas de reprodução da semente deste grão em solo agrícola. Para isso, utiliza quatro categorias de impacto. O consumo de recursos renováveis e de recursos não renováveis envolvidos no ciclo de vida analisado são avaliados quantitativamente. Já os graus de periculosidade ambiental e de toxicidade associado a cada agrotóxico consumido são avaliados semi-quantitativamente. Assim, as principais conclusões deste estudo são: processo de produção do grão de milho responde por mais impactos do que o processo de produção da semente deste grão no ciclo de vida analisado, metodologia simplificada de ACV pode ser um importante instrumento de avaliação ambiental, mesmo que ainda existam algumas ineficiências metodológicas com relação a ferramenta ACV.

Palavras chaves: Sustentabilidade, Agricultura, ACV, Milho.

ABSTRACT

This work is an analysis of the environment issue involved with the agricultural production of corn in a farm located in the town of Cristalina – GO. Currently, the main features of this agricultural city are: the eighth producer of corn in Brazil, the largest with the irrigated area in Latin America, one of Brazil's municipalities to reap more corn per hectare and a large consumer-oriented technology to agriculture. Used as method for this analysis a simplified approach of conduction of a Life Cycle Assessment (LCA) to assess the environmental outlook associated with agricultural production of corn. This LCA is developed by considering both the process of agricultural production of corn, but also one of the steps to reproduce the seed of grain in agricultural soil. It uses four categories of impact. The consumption of renewable and nonrenewable resources involved in this life cycle analysis are evaluated quantitatively. The degree of toxicity and environment hazards associated with each pesticide consumed are assessed almost quantitatively. Thus, the main conclusions of this study are: the production process of corn has more impact than the process of seed production in the life cycle analyzed, the simplified methodology of LCA can be an important tool for environmental assessment, even there are still some inefficiencies with respect to methodological tool LCA.

Key words: Sustainability, Agriculture, LCA, Corn.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Milhares de toneladas de milho produzidas no município de Cristalina entre 1990 e 2009.....	29
Figura 2 -	Elevação da produtividade de milho por hectare no Brasil, região Centro-Oeste, estado de GO e município de Cristalina entre 1990 e 2009.....	31
Figura 3 -	Estágios genéricos de ciclo de vida.....	41
Figura 4 -	Fases de uma ACV.....	45
Figura 5 -	Exemplo de conjunto de unidades de processo em um sistema de produto...	56
Figura 6 -	Procedimentos simplificados para análise de inventário.....	57
Figura 7 -	Relacionamento dos elementos da fase de interpretação com as outras fases da ACV.....	64
Figura 8 -	Concentração dos esforços em dados chaves.....	68
Figura 9 -	Etapas de uma ACV Simplificada.....	74
Figura 10 -	Desenvolvimento global das terras agrícolas, pastagens permanentes e área total agrícola entre 1961 a 2003.....	91
Figura 11 -	Vendas de defensivos agrícolas no Brasil entre os anos de 2005 a 2009.....	92
Figura 12 -	Ilustração da problemática ambiental relacionada ao setor agrícola.....	98
Figura 13 -	Relações entre uso da terra por massa e biodiversidade.....	101
Figura 14 -	Sistema de produto do milho grão.....	111
Figura 15 -	Fluxograma simplificado da produção do milho semente até o uso do milho grão como ração.....	113
Figura 16 -	Esboço do destino dos 60 hectares de milho semente até o plantio dos 60 hectares do milho grão.....	119
Figura 17 -	Formação da base de cálculo da unidade funcional.....	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dimensões das fronteiras do sistema.....	49
Quadro 2 - Requisitos dos dados trabalhados na ACV.....	50
Quadro 3 - Comparação entre as metodologias sobre ACV da série ISO e da matriz MECO.....	77
Quadro 4 - Considerações sobre trabalhos nacionais envolvendo ACV na agricultura.....	104
Quadro 5 - Considerações sobre trabalhos publicados no “ <i>The International Journal of Life Cycle Assessment</i> ” no ano de 2011.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Principais países produtores de milho do mundo na safra 2009/2010	24
Tabela 2 -	Comparativo de produção de milho nos Estados Unidos, Argentina e Brasil..	25
Tabela 3 -	Exportações brasileiras de grão de milho nos anos de 2008, 2009 e 2010.....	26
Tabela 4 -	Importações brasileiras de grãos de milho nos anos de 2008, 2009 e 2010.....	26
Tabela 5 -	Ranking das cinco regiões brasileiras produtoras de milho no ano de 2009....	27
Tabela 6 -	Ranking dos dez estados brasileiros produtores de milho no ano de 2009.....	27
Tabela 7 -	Ranking dos vinte municípios brasileiros produtores de milho no ano de 2009.....	28
Tabela 8 -	Milhares de toneladas de milho produzidas por hectare no Brasil, na região centro-oeste, no estado de Goiás e no município de Cristalina entre os anos de 1990 até 2009.....	30
Tabela 9 -	Comparativo da produtividade média de milho do Brasil, da região Centro-Oeste, do estado de Goiás e do município de Cristalina entre 1990 e 2009.....	30
Tabela 10 -	Percentual de utilização de semente de milho transgênica e convencional no Brasil na safra de verão 2009/2010.....	35
Tabela 11 -	Quantidade de casos de intoxicação por agrotóxicos registrados no Brasil no ano de 2007.....	93
Tabela 12 -	Classificação toxicológica e de periculosidade ambiental.	94
Tabela 13 -	Relação dos ingredientes ativos de alguns agrotóxicos quanto as suas funções, grau de concentração, classe toxicológica e de periculosidade ambiental.classe toxicológica e de periculosidade ambiental.....	96
Tabela 14 -	Sequência de ocorrência dos processos elementares da produção agrícola do milho semente.....	112
Tabela 15 -	Sequência de ocorrência dos processos elementares da produção agrícola do milho grão.....	112
Tabela 16 -	Situação dos equipamentos utilizados na produção do milho semente e do milho grão.....	117
Tabela 17 -	Resultado dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de preparo do solo do milho semente.....	123
Tabela 18 -	Resultado dos dados qualitativos da análise do inventário relacionado à fase de preparo do solo do milho semente.....	123
Tabela 19 -	Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de plantio do milho semente.....	124
Tabela 20 -	Resultados dos dados qualitativos da análise do inventário relacionado à fase de plantio do milho semente.....	124
Tabela 21 -	Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de tratos culturais do milho semente.....	125
Tabela 22 -	Resultados dos dados qualitativos da análise do inventário relacionado à fase de tratos culturais do milho semente.....	126
Tabela 23 -	Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de despendoamento do milho semente.....	126

Tabela 24 -	Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de colheita do milho semente.....	127
Tabela 25 -	Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de preparo do solo do milho grão.....	127
Tabela 26 -	Resultados dos dados qualitativos da análise do inventário relacionado à fase de preparo do solo do milho grão.....	127
Tabela 27 -	Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de plantio do milho grão.....	128
Tabela 28 -	Resultados dos dados qualitativos da análise do inventário relacionado à fase de plantio do milho grão.....	128
Tabela 29 -	Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de tratos culturais do milho grão.....	129
Tabela 30 -	Resultados dos dados qualitativos da análise do inventário relacionado à fase de tratos culturais do milho grão.....	130
Tabela 31 -	Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de colheita do milho grão.....	130
Tabela 32 -	Consumo de recursos renováveis no ciclo de vida do milho grão.....	131
Tabela 33 -	Consumo de recursos não renováveis no ciclo de vida do milho grão.....	133
Tabela 34 -	Relação das classificações de toxicidade relacionada aos agrotóxicos consumidos no preparo do solo do milho semente, plantio do milho semente e tratos culturais do milho semente.....	134
Tabela 35 -	Relação das classificações de toxicidade relacionada aos agrotóxicos consumidos no preparo do solo do milho grão, plantio do milho grão e tratos culturais do milho grão.....	135
Tabela 36 -	Concentração total dos agrotóxicos associados às classes de toxicidades nas unidades de processos do ciclo de vida do milho grão.....	136
Tabela 37 -	Matriz classificatória dos graus de toxicidade dos agrotóxicos consumidos no ciclo de vida do milho grão.....	137
Tabela 38 -	Relação dos graus de periculosidade ambiental relacionados aos agrotóxicos consumidos no preparo do solo do milho semente, plantio do milho semente e tratos culturais do milho semente.....	138
Tabela 39 -	Relação dos graus de periculosidade ambiental relacionados aos agrotóxicos consumidos no preparo do solo do milho grão, plantio do milho grão e tratos culturais do milho grão.....	139
Tabela 40 -	Concentração total dos agrotóxicos associados às classes periculosidade ambiental nas unidades de processos do ciclo de vida do milho grão.....	140
Tabela 41 -	Matriz classificatória dos graus de periculosidade ambiental dos agrotóxicos consumidos no ciclo de vida do milho grão.....	140

LISTA DE ABREVIACÕES

ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV -	Avaliação do Ciclo de Vida
AGROFIT -	Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários
AICV -	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
ANVISA -	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APEC -	Fórum Econômico da Ásia e do Pacífico
CNPQ -	Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico
CONAB -	Companhia Nacional de Abastecimento
CTNBio -	Comissão Técnica Nacional de Biossegurança
EMBRAPA -	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO -	<i>Food and Agriculture Organization</i>
ha -	Hectare
IBAMA -	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
IBGE -	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBICT -	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICV -	Inventário do Ciclo de Vida
ISO -	International Organization for Standardization
MAPA -	Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MECO -	<i>Materiel, Energy, Chemicals and Others</i>
NAFTA -	Tratado Norte-Americano de Livre Comércio
SIDRA -	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SINDAG -	Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola
SINTOX -	Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas
t -	Toneladas

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	17
1.3 JUSTIFICATIVA	17
1.4 Metodologia	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1 CULTURA DO MILHO.....	23
2.1.1 Panorama no Brasil e no Mundo	23
2.1.2 Panorama da produção regional de milho brasileira	26
2.1.3 Panorama da produção de milho do município de Cristalina-GO	28
2.1.4 Dados relacionados ao consumo de água pela cultura do milho.....	31
2.1.5 Principais agrotóxicos demandados pela cultura do milho	32
2.1.6 Milho transgênico e milho convencional no Brasil.....	32
2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	36
2.2.1 Histórico da Avaliação do Ciclo de Vida.....	36
2.2.2 Características da Avaliação do Ciclo de Vida	39
2.2.3 Aplicações da Avaliação do Ciclo de Vida.....	42
2.2.4 Limitações em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida	43
2.2.5 Fases de uma Avaliação do Ciclo de Vida.....	44
2.2.5.1 Definição do Objetivo e do Escopo.....	45
2.2.5.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida	55
2.2.5.2.1 Estudos de Inventário do Ciclo de Vida	61
2.2.5.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida.....	62
2.2.5.4 Interpretação do Ciclo de Vida	63
2.2.6 Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil.....	68
2.2.7. Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada.....	72
2.2.7.1 Alguns exemplos de métodos de ACV Simplificada	75
2.2.7.2 Recentes trabalhos envolvendo ACVs Simplificadas	83

2.2.7.2.1 Recentes trabalhos sobre ACV Simplificada publicados no “The International Journal of Life Cycle Assessment”	85
2.2.7.2.2 Recentes trabalhos sobre ACV Simplificada publicados nos anais do ENEGEP	88
2.3 SUSTENTABILIDADE NO SETOR AGRÍCOLA	90
2.3.1 Crescimento da produção agrícola mundial e o uso de agrotóxicos	90
2.3.2 Uso de agrotóxicos no Brasil	92
2.3.3 Contextualização da problemática ambiental na agricultura	96
2.3.4 Avaliação do Ciclo de Vida na agricultura	100
2.3.4.1 Recentes trabalhos envolvendo a ACV no segmento agrícola	102
2.3.4.1.1 Recentes trabalhos envolvendo ACV no segmento agrícola publicados no “II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços”	103
2.3.4.1.2 Recentes trabalhos envolvendo ACV no segmento agrícola publicados no “The International Journal of Life Cycle Assessment”	105
2.3.4.2 Avaliação do Ciclo de Vida da cultura do milho.....	106
2.3.4.2.1 Trabalhos relacionados com ACV aplicada na cultura do milho ...	107
3 - RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO.....	109
3.1 - DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E DO ESCOPO DO ESTUDO DE CASO.....	109
3.1.1 Definição do objetivo do estudo de caso.....	110
3.1.2 Definição do escopo do estudo de caso.....	110
3.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA	122
3.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA E INTERPRETAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ESTUDO DE CASO.....	131
3.3.1 Avaliação quantitativa dos recursos renováveis e não renováveis consumidos no ciclo de vida do milho grão	131
3.3.2 Avaliação qualitativa dos graus de periculosidade ambiental e toxicidade relacionado aos agrotóxicos consumidos no ciclo de vida do milho grão.	132
3.3.2.1 Avaliação semi-quantitativa da toxicidade no ciclo de vida do milho grão	133
3.3.2.1 Avaliação qualitativa da periculosidade ambiental no ciclo de vida do milho grão.....	137
4. CONCLUSÕES.....	142
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147

1. INTRODUÇÃO

O Brasil pode ser considerado como um dos países que mais produzem milho no mundo. Contudo, ainda apresenta diferenças de produtividade por hectare entre muitas localidades e, principalmente, entre dois tipos de propriedades: pequenas e médias, quase sempre ainda operando em sistema de subsistência, e as grandes, quase sempre equipadas com tecnologia de ponta, grandes consumidoras de agrotóxicos e também responsável pela geração de impactos ambientais, tal como outros sistemas produtivos.

Neste contexto, o conhecimento dos impactos associados a esta cultura é de suma importância, para que se possa traçar estratégias visando à otimização dos sistemas produtivos, amparados por uma produção que menos agrida o meio ambiente e também motivados pela necessidade de uma agricultura mais sustentável. Dessa forma, uma das ferramentas de gestão ambiental que pode contribuir para este objetivo é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que avalia impactos ambientais no decorrer das fases que compõem a produção do produto (HERTWICH, 2005; MALIN, 2005).

Assim, pode-se afirmar que o ciclo de vida do milho é composto por diversos estágios produtivos, ligados desde a etapa de pesquisa e desenvolvimento das variedades das sementes até o consumo final de seus derivados. Intermediárias a estes dois estágios existem as etapas agrícolas, tais como as de reprodução da semente e as de produção do grão destinado ao consumo, que demandam diversos tipos de recursos, como agrotóxicos e combustíveis fósseis, por exemplo.

Neste sentido, dado que uma ACV pode avaliar processos isolados do ciclo de vida de um produto, esta dissertação avalia, em uma única ACV, dois processos produtivos do ciclo de vida total de uma variedade de milho destinado ao mercado de ração, ou seja, uma das etapas da reprodução da semente em campo agrícola e a etapa agrícola de produção do grão semeado com esta semente, em um estudo de caso desenvolvido em uma grande unidade produtiva de milho localizada no município de Cristalina – GO.

Assim, tal avaliação é desenvolvida mediante a utilização de uma metodologia simplificada de ACV, onde, de maneira quantitativa, os consumos de recursos renováveis e não renováveis são valorados e, de forma qualitativa, os graus de

periculosidade ambiental e de toxicidade associados a todos os agrotóxicos consumidos no ciclo de vida do milho estudado são avaliados para se concluir quais processos acarretam em mais perigo para o meio ambiente, bem como quais apresentam potencialidades de serem mais tóxicos.

Dessa forma, dado que a maior parte dos trabalhos publicados relacionados ao setor de milho objetivam temas como surgimento de novas variedades e aumento de produtividade, por exemplo, este trabalho foca na questão da sustentabilidade produtiva deste setor que pode ser considerado como um dos mais importantes para o agronegócio nacional, pois, de acordo com IBGE (2011), a produção de milho brasileiro atualmente ocupa a terceira posição no ranking dos maiores produtores deste cereal do mundo.

Contudo, de acordo com MAPA (2011), mesmo diante de uma produção tão expressiva, o Brasil ainda exporta pouco milho por causa da forte demanda do mercado interno por este produto, seja diretamente no consumo humano na forma de produtos como farinha, amido e xarope ou no consumo animal na forma de ração, responsável por requerer aproximadamente 80% do milho produzido no Brasil, de acordo com Braga (2004).

Outro fator que pode estar atrelado ao fato de o Brasil não exportar mais milho está vinculado, de acordo com Soluguren (2011), a relativa ineficiência produtiva por parte de muitos pequenos e médios produtores localizados em distintas regiões e que ainda utilizam técnicas de manejo que podem ser caracterizadas como de subsistência, contribuindo para que a oferta deste produto não seja maior, pois produzem muito pouco por hectare.

Por outro lado, nas grandes unidades produtivas de milho do Brasil ocorre praticamente o inverso. Nestas, a adoção de tecnologia tem sido constante ao longo dos anos, contribuindo para uma colheita mais produtiva por hectare. Equipamentos agrícolas com tecnologia de ponta, utilização de mais agrotóxicos e acompanhamento constante da lavoura por profissionais qualificados são algumas das características pertinentes a estes estabelecimentos rurais, tal como é o exemplo da maioria das grandes propriedades do município onde foi desenvolvido este estudo de caso.

No ano de 2009, por exemplo, Cristalina obteve a oitava maior produção de milho do Brasil, colhendo 7,80 toneladas por hectare (t/ha) enquanto que no mesmo

período a média da produtividade da colheita de milho no Brasil foi de 3,71t/ha (IBGE, 2011). Contudo, após análise de dados do IBGE (2011), conclui-se que este bom desempenho não foi um fato isolado a apenas este ano.

Ao se comparar sua produtividade média por hectare nos vinte anos compreendidos entre 1999 e 2009, com as médias do Brasil, da região centro-oeste e do estado de Goiás, observa-se também seu destaque. Nestes vinte anos, a média de produtividade de milho colhido por hectare do Brasil foi de 2,92 t/ha; da região centro-oeste 3,63 t/ha; do estado de Goiás 4,25 t/ha e do município de Cristalina 5,24 t/ha (IBGE, 2011).

Além do clima, alguns fatores contribuem para estes resultados do município apresentados. Além do fato da maioria dos agricultores serem de grande porte, estando equipados com máquinas e implementos agrícolas modernos, contam ainda com o necessário suporte de técnicos agrícolas e engenheiros agrônomos em suas propriedades.

Há que se considerar, ainda, o processo de irrigação das lavouras em todas as fases da cultura, com uso de pivôs de irrigação que contribuem para aumentar a produtividade por hectare. Neste município, a presença de pivôs de irrigação é tão forte ao ponto de Cristalina ser considerado o município com maior área irrigada da América Latina, possuindo 476 pivôs que irrigam 42 mil hectares de culturas agrícolas diversas, tais como trigo, feijão, milho, café, entre outras, de acordo com Cardoso (2010).

Neste contexto, portanto, o presente trabalho pode contribuir para diferentes vertentes, sendo as principais voltadas ao campo metodológico da ferramenta de ACV e também ao setor e a localização ao qual este estudo se direciona. Isso porque a maioria dos estudos sobre ACV abordam metodologias tradicionais de consecução deste tipo de estudo, quando na verdade existem metodologias simplificadas que podem também acarretar em resultados satisfatórios com significativa redução de tempo e custo.

Diante disso, a revisões bibliográficas a respeito da metodologia simplificada e também da utilização da ACV no campo agrícola aqui apresentadas contribuem para a disseminação do conhecimento sobre ferramentas simplificadas de ACV e para a abordagem desta ferramenta em diversos segmentos da agricultura, respectivamente. Além disso, os métodos utilizados neste estudo de caso tornam viáveis elaborações de

estudos semelhantes aplicáveis, especificamente, em outros sistemas agrícolas, tais como feijão, soja, arroz, cana-de-açúcar, entre outros.

Por outro lado, as contribuições voltadas à localidade estão relacionadas à consecução de um estudo direcionado ao campo ambiental em uma das mais importantes regiões produtivas de milho do Brasil. Já às contribuições voltadas ao setor se referem à apresentação dos insumos requeridos na reprodução da semente do milho, à consideração deste processo no ciclo de vida estudado, bem como a própria ACV desenvolvida focada na cultura do milho.

1.2 OBJETIVOS

Fundamentado em dados primários, coletados em um estudo de caso realizado em uma fazenda localizada no município de Cristalina - GO, este trabalho tem como objetivo principal a avaliação do panorama ambiental, associado aos consumos de agrotóxicos, de recursos renováveis e de recursos não renováveis, da produção agrícola de milho que utiliza alto emprego de tecnologia neste município por meio da técnica de avaliação do ciclo de vida simplificada.

Neste sentido, como objetivos secundários este trabalho visa demonstrar, por meio de um levantamento bibliográfico, a viabilidade de se utilizar metodologias simplificadas na condução de estudos de ACV, a eficácia de se utilizar esta ferramenta direcionada para sistemas agrícolas, bem como apresentar exemplos de publicações no cenário nacional e internacional sobre o uso de metodologias simplificadas para avaliação do ciclo de vida e também sobre ACV no segmento agrícola.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho se justifica por propiciar informações sobre o perfil ambiental da produção agrícola de milho em um dos principais municípios produtores do Brasil, utilizando-se como ferramenta a metodologia de avaliação do ciclo de vida, levando em consideração não apenas a produção do grão de milho, mas também uma das etapas de reprodução da semente deste grão no escopo do estudo. Dessa forma, dado a importância atual dos sistemas produtivos se guiarem pelos preceitos da sustentabilidade, este trabalho fornece subsídios para a colocação da questão ambiental na pauta de estratégias direcionadas a cultura do milho da região estudada e do Brasil,

principalmente ao se considerar o grande potencial que o país possui em aumentar sua produção de milho mediante o aumento da produtividade por hectare.

1.4 Metodologia

Este capítulo apresenta a metodologia que foi seguida para o desenvolvimento deste estudo. Assim, apresenta-se a composição metodológica tanto do referencial teórico que serviu como base para condução deste estudo como também a própria metodologia de execução da ACV Simplificada da produção agrícola de milho.

Neste sentido, o capítulo relacionado ao referencial teórico se subdivide nos subcapítulos 2.1, 2.2 e 2.3, que abordam, respectivamente, temas como milho, ACV e sustentabilidade no setor agrícola.

Neste íterim, no subcapítulo sobre o milho é exposto o panorama geral dos principais aspectos referentes a esta cultura, tal como a produção de milho no mundo, nas regiões brasileiras e também no município de Cristalina. Além desses, são apresentados dados relacionados ao consumo de água e de agrotóxicos pela cultura, bem como relevantes considerações sobre a situação do milho transgênico e convencional nos campos brasileiros.

O levantamento da maioria destas informações foi desenvolvido com base em publicações de instituições respeitadas por sua credibilidade, tais como:

- a) Publicações da base de dados agregados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), denominada Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Nesta base, foi utilizado como referência para as análises os dados das produções de milho dos anos compreendidos entre 1999 e 2009.
- b) Publicações vinculadas ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), à Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA);
- c) Publicações do Anuário da Agricultura Brasileira do ano 2010, publicado anualmente pelo Instituto FNP, e denominado Agrianual 2010.

Já no subcapítulo sobre ACV, apresenta-se o histórico desta metodologia, suas principais características, aplicações, limitações, bem como suas fases. Além disso, este capítulo traz também considerações sobre a aplicação da ACV no Brasil e também uma robusta pesquisa bibliográfica sobre metodologias de ACV simplificadas, inclusive com a exposição dos trabalhos mais recentes no campo nacional e internacional que associam abordagens simplificadas de ACV em seus temas.

Assim, a elaboração deste capítulo se baseou em publicações de teses, dissertações, artigos de congressos bem como de periódicos nacionais e, principalmente internacionais, cujos temas estavam atrelados a ACV. Dentre estes, cita-se o manual sobre ACV publicado pelo “*JRC European Commission*”, cujo título é “*ILCD Handbook: General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*”.

Contou também com uma vasta pesquisa em normas sobre ACV publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo as principais e mais recentes: ABNT NBR ISO 14040: 2009 - Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura e ABNT NBR ISO 14044:2009 - Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.

Com o intuito de se traçar um panorama sobre a utilização de metodologias simplificadas no cenário nacional e internacional, pesquisou-se os artigos publicados relacionados ao tema ‘ACV Simplificada’ nos anos compreendidos entre 2007 a 2011 em um dos mais relevantes periódicos internacionais sobre o tema Avaliação do ciclo de vida, o “*The International Journal of Life Cycle Assessment*”, e em um dos mais representativos meios de publicação da área de engenharia de produção do Brasil, os anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP).

As palavras-chave utilizadas no campo de pesquisa do periódico internacional foram “*Simplified LCA*” e “*Qualitative Approach*”. Já nos anais do ENEGEP, utilizaram-se os termos “ACV Simplificada”, “Avaliação do ciclo de vida” e “Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada” e “ACV”. Ao se utilizar tais palavras-chave para busca nos anais do ENEGEP, artigos não relacionados com a metodologia simplificada foram listados e posteriormente descartados mediante análise dos resumos dos mesmos com o intuito de se verificar se os trabalhos abordavam de alguma forma o método simplificado de constituição de uma ACV.

Assim, no subcapítulo 2.3 sobre sustentabilidade no setor agrícola, são apresentadas informações sobre o crescimento da produção agrícola mundial e sua associação com o uso de agrotóxicos, sobre o uso de agrotóxicos no Brasil e sobre a problemática ambiental relacionada ao aumento de consumo, tomando como exemplo o setor agropecuário. Além desses, este subcapítulo também aborda a utilização da ferramenta ACV no setor agrícola, expondo suas vantagens bem como as principais limitações encontradas quando esta metodologia é aplicada em sistemas agrícolas, como o caso da necessidade de metodologias de ACV que levem em consideração a biodiversidade em trabalhos referentes à ACV agrícolas, por exemplo.

Neste sentido, da mesma forma que para o caso da ACV Simplificada, uma robusta consulta nas mais recentes publicações nacionais e internacionais é realizada, sendo que as nacionais foram desenvolvidas com base na consulta dos trabalhos publicados no II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços , ocorrido em 2010, e as publicações internacionais no mesmo periódico utilizado como fonte de consulta para as publicações estrangeiras sobre ACV Simplificada.

Para uma referência dos trabalhos publicados no Brasil, pesquisou-se os artigos publicados na modalidade “Apresentação Oral” do “II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços”, ocorrido na cidade de Florianópolis – SC, no ano de 2010. Os artigos escolhidos para análise foram aqueles que diretamente associavam em seus títulos a aplicação da ACV em alguma cadeia produtiva agrícola ou em algum segmento relacionado à agricultura.

Por outro lado, o periódico “*The International Journal of Life Cycle Assessment*” serviu como base de referência para os trabalhos publicados fora do Brasil. Assim, utilizou-se o termo “*agriculture*” no campo de busca e todos os artigos publicados no ano de 2011 e disponibilizados nas categorias “*LCA for Agriculture*” ; “*Land Use in LCA*” e “*LCA for Energy Systems*”, foram analisados.

Assim, afora este estudo sobre as publicações recentes, o restante do subcapítulo utilizou como principais fontes diversos artigos publicados em distintos periódicos, congressos e livros, todos vinculados a ilibadas instituições de pesquisa.

Já no Capítulo 3, relacionado ao estudo de caso, é apresentado o desenvolvimento do estudo de caso envolvendo todas as fases da ACV aplicadas ao ciclo de vida do milho estudado. Da mesma forma que o capítulo 2, este também está subdividido em três subcapítulos, sendo estes: 3.1, 3.2 e 3.3. Assim, no subcapítulo 3.1 é apresentado a fase de definição do objetivo e do escopo do ciclo de vida do milho grão, no 3.2 etapa de análise do inventário deste produto e no 3.3 as fases de análise de inventário e interpretação do ciclo de vida.

Neste sentido, a principal base metodológica para condução deste estudo são as mais recentes normas publicadas pela ABNT sobre ACV, sendo estas: ABNT NBR ISO 14040: 2009 - Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura e ABNT NBR ISO 14044:2009 - Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.

Assim, a fase de definição do objetivo e do escopo da ACV do milho grão foi desenvolvida seguindo-se os passos pertencentes a esta etapa que são indicados por estas normas.

Já a fase de análise de inventário foi proporcionada pelos dados coletados diretamente na unidade produtiva, uma fazenda de grande porte localizada na região centro-oeste do Brasil, precisamente no município de Cristalina-GO.

Dessa forma, tanto a opção pelo método de ACV quanto da unidade alvo deste estudo passaram por critérios de avaliação antes de serem definidos. Dado que a intenção inicial da pesquisa era de se conhecer os aspectos ambientais associados à produção agrícola do milho destinado ao mercado de ração em uma região com alto índice de produtividade por hectare, motivado principalmente pela relevância do setor de milho para o agronegócio nacional, pela participação do mercado de ração na demanda deste produto e pela possibilidade de se contribuir de alguma forma com informações relevantes que podem ser utilizadas em estratégias direcionadas a uma produção agrícola sustentável, a ferramenta ACV foi escolhida por ser uma forma eficaz de se obter tais conhecimentos. Já a unidade produtiva foi escolhida por atender os principais fatores motivacionais deste estudo, ou seja: estar localizada em uma das mais importantes áreas produtoras de milho do Brasil e por plantar, em uma mesma safra,

tanto o grão de milho que é escoado para o mercado de ração, quanto a semente deste milho em uma de suas etapas de reprodução.

Assim, o levantamento dos dados foi realizado diretamente pelo pesquisador, mediante três viagens ao município de Cristalina, onde foram acompanhados todos os processos produtivos do ciclo de vida estudado. Logo, após coletados, os dados foram transferidos para planilhas eletrônicas para facilitar o processo de cálculo.

Dessa forma, o processo de cálculo do inventário foi desenvolvido tal como sugere as normas descritas acima, ou seja, por suas correlações a unidade funcional definida no escopo do estudo. Dado as características do sistema avaliado, tal cálculo não precisou considerar nenhum fator de alocação nem fatores relacionados a algum processo envolvendo reuso de material ou reciclagem, sendo, assim, agregados em diversas planilhas eletrônicas condizentes com cada atividade da produção da semente de milho, bem como da produção de seu grão.

Assim, dado que a avaliação dos impactos do ciclo de vida deste estudo se baseia em métodos simplificados de ACV, os procedimentos que foram utilizados para tal avaliação tiveram como base a quantificação dos insumos água, energia elétrica e etanol, considerados neste estudo como fontes renováveis, o consumo de óleo diesel, maior representante dos recursos não renováveis neste estudo, e também de todos os agrotóxicos consumidos nas etapas relacionadas ao ciclo de vida estudado.

Neste sentido, o principal critério para avaliação do impacto foi baseado nos dados quantitativos dos recursos renováveis e não renováveis (óleo diesel) e também nos dados semi-quantitativos do consumo dos agrotóxicos consumidos, correlacionados aos graus de periculosidade ambiental e de toxicidade de cada agrotóxico, sendo estas informações obtidas por meio das bulas dos agrotóxicos, de um compêndio agrícola e também em informações disponíveis no site AGROFIT, do ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Após esta quantificação, foram elaboradas matrizes indicativas de quais processos do ciclo de vida do milho acarretam em mais consumo de recursos renováveis, bem como quais são mais tóxicos e mais perigosos ao meio ambiente, como base nos resultados do inventário do ciclo de vida.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo demonstra o estudo dos temas centrais relacionados a esta dissertação. Aborda nos subtítulos 2.1, 2.2 e 2.3 os seguintes temas, respectivamente: cultura do milho, ferramenta ACV e sustentabilidade no setor agrícola. Assim, enquanto que no subtítulo 2.1 são apresentadas as principais implicações pertinentes à cultura do milho brasileiro e seu posicionamento no cenário mundial e nacional, no subtítulo 2.2 a ACV é exposta de forma detalhada, demonstrando desde seu histórico até uma ampla revisão bibliográfica sobre as publicações mais recentes envolvendo metodologias de ACVs Simplificadas. Já no subtítulo 2.3, contextualiza-se a problemática ambiental do setor agrícola, apresentando-se considerações sobre o uso de agrotóxicos no Brasil e como a ferramenta ACV pode contribuir para o alcance da sustentabilidade na agricultura.

2.1 CULTURA DO MILHO

Dessa forma, neste tema os dados de produção das mais recentes safras de milho do mundo, das regiões brasileiras e do município de Cristalina são apresentados, além de informações condizentes com o consumo de água e agrotóxico pela cultura e também sobre a situação das sementes de milho transgênica nos campos brasileiros.

2.1.1 Panorama no Brasil e no Mundo

A cultura do milho é uma das que mais ocupam as terras agrícolas do Brasil e é uma das principais fontes de renda para pequenos, médios e grandes agricultores brasileiros. Em seu sistema de cultivo, há basicamente dois métodos de trabalho utilizados no Brasil, que são: plantio direto e plantio convencional. Enquanto o plantio direto é mais presente nas grandes propriedades agrícolas, o método do plantio convencional é mais restrito aos pequenos agricultores. (CONABa)

De acordo com Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) (2011), na safra 2009/2010, o País produziu 53,2 milhões de toneladas de milho, sendo o complexo industrial de rações o maior consumidor da produção de milho brasileiro. De acordo com Souza e Braga (2004), 80% do milho produzido no país possui como destino o mercado de ração animal. Quanto ao consumo humano, o milho é

transformado em diversos produtos, como por exemplo: farinha, amido, xarope de glicose, flocos para cereais matinais, óleo, margarina, entre outros produtos.

A constante demanda por seus derivados e a disponibilidade de condições de cultivo desta cultura no cenário nacional, contribuem para que o Brasil seja atualmente o terceiro maior país produtor de milho do mundo, tal como pode ser observado na Tabela 1

Tabela 1. Principais países produtores de milho do mundo na safra 2009/2010

Localidade	Milhões de toneladas
Estados Unidos	333
China	155
Países da União Européia	55,6
Brasil	53,5
México	21,3
Índia	17,3
Argentina	21
África do Sul	14
Ucrânia	10,5
Canadá	9,6
Outros	115
Total produzido	805,8

Fonte: Agrianual 2010 (2010).

Dessa forma, nota-se que somente a produção de milho dos Estados Unidos e da China superam a do Brasil. Ao se considerar a safra mundial de 2009/10, exposta pela Tabela 1, verifica-se que do total de milho produzido nesta safra, aproximadamente 6,65% foi oriundo dos campos brasileiros, enquanto que a do primeiro produtor foi de aproximadamente 41,32%.

Alguns dos principais fatores que justificam o fato dos Estados Unidos apresentarem tão representativa participação na produção de milho do mundo são a constante demanda por etanol produzido de milho e a alta produtividade por hectare, quando comparada com outros países. Ao se tomar como exemplo os dois principais países produtores de milho da América Latina listados na Tabela 1 e os Estados Unidos numa base de comparação por produtividade por hectare, apresentado pela Tabela 2, confirma-se que o Brasil tem apresentado ao longo dos anos uma baixa eficiência produtiva.

Tabela 2. Comparativo de produção de milho nos Estados Unidos, Argentina e Brasil.

Países produtores	Estados Unidos			Brasil			Argentina		
Safra	Área (mil ha)	Produção (mil ton.)	Produt. (kg/ha)	Área	Produção (mil ton.)	Produt. (kg/ha)	Área	Produção (mil ton.)	Produt. (kg/ha)
2004/05	29.798	299.914	10.065	12.208	35.007	2.867	3.400	20.500	6.029
2006/07	28.586	267.503	9.358	14.000	51.078	3.648	3.580	21.800	6.089
2008/09	31.825	307.386	9.659	14.143	50.971	3.604	3.500	19.000	5.429

Fonte: Agrianual 2010 (2010).

Neste contexto, o que justifica, principalmente, a posição de destaque do Brasil quanto à alta produção de milho no mundo é a ampla disponibilidade de terras destinadas a esta cultura, pois grande parte da produção do milho brasileiro pode ser caracterizado como de subsistência (SOLUGUREN, 2011).

Nestes sistemas produtivos, a baixa produtividade por hectare ocorre em circunstância da falta de conhecimento e de adoção de novas tecnologias, principalmente por pequenos e médios agricultores. Assim, o desenvolvimento destes agricultores pode alavancar as chances da cadeia produtiva do milho ser mais eficiente mediante uma atenção voltada ao conhecimento sobre os seguintes aspectos: manuseio de máquinas e implementos agrícolas, práticas culturais, gestão ambiental e funcionamento do mercado em que atuam (MAPA, 2007). Outros fatores que podem ser listados, de acordo com Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2011a), estão associados ao incremento de tecnologia no campo, tais como: utilização de sementes de qualidade, acompanhamento da cultura por profissional qualificado.

No entanto, apesar destas necessidades, o mercado de grãos brasileiro apresenta um forte potencial. Segundo Duarte (2006), aproximadamente 80% da produção de grãos brasileiros é representado pelas colheitas da soja e do milho. Contudo, a maior parte do milho produzido no Brasil é consumido internamente e o volume de milho exportado é baixo, quando comparado à quantidade produzida (CONAB, 2011a). Devido a isso, o volume importado também é baixo, tal como pode ser observado pelas Tabelas 3 e 4 que apresentam as toneladas de milho exportadas e importadas, respectivamente, nos anos de 2008, 2009 e 2010.

Tabela 3. Exportações brasileiras de grão de milho nos anos de 2008, 2009 e 2010.

Países de destino	Toneladas em 2008	Toneladas em 2009	Toneladas em 2010
Arábia Saudita	345.910	651.035	815.650
Argentina	2.781	1.803	3.034
Chile	59.530	108.755	-
Coréia do Norte	-	15.000	-
Coréia do Sul	319.229	582.977	190.604
Espanha	995.432	210.495	819.356
Estados Unidos	3.170	2.416	3.063
Irã	468.963	1.767.387	1.490.644
Itália	321.495	2.000	14.501
Japão	14	269.438	606.623
Marrocos	172.947	417.867	958.594
Países Baixos	814.722	32.602	324.486
Paraguai	12.376	4.553	9.586
Portugal	399.775	15	405.397
Outros	2.516.318	3.715.556	5.177.363

Fonte: CONAB (2011b).

Como exposto pela Tabela 3, verifica-se que Irã, Marrocos, Espanha, Países Baixos e Arábia Saudita foram os países que mais se adquiriram grãos de milho do Brasil nos anos de 2008, 2009 e 2010. Por outro lado, Estados Unidos, Argentina e Paraguai foram os países que exportaram milho para o Brasil.

Neste período, constata-se pela Tabela 4 que a Argentina e os Estados Unidos estão entre os países que mais destinam parte de sua produção para o consumo de milho brasileiro.

Tabela 4. Importações brasileiras de grãos de milho nos anos de 2008, 2009 e 2010.

Países de origem	Toneladas em 2008	Toneladas em 2009	Toneladas em 2010
Argentina	29.172	21.267	18.466
Estados Unidos	277	806	182
Paraguai	740.300	1.114.837	443.062
Outros	50	567	829

Fonte: CONAB (2011b).

5.1.2 Panorama da produção regional de milho brasileira

Ao se analisar a produtividade de milho nas cinco regiões brasileiras, constata-se que todas possuem seus campos cobertos com esta cultura. No entanto, tal como se

observa pela Tabela 5, as regiões sul, centro-oeste e sudeste são as que mais se destacam no cenário produtivo de milho.

Tabela 5. Ranking das cinco regiões brasileiras produtoras de milho no ano de 2009.

Colocação	Localidade	Toneladas produzidas em 2009
1º	Sul	18.719.240
2º	Centro-Oeste	15.627.025
3º	Sudeste	10.326.766
4º	Nordeste	4.799.396
5º	Norte	1.273.569
Produção total	Brasil	50.745.996

Fonte: IBGE (2011).

Os estados pertencentes a estas regiões que mais se destacam na produção de milho são apresentados pela Tabela 6. Já a Tabela 7 destaca os vinte maiores municípios que produziram milho no ano de 2009.

Tabela 6. Ranking dos dez estados brasileiros produtores de milho no ano de 2009.

Colocação	Localidade	Toneladas produzidas em 2009
1º	Paraná	11.287.878
2º	Mato Grosso	8.181.984
3º	Minas Gerais	6.536.545
4º	Goiás	4.980.614
5º	Rio Grande do Sul	4.186.862
6º	São Paulo	3.674.059
7º	Santa Catarina	3.244.500
8º	Mato Grosso do Sul	2.181.429
9º	Bahia	2.157.719
10º	Sergipe	703.294
—	Outros estados	3.611.112

Fonte: IBGE (2011).

Verifica-se que no período em questão os dez maiores estados produtores de milho no Brasil produziram 47.134.884 toneladas, 92,88% do milho brasileiro. O Estado de Goiás, onde se localiza o município de Cristalina, destacou-se como o quarto produtor de milho do Brasil. A proporção de contribuição deste estado na relação dos dez maiores produtores é de 10,56%. Já a produção proporcional do estado de GO para sua região, centro-oeste, é de 31,87% e para o Brasil de 9,81% no período considerado.

Tabela 7. Ranking dos vinte municípios brasileiros produtores de milho no ano de 2009.

Colocação	Localidade	Toneladas produzidas em 2009
1º	Sorriso - MT	903.000
2º	Lucas do Rio Verde - MT	809.370
3º	Campo Novo do Parecis - MT	576.100
4º	Sapezal - MT	571.172
5º	Jataí - GO	537.000
6º	Rio Verde - GO	508.000
7º	Nova Mutum - MT	478.200
8º	Cristalina - GO	468.000
9º	São Desidério - BA	436.507
10º	Campos de Júlio - MT	421.337
11º	Chapadão do Céu - GO	394.416
12º	Primavera do Leste - MT	385.220
13º	Uberaba - MG	347.880
14º	Campo Verde - MT	326.208
15º	Nova Ubiratã - MT	300.000
16º	Ipiranga do Norte - MT	299.288
17º	Unaí - MG	296.500
18º	Brasília - DF	282.998
19º	Maracaju - MS	272.352
20º	Montividiu - GO	257.250
—	Outros municípios	41.875.198

Fonte: IBGE (2011).

2.1.3 Panorama da produção de milho do município de Cristalina-GO

Desta forma, pelos dados da Tabela 7, constata-se que o município de Cristalina está entre os dez maiores produtores de milho do Brasil, pois no ano de 2009 ocupou a oitava posição. Como a produção dos vinte maiores municípios totaliza 8.870.978 toneladas de milho, nota-se que este município produziu aproximadamente 0,92% do milho do Brasil, 5,30% da relação dos vinte maiores produtores e 9,40% do estado de GO. Neste contexto, a Figura 1 apresenta a elevação da produção de milho em Cristalina nos vinte anos compreendidos entre 1990 e 2009.

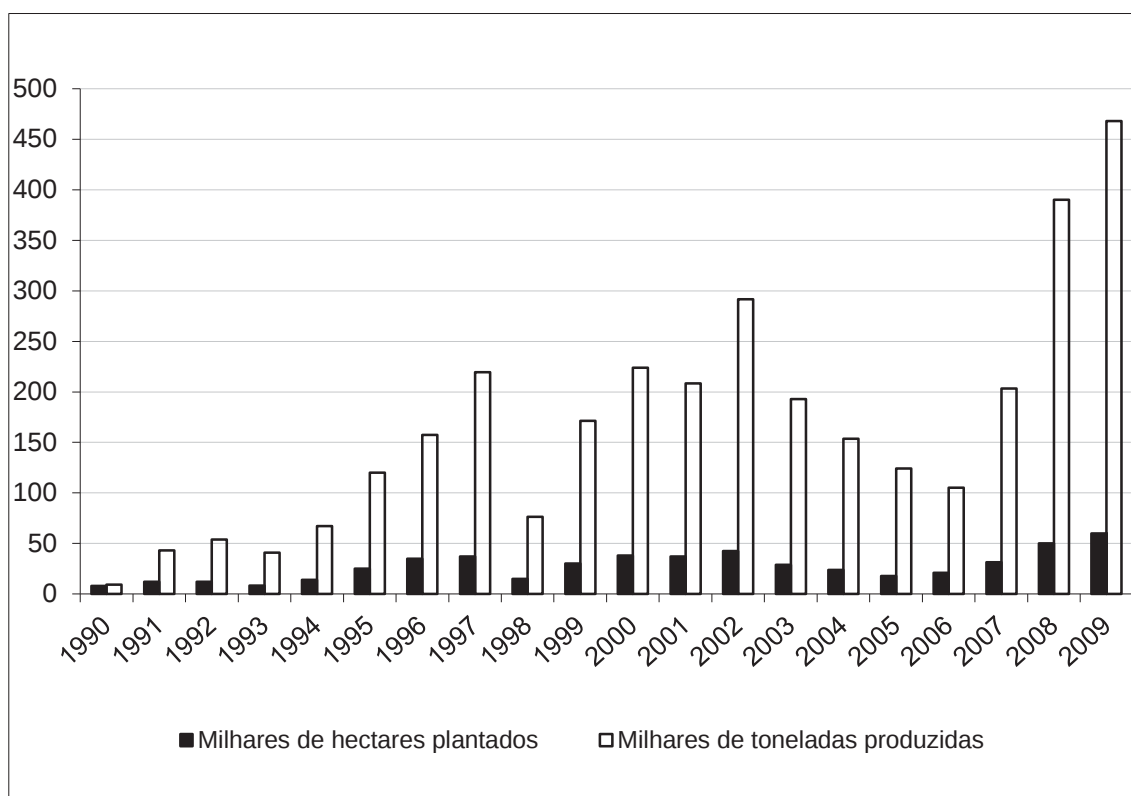


Figura 1. Milhares de toneladas de milho produzidas no município de Cristalina entre 1990 e 2009.

Fonte: IBGE (2011).

Comparando-se as toneladas colhidas com a utilização da terra nos últimos anos, verifica-se que este município foi produzindo mais grãos por hectare sem aumentar na mesma proporção o uso do solo agrícola. Em 1990, de acordo com IBGE (2011), colheram-se 9.240 toneladas de grãos de milho em oito mil hectares. Já em 2009, foram colhidas 468 mil toneladas em 60 mil hectares. Portanto, neste período, a produção de milho grão do município aumentou em 5.064,93% e a área em 750%.

Atualmente, de acordo com IBGE (2011), a produtividade média de milho por hectare em Cristalina é maior do que a média nacional, da região centro-oeste e também do estado de Goiás. Observa-se pela Tabela 8 que em todas estas localidades houve aumento da rentabilidade da cultura ao longo dos anos. No entanto, a produção agrícola no município vem crescendo no decorrer dos anos em patamares também superiores aos observados no Brasil, região centro-oeste e estado de GO.

Tabela 8. Milhares de toneladas de milho produzidas por hectare no Brasil, na região centro-oeste, no estado de Goiás e no município de Cristalina entre os anos de 1990 até 2009.

Ano	Brasil	Centro oeste	Goiás	Cristalina	Ano	Brasil	Centro-oeste	Goiás	Cristalina
1990	1,87	2,19	2,12	1,60	2000	2,72	3,49	4,36	5,86
1991	1,81	3,04	3,28	3,60	2001	3,40	4,08	4,58	5,64
1992	2,28	3,08	3,47	4,50	2002	3,06	3,77	4,64	6,86
1993	2,53	3,12	3,54	4,80	2003	3,73	4,31	5,07	6,65
1994	2,36	3,10	3,48	4,80	2004	3,37	4,14	5,06	6,40
1995	2,60	3,44	3,95	4,80	2005	3,04	3,62	4,65	7,01
1996	2,48	3,50	3,92	4,50	2006	3,38	4,11	4,74	5,00
1997	2,62	3,48	3,97	5,94	2007	3,79	4,00	5,00	6,46
1998	2,80	3,34	3,81	5,10	2008	4,08	4,50	5,63	7,80
1999	2,78	3,69	4,28	5,68	2009	3,71	4,53	5,50	7,80

Fonte: IBGE (2011).

Portanto, nestes vinte anos, o município elevou em 487,5% sua produtividade e a média de toneladas produzidas foi de 5,54 toneladas por hectare. Estes valores são muito superiores quando comparado com a elevação da produtividade do Brasil, região centro-oeste e do estado de GO, tal como expõe a Tabela 9.

Tabela 9. Comparativo da produtividade média de milho do Brasil, da região Centro-Oeste, do estado de Goiás e do município de Cristalina entre 1990 e 2009.

Localidade	Média de toneladas produzidas entre 1990 e 2009	Aumento da produção por hectare entre 1990 até 2009
Brasil	2,92	98,40 %
Centro oeste	3,63	206,85 %
Goiás	4,25	159,43 %
Cristalina	5,54	487,5 %

Fonte: IBGE (2011)

Para melhor visualização deste aumento ocorrido neste período, apresenta-se a Figura 2.

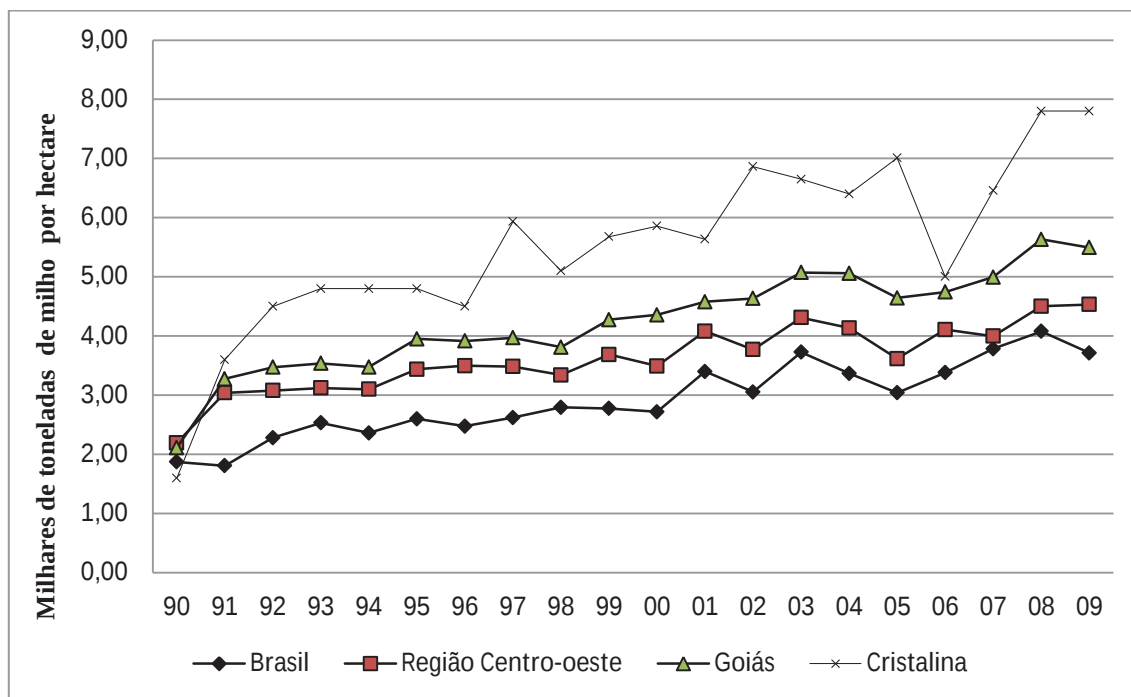


Figura 2. Elevação da produtividade de milho por hectare no Brasil, região Centro-Oeste, estado de GO e município de Cristalina entre 1990 e 2009.

Fonte: IBGE (2011).

Um dos fatos que contribui para a pujança agrícola do município de Cristalina é a adoção de pivôs de irrigação nas lavouras. Tal município possui 476 pivôs espalhados em 42 mil hectares irrigando culturas diversas, tais como: soja, milho, tomate, algodão, ervilha, abóbora, cevada, feijão, cenoura, beterraba, café e trigo. Estes 42 mil hectares irrigados fazem com que Cristalina seja o maior município com área irrigada para fins agrícolas da América Latina (CARDOSO, 2010).

2.1.4 Dados relacionados ao consumo de água pela cultura do milho

Soares (2010), aponta o consumo demandado pela cultura e algumas estratégias direcionadas à irrigação. Dependendo do clima da região onde o milho é plantado, a cultura demanda de 500 a 800 mm de água em seu ciclo completo. Estratégias voltadas a programação de irrigação deve levar em consideração o consumo total de água, a quantidade necessária em cada aplicação e o momento adequado para se irrigar a planta.

A subutilização da água e do solo contribui para a redução da rentabilidade, podendo causar alto impacto econômico negativo na cadeia do milho. Segundo Soares (2010), a maior parte dos agricultores que utilizam sistema de irrigação em suas lavouras não adotam mecanismos de utilização racional da água consumida na

irrigação. Custo baixo da água utilizada pelos pivôs, fertilização inadequada da cultura e irrigação em excesso são os principais fatores que contribuem para o uso irracional da água nos pivôs. Neste sentido há uma forte relação entre a degradação do recurso água e a produtividade em cada hectare (MAPA, 2007).

2.1.5 Principais agrotóxicos demandados pela cultura do milho

Além do uso da água em excesso pela irrigação, o consumo de agrotóxicos na cultura do milho se caracteriza como agente potencial para causar danos ambientais . Segundo Chaim (1999), a agricultura é alvo de interesse para se diminuir seus impactos ambientais negativos associados. Dessa forma, existem três principais tipos de agrotóxicos consumidos pela cultura no milho no decorrer de seu ciclo, que são: fungicidas, herbicidas e inseticidas.

Segundo Melhorança e Karam, a proliferação de plantas daninhas competidoras da cultura do milho acarreta em consumo de herbicidas, que devem ser manejados nas concentrações corretas para que haja eliminação das ervas competidoras e não ocasionem danos ambientais associados. Por outro lado, Costa *et al.* (2011) afirmam que a recomendação para o uso de fungicidas ocorre quando há proliferação de doenças na lavoura, condições climáticas que favorecem o surgimento de doenças, plantio contínuo de milho na área e plantio direto sem rotação de culturas

Neste contexto, como forma de diminuir a dependência do uso de agrotóxicos, diversos agricultores brasileiros estão adotando o uso de sementes de milho transgênicas.

2.1.6 Milho transgênico e milho convencional no Brasil

A questão da liberação do cultivo da semente de milho transgênica no Brasil foi discutida por entidades competentes por mais dez anos, tendo sido aprovado no ano de 2008 .No entanto, apesar do recente aval para comercialização da semente transgênica, nota-se uma tendência para a permanência do plantio com este tipo de semente nos campos brasileiros (DUARTE *et al.*, 2009).

O fator mais importante que motiva a troca da semente convencional pela transgênica é o econômico. As perdas de produtividade da cultura do milho em decorrência de insetos tidos como pragas para a cultura do milho são de quase 20%,

fazendo com que o agronegócio do milho deixe de ganhar aproximadamente dois bilhões de reais anualmente (WAQUIL & VILLELA, 2004). De acordo com Embrapa (2008), gasta-se em torno de 23 milhões de dólares anualmente nas aplicações de inseticidas e no tratamento de sementes para se conter as principais pragas da cultura do milho, fazendo das variedades de sementes de milho transgênico tolerantes a insetos e herbicidas uma forma viável de se conter estes prejuízos econômicos.

Algumas consequências são possíveis de acontecer devido ao uso de sementes de milho transgênicas. Uma destas é o fluxo de genes dos organismos modificados para as variedades locais não modificadas (PIÑEYRO-NELSON *et al.*, 2008). Outra é o risco à segurança alimentar, pois pode ser que surjam efeitos colaterais naqueles indivíduos que consumirem alimentos constituídos de compostos transgênicos. Além destes, há possibilidade de ocorrer resistência das plantas daninhas aos herbicidas e também resistência dos insetos aos inseticidas, criando um círculo vicioso de necessidade de agrotóxicos cada vez mais fortes (EMBRAPA, 2008).

Neste sentido, as pesquisas envolvendo sementes de milho transgênicas apontam para caminhos diversos. Embrapa (2008) afirma que no decorrer de dezesseis anos do comércio agrícola de produtos transgênicos não foram observadas consequências relevantes para a saúde humana nem para o meio ambiente. No caso da adoção da semente de milho transgênica nos campos do Brasil, as chances de ocorrer efeitos ambientais por fluxo gênico são raras, pois não existem no país plantas nativas passíveis de serem cruzadas com as variedades de milho.

No entanto, ao se observar o panorama da plantação de sementes transgênicas de milho em outros países, as pesquisas direcionam a necessidade de mais estudos sobre as consequências que este tipo de cultura pode causar. Segundo Binemelis (2008), a lavoura de milho transgênico em uma região da Espanha contribuiu para a queda da produção de milho orgânico, o que indica a inviabilidade de coexistir estas duas distintas lavouras.

No México, em lavoura experimental destinada a pesquisa, Piñeyro-Nelson *et al.* (2008) descobriram contaminação de uma variedade de milho comum da região pelos transgênicos. Neste país, apesar da produção comercial do milho transgênico ainda não ter sido liberada, as pesquisas na área se tornam relevantes, pois existem muitas

variedades de milho que, se contaminadas, podem comprometer a diversidade genética dos milhos existentes (ACEVEDO *et al.* , 2011), já que não existem formas de se parar o fluxo de genes para as plantas nativas da região (DALTON, 2009).

No caso brasileiro, apesar das considerações de Embrapa (2008) sobre a situação dos fluxos gênicos, trabalho de Ferment *et al.* (2009) indica relevantes considerações acerca da cultura de milho transgênica nos campos nacionais, sendo as principais:

- a) O milho transgênico pode comprometer outras variedades, pois barreiras destinadas a conter movimento de sementes ou polinização não são efetivas completamente;
- b) Faltam pesquisas sobre fluxos gênicos, bem como sobre os aspectos que implicam na polinização da planta nas distintas regiões brasileiras que cultivam milho;
- c) Falta ainda estabelecer regras legais para responsabilização e compensação de eventuais danos causados por lavouras de milho transgênicos em outras variedades;
- d) A norma divulgada pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) sobre a situação do milho transgênicos , não é completa e não garante a possibilidade de coexistência de variedades de milho transgênicos e convencionais.

Contudo, mesmo diante destas questões ainda em aberto, verifica-se que o plantio de milho transgênico no Brasil já é realizado em suas principais regiões produtoras em proporções consideráveis, tal como pode ser confirmado pela Tabela 10, que demonstra a proporção de milho transgênico e convencional nas localidades brasileiras na safra verão 2009/2010.

Tabela 10: Percentual de utilização de semente de milho transgênica e convencional no Brasil na safra de verão 2009/2010.

Localidade	Área plantada (mil ha)	% Semente transgênica	% Semente convencional
Região Norte	456	1	99
Roraima	6	0	100
Rondônia	98	0	100
Acre	29	0	100
Amazonas	12	0	100
Pará	238	0	100
Tocantins	74	5	95
Região Nordeste	2681	5	95
Maranhão	373	5	95
Piauí	330	5	95
Ceará	696	5	95
Rio Grande do Norte	71	0	100
Paraíba	194	0	100
Pernambuco	310	0	100
Alagoas	71	0	100
Sergipe	163	0	100
Bahia	473	15	85
Região Centro-Oeste	684	50	50
Mato Grosso	118	40	60
Mato Grosso do Sul	76	30	70
Goiás	458	55	45
Distrito Federal	32	60	40
Região Sudeste	1800	31	69
Minas Gerais	1179	40	60
Espírito Santo	38	10	90
Rio de Janeiro	8	5	95
São Paulo	575	15	85
Região Sul	2683	37	63
Paraná	1002	35	65
Santa Catarina	584	45	55
Rio Grande do Sul	1097	35	65
Total do Brasil	8305	25	75

Fonte: Agrianual 2010 (2010)

Pelos dados desta safra, verifica-se que 25% do milho brasileiro foi de origem transgênica. Da proporção de terras destinadas à cultura do milho, a região centro-oeste foi a que mais teve suas terras ocupadas por lavouras transgênicas (50%). Dos estados desta região, o de Goiás se sobressaiu com 55% da plantação de milho.

Portanto, a afirmação de Duarte *et al.* (2009) sobre a tendência de permanência da plantação de milho transgênico nos campos brasileiros é reafirmada pelos dados das safras de 2010 e 2011. Enquanto na de 2010 aproximadamente 39% das sementes de milho comercializadas no Brasil foram de origem transgênicas, na safra 2011 este percentual atingiu quase 64% (GARCIA & DUARTE, 2011).

Dessa forma, após as considerações a respeito da cultura do milho, apresenta-se os principais aspectos da ferramenta ACV.

2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Assim, neste tema são analisados aspectos amplos sobre ACV, tais como: histórico, características principais, aplicações, limitações, suas fases, ACV no Brasil, as metodologias simplificadas de condução de ACV e também os mais recentes trabalhos envolvendo ACV simplificada no cenário nacional e internacional.

2.2.1 Histórico da Avaliação do Ciclo de Vida

O conceito de ACV surgiu no início dos anos 60 associado às preocupações a respeito das limitações das matérias-primas e dos recursos energéticos no cenário mundial. No ano de 1969, a empresa Coca-Cola encomendou um estudo que visou comparar diferentes tipos de embalagens para suas bebidas produzidas e assim determinar qual das alternativas analisadas continha o menor lançamento para o meio ambiente e qual seria menos afetada pelo fornecimento dos recursos naturais existentes até então. Tal estudo fez um inventário de todos os insumos requeridos, quantificando as matérias-primas, os combustíveis usados e as cargas ambientais dos processos de produção de cada embalagem, servindo de base para que outras empresas nos Estados Unidos e na Europa também utilizassem do método empregado (CURRAN, 2008).

Neste período, ainda não havia consenso quanto à estrutura completa para a ACV e o processo para quantificar os insumos e os lançamentos ambientais de produtos ficou conhecido nos EUA com análise do perfil ambiental e na Europa como eco balanço. Assim, o interesse pela ACV foi ganhando mais força por volta de 1975 até o início dos anos 80, no decorrer da crise do petróleo e do aumento da preocupação com o meio ambiente por parte de setores públicos e privados (CURRAN, 2008).

Contudo, o início dos estudos sobre ACV foram marcados por muitas discrepâncias entre as conclusões obtidas de ACVs de produtos semelhantes que também possuíam processos de fabricação parecidos. Por não haver critérios padronizados sobre como conduzi-la, muitas empresas fizeram pesquisas induzidas, enaltecendo as qualidades de seus produtos em termos ambientais para os utilizarem em campanhas de marketing e tentarem demonstrar a supremacia dos mesmos amparados por metodologia científica (CHECHEBE, 2002).

Neste contexto, muitas iniciativas foram tomadas para harmonizar a metodologia de ACV, sendo que a maioria dos esforços resultou em guias metodológicos que eram muitas vezes válidos para uma área geográfica e aplicação específica de ACV ou para uma categoria particular de produtos (EKVALL, 1999; HAUSCHILD et al, 1998; RUSSEL, 2005). Dessa forma, muitos obstáculos foram encontrados até que houvesse harmonização e padronização de uma metodológica de ACV, mobilizando agentes do meio acadêmico para contribuir no desenvolvimento de uma metodologia ambiental baseada na ACV (RUSSEL, 2005).

Tal mobilização, aliada a fortes pressões de organizações ambientais para que houvesse uma padronização metodológica de condução de estudos de ACVs, bem como a motivações da crescente demanda do mercado por conhecer os atributos ambientais implícitos na fabricação dos produtos que consome, contribuiu para a criação das normas sobre ACV pela *International Organization for Standardization* (ISO) (CURRAN, 2008; COLTRO, 2007). Assim, em 1979 foi criada a ONG *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC), forte desenvolvedora de técnicas com foco no aperfeiçoamento da ACV, cujos trabalhos serviram como parâmetros para a construção das normas ISO a respeito da ACV (CURRAN, 2008).

A padronização, de acordo com Hauschild et al. (2005), propiciou a harmonização da metodologia empregada e o aumento da credibilidade das conclusões obtidas das ACVs. Contribuiu também para que a ACV fosse difundida entre entidades públicas e privadas na maioria dos países da Europa, América do Norte e Ásia, pois enquanto sua aplicação no setor privado reside mais em comparações de alternativas no desenvolvimento de produtos, utilização em campanhas de marketing e apoio a tomadas de decisão na gestão ambiental, nas entidades governamentais a ACV pode ser útil em

análises de sistemas de gestão de resíduos, como ferramenta para auferirem rotulagem ambiental e para consecução de políticas verdes.

Neste contexto, a ISO estruturou a padronização de uma ACV, dividindo sua forma de execução em quatro fases, a saber: definição de objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação do impacto e interpretação. Deste modo, até o ano de 2009 a ISO mantinha um conjunto de quatro normas relacionadas a consecução de uma ACV, sendo uma relacionada aos princípios gerais de uma ACV, outra específica para a fase de definição do escopo e análise do inventário, outra sobre a fase de avaliação de impacto e outra sobre a fase de interpretação. Assim, as quatro normas que haviam até 2009 eram:

- *ISO 14040 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework;*
- *ISO 14041 – Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and inventory analysis;*
- *ISO 14042 – Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment;*
- *ISO 14043 – Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation.*

Já a partir de 2009, estas quatro normas foram unidas em apenas dois documentos, um envolvendo os aspectos gerais da ACV e o outro o detalhamento das quatro fases, sendo estes:

- *ISO 14040 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.*
- *ISO 14044 – Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.*

Deste modo, estas normas substituíram as quatro vigentes até 2009, mantendo em apenas dois documentos os mesmos conteúdos das anteriores. Assim, dado que a ISO é representada no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as duas normas atuais sobre ACV foram traduzidas para o português e são disponibilizadas por esta entidade nos seguintes formatos:

- ABNT NBR ISO 14040 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura;
- ABNT NBR ISO 14044 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.

Assim, a definição de uma metodologia padronizada contribuiu para o que os trabalhos envolvendo ACV fossem desenvolvidos e representados com um grau de confiabilidade mais adequado às exigências de grande parte dos agentes envolvidos.

2.2.2 Características da Avaliação do Ciclo de Vida

Em sua forma completa, ACV é uma ferramenta de Gestão Ambiental que avalia o produto ou processo ao longo de seu ciclo de vida, parcial ou total. Tal ferramenta considera os impactos gerados desde o início do processo produtivo até sua disposição final, tanto que também é conhecida como uma técnica propícia a avaliar a geração de impactos ambientais do “berço ao túmulo”, sendo o berço uma alusão ao local de origem dos insumos primários mediante a extração dos recursos naturais e o túmulo uma representação da disposição final dos resíduos que não são reciclados (GNANSOUNOU *et al.*, 2009).

Portanto, a ACV é especialmente desenvolvida para avaliar diferentes impactos ambientais inseridos ao longo da vida do produto ou serviço, propiciando a divisão destes impactos em diversas categorias, tais como esgotamento de recursos e degradação da paisagem, por exemplo. Isso resulta em um melhor direcionamento para decisões rumo às melhores tecnologias a serem usadas nos processos produtivos envolvidos (BALKEMA *et al.*, 2002).

De acordo com Valt (2004), em um dado processo ou produto, a redução do consumo de matéria-prima e dos resíduos gerados podem ser os resultados de uma ACV, sendo possível a comparação sobre distintos processos e materiais implícitos na produção de um mesmo produto pelos dados oriundos da mensuração de uma ACV. Dessa forma, há a otimização de recursos pelo aprimoramento dos produtos e processos produtivos (BARBOSA JUNIOR, 2008).

Para Hertwich (2005), ACV é uma ferramenta que avalia potenciais impactos ambientais em sistemas de produtos e serviços por meio da contabilização das emissões

geradas e recursos usados em todas as fases do ciclo de vida destes. Dessa forma, tal somatório é realizado mediante a análise de todas as entradas e saídas pertinentes ao sistema estudado (SAIC, 2006).

Macedo (1995) enfatiza que a avaliação ambiental propiciada pela ACV pode melhorar os processos decisórios que estão envolvidos com as ações de produtividade. Isso tende a minimizar os impactos ambientais gerados e a potencializar os resultados positivos, inclusive no campo econômico. Existe, dessa forma, a solidificação da cultura administrativa pautada no melhor uso dos recursos utilizados na fabricação dos produtos.

Neste sentido, a ACV tem se mostrado como uma ferramenta útil para se atingir também o consumo sustentável, sendo viável sua utilização também para avaliar os impactos ambientais domésticos. Neste caso, é necessário além das análises de entradas e saídas, combinações com pesquisas econômicas e sociais, dado as discrepâncias existentes entre as distintas camadas sociais (HERTWICH, 2005).

Em países mais desenvolvidos, o consumo doméstico é a categoria de impacto final que mais acarreta em danos ambientais, tanto em termos de despesas como também de consumo de energia e geração de emissões de CO₂. Em países em desenvolvimento, são as exportações da indústria pesada que mais agravam a situação ambiental (HERTWICH, 2005).

Trabalhos que possuam como meta avaliarem os impactos ambientais de consumo amparados pela ACV devem ir além da contabilização das entradas e saídas. É ideal que se combine seus resultados com pesquisas sociais e econômicas de distintos extratos populacionais. A partir de então, é possível que o resultado seja a conquista de padrões de consumo sustentáveis, sendo a ACV uma importante guia por meio dos selos ambientais, fornecendo informações para organizações e consumidores terem parâmetros decisórios quanto aos impactos ambientais mais inferiores (HERTWICH, 2005).

Segundo Borchard et al. (2008), a partir de decisões de compra mais conscientes, pode-se tentar reverter alguns dos perniciosos riscos ao meio ambiente que acarretam prejuízos para a sociedade. De acordo com os autores, os fatores dessas perdas nem sempre são isolados e podem possuir diversas fontes, tais como: estilo de

vida de algumas sociedades consumistas, envelhecimento da população em países desenvolvidos, crescimento acelerado de alguns países emergentes; desigualdades de consumo entre regiões; produtos fabricados com prazo de vida curto.

Tais fatores se relacionam com aspectos sociais e econômicos que, na maioria das vezes, não são homogêneos e dependem da região ou segmento produtivo analisado. Deste modo, de acordo com Curran (2008), ao se partir diretamente para os sistemas produtivos, a ACV pode ser descrita também como uma contabilidade ambiental, com abordagem de gestão, que considera todos os aspectos relacionados ao consumo de recursos e lançamentos ambientais associados com o sistema estudado.

Exemplos de processos onde a ACV considera todos os impactos relevantes a montante e a jusante do consumidor ou produtor são apresentados pela Figura 3, que mostra uma visão holística das interações ambientais que cobrem as várias atividades relacionadas ao processo produtivo, desde a extração da matéria-prima, passando pela produção do produto, por sua distribuição, por seu uso, reuso e sua disposição final.

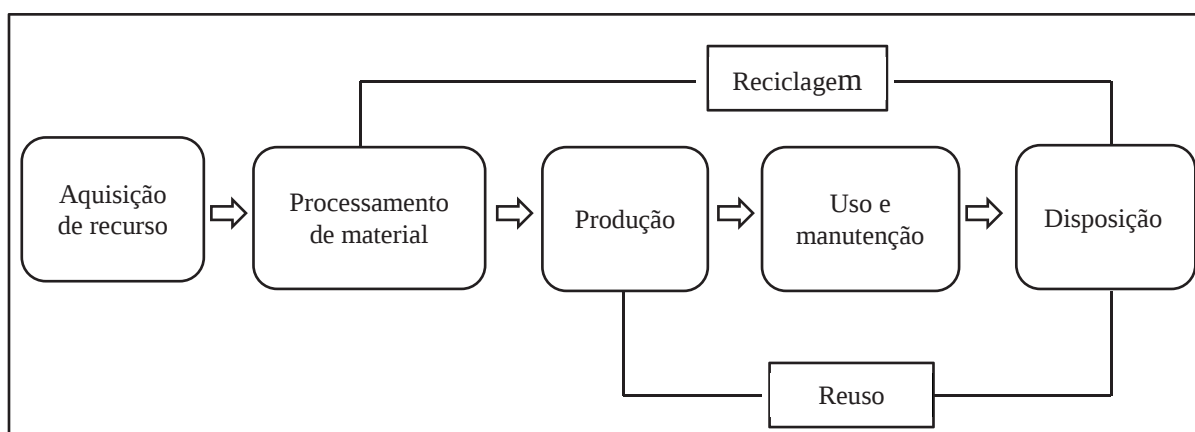


Figura 3. Estágios genéricos de ciclo de vida.

Fonte: Curran (2008).

Neste sentido, uma avaliação efetuada ao longo dos estágios do ciclo de vida de um produto deve ser realizada sobre uma perspectiva de que eles são interdependentes, o que implica que as decisões feitas em um ponto ao longo do ciclo de vida pode ter consequências em outros lugares (CURRAN, 2008). Contudo, Silva e Kulay (2006) afirmam que além dos estágios presentes ao longo do ciclo de vida de um produto, há que se considerar também a etapa de transporte que ocorre entre os fluxos de uma unidade para outra. Segundo estes autores, o transporte é caracterizado como uma

atividade que pode gerar impactos ambientais em quase todos os estágios do ciclo de vida.

2.2.3 Aplicações da Avaliação do Ciclo de Vida

Uma ACV pode abranger vários segmentos produtivos, bem como atender diversos objetivos. Segundo Silva e Kulay (2006), as aplicações de uma ACV podem ser subdivididas em duas principais vertentes, a saber: comparação do desempenho ambiental de produtos que ocupem uma mesma função e Identificação de oportunidades de melhoria de desempenho ambiental. Neste contexto, Curran (2008) associa a possibilidade de uma ACV contribuir para os seguintes objetivos:

- a) Desenvolver uma avaliação sistemática das consequências ambientais associadas a um determinado produto;
- b) Analisar os *trade-offs* associados a um ou mais produtos e processos específicos;
- c) Quantificar lançamentos no ar, água e solo para cada estágio do ciclo de vida ou processos;
- d) Avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de material e os lançamentos ambientais para a comunidade local, região ou mundo;
- e) Ajudar em identificar mudanças significativas nos impactos ambientais entre os estágios do ciclo de vida e o meio ambiente;
- f) Identificar impactos de uma ou mais áreas ambientais relacionadas;
- g) Compilar um inventário de energia, entrada de materiais e liberações ambientais;
- h) Avaliar os potenciais impactos ambientais associados com as entradas e liberações identificadas;

Como se constata, tais exemplos estão associados à pretensão em projetos cujo foco seja o da melhoria ambiental. Por meio destes, é possível se notar também quais são os principais fatores que podem motivar o início de estudos de ACV.

2.2.4 Limitações em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida

Mesmo diante de tantos benefícios, estudos de ACV também apresentam limitações. Dependendo da abrangência do estudo, a coleta de dados pode ser problemática e a disponibilidade dos dados pode ter grande impacto na precisão dos resultados finais. Neste sentido, os seguintes fatores podem limitar a consecução de uma ACV, de acordo com Silva (2005), IBICT (2011), Silva e Kulay (2006) e Curran (2008).

- a) Elevado consumo de recursos humanos;
- b) Elevado consumo de tempo;
- c) Dificuldade para coleta dos dados devido aos seguintes fatores: desinteresse de algumas partes envolvidas, desconfiança da preservação da confidencialidade do uso de determinados insumos e tecnologias, possíveis reticências de algumas empresas em despertar atenção de agências ambientais, bem como de ações não governamentais;
- d) Falta de disponibilidade de alguns dados que podem afetar o resultado final;
- e) Enquanto ACV pode ajudar a identificar os potenciais *trade offs* ambientais, converter os resultados do impacto para uma simples contagem requer o uso de valores de julgamentos que podem ser feitos de diferentes maneiras;
- f) Todos os pressupostos ou decisões feitas em todo o projeto devem ser reportadas juntamente com os resultados do projeto de ACV. Caso pressupostos sejam omitidos, os resultados finais podem ser tomados fora do contexto ou serem facilmente mal interpretados.
- g) Elevado consumo de execução, principalmente devido a grande quantidade de dados a serem coletados;
- h) ACV é uma ferramenta técnica que não mensura a sobreposição de eficiência de um produto ou processo em relação a custo. Portanto, a informação desenvolvida em um estudo de ACV deve ser usada como um componente de uma decisão mais abrangente ao avaliar *trade offs* como custo e desempenho.
- i) ACV mede potenciais impactos ambientais e não impactos ambientais;

j) Não há apenas uma maneira de se conduzir uma Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV). Enquanto os métodos são tipicamente baseados na ciência, a complexidade dos sistemas ambientais tem levado ao desenvolvimento alternativos modelos de impacto;

k) Decisões subjetivas, pois o papel da avaliação de impacto é categorizar e quantificar os potenciais efeitos ambientais. Feito isso, decidir se um impacto é pior do que outro é necessariamente um processo subjetivo, em que as percepções do condutor da ACV são aplicadas;

l) Enquanto o processo de ACV avança de fase a fase, pressupostos adicionais e limitações do escopo podem ser necessárias para realizar o projeto com os recursos disponíveis.

Portanto, de forma geral, constata-se que é importante ponderar a disponibilidade dos dados, o tempo necessário para conduzir o estudo e os recursos financeiros requeridos contra os benefícios projetados da ACV (CURRAN, 2008).

Dessa forma, entendido todo contexto sobre ACV, parte-se para o detalhamento de cada uma das fases da ACV, tal como preconiza ABNT (2009b).

2.2.5 Fases de uma Avaliação do Ciclo de Vida

Dado que os estudos sobre ACV são divididos pela ISO nas fases de definição do objetivo e do escopo, análise do inventário, avaliação de impacto e interpretação, apresenta-se pela Figura 4 a estrutura de relacionamento entre estas quatro fases.

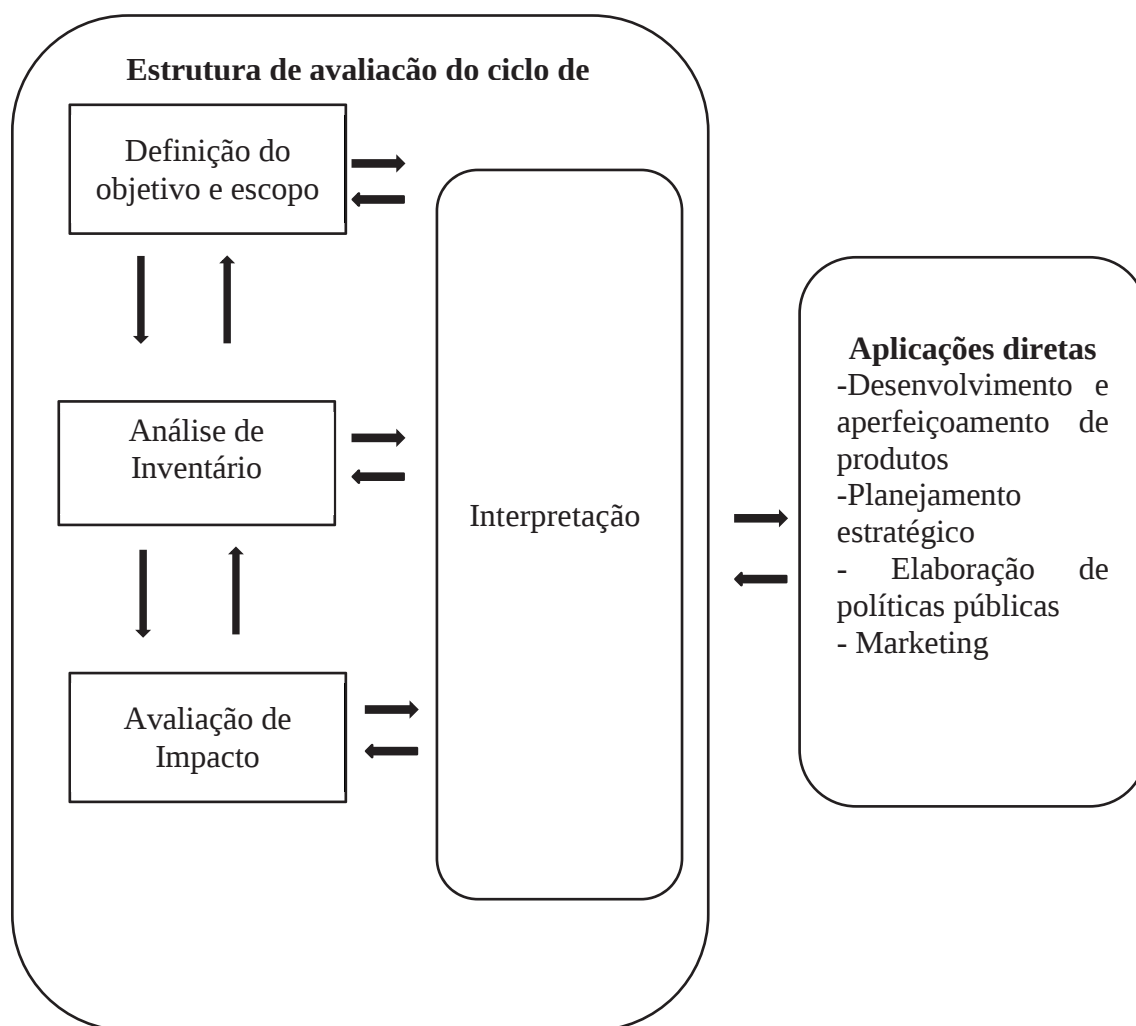


Figura 4. Fases de uma ACV.

Fonte: ABNT, 2009b.

Além de alguns exemplos de aplicações de ACVs, a Figura 4 deixa clara a relação entre as quatro fases da ACV, pois estas são dependentes umas das outras. Assim, apresenta-se um breve estudo sobre cada uma destas quatro fases, dando uma maior ênfase para as três primeiras, pois a avaliação do impacto deste presente estudo se relaciona a metodologia de ACV Simplificada, que será abordada em mais detalhes em capítulo específico.

2.2.5.1 Definição do Objetivo e do Escopo

A definição do objetivo e do escopo é a primeira fase de um estudo de ACV. É nesta fase que são delineados os intuítos do trabalho e também quais serão os condicionamentos para sua realização. De acordo com ABNT (2009a) o escopo de uma

ACV não é padronizado e sempre depende do produto ou serviço estudado (objeto de estudo) e da razão de utilidade deste produto ou serviço.

Nesta fase devem ser formuladas questões e hipóteses a respeito do que se pretende avaliar, pois o método apropriado da ACV é relacionado com a finalidade do estudo (FINNVEDEN *et al.*, 2009). Esta também condiciona os limites do sistema e o nível de detalhamento das informações empregadas, sempre considerando que a dimensão dos trabalhos que lidam com ACV não são uniformes e se distinguem, de acordo com o objetivo específico de cada um (SOUSA *et al.*, 2010).

A abordagem e aplicação de uma ACV deve ser estabelecida após a consideração de alguns critérios. É viável que na definição do escopo sejam tomadas precauções visando considerar a completa amplitude do ambiente decisório envolvido e que se una os objetivos da aplicação pretendida aos dos produtos e processos que podem estar associados a esta aplicação (ABNT, 2009a).

Em estudos de ACV, é necessário cautela mediante a grande quantidade de informação que pode ser gerada, pois muitas destas podem levar um tempo considerável para sua determinação, requerendo-se cuidado para que as informações sejam aplicáveis no contexto do ambiente ao qual ela será utilizada (ABNT, 2009a). Por causa disso, recomenda-se que as ACVs sejam muito comprometidas com seus objetivos, pois é enfático que se tenha certeza, e não ambiguidades, na definição do público alvo e na definição dos fatores que motivam a aplicabilidade do projeto ABNT (2009b).

Neste sentido, os agentes envolvidos em um projeto desta grandeza necessitam de respostas precisas para as seguintes perguntas:

- a) Qual é a aplicação que se destinada para o trabalho?
- b) Quais são as principais razões que motivam a condução do estudo?
- c) Quem são os maiores interessados nos resultados da ACV?

Após especificados com exatidão os objetivos, a aplicabilidade e o público alvo é requerido que se considere outros itens pertinentes ao escopo. Segundo ABNT (2009 b), estes são: sistema de produto estudado, as funções do sistema de produto, a unidade funcional, a fronteira do sistema; os procedimentos de alocação, a metodologia de AICV e tipos de impactos; os requisitos de dados e das qualidades destes, os

pressupostos, a escolha de valores e de elementos opcionais, as limitações, o tipo de revisão crítica e o tipo e formato do relatório para o estudo. Assim, explica-se a seguir cada um destes atributos.

- **O sistema de produto a ser estudado**

Apresenta-se neste item o produto estudado, bem como todos os processos componentes de sua produção. Como exemplo, cita-se o estudo de Ometto (2005) que fez a ACV do álcool etílico hidratado combustível. O autor constou no sistema de produto estudado os seguintes processos:

Processo 1: Preparo de solo;

Processo 2: Plantio da cana-de-açúcar;

Processo 3: Tratos culturais;

Processo 4: Colheita da cana;

Processo 5: Geração de vapor e de energia elétrica;

Processo 6: Fertirrigação;

Processo 7: Distribuição do álcool etílico hidratado combustível;

Processo 8: Utilização do álcool etílico hidratado combustível.

De acordo com Chehebe (1997), estes processos e seus respectivos aspectos ambientais podem ser melhores estruturados a partir da construção de fluxogramas.

- **As funções do sistema de produto**

Especifica-se neste item qual é a função de utilização do produto estudado. Santos e Tenório (2010) realizaram uma ACV de evaporadores para usinas de açúcar e álcool. Nesta avaliação, cada evaporador avaliado pelos autores passou a ser visto como “sistema de produto”. Ficou caracterizada como função do sistema, neste caso, a evaporação da água contida no caldo de cana clarificado.

- **A unidade funcional**

Rebitizer *et al.* (2004) afirmam que é uma base de comparação e análise para produtos e serviços, sendo uma unidade de referência numérica que possibilita que

todos os fluxos de entradas e saídas sejam a ela relacionados, devendo esta unidade ser claramente definida e mensurável. Segundo Coltro (2007), exemplos de unidades funcionais são:

- a) 1 kg de café torrado e moído pronto para a distribuição;
- b) 1000 kg de água tratada pronta para o consumo;
- c) 1 m² revestido por tinta por um período de um ano.

• **A fronteira do sistema**

Os processos elementares que devem ser incluídos na ACV são determinados pela fronteira do sistema estabelecida. Especificam-se a partir desta quais são os critérios de corte dos insumos utilizados nos estágios que envolvem o ciclo de vida do produto estudado, tais com massa e energia, por exemplo. Neste sentido, pode ser que nem todos os insumos e processos utilizados na composição do produto sejam alvo da avaliação. Caso isto ocorra, há que se documentar tal fato expondo as razões da exclusão (ABNT, 2009b).

Coltro (2007) afirma que as fronteiras do sistema devem ser apresentadas logo no início da definição do objetivo e escopo. No entanto, pode ser que a fronteira final deva ser revista na fase de análise do inventário, ou seja, no momento em que todas as informações já tiverem sido levantadas. As principais dimensões a serem consideradas ao se estabelecer a delimitação das fronteiras do sistema são apresentadas no Quadro 1.

Fronteiras	Dimensões
Geográficas	Determinação da área do sistema avaliado
Associadas aos sistemas naturais	Determinação do início e o fim do sistema
Temporais	Passado, presente ou futuro
Inserido no sistema técnico pertinente à produção	Determinação dos processos pertinentes ao ciclo de vida do produto estudado que serão incluídos e excluídos
Inserido no sistema técnico, associada com o ciclo de vida de outros produtos	Distribuição da carga ambiental entre os co-produtos, quando estes forem constituídos por um processo produtivo que não gera apenas um produto

Quadro 1. Dimensões das fronteiras do sistema.

Fonte: Adaptado de Coltro (2007) e ABNT (2009b)

• Procedimentos de alocação

Em AVC, atribuir significa dividir proporcionalmente os impactos ambientais para cada processo que contempla o sistema estudado. Procedimentos de alocação incluem métodos para alocar e também para evitar alocação através das fronteiras do sistema (EKVALL & TILMAN, 1997). Segundo Coltro (2007), quando a ACV for referente à produtos que possuem ciclo de vida interligados, tal como a produção de soja e farelo, álcool e açúcar, queijo e leite, óleo diesel e gasolina, haverá necessidade de usar de procedimentos de alocação.

Neste caso, é preciso expandir a fronteira do sistema ou o nível de detalhamento do ciclo de vida para que haja inclusão dos co-produtos ou dividir as cargas ambientais entre os co-produtos existentes, baseada em divisões de alocações físicas ou alocações econômicas. Nas alocações físicas, todas as alterações mensuráveis qualitativamente ocorridas nos produtos devem ser correlacionadas às permutas dos fluxos de entradas e saídas. Já na alocação econômica, a base de divisão é o valor monetário dos produtos auferidos como reflexo de seus relativos preços (COLTRO, 2007).

• Metodologia de AICV e tipos de impactos

Nesta fase, definem-se quais serão as categorias de impactos, indicadores de impactos e modelos de caracterização que serão utilizados no trabalho. Nesta etapa, é

importante que se tenha o objetivo muito bem definido, pois estes indicadores devem estar coerentes com os objetivos da ACV.

• Requisitos dos dados e de suas respectivas qualidades

Os dados podem ser coletados diretamente na fonte produtiva relacionada aos processos elementares do sistema ou também extraídas e calculadas por outras fontes. No entanto, é enfático que os dados coletados atendam as necessidades de cada requisito relacionado ao trabalho, principalmente quando o foco da ACV estiver vinculado com alguma comparação destinada ao domínio público (ABNT, 2009b). Assim, os principais requisitos, bem como suas respectivas necessidades, são apresentados pelo Quadro 2.

Requisitos	Necessidades
Cobertura temporal	Idade dos dados e período mínimo de para coleta dos dados.
Cobertura geográfica	Especificação da área de coleta dos dados.
Cobertura tecnológica	Tecnologia empregada.
Precisão dos dados	Medida de variabilidade para os dados de cada processo (ex.: média)
Completeza	Porcentagem dos fluxos que é medida diretamente ou é estimada.
Representatividade	Análise qualitativa do grau em que o conjunto de dados reflete a verdadeira população estudada.
Consistência	Avaliação qualitativa em relação à aplicação uniforme da metodologia do estudo aos vários componentes da análise
Reprodutibilidade	Como outro pesquisador pode reproduzir a avaliação em estudo semelhante utilizando a metodologia empregada.
Fonte dos dados	Qual é a origem.
Incerteza da informação	Quais informações não se têm certeza.

Quadro 2. Requisitos dos dados trabalhados na ACV.

Fonte: ABNT NBR 14044 (2009).

Como exemplo da consideração dos requisitos dos dados e das suas respectivas qualidades, cita-se o Inventário do Ciclo de Vida do biodiesel etílico do óleo de girassol, realizado por Viana (2008), no qual se definiu os dados de massa e de equivalência ambiental para identificação dos fluxos inclusos em seu estudo e também a coleta da maior parte dos dados em banco de dados relacionados com a produção

biodiesel brasileiro. Neste sentido, além do intuito da coleta de dados ser motivada por requisitos específicos do produto ou processo avaliado, ela também pode ser originária da necessidade de se criar um banco de dados. Em ambos os casos, Rebitizer et al.,(2004), sugerem que se considerem os seguintes itens:

- a) Determinados dados de certos segmentos produtivos podem ser associados a diversos outros, pois apresentam parcelas de participações contidas em quase todos os estudos de ACV, como é o caso, por exemplo dos setores de transporte, suprimento de energia, serviço de tratamento de resíduos e produção de commodities químicas. Deste modo, possuem características de avaliação semelhantes e que muitas vezes podem ser associadas a aspectos globais, como o caso da extração do petróleo e do uso de seus derivados. Outras, porém, podem apresentar semelhanças continentais, nacionais ou regionais, tais como a geração de eletricidade, transporte terrestre, produção agrícola, entre outros;
- b) É necessário um conjunto de dados, uma compilação das entradas e saídas, para cada processo do sistema do produto;
- c) Para quantificar cada dado coletado, é necessário que se usem as mesmas medidas em cada unidade de processo. A nomenclatura utilizada para demonstrar os fluxos e outras cargas ambientais também necessita ser contabilizadas com todo sistema de produto.
- d) A coleta de dados muitas vezes demanda sinergia entre os que estão realizando o projeto, os proprietários do sistema produtivo e também entre agentes que podem não estar diretamente ligados ao projeto.
- e) Manter atenção nos casos de coletas onde os profissionais envolvidos podem não ter muita experiência neste tipo de trabalho.

Indicadores de precisão dos resultados e de verificação das qualidades dos dados podem ser utilizados para apontar o grau de incerteza das respostas obtidas em trabalhos de ACV (ESTRUTURA, 2011). Portanto, a qualidade dos dados é necessária, pois é por meio dela que é feita a avaliação do impacto e a consequente interpretação do ciclo de vida.

• Pressupostos

Trata-se da menção das mais relevantes suposições e considerações envolvidas com a ACV. Para consecução da ACV do álcool etílico hidratado, por exemplo, Ometto (2005) tomou como base o fato de que as práticas agrícolas relacionadas com o ciclo de vida do produto estudado eram condizentes com os padrões de usinas sucroalcooleiras localizadas na região de Ribeirão Preto-SP e que a lavoura da cana já estava instalada, não levando em consideração os impactos associados a remoção da vegetação nativa para o plantio da cana-de-açúcar.

• Escolha de valores e elementos opcionais

Os elementos opcionais não são sugeridos em estudos de ACV brasileiros porque a base modelo destes foi desenvolvida com foco em padrões norte-americanos, europeus e australianos. No caso de estudos de ACV feitos para produtos e serviços do Brasil, recomenda-se os modelos com foco até o chamado *mid-point*, que possuem as fases de seleção, classificação e caracterização dos resultados do ICV. Modelos que chegam até o *end-point* incluem a normalização dos dados por meio da ponderação e agrupamento, não sendo recomendados (COLTRO, 2007).

• Limitações

Devem ser descritas as limitações correspondentes ao estudo em questão, considerando que estas podem ser de diversas ordens. Santos (2009), por exemplo, ao desenvolver uma ACV dos produtos açúcar e álcool em usinas de MS, teve como limitação em seu trabalho a coleta de dados. As possíveis fontes dos dados para a pesquisa seriam duas usinas sucroalcooleiras do estado que haviam sido consultadas previamente logo na definição do escopo. No entanto, quando já estava tudo estruturado, essas usinas não liberaram seus dados para o pesquisador. A partir disso, houve a necessidade de se criar duas usinas fictícias e trabalhar com dados baseados na literatura, porém muito próximos à realidade.

• Tipo de revisão crítica

A revisão crítica é uma forma de se avaliar se as conclusões do estudo são pertinentes aos métodos e dados utilizados e também ao escopo. Esta pode ser feita por especialistas internos, externos ou por um painel composto pelas partes interessadas,

podendo ser direto ou indiretamente afetados pelas consequências do objeto de estudo. Contudo, é importante que os revisores sejam independentes ao estudo e também tenham conhecimentos técnicos e científicos acerca do tema estudado e das normas sobre ACV (ABNT, 2001; ABNT 2009a). Caso a revisão seja feita por painel, é viável que esta seja composta por um grupo diversificado e que represente diversos setores, tais como: governos, universidades, consumidores e profissionais ligados à ACV.

Neste sentido, a etapa da revisão crítica deve estar atenta aos seguintes fatores, de acordo com ABNT (2009b):

- a) Se os métodos empregados para guiar a ACV são tecnicamente e cientificamente válidos;
- b) Se os dados da pesquisa são adequados e condizem com o objetivo da mesma;
- c) Se o relatório do estudo é consistente e transparente;
- d) Se as interpretações exprimem o objetivo do trabalho e suas limitações são identificadas.

Assim, os principais aspectos motivadores para uma revisão crítica são: a falta de compreensão sobre a metodologia utilizada no escopo do estudo, o desejo de se verificar e compilar os dados, bem como a necessidade de se questionar pressupostos essenciais e resultados gerais. Dessa forma, a revisão deve abordar principalmente os seguintes pontos: o escopo e as fronteiras do sistema, a aquisição dos dados, a validade dos resultados e também a comunicação destes. (SAIC, 2006).

Recomenda-se, então, que se faça revisão crítica desde o início do estudo, logo na fase da definição do objetivo e do escopo. A revisão crítica desde esta etapa pode evitar a falta de dados coletados na ACV e também comparações inadequadas no final do trabalho, além de proporcionar uma maior credibilidade do estudo. Contudo, há que se ressaltar que não existe exigência formal para a revisão crítica (EUROPEAN COMMISSION, 2010).

• Tipo e formato do relatório para o estudo

Deve ser definido na fase do escopo. Possui como fatores essenciais para publicação a necessidade de se levar ao conhecimento do público alvo um relatório

preciso, completo, imparcial e apresentado de forma transparente, sempre com foco no objetivo do estudo (ABNT, 2009b). Segundo European Commission (2010), utilizações errôneas e enganosas podem derivar do estudo de ACV, caso não haja uma efetiva documentação e comunicação amparada por especialistas no assunto, podendo não contribuir para o melhoramento ambiental do objeto de estudo.

Para European Commission (2010), há três tipos de relatórios que são desenvolvidos de acordo com o público alvo do estudo. Os tipos de relatórios são: relatório de uso interno; relatório de terceira parte e o relatório voltado para estudos comparativos para serem divulgados em domínio público.

O relatório de uso interno não possui como intenção divulgar os resultados para qualquer parte externa à organização ou instituição que tenha conduzido a avaliação, como é o caso das ACVs realizadas para identificar potenciais melhorias ambientais em processos produtivos e produtos específicos. Relatórios comparativos para serem divulgados ao público envolvem a comparação de produtos e seus respectivos resultados disponibilizados para uso geral e podem ou não envolver a conclusão de superioridade entre os produtos comparados.

Já o relatório de terceira parte é um documento que possui como alvo comunicar os resultados para outra parte interessada na ACV, além do órgão que desenvolveu o estudo, não sendo necessário incluir neste relatório informações confidenciais. Estes documentos geralmente são direcionados ao conhecimento público. Devem ser mais críticos, porque há riscos de interpretações erradas quando as informações derivadas das ACVs são repassadas para um público não familiarizado com a complexidade e as limitações associadas a sua aplicação. Por causa disso, de acordo com ABNT (2009b), é importante que se mantenha atenção aos seguintes itens quando o destino do relatório for para terceiros:

- a) As mudanças do escopo inicial, bem como suas justificativas;
- b) A fronteira do sistema, juntamente com os critérios de decisão e os tipos de entradas e saídas do mesmo, devendo ser explanados os fluxos de entradas e saídas;
- c) A descrição dos processos elementares e das decisões de alocação;

- d) A descrição dos detalhes sobre os dados, bem como sobre os requisitos de qualidades e fatores decisórios;
- e) Aos indicadores e escolha de categorias.

Portanto, bons relatórios de Inventário e de ACV proporcionam detalhes relevantes do projeto, tais como os métodos utilizados, os resultados obtidos e os processos envolvidos. Esses são fatores essenciais que podem garantir a reprodução em trabalhos que lidam com avaliações semelhantes (EUROPEAN COMMISSION, 2010).

2.2.5.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida

No que tange a metodologia promulgada pela ABNT, Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é a contabilização do que é consumido e liberado ao longo do ciclo de vida do produto, tal como: matéria-prima, energia, emissões atmosféricas, resíduos sólidos e resíduos líquidos. Pode ser utilizada para comparação de produtos ou processos ao se levar em consideração os fatores ambientais na seleção dos insumos, bem como contribuir no desenvolvimento de regulamentos relativos ao uso de recursos e emissões ambientais em formulação de políticas. Sem um inventário, não há base para proposição de melhorias ambientais e nem para avaliação de impactos comparativos (SAIC, 2006).

A mensuração das entradas e saídas é feita se utilizando uma acurada coleta de dados, que são adquiridos mediante procedimentos de coleta e cálculo. Nestas etapas, é necessário que se considere a iteratividade envolvida, pois os conhecimentos sobre o produto estudado crescem com o decorrer dos levantamentos e pode ser que haja necessidade de se voltar a etapas anteriores para se arrecadar mais dados (ABNT, 2009b).

Para sistematizar o processo de coleta, os dados são trabalhados dentro da fronteira do sistema por processos elementares, que são os elementos considerados na análise de entrada e saída do inventário que devem ser quantificados. A divisão dos sistemas de produtos em processos elementares facilita a identificação das entradas e saídas envolvidas em tal sistema e também evita a ocorrência de erros na interpretação dos resultados por contagens duplas (ABNT, 2004a; ABNT, 2004b). A Figura 5 exemplifica processos elementares em um sistema de produto de ACV.

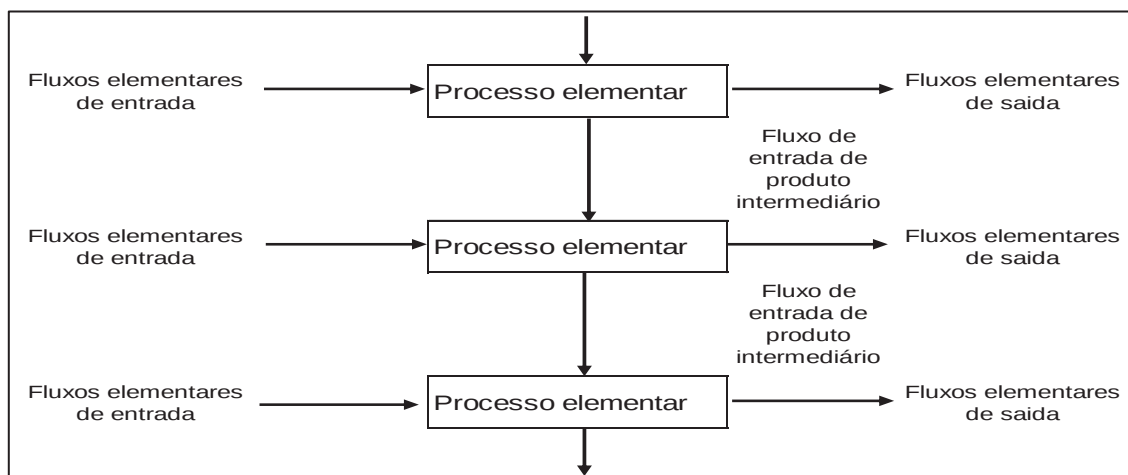


Figura 5. Exemplo de conjunto de unidades de processo em um sistema de produto.
Fonte: ABNT (2004a).

Dessa forma, verifica-se que os processos elementares são unidos uns aos outros, o que gera a possibilidade de se inventariar os processos independentes pertencentes aos sistemas de produto e de também diminuir as chances de interpretações equivocadas dos resultados, como por exemplo, por dupla contagem (ABNT, 2009b).

Identificados os processos elementares, há a categorização dos seus dados sob os seguintes títulos gerais, de acordo com ABNT (2009b):

- Emissões para o solo, água e atmosfera;
- Produtos, co-produtos e resíduos;
- Entradas de matéria-prima, de energia, entradas auxiliares;
- Outras entradas.

Assim, a consolidação de um ICV segue alguns passos operacionais que podem ser melhores exemplificados observando-se a Figura 6.

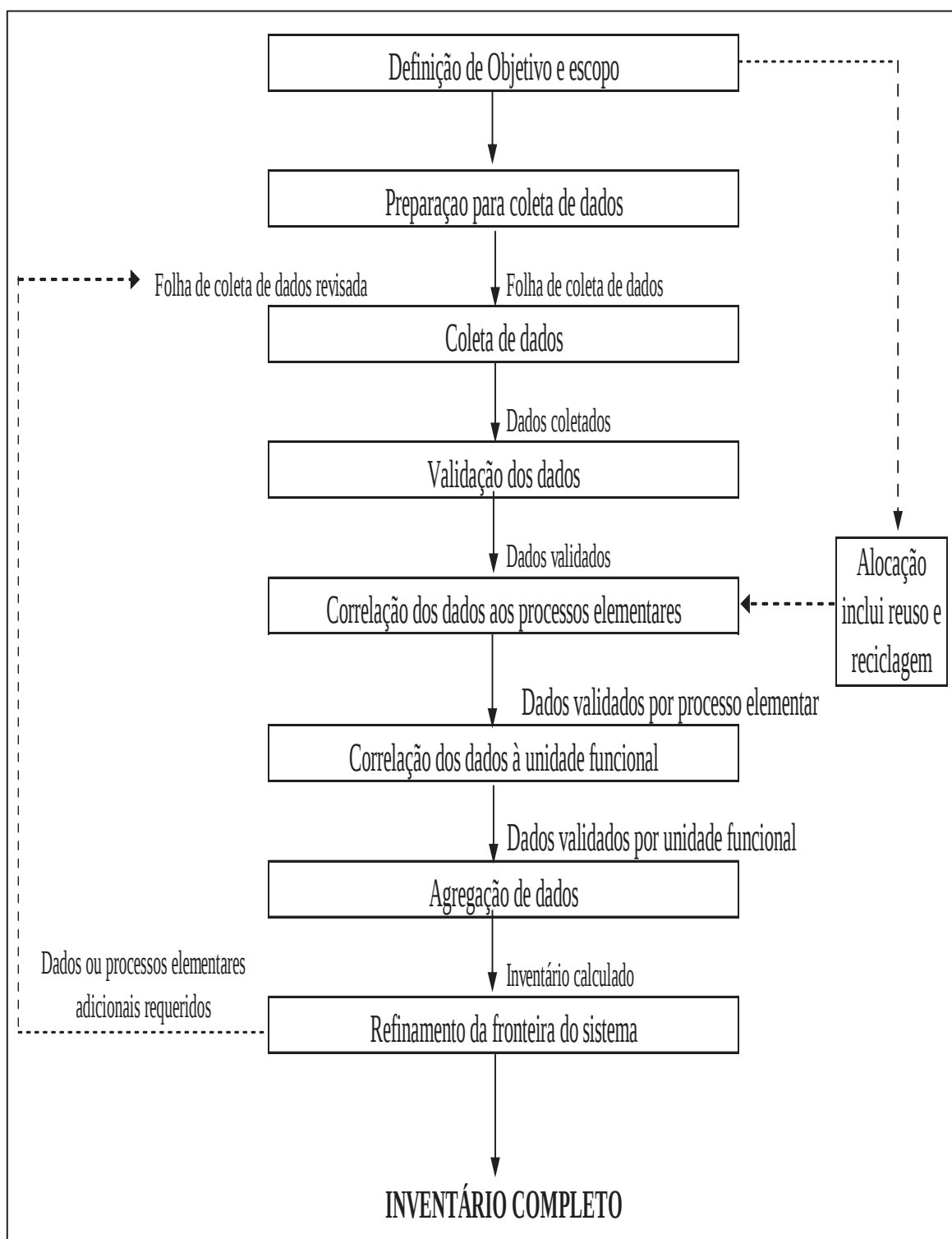


Figura 6. Procedimentos simplificados para análise de inventário.
Fonte: ABNT (2009b).

Verifica-se, então, que o ICV é composto por uma série de procedimentos, além da iteratividade envolvida na coleta de dados. Por isso, nem sempre o planejamento para coleta de dados do inventário será satisfeito tal como previsto. Com o andamento do

estudo, podem surgir demandas para que novos dados sejam incorporados, como também excluídos do inventário.

Neste sentido, a etapa de coleta de dados deve ser baseada em critérios de seleção tais como descritos no Quadro 2, do tópico “Requisitos de dados e das qualidades destes”, do subtítulo 2.2.5.1 desta dissertação. Assim, como forma de facilitar esta etapa, o anexo A da norma ABNT NBR 14044: 2009 disponibiliza alguns exemplos de fichas para coletas de dados, tais como: para transporte a montante do processo, para transporte interno, para processo elementar e uma ficha de coleta de dados para análise do inventário do ciclo de vida.

Coletado os dados, a compilação, tabulação e análise preliminar de todas as trocas ambientais presentes no ciclo de vida do produto é feita mediante o cálculo das quantidades dos diferentes recursos requeridos e resíduos lançados por unidade funcional e processo elementar (ABNT, 2009b; REBITZER, 2004). Dessa forma, todos os cálculos são realizados mediante os procedimentos descritos na Figura 6, como por exemplo: a validação e agregação dos dados e o refinamento da fronteira do sistema.

Contudo, dependendo do objetivo e escopo do estudo do ICV, a análise de cenários para os cálculos das incertezas também devem ser realizadas. Aplicam-se estes cálculos especificamente em comparações de produtos, como aquelas que são desenvolvidas para uso em estratégias futuras (EUROPEAN COMMISSION, 2010). Assim, de acordo com esta, é necessária atenção aos seguintes aspectos diante da etapa de cálculo do ICV.

- a) Aplicar os mesmos procedimentos de cálculo de forma consistente em todo o sistema analisado para se obter o resultado do ICV;
- b) Determinar para cada processo dentro dos limites do sistema, quanto de seu fluxo de referência é necessário para o sistema fornecer sua unidade funcional;
- c) Dimensionar o inventário de cada processo para que haja relação com a unidade funcional do sistema;
- d) Todos os produtos e resíduos quantitativamente relevantes ao sistema devem ser modelados. Caso haja co-produtos, estes devem ser substituídos ou alocados,

dependendo da abordagem metodológica aplicável no inventário para realizar o ICV ou a ACV.

e) Os resultados finais do inventário devem representar exclusivamente o produto prescrito pela unidade funcional. Caso o sistema tenha sido modelado completamente, o inventário resultante deve conter fluxos elementares que a fronteira do sistema em adição ao produto ou produtos que são definidos pela unidade funcional.

Portanto, no momento de se calcular o inventário, é necessário que as unidades de processo e o sistema de produto estejam muito bem definidos, pois o cálculo dos resultados do inventário inclui a junção de todas as intervenções em todas as unidades de processo (GUINÉE, 2002). No entanto, em função do refinamento pela análise de sensibilidade, pode ser que haja exclusão ou inclusão de determinados itens do inventário. Assim, excluem-se fases do ciclo de vida que não sejam tão relevantes para o trabalho e se inserem novos processos elementares tidos como importantes para a finalização do estudo, sendo os fatores críticos para essas alterações as considerações implícitas nas participações de massa, energia e significância ambiental de cada item ou processo elementar componente do ICV (ABNT, 2009b).

Neste sentido, relevância do que será analisado pode também estar associado às incertezas presentes no trabalho. Os tipos mais comuns de incertezas que podem ser encontradas em inventários de ciclo de vida são condizentes com os dados utilizados no estudo e também às variabilidades presentes nos campos espaciais, tecnológicos e temporais (BJÖRKLUND, 2002).

As variabilidades espaciais podem decorrer devido a diferenças regionais pertinentes ao inventário e as temporais devido às divergências nos inventários anuais de emissão. Já as variabilidades tecnológicas por não haver igualdade no desempenho entre processos equivalentes. Por outro lado, os dados podem apresentar incertezas na medida de emissão, ausência de algum parâmetro avaliado e não serem representativos devido ao uso de dados coletados em bancos de dados gerais ou também por não se coletarem o total de dados necessários ao estudo (BJÖRKLUND, 2002; BENEDET JUNIOR, 2007).

Dessa forma, pode ser ainda que alguns inventários necessitem de critérios de alocação, tornando o trabalho um pouco mais criterioso. De acordo com Fava et al. (1991), o ICV é um procedimento simples e direto quando comparado com outras etapas de uma ACV, exceto pela alocação. No entanto, como mencionado no tópico “procedimentos de alocação”, do subtítulo 2.2.5.1 desta dissertação, a alocação será viável quando o inventário estiver detalhando produtos que possuem ciclo de vida interligados. Para estes casos, ABNT 2009a, sugere as três seguintes bases para alocação:

- a) Propriedades físicas;
- b) Valor econômico;
- c) Número de usos subsequentes.

Apesar de o valor econômico ser utilizado como base para alocação de forma mais constante, existem algumas críticas em relação ao seu uso. Embora o valor de mercado na maioria dos casos reflita o uso de energia, e com isso muitos dos encargos associados, a atribuição nesta base abrange apenas um aspecto do sistema. Além disso, o valor de mercado é muito variável ao longo do tempo, não podendo corresponder sempre análises de períodos afora o presente (SAIC, 2006).

Assim, em função das prováveis divergências que podem existir entre os modelos utilizados, existem também diferentes métodos para a elaboração de inventários. Suh e Huppes (2005) afirmam que um dos métodos mais comuns usados pelos profissionais de ACV é o diagrama de fluxo, que mostra como os processos de um sistema de produto se interconectam através do fluxo de produtos. Dessa forma, para estes autores, calcular o inventário por um diagrama de fluxo não é tão fácil, se não estiverem inclusos no trabalho as condições a seguir:

- a) Cada processo de produção produz somente um material ou energia;
- b) Cada processo de tratamento de resíduo recebe somente um tipo de resíduo;
- c) O sistema de produto sobre estudo fornece insumos ou recebe saídas de outros sistemas de produto;
- d) Fluxos de materiais ou energia entre processos não possuem relações.

Outro exemplo de método, é o da representação matricial do sistema do produto, que utiliza abordagem computacional para compilação do inventário do ciclo de vida mediante um sistema de equação linear para resolver um problema de inventário. Representar sistemas de produtos numa matriz possibilita que sejam fornecidas várias ferramentas analíticas. Tanto o modelo matricial quanto o de fluxograma de processos descrevem inventários do ciclo de vida baseado em processos de análises (SUH & HUPPES, 2005).

Assim, pode ser que surjam dificuldades práticas ao se descrever todos os relacionamentos entre as unidades de processo em um sistema de produto e também ao se usar modelos para descrever os elementos chaves do sistema físico. A norma ISO, por exemplo, geralmente define a estrutura do ICV sem especificar qual é o melhor método de cálculo a ser usado, mas tanto o fluxograma de processos quanto a Matriz de Representação podem ser considerados como compatíveis com o método da ISO para o cálculo do inventário (SUH & HOPPES, 2005; FAVA, 1991).

Dessa forma, no final da análise dos inventários, seus resultados devem ser organizados numa tabela contendo as entradas e saídas quantificadas, todas associadas à unidade funcional, tal como nos seguintes exemplos: em unidades metros cúbicos de gás butano, quilogramas de CO₂, litros de gasolina, etc. Isso porque estes resultados servem como entrada para a próxima fase que se segue (GUINÉE, 2002). Assim, dado que em determinados casos apenas a consecução do ICV pode ser útil para se alcançar os objetivos pretendidos, exclui-se a etapa de avaliação de impacto do ciclo de vida e passa-se diretamente para a fase da interpretação.

Deste modo, apresenta-se a seguir considerações sobre a consecução deste tipo de estudo.

2.2.5.2.1 Estudos de Inventário do Ciclo de Vida

Nem sempre estudos que estão trabalhando com ciclo de vida direcionam seus esforços para uma completa avaliação do ciclo de vida. Em algumas situações, apenas a realização de um inventário do ciclo de vida contribui para o objetivo desejado (SEYLER *et al.*, 2005). Ressalta-se que ICVs diferem das ACVs porque estas possuem a fase de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) e ICVs apresentam as fases de

definição do objetivo do escopo, análise de inventário do ciclo de vida e também de interpretação.

De acordo com Seyler *et al.* (2005), avaliações do ciclo de vida as vezes podem ser muito demoradas, onerosas financeiramente e pouco prática por causa da imensa quantidade de dados requeridos na fase de interpretação do impacto. Muitas vezes, a associação destes aspectos motivam os profissionais a concretizarem ICVs e não ACVs dos sistemas produtivos interessados. ICVs também podem ser combinadas com outras ferramentas de gestão ambiental e com isso atrair a atenção de pesquisadores e demais interessados (SEPPALA *et al.*, 2002)

Neste sentido, estudos que contemplam até esta fase, podem ser voltados para diversos segmentos produtivos, como o agrícola, por exemplo. Segundo Coltro *et al.* (2006), a publicação de ICV da produção agrícola é um passo fundamental para entendimento dos potenciais impactos ambientais de cada cultura e parâmetro para o estabelecimento da sustentabilidade produtiva, pois o estudo das entradas e saídas envolvidas nos processos é um das formas para se atingir a sustentabilidade produtiva das cadeias agrícolas.

Assim, dado que este trabalho faz a avaliação de impactos a luz de uma metodologia simplificada de ACV, aborda-se a fase de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida apenas sobre o ponto de vista de seus principais atributos.

2.2.5.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

De acordo com ABNT (2009a), o objetivo desta fase é o estudo da significância dos potenciais impactos ambientais com base nos resultados do inventário do ciclo de vida. Neste sentido, de acordo com esta, a etapa de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida é composta por três fases, sendo:

- a). Seleção de categorias de impacto, de indicadores de categoria e de modelos de caracterização;
- b). Correlação dos resultados do ICV, ou seja, a classificação dos dados quanto as categorias de impacto previamente selecionadas;
- c). Cálculo dos resultados dos indicadores de categoria, ou seja, etapa onde ocorre o processo de caracterização dos dados para valores qualitativos ou quantitativos.

Dado que a avaliação do impacto parte da seleção das categorias de impacto, Ugaya (2011) aponta os seguintes exemplos de categorias:

- a) Acidificação;
- b) Mudança climática;
- c) Destruição da camada de ozônio;
- d) Ecotoxicidade;
- e) Uso do solo;
- f) Uso de recursos;
- g) Qualidade do ecossistema.

Neste sentido, dado que os métodos para avaliação do impacto do ciclo de vida do produto analisado nesta dissertação se baseiam em metodologias de ACV Simplificadas, parte-se para o próximo subcapítulo, que aborda sobre a interpretação do ciclo de vida, sendo uma profunda discussão sobre metodologias simplificadas apresentada no subcapítulo 2.2.7 desta dissertação.

2.2.5.4 Interpretação do Ciclo de Vida

De acordo com SAIC (2005), a interpretação do ciclo de vida é uma técnica sistemática para identificar, quantificar, checar e avaliar as informações auferidas dos resultados do inventário do ciclo de vida e também da avaliação do impacto do ciclo de vida. A interpretação do ciclo de vida é a última fase tanto de um estudo de ICV, quanto de ACV.

Na interpretação do ciclo de vida, os resultados da ACV são avaliados, em vez de responder questões colocadas na definição do escopo. A interpretação diz respeito às aplicações pretendidas para a ACV ou ICV e são usadas para desenvolver recomendações. Nesta etapa, os resultados de outras fases são considerados no âmbito coletivo e analisados à luz da acurácia objetivada, da precisão dos dados aplicados e também dos pressupostos assumidos ao longo do ICV ou ACV (EUROPEAN COMMISSION, 2010)

Enquanto se conduz um ICV ou ACV, é necessário se fazer pressupostos, estimativas e decisões baseadas nos valores envolvidos no estudo, sendo que os resultados finais de trabalhos desta magnitude devem ser comunicados de forma clara,

detalhada e sempre relacionados aos dados extraídos. Assim, pode ser que em determinados casos não seja possível afirmar que uma alternativa é melhor do que a outra devido a algumas incertezas relacionadas aos resultados finais (SAIC, 2005; ABNT, 2009b).

O fato destas possíveis incertezas ocorrerem não significa que o trabalho não possa ser aproveitado. Os resultados de ICV e ACV podem fornecer um melhor entendimento dos aspectos e impactos ambientais pertinentes a cada processo estudado. Quando o foco da interpretação é para um trabalho de ACV, e não de ICV, pode-se também permitir conhecimentos da relevância sobre cada tipo de impacto em comparação com cada uma das alternativas propostas incluídas no escopo (SAIC, 2005).

Deste modo, na fase de interpretação é enfático que sejam identificadas as questões mais significativas presentes nos resultados das fases anteriores de um ICV ou de uma ACV. Tal procedimento é necessário para que se identifique os dados que mais contribuem para os resultados ambientais relacionados a cada produto, processo ou serviço associado ao trabalho (ABNT, 2009b). Neste sentido, a Figura 7 explana quais são os principais atributos inerentes a fase de interpretação do ciclo de vida e o relacionamento destes com as outras fases, segundo ABNT (2009b).

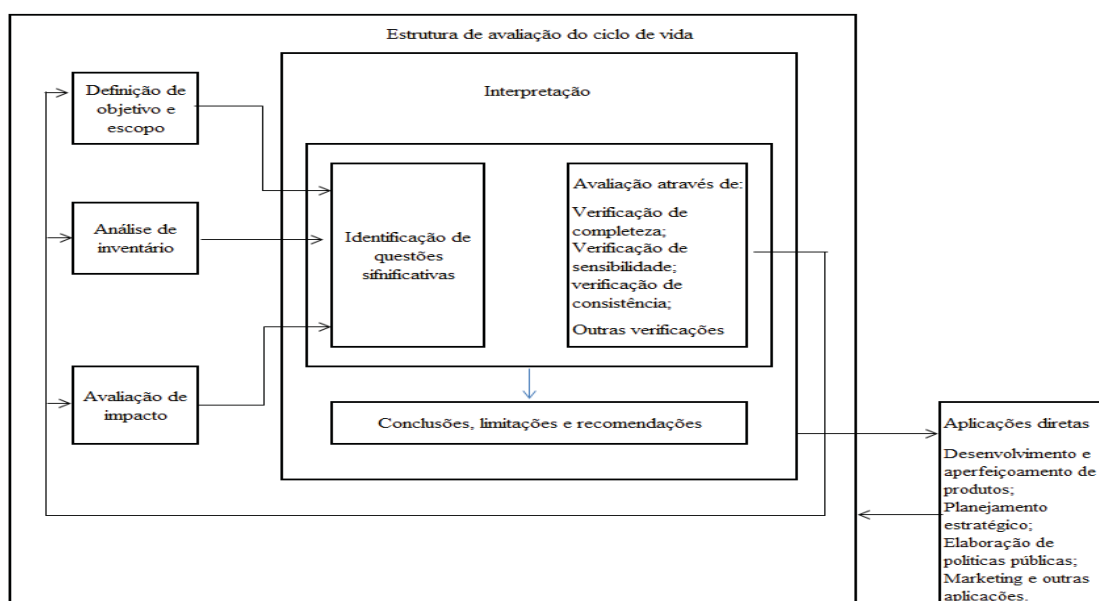


Figura 7. Relacionamento dos elementos da fase de interpretação com as outras fases da ACV.

Fonte: ABNT, (2009b)

Assim, de acordo com ABNT (2009b), o primeiro passo de uma interpretação do ciclo de vida envolve a revisão das informações contidas nestas etapas anteriores. Tal procedimento é necessário para que se identifiquem os dados que mais contribuem para os resultados ambientais relacionados a cada produto, processo ou serviço associado ao trabalho (SAIC, 2005).

Ao se partir para a fase de interpretação do ciclo de vida de uma ACV ou ICV, é necessário que se atente pelas distinções que existem entre estes dois tipos de estudo. Resultados condizentes com os potenciais impactos ambientais associados ao ciclo de vida são obtidos de ACVs, sendo possível que em estudos de ICVs sejam adicionadas incertezas em seus resultados por causa de prováveis efeitos combinados relacionados à variabilidade dos dados (ABNT, 2009b).

Após determinar quais pontos de uma ACV ou LCI possuem mais influência nos resultados, as fases anteriores do trabalho devem ser revisadas de maneira global. Desta forma, há a revisão dose seguintes exemplos de aspectos: do objetivo do estudo, do peso das categorias de impacto, dos resultados, dos envolvimento externos, etc. Caso seja notado que os quesitos abrangentes no objetivo e no escopo do estudo foram cumpridos, há como se apontar a significância dos resultados (SAIC).

Apontar os pontos significantes de um sistema de produto pode ser um procedimento simples ou complexo. Como atitudes contribuidoras na identificação das questões significantes e na determinação de suas significâncias, SAIC (2005) e ABNT (2009b) recomendam que sejam seguidos os seguintes métodos:

a) Fazer uma análise de contribuição. A contribuição dos estágios ou grupos de processos do ciclo de vida são comparados com os resultados totais e examinados pela relevância que estes acarretam ao ciclo total.

b) Fazer análise de dominância. Ferramentas estatísticas e outras técnicas, tal como é o exemplo da análise ABC, são utilizadas para identificar as contribuições significantes para serem examinadas como fatores de relevância no ciclo de vida estudado.

c) Fazer análise de influência. É examinando aqui a possibilidade das questões ambientais pertinentes ao estudo serem influenciadas.

d) Fazer avaliação de anomalias. Baseados em experiências prévias, são observados os desvios mais surpresos e incomuns obtidos em relação aos resultados esperados. Por meio da avaliação de anomalia, é possível uma orientação para avaliações de melhoria.

O foco principal de qualquer ACV ou ICV é potencializar o grau de confiabilidade e certeza dos seus resultados, que devem apresentados propiciando ao idealizador do estudo uma visão totalmente clara de todos os aspectos ambientais associados ao objeto de estudo. Para isso, é viável que se considere utilizar três técnicas, a saber: verificação de completeza, verificação de sensibilidade e verificação de consistência (ABNT, 2009b).

A verificação de completeza possui como objetivo garantir que as principais informações e dados relevantes para a interpretação estejam completos e disponíveis. Já a verificação de consistência avalia a consistência usada em etapa, tal como: nas fronteiras do sistema, na coleta dos dados, na determinação de pressupostos e na alocação dos dados para categorias de impactos para cada alternativa. Neste último caso, apenas quando o estudo se tratar de uma ACV (EUROPEAN COMMISSION, 2010).

A verificação de sensibilidade tem o propósito de avaliar a confiabilidade dos resultados finais e em determinados casos também as conclusões e recomendações da ACV. Análise de cenários e cálculos de incertezas são os métodos quantitativos que contribuem para que tal verificação seja efetuada. Contribuem também para essa checagem experiências anteriores em ACV por parte dos analisadores (EUROPEAN COMMISSION, 2010).

Na fase da interpretação, a análise de sensibilidade é usada juntamente com as informações sobre as incertezas pertinentes às questões mais significantes do estudo e abrangendo todas as etapas de um ICV ou ACV. Portanto, a análise de sensibilidade deve abranger a etapa da definição do objetivo e do escopo, inventário e avaliação de impacto.

Para European Commission (2010), a análise de sensibilidade é para verificar se há limitações na adequação das escolhas do escopo, em relação ao objetivo do estudo e

para esboçar conclusões e recomendações, especialmente em relação aos seguintes itens:

- a) Identificação do sistema a ser estudado;
- b) Identificação da função e da unidade funcional do sistema ou sistemas, quando em caso de estudos comparativos;
- c) Identificação da estrutura de modelagem e das abordagens aplicadas;
- d) Identificação da fronteira do sistema e quantificação dos critérios de corte;
- e) Seleção das categorias de impactos incluídas e métodos aplicadas na etapa de AICV (no caso de ACVs);
- f) Identificação dos dados do inventário dos requisitos de qualidades destes, incluindo a aplicabilidade dos dados do inventário com os métodos de avaliação de impacto selecionados;
- g) Tipos de pressupostos e escolhas de valores feitas e suas respectivas relevâncias.

Sobre o objetivo e escopo, a checagem de sensibilidade pode ser feita por cálculo e comparação de cenários, especialmente para diferentes métodos de ICV para resolverem problemas de multifuncionalidade de processos. Para outros itens, pode ser feito por análises qualitativas e argumentações amparadas por julgamentos de especialistas que já tenham tido experiências anteriores no tema estudado (EUROPEAN COMMISSION, 2010).

A combinação da análise de sensibilidade ajuda em identificar os pontos para melhorar a coleta de dados ou avaliação de impacto. Os dados, que possuem uma forte influência nos resultados finais de um estudo de ACV ou ICV, podem não requerer mais esforços se a representatividade e a completeza dos dados são fortes e suas incertezas são baixas. Dados com alto grau de incertezas não necessitam ser o foco principal para melhoramento da sensibilidade se sua relevância for muito baixa (EUROPEAN COMMISSION, 2010).

O foco para o melhoramento da qualidade dos dados deve possuir uma forte influencia nos resultados finais e também nas incertezas associadas, tal como mostra a figura 8. Se tais dados não podem ser melhorados, é possível que o resultado final seja

baixo. Caso a precisão seja insuficiente para encontrar os requerimentos para a aplicação pretendida dos resultados, pode ser necessário fazer uma revisão do objetivo do ICV ou ACV.

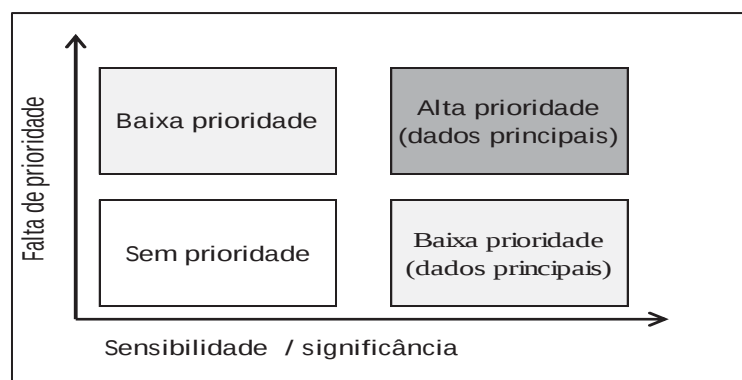


Figura 8. Concentração dos esforços em dados-chaves.

Fonte: European Commission, 2010

A interpretação do ciclo de vida ocorre em cada uma das fases de uma ACV ou ICV. Se por exemplo dois produtos são comparados e um reflete em mais consumo de recursos que o outro, pode ser que uma interpretação baseada apenas no ICV seja conclusiva. Assim, um especialista pode fazer comparações entre as categorias de impactos quando existem *trade-offs* entre produtos alternativos, priorizando as áreas de interesse inseridas no estudo (REBITZER, *et al.* 2004).

Desta forma, após as considerações sobre as fases de uma ACV, apresenta-se a seguir um panorama da ACV no Brasil.

2.2.6 Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil

Pode-se afirmar que a ACV no Brasil ainda está em fase de amadurecimento para que em um futuro não muito distante se torne uma ferramenta mais aplicável, tanto pela academia como pelas entidades empresariais. Isso porque ainda existem algumas lacunas a serem preenchidas, principalmente em relação a uma metodologia mais condizente com a realidade brasileira. Por causa disso, não é atoa que a maior parte dos estudos sobre ACV no Brasil se concentram mais na área acadêmica do que em projetos destinados a indústrias, pois algumas instituições de ensino brasileiras estão destinando muitos esforços para desenvolver trabalhos que apontem as ineficiências da metodologia e ao mesmo tempo propor alternativas para estas falhas.

Em pesquisa destinada a saber a origem das entidades que trabalham com ACV no Brasil, Lima e Kiperstok (2007) fizeram um levantamento das dissertações e teses desenvolvidas no Brasil e também dos relatórios publicados por grandes empresas que de certa forma se relacionavam com o tema ACV.

Pesquisando em fontes como o “Relatório de Sustentabilidade Empresarial” , “Índice de Sustentabilidade Empresarial da Bolsa de Valores de São Paulo” e em sites de grandes indústrias, Lima e Kiperstok (2007) concluíram que a maior parte dos trabalhos do segmento industrial a utilizarem de alguma forma a ACV são relacionados a empresas multinacionais com sede em países europeus, tais como: Amanco, com sede na Suíça; Basf e Daimlerchrysler, com sedes na Alemanha; Tetra Pak, com sede na Suécia e a empresa Unilever, com sede na Inglaterra. Além destas, os autores destacam os trabalhos das empresas brasileiras Natura e Suzano.

Em relação aos trabalhos do segmento acadêmico sobre ACV, Lima e Kiperstok (2007), apontam que entre o período pesquisado, 1997 até 2006, foram levantadas 47 dissertações associadas a 19 universidades e 17 teses relacionadas a 8 universidades. As universidades que mais possuem dissertações nesta área são: Universidade de São Paulo, com 13 dissertações; Universidade Federal de Santa Maria, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Universidade Federal de Blumenau, com 4 dissertações cada uma; Universidade de Brasília e Universidade de Santa Catarina, com 3 dissertações cada uma; demais instituições, 16 dissertações. Por outro lado, as teses se concentram nas seguintes universidades: Universidade Estadual de Campinas, com 5 teses; Universidade de São Paulo, com 4 teses; Universidade Federal de São Carlos e Universidade Federal do Pará com 2 teses cada uma, demais universidades, 4 teses.

Mediante este estudo, Lima e Kiperstok (2007) afirmam que do universo pesquisado foram encontradas pesquisas direcionando ACV para os mais diversos segmentos, sendo: políticas públicas, embalagens, metodologia, químico, mineração, agro-pecuário, energia, plásticos, automobilístico e construção civil. De acordo com os autores, até o período analisado, a Universidade de São Paulo apresentava mais pesquisas voltadas para o segmento de energia, a Universidade de Brasília para o de agricultura, a Universidade Federal da Bahia em políticas públicas e a Universidade Federal de Santa Catarina juntamente com a Universidade Federal do Rio Grande do

Sul no segmento de Construção Civil. Dessa forma, além de Lima e Kiperstok (2007), considerações mais detalhadas podem também ser analisadas em Lima (2007).

Corroborando para a conclusão de Lima e Kiperstok (2007) de que os trabalhos sobre ACV são mais restritos às instituições de pesquisa, Willers *et al.* (2010) pesquisaram todos os artigos publicados nos anais do ENEGEP entre os anos de 1996 e 2009. Neste período, foram identificados 63 artigos que trabalharam conceitualmente com a ACV e 9 artigos que utilizaram a ACV em casos de aplicabilidade prática, sendo que 48% das publicações deste congresso são vinculadas à instituições da Região Sul do Brasil e 40% à instituições da Região Sudeste.

Segundo Willers *et al.* (2010), estes trabalhos se referem à aplicação da ferramenta em diversos segmentos, sendo o meio acadêmico também a principal fonte de publicação. Entre estes artigos, os segmentos aos quais os trabalhos se referem são: logística, agroindústria, indústrias de eletrodomésticos, indústria têxtil, refinaria de petróleo, agricultura, embalagens, cimentos e siderurgia. De acordo com os autores, tais publicações são atribuídas às seguintes universidades: Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade de São Paulo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Regional de Blumenau, Universidade do Vale do Itajaí, Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Metodista de São Paulo.

Neste contexto, a situação da ACV no Brasil, e em outros países da América Latina, pode se considerada como recente e ainda em fase de desenvolvimento, quando comparada ao avanço desta ferramenta em países pertencentes a União Europeia, ao Fórum Econômico da Ásia e do Pacífico (APEC) e ao Tratado Norte-Americano de Livre Comércio (NAFTA). Dentre as principais dificuldades encontradas no Brasil para o desenvolvimento de uma ACV, destacam-se: informações incompletas de banco de dados para realizar o cruzamento dos aspectos ambientais aos seus respectivos impactos, dificuldades financeiras devido ao alto consumo de tempo e recursos, bem como ao baixo incentivo governamental (BARBOSA JUNIOR, 2007).

Segundo Anderi da Silva (2006), uma das possíveis soluções para a consolidação da metodologia no Brasil está ligada a construção de banco de dados, que nada mais são do que o conjunto de diversos inventários comuns ao ciclo de vida de vários produtos.

No entanto, enfatiza o autor que estes bancos de dados devem ser condizentes com as características de cada região.

Assim, como forma de vencer parte destes desafios, surgiram no Brasil alguns grupos focados em pesquisas direcionadas ao desenvolvimento da própria metodologia e também à elaboração de projetos envolvendo os potenciais impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos produtos. Dentre estes, destacam-se:

a) Grupo de Pesquisas em Avaliação do Ciclo de Vida. Foi criado em 2006 e é vinculado à Universidade Federal de Santa Catarina e ao CNPQ. Reúne pesquisadores relacionados ao tema, bem como divulga eventos e trabalhos sobre ACV. Informações mais detalhadas em:< <http://www.ciclodevida.ufsc.br/acv/> >;

b) Comunidade ACV, que é vinculada ao Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT). Promove pesquisas, divulga oportunidades de trabalho e eventos ligados ao tema, oferece vários endereços eletrônicos para acesso a material sobre ACV, dentre outros. Informações mais detalhadas em:< <http://acv.ibict.br/> >.

c) Associação Brasileira do Ciclo de Vida. Fundada em 2002, é uma entidade civil e sem fins lucrativos, possuindo como associados profissionais e pesquisadores da ACV. Informações mais detalhadas tal associação podem ser pesquisadas em :< <http://www.abcvbrasil.org.br/> >. Nos últimos anos, esta associação promoveu três eventos diretamente voltados ao tema, que foram

c₁) Conferência Internacional sobre Avaliação do Ciclo de Vida, ocorrido em 2007 na cidade de São Paulo;

c₂) I Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, ocorrido em 2008, na cidade de Curitiba;

c₃) II Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, ocorrido em 2010, na cidade de Florianópolis.

Portanto, a continuidade destes eventos no Brasil tende a disseminar a aplicabilidade da ACV como ferramenta capaz de responder às necessidades de uma produção mais sustentável. Apesar da utilização da metodologia estar mais restrita na

academia, conforme expõem Lima e Kiperstok (2007) e Willers *et al.* (2010), é possível se notar uma evolução de sua utilização nas empresas, mesmo que ainda principalmente nas grandes, tal como pesquisa de Lima e Kiperstok (2007) concluiu. Prova disso é a utilização pela empresa Kibon ao decidir pelo uso de palitos de picolé feitos com madeira reflorestada (GALVÃO, 2011), pela montadora KIA ao conseguir reduzir o peso de um dos seus automóveis e ter conquistado um certificado ecológico (NASCIMENTO, 2011), dentre outros que podem ser analisados em (IBICT – ACV, 2011).

Neste contexto, diante de informações sobre mais os relevantes aspectos que envolvem a metodologia da ACV e também sobre o panorama desta ferramenta no Brasil, apresenta-se a seguir estudo que contempla metodologias simplificadas de condução de ACVs.

2.2.7. Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada

Uma ACV simplificada é como uma variedade menos complexa de uma ACV detalhada, conduzida de acordo com guias de execução, mas não em total consonância com os padrões das normas da série ISO relacionadas ao estudo de uma ACV. Dessa forma, ACVs Simplificadas podem ser qualitativas, quantitativas ou semi-quantitativas (HOCHSCHORNER & FINNVEDEN, 2003).

A maioria das ACVs simplificadas são concebidas pelo desenvolvimento de matrizes, onde os principais recursos utilizados no sistema estudado são analisados sobre diversos aspectos relacionados ao campo ambiental. Os principais fatores favoráveis ao desenvolvimento de ACVs Simplificadas são custo e tempo, pois ACVs completas demoram mais para serem concluídas e também são mais caras (GRUPO DE PESQUISAS EM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA, 2011).

Para Fleischer *et al.* (2001), os custos totais de um projeto que envolve ACV diminuem a partir do momento em que há redução no tempo da fase de coleta de dados. Isso porque a maior parte dos recursos financeiros requeridos em projetos de ACV são destinados a cobrirem gastos relacionados a fase de coleta de dados, processo geralmente muito demorado (FLEISCHER *et al.*, 2001).

No entanto, estes não os únicos pontos favoráveis de uma ACV Simplificada. Em determinados casos, trabalhos guiados por métodos simplificados podem servir como apoio na condução de ACVs completas, pois dados qualitativos e semi-quantitativos podem servir como complemento para a realização de ACVs mais amplas e resultar em um estudo mais abrangente (HOCHSCHORNER & FINNVEDEN, 2003).

Neste contexto, ao se comparar metodologias qualitativas com quantitativas, constata-se que as primeiras são mais fáceis de serem conduzidas, bem como apresentam certa vantagem quando lidam com aspectos ambientais que já são de conhecimento prévio quanto as suas potencialidades de causarem impactos ambientais. Em situações onde as propriedades ambientais do objeto de estudo não são tão claras e quando existe a necessidade de se conhecer a proporção dos graus de impacto ambiental de determinado produto em cada uma de suas fases produtivas, há a necessidade de se dar ênfase por uma metodologia quantitativa (NIELSEN & WENZEL, 2002).

Assim, ACVs Simplificadas oferecem uma resposta mais direta sobre quais são os insumos envolvidos em determinado ciclo produtivo que mais acarretam potenciais impactos ambientais. A composição das matrizes utilizadas para avaliações qualitativas e semi-quantitativas é menos complexa do que as ACVs tradicionais, facilitando a comunicação dos resultados, bem como o entendimento das análises por indivíduos que estejam envolvidos com o sistema, mas que não possuem conhecimentos consistentes sobre ferramentas de avaliação de impactos ambientais (JACOVELLI & FIGUEIREDO, 2003).

Dessa forma, uma avaliação do ciclo de vida simplificada pode analisar todo o ciclo de vida do objeto de estudo e também apenas partes isoladas deste, como é o caso de análises de fases de produção que mais apresentam possibilidade de acarretar impactos ambientais. É certo que tal avaliação não pode ser caracterizada como sendo de ampla profundidade, mas sim como uma avaliação superficial que pode responder aos objetivos ambientais esperados (FUKUROZAKI, 2006).

Hunt *et al.* (1998) sugerem que a condução de ACVs Simplificadas sigam como procedimentos de execução o delineamento de três fases, a saber: identificação, simplificação e avaliação de confiabilidade. Na fase de identificação são apontados quais devem ser estágios do ciclo de vida a serem avaliados. A fase de simplificação

possui como objetivo trabalhar apenas nos fluxos elementares pertencentes aos estágios apontados pela primeira etapa que mais podem acarretar em impactos ambientais. Já a última etapa consiste em fazer uma análise sobre os resultados finais com o intuito de se averiguar se o método simplificado utilizado não reduziu o grau de confiança das conclusões do estudo (HUNT, 1998; FUKUROZAKI,2006).

Já Pommer *et al.* (2001) apresenta uma visão mais detalhada das fases de uma ACV Simplificada, indicando que esta é composta por seis etapas, exemplificadas pela Figura 9.

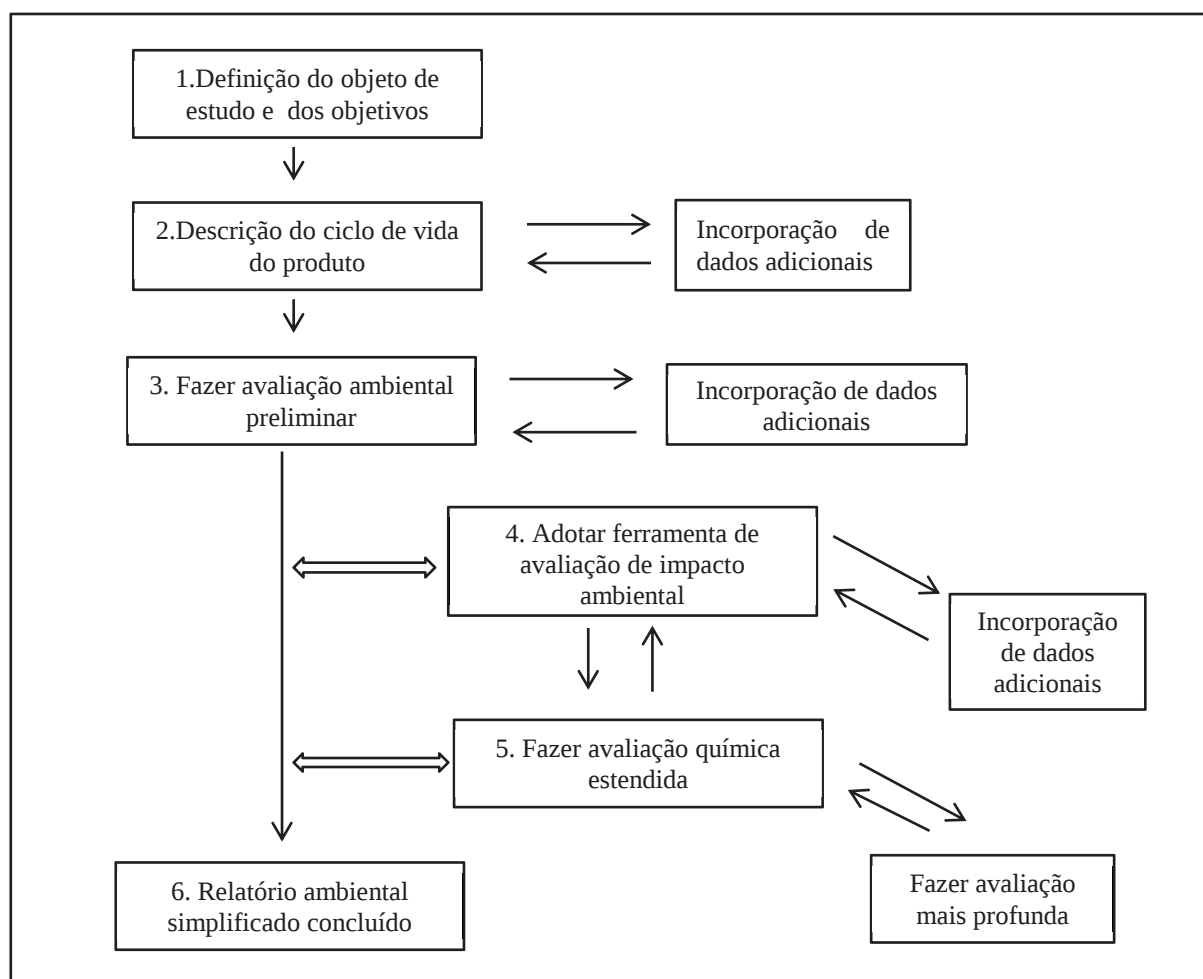


Figura 9. Etapas de uma ACV Simplificada
Fonte: Pommer *et al.* (2001).

Dado que este tipo de avaliação não se propõe a avaliar em detalhes todas as atividades envolvidas no ciclo produtivo, os autores afirmam que uma ACV Simplificada não pode ser vista como uma ACV completa, mas sim como uma Avaliação Ambiental cuja metodologia é baseada nos conceitos do ciclo de vida. Em

complemento ao que Hunt *et al.* (1998) sugerem, além dos passos explícitos pela Figura 9, Pommer *et al.* (2001) mencionam que duas perguntas devem ser respondidas com ao se trabalhar com uma ACV Simplificada, a saber:

- a). Em que fases do ciclo de vida do produto surgem seus principais impactos ambientais?
- b). Quais são as atividades relacionadas a cada uma destas fases que mais contribuem para que os impactos ambientais sejam mais significativos?

Nota-se pela Figura 9 que a adição de dados adicionais em cada uma das etapas é viável, desde que não fujam do objetivo principal da ACV Simplificada, ou seja: focar nos aspectos ambientais mais relevantes do sistema de produto analisado. Caso haja intensão de se aprofundar mais em tal avaliação, pode-se dar prosseguimento com um estudo mais abrangente amparado pelas conclusões da ACV Simplificada (POMMER *et al.*, 2001).

Dessa forma, os passos apresentados por Hunt *et al.* (1998) e por Pommer *et al.* (2001), podem ser descritos como etapas básicas para a consecução de uma ACV Simplificada. A metodologia a ser seguida estará completamente associada aos objetivos esperados, à disponibilidade dos dados, ao tempo e aos custos envolvidos no projeto.

Além destes, Wenzel (1998) afirma que a natureza e a extensão da mudanças ambientais associadas as decisões que podem repercutir de uma ACV também devem ser levadas em consideração ao se optar pelo método a ser seguido, pois estas implicam diretamente nas fases de definição do escopo e análise do inventário. Tal autor também menciona que o grau de transparência, acurácia dos dados e a forma de documentação dos resultados são parâmetros para se optar por qual método a ser seguido.

2.2.7.1 Alguns exemplos de métodos de ACV Simplificada

De acordo com Hochschorner e Finnveden (2003), existem inúmeras metodologias que abordam estudos sobre ACV Simplificada e os trabalhos de Christiansen (1997), Graedel (1998) e Todd e Curran (1999) demonstram exemplos destes. Em Byggetha e Hochschornerb (2006) e em Pigosso e Sousa (2011), há menção a diversas ferramentas simplificadas de *Ecodesing* que foram avaliadas dentre sobre

vários aspectos, dentre os quais aos objetivos da ferramenta e se tal ferramenta leva em consideração a abordagem da análise do ciclo de vida em sua metodologia.

Dentre as ferramentas analisadas, destacam-se as seguintes: MECO, *Design Abacus*, *ABC-Analysis*, *ERPA*, *MET-Matrix*, *MET-Matrix*, *Philips Fast Five Awareness*, *EcoDesign Checklist*, *LiDS-wheel*, *Eco-Compass technique*, *Strategy List*, *Ecodesign Web* e *Eco-indicator 95*. Apresenta-se, assim, cada uma destas metodologias de ACV Simplificadas.

- **MECO – *Materiel, Energy, Chemicals and Others***

Uma das metodologias de ACV Simplificada mais utilizada é a denominada MECO. Seu nome é derivado das letras iniciais das categorias que são avaliadas por este método, ou seja: *Materials, Energy, Chemicals and Others* (materiais, energia, químicos e outros). O método original foi desenvolvido pelo *The Danish Institute for Product Development* e *dk-TEKNIK* e é apresentado de forma mais detalhada em Wenzel *et al.* (1997), Pommer *et al.* (2001) e Wenzel (1998). As fases do ciclo de vida possíveis de serem avaliadas por esta matriz são: suprimento de materiais, fabricação, uso, disposição e transporte (HOCHSCHORNER & FINNVEDEN, 2006).

A matriz MECO possibilita identificar aspectos ambientais críticos nas fases do ciclo de vida que são analisadas. É uma ferramenta que pode servir tanto para análises qualitativas quanto para quantitativas, quando fatores de ponderação são usados para calcular potenciais melhorias ambientais. Inclui uma concreta prescrição dos aspectos ambientais, sendo que uma estimativa dos impactos ambientais de cada estágio do ciclo de vida é feita por cálculo com base nos consumos dos recursos de cada categoria e fase analisada (BYGGETHA & HOCHSCHORNERB, 2006).

Em artigo de Byggetha e Hochschornerb (2006), há menção a duas formas distintas para o cálculo pela matriz MECO da energia consumida. Uma é apresentada em Pommer *et al.* (2001) e a outra em Hochschorne e Finnveden (2004). Nos primeiros há recomendações para que todo consumo de energia seja calculado como de óleo, dado a grande dependência da Matriz Energética da Suécia (local ao qual o artigo faz referências) por este combustível não ser renovável. Já os últimos sugerem que em vez de se quantificar toda energia consumida tendo como base o consumo de óleo, que

seja quantificada pelo consumo de energia renovável e não renovável, dado as diferenças que existem em relação aos impactos ambientais causados por cada uma.

A simplificação proporcionada pela matriz MECO fica mais evidente quando são comparados os principais aspectos que fazem parte do escopo da metodologia sobre ACV da série ISO e da metodologia MECO. Para isso, apresenta-se o Quadro 3.

Aspectos comparados	ISO	MECO
Objetivos	A serem definidos	A serem definidos
Limites	Todos os processos relevantes do sistema	Materiais: relevância dos materiais inclusos; Processo de produção: concentração em produtos químicos e energia; Uso: principais processos inclusos; Disposição: processo significativo.
Coleta de dados - fluxos de entradas e saídas	Tudo incluso. Omissões devem ser justificadas em termos de energia, volume e fatores ambientais relacionados.	Derivado da lista de composição do produto e processos relacionados
Avaliação	Emissões, por exemplo, são reunidas em grupos para cálculo dos impactos ambientais. Cálculo dos potenciais impactos ambientais com base em modelos internacionais de contribuição da substância. Pode haver normalização e ponderação, que relaciona os impactos ambientais à unidade funcional.	Avaliação dentro dos grupos aos quais fazem parte do escopo do método. Assim, analisam-se os materiais envolvidos no ciclo produtivo, energia, produtos químicos e outros produtos que possam ter indicadores ambientais relevantes de serem avaliados.
Interpretações	Inclusas	Inclusas

Quadro 3. Comparação entre as metodologias sobre ACV da série ISO e da matriz MECO.

Fonte: Pommer *et al.*, 2001.

Como se observa, mesmo com uma fronteira mais curta em relação a metodologia ISO, a metodologia MECO consegue, dentro dos seus limites, responder aos objetivos de um projeto cujo foco seja a avaliação dos potenciais impactos ambientais.

Ainda, o método MECO pode contribuir para uma ACV quantitativa gerando informações sobre os riscos ambientais inerentes às substâncias que compõem os produtos avaliados. ACVs quantitativas podem utilizar das informações do MECO quando este focar nas categorias químicas dos compostos que pertencentes aos produtos analisado, gerando informações complementares. A análise qualitativa do método MECO pode também incidir sobre a classificação de toxicidade relacionada aos produtos químicos que compõem alvo do estudo (HOCHSCHORNER & FINNVEDEN,2003 ; HOCHSCHORNER & FINNVEDEN,2004)

- ***Design Abacus***

Esta ferramenta pode ser utilizada para avaliação no campo econômico, social e ambiental focada também na fase de planejamento do produto. Contribui para identificar os objetivos essenciais do projeto e para comparar distintos projetos de produtos ao longo do ciclo de vida. Apresenta uma abordagem qualitativa e os critérios de avaliação são definidos pelos responsáveis por elaborarem a ACV (BHAMRA & LOFTHOUSE, 2007; PIGOSSO & SOUSA, 2011)

- ***Análise ABC***

É uma ferramenta de análise qualitativa , usada para avaliar impactos ambientais de um produto. O produto é avaliado em onze diferentes critérios e classificado em um das seguintes graus: A, B ou C. Aqueles que são considerados como pertencentes ao nível ‘A’ são tidos como problemáticos em termos ambientais, sendo ações mitigadoras requeridas. Os que são pertencentes ao nível ‘B’ , são considerados como aqueles que apresentam um potencial médio de causar impactos ambientais, devendo ser acompanhados e melhorados. Já os pertencentes ao nível ‘C’ são caracterizados como inofensivos , não sendo nenhuma ação necessária (TISCHNER , *et al.* 2000; BYGGETHA & HOCHSCHORNERB, 2006)

- ***ERPA - The Environmentally Responsible Product Assessment***

É uma ferramenta que gera resultados quantitativos, sem necessitar de dados quantitativos para desenvolver a classificação, sendo utilizada para estimar um potencial melhoramento no desempenho ambiental de um produto. Em cada estágio do ciclo de vida, tais como pré-fabricação, fabricação , entrega do produto, uso do

produto, reciclagem e disposição, há uma avaliação com base em cinco critérios . Esses critérios são: escolha de materiais, uso de energia, resíduos sólidos, resíduos líquidos e resíduos gasosos. A avaliação destes critérios é realizada com o auxílio de um checklist e o impacto ambiental para cada estágio do ciclo de vida é estimado ao se classificar cada um destes critérios numa escala de zero a quatro em relação ao grau de impacto avaliado. Desta forma, o maior grau de impacto é caracterizado pelo número zero e o menor pelo número quatro (GRAEDEL & ALLENBY, 1995 ; BYGGETHA E HOCHSCHORNERB, 2006).

- ***MET-Matrix***

Seu nome deriva das letras iniciais em inglês dos aspectos que são classificados nesta matriz para se analisar, ou seja: *Materials* (materiais) , *Energy use* (uso de energia) e *Toxic emissions* (emissões tóxicas). Os resultados que podem ser gerados desta matriz podem ser tanto qualitativos quanto quantitativos. Sua proposta é encontrar os mais importantes problemas ambientais durante o ciclo de vida de um produto, podendo ser usadas para desenvolver diferentes estratégias de melhorias ambientais ao longo do ciclo de vida do objeto de estudo (BREZET & HEMEL, 1997; BYGGETHA E HOCHSCHORNERB, 2006).

- ***DfE Matrix***

Esta matriz proporciona um indicador para o impacto ambiental de um produto ao se utilizar um questionário que contém cem questões que abordam vários temas relacionados aos aspectos ambientais do projeto. Com o questionário respondido, obtêm-se um documento com dados semi-quantitativos que são utilizados para se fazer uma ACV que utiliza como critério de avaliação a emissão de resíduos sólidos, a emissão de resíduos gasosos, a utilização de energia, e o uso de materiais, tendo como foco as fases de produção, uso e disposição final do produto (YARWOOD & EAGAN, 1998; PIGOSSO & SOUSA,2011).

- ***Philips Fast Five Awareness***

Oferecendo uma abordagem qualitativa, esta ferramenta é usada para julgar e comparar diferentes conceitos de produtos para um produto de referência. Isto é feito mediante cinco critérios de análise, que são: uso de energia, reciclagem do produto,

incremento de resíduos perigosos, durabilidade do produto e caminhos alternativos para melhorar o serviço (MEINDERS, 1997; BYGGETHA E HOCHSCHORNERB, 2006).

- ***EcoDesign Checklist***

Proporciona um panorama com resultados qualitativos por meio da utilização de um cheque list contribui para identificar os principais problemas ambientais ao longo do ciclo de vida de produto. Os critérios de avaliação ficam a critério dos usuários desta ferramenta, que devem avaliar se as soluções do cheque list são boas, ruins, indiferentes ou irrelevantes (TISCHNER *et al.*, 2000; BYGGETHA & HOCHSCHORNERB, 2006).

- ***LiDS-wheel***

É uma ferramenta que proporciona uma abordagem qualitativa e que fornece uma visão geral das potenciais melhorias ambientais. Oito estratégias de melhoria ambiental são utilizadas por esta ferramenta. Estas são: seleção de materiais de baixo impacto ambiental, redução de uso de material, otimização de técnicas de produção, otimização de sistemas de distribuição, redução de impacto ambiental durante o uso, otimização do ciclo de vida inicial, otimização do fim da vida do sistema e novo conceito de desenvolvimento. Dados para um produto de referência são inseridos no diagrama de acordo com estas oito estratégias, havendo a necessidade de serem identificadas opções de melhorias (BREZET & HEMEL, 1997; BYGGETHA & HOCHSCHORNERB, 2006).

- ***Eco-Compass technique:***

Com uma abordagem semi-quantitativa, esta abordagem é utilizada para avaliar os impactos ambientais de um produto ao se levar em consideração os custos e os benefícios durante as fases do ciclo de vida. Tal avaliação possui como foco os seguintes pontos: fluxo de massa no sistema analisado, energia, potencial de risco ambiental, potencial de risco a saúde, revalorização, conservação de recursos e extensão do serviço (SUN *et al.*, 2003; PIGOSSO & SOUSA, 2011).

- ***Strategy List***

É uma ferramenta que apresenta uma abordagem qualitativa, podendo ser utilizada para melhorar o desempenho ambiental de um conceito de produto ou para

comparar diferentes conceitos de produtos. Sua forma de ser administrada consiste em fazer uma lista de sugestões para cada fase do ciclo de vida analisado com o intuito de melhorar o desempenho ambiental. As sugestões são baseadas nos seguintes critérios: otimização de materiais de entrada, otimização do uso de energia, redução do uso da terra, aumento das potencialidades do serviço, redução de poluentes, redução de resíduos sólidos, redução de emissões atmosféricas e redução dos riscos para saúde humana e para o meio ambiente (TISCHNER *et al.*, 2000; BYGGETHA & HOCHSCHORNERB, 2006).

- ***Ecodesign Web***

Utilizando-se de uma metodologia qualitativa, estas ACVs Simplificadas proporcionam a identificação das principais áreas que carecem de mais atenção para que haja melhoria no desempenho ambiental. O método Ecodesign Web faz comparações com base numa sistemática simples de avaliação dos itens comparados, tendo como pontos analíticos a seleção de materiais, o uso de materiais, distribuição, uso do produto, vida útil e fim do ciclo de vida do produto (BHAMRA & LOFTHOUSE, 2007; PIGOSSO & SOUSA, 2011).

- ***Eco-indicator 95***

O Eco-Indicator é uma ferramenta para inclusão de aspectos ambientais no processo de tomada de decisão, indicada para ser utilizada internamente na busca por alternativas com menores potenciais de causarem impactos ambientais na fase do projeto. Não demanda nenhum software para ser utilizada e as informações relacionadas aos aspectos ambientais presentes na fase do ciclo de vida do produto ou processo são geralmente disponibilizadas pelos próprios usuários para compor a matriz de avaliação que aponta três distintos subjetivos indicadores ambientais, a saber: deterioração do ecossistema, danos a saúde humana e possibilidade de causar mortes (GOEDKOOOP *et al.* 1996). Derivados desta matriz, surgiram versões com algumas modificações em sua metodologia, como é o caso do *Eco-indicator 98* e *Eco-indicator 99* (GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY).

Além destes métodos de ACV Simplificada expostos, outras metodologias se destacam. Nielsen e Wenzel (2002) apresentam um método com base em uma avaliação do ciclo de vida quantitativa para identificar os “*hot spots*” ambientais associados as

fases produtivas de um produto. De acordo com os autores, este modelo proporciona uma documentação detalhada do perfil ambiental do produto analisado.

Para identificar os “*hot spots*”, as fontes mais relevantes de acarretarem impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto são apontadas tendo como base o ciclo de vida do produto. De acordo com os autores, as respostas para as seguintes perguntas contribuem para que haja tal identificação.

- a) Quais são os processos do ciclo de vida do produto que são mais importantes?
- b) Quais materiais do produto são mais importantes?
- c) Quais são os estágios do ciclo de vida do produto que são mais importantes?
- d) Quais são as entradas e saídas do ciclo de vida do produto que são mais importantes?

A resposta para tais indagações contribui para a reflexão inicial sobre os “*hot spots*” a serem considerados, oferecendo subsídios para a execução da ACV Simplificadas. Dessa forma, nota-se que as metodologias apresentadas possuem vários pontos em comum umas com as outras, ficando claro que a maior parte das análises obtidas propiciadas pelas ACVs Simplificadas focam nas fases mais críticas, em termos ambientais, do ciclo de vida do objeto de estudo.

Ao se definir estes estágios, a observação do sistema de produto pelos agentes avaliadores chega a ser o principal fator para se decidir sobre quais são os insumos envolvidos no processo produtivo mais ocasionadores de impactos ambientais. Definido as elos produtivos que serão alvo da ACV, abrem-se as possibilidades para se comparar quais são os possíveis materiais alternativos a se tornarem substitutos daqueles que podem ser os responsáveis pelo maior impacto ambiental gerado ao longo do ciclo de vida de um produto.

Mas, como avaliar, de maneira eficaz, determinado ciclo produtivo por meio de metodologias simplificadas? Dado que um dos intuitos deste tipo de ACV é o tempo de execução do projeto, um dos caminhos mais seguros para se ter o resultado é conhecer quais são os tipos de recursos demandados mais tendenciosos de repercutirem em danos ambientais ao longo do ciclo de vida, associado à facilidade para se coletar os dados,

bem como a disponibilidade de informações que já são de conhecimento comum para o pesquisador.

A junção destes três fatores acaba justificando, por exemplo, os motivos de muitas metodologias simplificadas terem como ponto de análise o consumo de energia, a geração de resíduos e o destino final do produto avaliado. Por estarem implícitos certos pressupostos, como que o consumo de energia renovável gera menos impacto ambiental do que a utilização de energia não renovável, fica fácil apontar, por exemplo, qual é a fase do ciclo de vida mais contribuidora para a geração de impacto ambiental, pois aquela que mais consome determinada fonte de energia não renovável evidentemente será a mais problemática em termos ambientais.

Do mesmo modo, um determinado produto ou insumo de um produto qualquer, cujo destino final possa ser uma usina de reciclagem contribui menos para os problemas ambientais do que aquele produto ou material que não pode ser reaproveitado. E assim por diante.

2.2.7.2 Recentes trabalhos envolvendo ACVs Simplificadas

Com o intuito de se traçar um panorama sobre a utilização de metodologias simplificadas no cenário nacional e internacional, pesquisou-se os artigos publicados relacionados ao tema ‘ACV Simplificada’ nos anos compreendidos entre 2007 a 2011 em um dos mais relevantes periódicos internacionais sobre o tema Avaliação do ciclo de vida, o “*The International Journal of Life Cycle Assessment*”, e em um dos mais representativos meios de publicação da área de engenharia de produção do Brasil, os anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP).

Em grande parte dos artigos analisados, tanto dos nacionais quanto dos internacionais, observou-se que a metodologia simplificada foi associada para dar suporte a ACVs completas que demandaram o auxílio de softwares, como por exemplo do *software SimaPro 7.1.6* e do *software HUMBERTO*.

As palavras-chave utilizadas no campo de pesquisa do periódico internacional foram “*Simplified LCA*” e “*Qualitative Approach*”. Já nos anais do ENEGEP, utilizaram-se os termos “ACV Simplificada”, “Avaliação do ciclo de vida” e “Avaliação do Ciclo de Vida Simplificada” e “ACV”. Ao se utilizar tais palavras-chave para busca

nos anais do ENEGEP, artigos não relacionados com a metodologia simplificada foram listados e posteriormente descartados mediante análise dos resumos dos mesmos com o intuito de se verificar se os trabalhos abordavam de alguma forma o método simplificado de constituição de uma ACV.

Dessa forma, seguindo tais critérios de pesquisa, constata-se que quatorze artigos do periódico “*The International Journal of Life Cycle Assessment*” possuem alguma relação com a abordagem de ACV Simplificada. Os artigos disponíveis neste periódico são disponibilizados divididos por categorias de publicação. Sendo assim, foram encontrados trabalhos com alguma relação com a metodologia simplificada em seis categorias distintas, a saber:

- a) *Life Cycle Management*;
- b) *Policies and Support in relations to LCA* ;
- c) *Societal Life Cycle Assessment*;
- d) *Carbon footprint*;
- e) *LCA for Energy Systems*;
- f) *Simplified LCA*.

Destes quatorze artigos selecionados, cinco trabalhos são pertencentes à categoria “*Life Cycle Management*”, um a “*Policies and Support in relations to LCA*”, três a “*Societal Life Cycle Assessment*”, dois a “*Carbon footprint*”, um a categoria “*Lca for Energy Systems*” e dois a “*Simplified LCA*”.

As publicações associadas à categoria “*Life Cycle Management*” são: Blengini e Carlo (2010); Ghorabi *et al.* (2011); Hochschorner e Noring, (2011); Krikke, (2011); e Lewandowska, (2011). Na categoria “*Policies and Support in relations to LCA*” foi publicado o trabalho de Lewandowska *et al.* (2011). Em “*Societal Life Cycle Assessment*” existem as publicações de Benoît, *et al.* (2010); Camillis, *et al.* (2010) e Jørgensen *et al.* (2010). Na categoria “*Carbon footprint*”, existem os artigos de Koning, *et al.* (2010) e Sinden, (2009). Já em “*LCA for Energy Systems*” há o artigo de Prasara & Grant (2011) e na categoria “*Simplified LCA*”, constam os artigos de Anders, *et al.* (2011) e de Bala *et al.* (2010).

2.2.7.2.1 Recentes trabalhos sobre ACV Simplificada publicados no “The International Journal of Life Cycle Assessment”

Em estudo de Blengini e Carlo (2010) direcionado ao setor de construção civil, a metodologia simplificada foi utilizada para dar suporte à ACV detalhada. Neste caso, a metodologia simplificada envolveu a separação dos materiais que envolvidos no fim da vida útil de uma construção civil que podem ser reciclados, como é o caso, por exemplo, metal, vidro e entulhos de madeira .

Já em Ghorabi *et al.* (2011), é realizado uma ACV da fabricação de guindastes. Neste trabalho, foram elaborados questionários destinados aos responsáveis do projeto dos guindastes onde estes apontaram os principais parâmetros envolvidos nas fases produtivas. Com a ajuda destes dados, é elaborado um modelo paramétrico de ACV, possibilitando uma concisa estimativa do perfil ambiental do produto analisado ao longo das fases de seu ciclo de vida.

Hochschorner e Noring (2011), baseado em entrevistas destinadas a gestores de organizações suecas, apresentam a percepção destes ao se considerar os custos ambientais no processo decisório, bem como a relevância de se determinar o custo do ciclo de vida implícito. Enfatiza que os custos ambientais são raramente inclusos como parte integrante dos custos totais e que os fatores motivadores para sua inclusão podem estão relacionados a exigências de serem apresentados a algum cliente ou quando a empresa pleiteia participações em obras públicas.

Krikke (2011) apresenta um modelo não linear de otimização ambiental destinado à indústria de veículos, cujos parâmetros para se definirem os indicadores ambientais são baseados na metodologia de ACV Simplificada.

Lewandowska *et al.* (2010) apresentam o processo de concepção ecológica desenvolvida com base nas diretrizes da norma ISO 14062 e a relevância em se considerar métodos simplificados em processos de *ecodesign*. Dado a extensão do estudo apresentado, o trabalho foi dividido em duas publicações e considerações mais específicas são feitas em Lewandowska *et al.* (2011), publicado na categoria “*Policies and Support in relations to LCA*”.

Nas publicações inseridas na categoria “*Societal Life Cycle Assessment*”, Benoit *et al.* (2010) discutem a necessidade de metodologias precisas que englobem a avaliação social e socio-econômica do ciclo de vida do produto. Pelo exposto por estes autores, fica claro que parâmetros de execução de ACV Simplificadas também podem ser úteis para se compor uma Avaliação Social do Ciclo de Vida.

Em Camillis *et al.* (2010), são feitas considerações sobre ACV no segmento de turismo com base em profunda revisão bibliográfica, identificando as abordagens que podem ser usadas com para o desenvolvimento de diretrizes sobre o Pensamento do Ciclo de Vida no setor analisado. De acordo com os autores, o baixo índice de trabalhos encontrados na literatura pesquisada pode indicar possíveis obstáculos para a adoção de ACV ou para proporcionar uma conscientização sobre as vantagens da adoção desta metodologia. Neste sentido, a utilização de abordagens simplificadas no setor é indicada devido à natureza do sistema de turismo e a falta de bases de dados específicas para o setor.

Jørgensen *et al.* (2010) abordam sobre a validade dos indicadores de impacto e bem estar de trabalho infantil na Avaliação Social do Ciclo de Vida. Enfatizam que os indicativos para trabalho infantil neste tipo de ACV são pouco representativos em relação ao intuito da avaliação. Assim, o uso de abordagens qualitativas e semi-quantitativas podem ser um caminho seguro para se conseguir melhores parâmetros de indicadores, já que não existem números exatos sobre a severidade dos impactos à saúde infantil nos diferentes setores de atuação, como é o caso do setor agrícola e do setor de varejo, por exemplo.

Em um dos dois artigos publicados na categoria “*Carbon footprint*”, Koning, *et al.* (2010) examinam as incertezas relacionadas às estimativas para o cálculo da Pegada do Carbono para dois tipos de detergente de roupa, um líquido e outro em pó, e como tais incertezas variam de acordo com os tipos de lavagens realizadas. O cálculo da Pegada do Carbono foi desenvolvido pelo uso de um modelo de ACV Simplificada, desenvolvido especificamente para este tipo de produto, abrangendo todas as fases do ciclo de vida do detergente em três situações distintas: Na primeira situação, considerou-se como similares todos os estágios do ciclo de vida. Na segunda, foi trabalhado como se as estruturas de cada ACV fossem distintas, padronizando algumas escolhas relacionadas com a fronteira de cada sistema estudado. Já no último cenário,

partiu-se de uma situação onde a estrutura do sistema de ACV e as escolhas das fronteiras deste sistema eram diferentes.

Já no segundo trabalho da lista daqueles que foram disponibilizados na categoria “*Carbon footprint*“, Sinden (2009), aborda sobre a contribuição do PAS 2050 para a evolução do padrão internacional das emissões dos gases do efeito estufa. De acordo com o autor, a PAS 2050 é um método destinado a avaliar a pegada de carbono ao longo do ciclo de vida dos produtos. Assim, o artigo examina a abordagem do PAS 2050 para necessidades específicas relacionadas a avaliação das emissões de gases efeito estufa de produtos e como estas necessidades simplificam e padronizam a implantação das técnicas de ACV em relação à Pegada de Carbono do produto. Neste sentido, uso da PAS 2050 refina, clareia e simplifica os métodos de ACV existentes, bem como padroniza seus resultados em abordagens específicas para avaliações dos gases do efeito estufa.

No único artigo publicado na linha “*Lca for Energy Systems*“, Prasara & Grant (2011) desenvolveram uma ACV do uso de casca de arroz para fins energéticos na Tailândia, utilizando de dados de uma ACV Simplificada e também do *software SimaPro 7.1.6* para conduzirem o estudo. De acordo com os autores, a casca de arroz é uma das principais fontes de biomassa daquele país, sendo muito utilizada na geração de energia elétrica. Por outro lado, esta biomassa também apresenta potencial para ser consumida na geração de etanol celulósico.

Em função disso, este trabalho compara o desempenho ambiental do uso da casca de arroz para produção de energia elétrica e também para produção de etanol celulósico, sendo concluído que a utilização desta casca para fabricação de energia elétrica é preferencial em relação a produção de etanol celulósico para a maioria das categorias de impactos analisadas, pois as possibilidades da produção deste causarem maiores impactos ambientais são maiores.

Já no campo relacionado aos artigos da categoria “*Simplified LCA*“, Anders *et al* (2011) fazem uma ACV de embalagens de circuito tecnológicos integrados usando métodos simplificados. Afirmam os autores que a utilização de tais metodologias em empresas que trabalham com embalagens de circuitos tecnológicos pode fazer com que haja melhoria do desempenho ambiental destas companhias, dado as características de

composição dos circuitos, que frequentemente apresentam metais pesados inclusos ao longo de seu ciclo de vida, como é o caso da extração do ouro, por exemplo.

Bala *et al.* (2010), segundo da categoria “*Simplified LCA* “ e o último dos artigos analisados pertinentes ao periódico “*The International Journal of Life Cycle Assessment*” , fazem considerações sobre a utilização de ferramentas simplificadas na avaliação do potencial de aquecimento global.

Dado a complexidade de se fazer uma ACV completa e também uma análise pela Pegada de Carbono, o artigo defende a adoção de abordagens simplificadas para avaliação do potencial de aquecimento global. Propõe a redução das necessidades do inventário e do escopo de avaliação de impacto. Tal como é característico de ACVs Simplificadas, a proposição dos autores não demanda *softwares* destinados a computarem os dados para se obterem os resultados da ACV, mas sim a adoção de algoritmos simples complementados por matrizes. Segundo os autores, a adoção do método sugerido pode contribuir para que haja uma disseminação da utilização da ACV nas organizações.

2.2.7.2.2 Recentes trabalhos sobre ACV Simplificada publicados nos anais do ENEGEP

Ao se analisar os artigos publicados nos anais do ENEGEP, entre os anos de 2007 e 2011, cinco artigos possuem alguma relação com a metodologia de ACV Simplificada. São publicações que abordam esta ferramenta nos mais variados segmentos produtivos, tais como: plástico reciclável (IBRAHIM *et al.*, 2007), cimento (NIGRI *et al.*, 2009), aguardente (NIGRI *et al.*, 2010), pedra-sabão (RODRIGUES *et al.*, 2011) e segmento farmacêutico (NUNES *et al.*, 2011).

Em Ibrahim *et al.* (2007), é desenvolvida uma ACV de sacos plásticos produzidos por reciclagem com auxílio do *software HUMBERTO*. De acordo com os autores, os conhecimentos proporcionados por uma ACV Simplificada pode contribuir neste tipo de estudo por propiciar conhecimentos sobre os impactos ambientais dos sacos plásticos e assim traçar um panorama de ação para atenuá-los.

Nigri *et al.* (2009) fizeram uma ACV Simplificada do cimento *Portland* utilizando o método *Eco-indicator 95*. Pelos resultados deste estudo, os autores afirmam

que a fase de fabricação do cimento é nociva ao meio ambiente devido a queima de combustíveis fósseis e também em decorrência da contaminação que os metais pesados requeridos pelas mineradoras acarretam ao meio ambiente.

Nigri *et al.* (2010), fazem uma ACV Simplificada utilizando o método *Eco-indicator 95*, esboçando um estudo comparativo da produção de cachaça industrial e da fabricação de cachaça artesanal. Nesta avaliação, as seguintes fases do ciclo de vida da cachaça são analisadas: plantio da cana, colheita da cana, moagem, fermentação, destilação, envelhecimento da cachaça, engarrafamento, transporte e descarte das garrafas. Os autores também apresentam um esboço de uma síntese de uma revisão bibliográfica sobre ACV Simplificada.

Rodrigues *et al.* (2011) utilizam de abordagem qualitativa em estudo de ACV sobre o segmento de pedra-sabão fabricados em distritos do Estado de Minas Gerais. Já Nunes *et al.* (2011), desenvolveram um levantamento qualitativo relacionado aos potenciais impactos ambientais implícitos no processo produtivo de soros hiperimunes de um grande laboratório farmacêutico, sendo auxiliados também pela utilização de um software, possibilitando que as potenciais categorias de impacto ambiental do sistema analisado fossem indicadas.

Assim, pela análise das publicações nacionais e internacionais, constata-se que a frequência de trabalhos que utilizam a ACV Simplificada é menor em relação aqueles que são guiados por ACVs tradicionais. Isso pode estar relacionado a ainda baixa divulgação da ferramenta ACV, bem como a falta de conhecimento sobre a representatividade que um estudo simplificado pode acarretar em trabalhos que objetivam avaliar as potencialidades de surgimento de impactos ambientais, principalmente no cenário nacional.

Mas, tal como se observa, existem vários métodos para se efetuar uma ACV Simplificada (CHRISTIANSEN, (1997); GRAEDEL (1998); TODD & CURRAN, (1999); BYGGETHA & HOCHSCHORNERB, (2006); WENZEL, (1998); e em estudo de 2011 de PIGOSSO & SOUSA), sendo que a escolha sobre qual se trabalhar fica dependente do objetivo geral da avaliação dos potenciais impactos ambientais envolvidos no ciclo de vida do sistema a ser analisado. Pela estrutura das etapas de uma ACV Simplificada apresentada na Figura 9, de Pommer *et al.* (2001), constata-se que

diversos segmentos produtivos podem ser avaliados por metodologias simplificadas, como é o caso do agrícola que é objetivo desta dissertação, expostos em exemplos de Nigri *et al.* (2010) e Prasara e Grant (2011).

Assim, após conhecimento sobre a abrangência de trabalhos envolvendo metodologias simplificadas, parte-se para o entendimento dos aspectos a respeito da sustentabilidade do setor agrícola e da aplicação da ACV na agricultura.

2.3 SUSTENTABILIDADE NO SETOR AGRÍCOLA

Assim, apresenta-se neste tema os fatores que mais contribuem para a sustentabilidade do setor agrícola, bem como o contexto da aplicação da metodologia da ACV na agricultura. Para isso, são expostos os principais aspectos envolvidos com a sustentabilidade na agricultura, com a situação dos agrotóxicos no Brasil e com a problemática ambiental envolvida neste setor. Dessa forma, enfatiza-se também o panorama da aplicação da ACV na Agricultura, demonstrando alguns trabalhos que desenvolveram estudos relacionando esta ferramenta aos objetivos nos cenários nacional e internacional, bem como casos específicos aplicados na cultura do milho.

2.3.1 Crescimento da produção agrícola mundial e o uso de agrotóxicos

A evolução tecnológica no campo agrícola, fruto da Revolução Verde ocorrida nos anos 1960, propiciou, além do desenvolvimento da agricultura mundial, o surgimento das preocupações a respeito das consequências ambientais que tal tecnologia poderia causar. Isso porque, inserido no contexto geral do avanço tecnológico que ocorreu, a indústria ofereceu os meios para a motorização em larga escala (com a maioria dos equipamentos movidos a combustíveis fósseis), fertilização dos campos e o tratamento de doenças da lavoura mediante o uso intensivo de agroquímicos. É atribuído ao uso de fertilizantes, por exemplo, o fato de um terço da produção mundial de cereal ter aumentado entre os anos 1970 e 1980 (KNUDSEN *et al.*, 2006).

Assim, de acordo com Horne e Grant (2009), a tecnologia e a forma de se cultivar em escala mudaram o perfil agrícola mundial, fazendo com que o uso da terra pela agricultura fosse ampliado, tal como expõe a Figura 10.

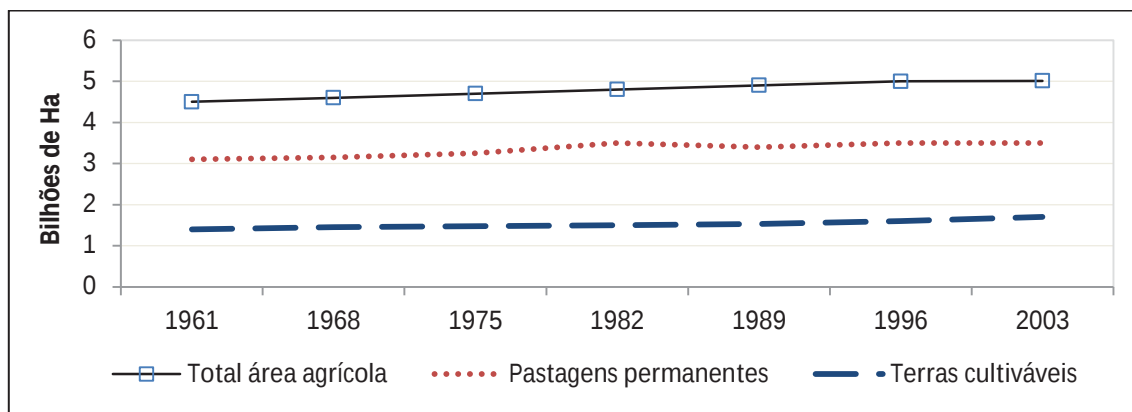


Figura 10 . Desenvolvimento global das terras agrícolas, pastagens permanentes e área total agrícola entre 1961 a 2003.

Fonte: KLOVERPRIS *et al.*, 2008

Para Kloverpris *et al.* (2008), o aumento de hectares plantados nos últimos anos está associado ao crescimento da demanda por produtos agrícolas que, por sua vez, é propulsionado por: elevação do número de habitantes no planeta, aumento do poder de compra de muitas economias asiáticas e maior interesse por lavouras destinadas a fins não alimentares, tal como é o caso dos biocombustíveis.

Além destes, Knudsen *et al.* (2006), após pesquisarem em banco de dados da *Food and Agriculture Organization* (FAO), relacionam o avanço da produção agrícola à expansão de 170 milhões de hectares, entre terras aráveis e terras cobertas com culturas permanentes, bem como à adição de 190 milhões de hectares irrigados entre os anos de 1950 e 2000. Ainda, enfatizam a contribuição da incorporação de sistemas agrícolas mistos, tal como é o caso da combinação de lavouras com pastagens.

Contudo, foi mesmo com a intensificação do uso de agrotóxicos que o setor agrícola obteve a maior elevação de sua produtividade (tal como foi o caso das monoculturas dos trópicos), acarretando em alguns problemas ambientais em decorrência de sua utilização. Além das contaminações da água, do solo e dos alimentos que o uso indiscriminado de agrotóxicos pode causar, há ainda a possibilidade das pragas agrícolas combatidas se tornarem resistentes aos produtos, fazendo com que haja desequilíbrio da cadeia de predadores e presas, pois os agrotóxicos são mais nocivos aos inimigos naturais das pragas que se pretendem eliminar do que aos próprios insetos, fungos e ervas daninhas presentes nas lavouras (BORGES FILHO, 2004).

2.3.2 Uso de agrotóxicos no Brasil

O uso de agrotóxico no Brasil é tão intensificado, que faz do país o maior consumidor deste tipo de insumo do planeta. Ao se tomar como base os anos de 2003 e 2008, nota-se que os sete bilhões de reais movimentados pelo setor de agrotóxicos em 2008 representam mais do que o dobro do dinheiro gasto com estes produtos em 2003, indicando forte crescimento de utilização nestes últimos anos pela agricultura brasileira (IBGE, 2010).

Neste sentido, tendo como base dados do Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola (SINDAG), um panorama de análise mais abrangente sobre a situação do aumento da demanda por agrotóxicos é demonstrado pela Figura 11, que enfatiza o valor das vendas de defensivos agrícolas no Brasil entre os anos de 2005 e 2009.

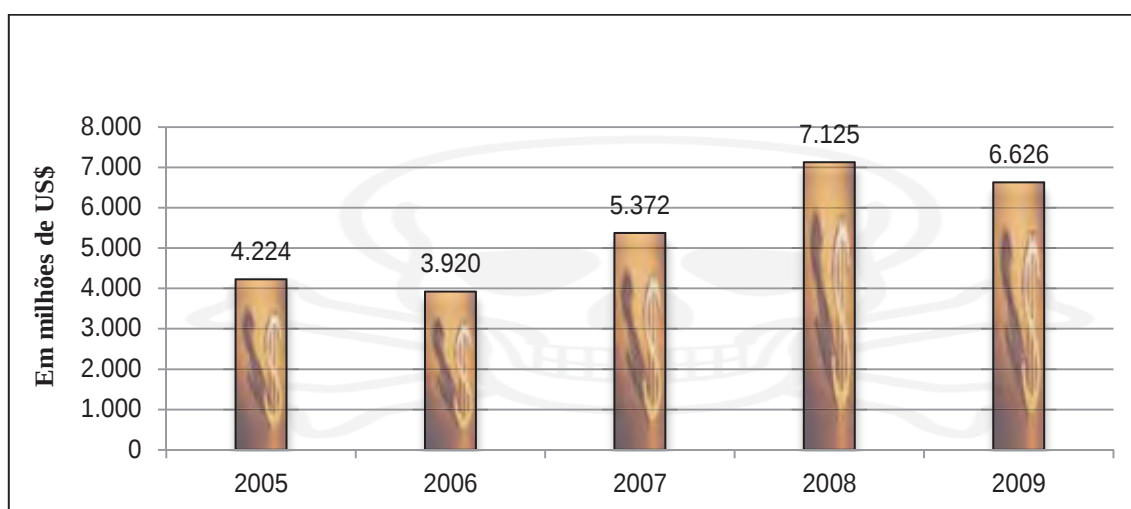


Figura 11. Vendas de defensivos agrícolas no Brasil entre os anos de 2005 a 2009.
Fonte: SINDAG, 2010.

Ao se comparar a evolução do consumo destes produtos com a evolução dos plantios, constata-se um índice mais elevado para o consumo de agrotóxicos, o que indica uma relação direta entre aumento da produtividade em detrimento do uso intensivo de agrotóxicos (IBGE, 2010). Com base em dados do IBGE e do SINDAG, Londres (2010) afirma que entre 2004 e 2008, por exemplo, a área de lavoura do Brasil cresceu em 4,59%, enquanto neste mesmo período as quantidades de agrotóxicos comercializados cresceram 44,5%. No ano de 2009, segundo a autora e diante de dados do SINDAG, o Brasil adquiriu mais de um milhão de toneladas de agrotóxicos, algo em torno de 5,2 kg de agrotóxico por habitante.

Deste modo, pode ser atribuído aos agrotóxicos a terceira principal fonte de intoxicação humana no Brasil, ficando atrás apenas dos casos de intoxicação por medicamentos e por animais peçonhentos, respectivamente (BOCHNER, 2007). Contudo, as causas das intoxicações provocadas por estes insumos podem ser diversas, tal como a Tabela 11 enfatiza, com base em dados do Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas (SINTOX), que categoriza os agrotóxicos em quatro distintos tipos, a saber: agrotóxicos de uso agrícola, agrotóxico de uso doméstico, produtos veterinários e raticidas.

Tabela 11. Quantidade de casos de intoxicação por agrotóxicos registrados no Brasil no ano de 2007.

Causa da intoxicação	Agrotóxico uso agrícola	uso doméstico	Produto veterinário	Raticidas
Acidente individual	1271	2205	618	1528
Acidente coletivo	85	66	20	43
Acidente ambiental	16	8	4	3
Ocupacional	1557	120	69	12
Ingestão de alimentos	9	1	2	0
Tentativa de suicídio	2443	754	392	2560
Tentativa de aborto	9	4	1	14
Violência / homicídio	36	7	1	35
Uso indevido	30	95	49	7
Outra	96	113	38	29
Ignorada	138	60	24	140
Total	5690	3433	1218	4371

Fonte: Ministério da Saúde (2009).

Ao se analisar a situação geral dos casos de intoxicação por agrotóxicos, averigua-se que quase quinze mil casos de intoxicação por agrotóxicos foram registrados no Brasil no ano de 2007. Afora os casos de tentativa de suicídio, constata-se as maiores ocorrências de intoxicação por acidentes individuais em todas as categorias, além de uma maior ocorrência de acidentes de trabalho na categoria dos agrotóxicos de uso agrícola.

Segundo Alencar (2010), o que justifica a grande presença de intoxicação por agrotóxicos nos campos brasileiros são as formas de aplicação fora dos padrões de conformidade, bem como seu uso contínuo. Assim, para que haja uma melhor compreensão sobre como os agrotóxicos podem comprometer a saúde e o meio ambiente, os elementos ativos de cada agrotóxico foram classificados em quatro

distintas categorias, que informam de maneira fácil e rápida, como o produto pode ser considerado em relação ao perigo que oferece à saúde e ao meio ambiente, tendo como parâmetro a classificação toxicológica e a classificação de periculosidade ambiental, demonstradas pela Tabela 12.

Tabela 12. Classificação toxicológica e de periculosidade ambiental.

Classes	¹ Classificação de periculosidade ambiental	² Classificação toxicológica
Classe I	Produto altamente perigoso	Extremamente tóxico
Classe II	Produto muito perigoso	Muito tóxico
Classe III	Produto medianamente perigoso	Moderadamente tóxico
Classe IV	Produto pouco perigoso	Pouco tóxico

Fontes: ¹IBAMA (2011); EMBRAPA (2011).

Segundo Londres (2011), a toxidade dos agrotóxicos é determinada por meio de estudos laboratoriais com exposição inalatória, oral e dérmica para identificar a Concentração Letal (CL) e Dose Letal (DL) capaz de matar 50% dos animais utilizados nos testes laboratoriais. Dessa forma, a toxidade é indicada em termos do valor da Dose Letal 50% (DL₅₀), representada por miligramas do produto testado por peso vivo do animal precisos para matar a metade dos animais utilizados nos testes (CORDEIRO, 2003).

Para as análises indicativas por via oral, por exemplo, produtos sólidos são classificados na Classe I quando a DL 50 $\leq$ 0,005 grama/kg de peso do animal. Na Classe II, quando DL₅₀ $>$ 0,005 até 0,05 grama/kg. Na Classe III, DL₅₀ $>$ 0,05 a 0,5 gramas/kg. Já na Classe IV, DL₅₀ $>$ 0,5 gramas/kg. Portanto, após feitos os testes, a classe toxicológica do produto será determinada pela mais tóxica que surgir em um dos estudos agudos (LONDRES, 2011).

Já a classificação de periculosidade ambiental, indica a potencialidade de determinado agrotóxico causar impacto ambiental. Tal potencialidade é baseada nos parâmetros de persistência, bioacumulação, transporte, toxidade a diversos organismos, potencial carcinogênico, potencial mutagênico e potencial teratogênico. Sobre tais parâmetros, o grau de periculosidade ambiental é relacionado aos aspectos do

agrotóxico que remetem contaminação e prejuízos aos compartimentos bióticos e abióticos dos ecossistemas (RIEDER *et al.* 2004).

Neste sentido, todos os agrotóxicos comercializados no Brasil apresentam em suas bulas e em seus rótulos, além da concentração do elemento ativo do agrotóxico, os graus de periculosidade ambiental e toxicológica do agrotóxico. Assim, como forma de exemplificar a associação de cada elemento ativo ao seu respectivo grau de periculosidade ambiental e toxicológica, bem como a concentração de cada um no volume total do agrotóxico comercializado, apresenta-se a Tabela 13, que enfatiza a relação de alguns agrotóxicos pelos seus elementos ativos (e não pelo nome comercial), função, classe toxicológica, classe de periculosidade ambiental e concentração em gramas por litro.

Tabela 13. Relação dos ingredientes ativos de alguns agrotóxicos quanto à suas funções, grau de concentração, classe toxicológica e de periculosidade ambiental.

Ingrediente Ativo	Função do insumo	Classe toxicológica	Classe de periculosidade Ambiental	Concentração (g/l)
Atrazina	Herbicida	III	III	500
Atrazina + S-Metolacoloro	Herbicida	II	II	370 + 290
Azoxistrobina + Ciproconazol	Fungicida	III	II	200 + 80
carfentrazona-etílica	Herbicida	II	II	400
chlorantranciprole	Inseticida	III	II	200
clorpirifós	Inseticida	I	I	480
Espinosade	Inseticida	III	III	480
Éster metílico de óleo de soja	Adjuvante	IV	IV	720
Fenpropatrina	Inseticida	I	II	300
Glifosato	Inseticida	III	II	480
Imidacloprido + Tiodicarbe	Inseticida	II	II	150+450
Lufenurom	Inseticida	IV	II	50
Metomil	Inseticida	I	III	215
Óleo mineral	Inseticida / acaricida / adjuvante	IV	III	760
Óleo mineral	Adjuvante	IV	III	428
óxido de fembutatina	Acaricida	I	II	500
Permetrina	Inseticida	II	I	384
Tebuconazol	Fungicida	III	II	200
Tembotriona	Herbicida	III	III	420
Tiametoxam+Lambda Cialotrina	Inseticida	I	II	141+106
Tiodicarbe	Inseticida	II	III	800 g / kg

Fonte: AGROFIT (2011); ANDREI, (2009).

Portanto, nota-se que a praticidade dos indicativos da periculosidade ambiental e de toxicidade podem facilitar a tomada de decisão do agricultor quanto ao insumo que menos agride ao meio ambiente e à saúde.

2.3.3 Contextualização da problemática ambiental na agricultura

Tendo em vista tais implicações, os impasses ambientais da agricultura podem contribuir para a baixa da sustentabilidade do setor agrícola, tanto em escala regional,

quanto em escala global. Alterações nos recursos de água e solo, por exemplo, associam-se frequentemente aos impactos regionais. No que tange aos exemplos de como o setor agrícola pode ocasionar impactos para escala global, cita-se sua participação para a geração dos gases causadores do efeito estufa, sendo estes algumas de suas fontes: o metano eliminado pela fermentação entérica do gado, os resíduos da queima do óleo diesel utilizado pelos equipamentos agrícolas e da queima de mata nativa ou de pastagem (HORNE & GRANT, 2009).

Para o entendimento da problemática ambiental, e até da sócio-econômica relacionada à agricultura, toma-se como exemplo uma possível elevação da demanda por carnes em um contexto amplo e duradouro, baseado em Knudsen *et al.* (2006). Em resposta a esta demanda, surge a necessidade de se elevar a criação de gado, que traz como consequência da necessidade de se aumentar a disponibilidade de terras destinadas às pastagens. Tanto uma maior quantidade de pastagens e de animais pastando nestas terras, como também o comércio de alimentos (que fica mais acirrado), remetem a impactos ambientais e sócio-econômicos do sistema de produção alimentar. Exemplos destes impactos são melhores exemplificados pela Figura 12.

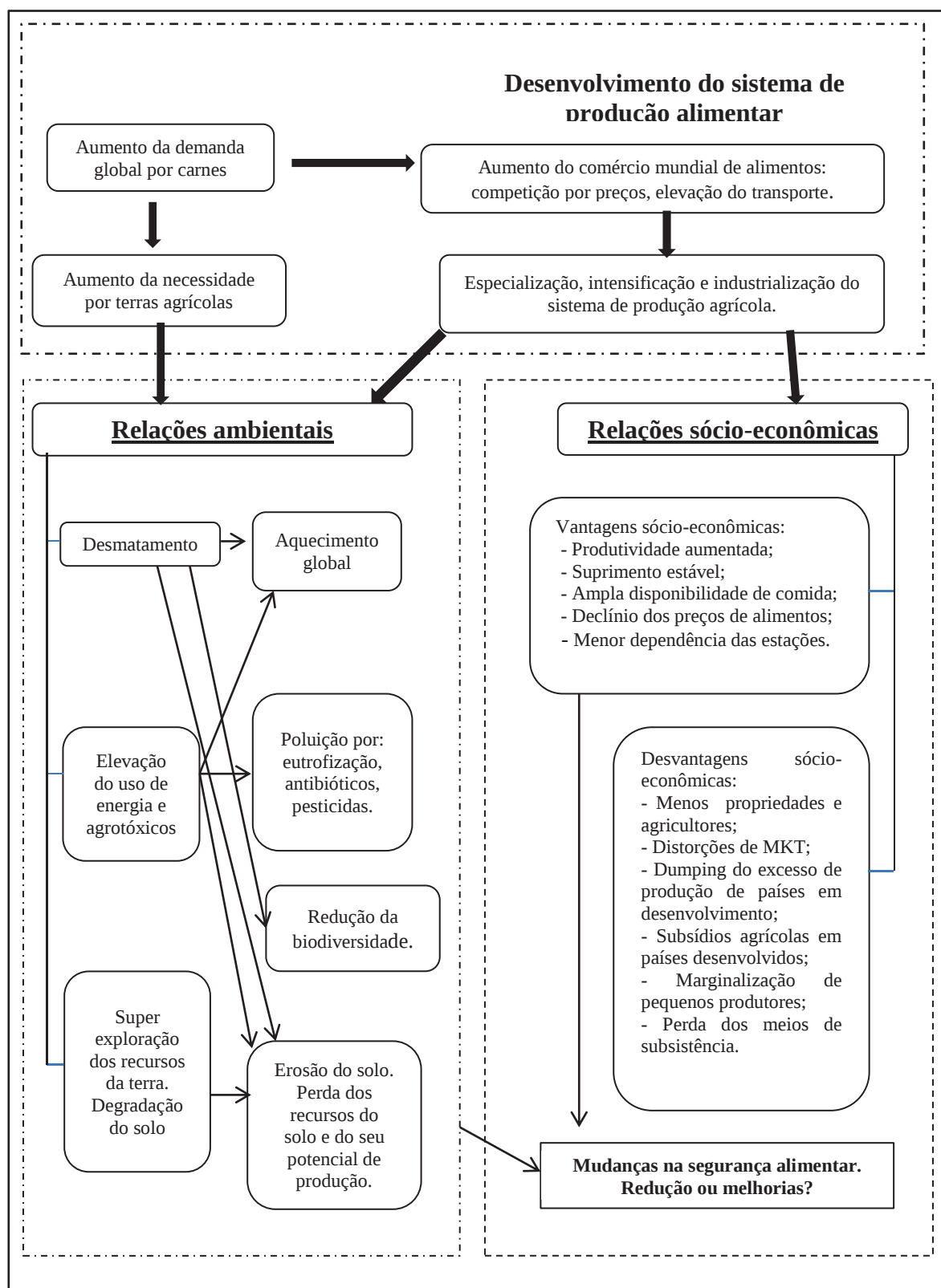


Figura 12. Ilustração da problemática ambiental relacionada ao setor agrícola.

Fonte: Knudsen *et al*, (2006).

Pela análise da Figura 12, nota-se que o desmatamento do terreno para ser utilizado como pastagem pode, por exemplo, acarretar em aquecimento global, redução

da biodiversidade, erosão e perda dos recursos de produção do solo. Ao se analisar o caso do avanço da pecuária no Brasil, por exemplo, Bustamante et al (2009) afirmam que o desmatamento para formação de novas áreas de pastagens é uma das maiores fontes emissoras de gases do efeito estufa, sobretudo os ocorridos na região Amazônica, cuja expansão da pecuária entre os anos de 2003 e 2008 foi responsável por 75% do desflorestamento do bioma desta região.

Neste sentido, pela exposição da Figura 12, fica evidente que além do surgimento dos impactos ambientais, emergem também aspectos positivos e negativos do ponto de vista sócio-econômico. Uma vez que o aumento da produção gera mais oferta de alimentos no mercado com preços mais satisfatórios, pode haver também a marginalização dos pequenos pecuaristas devido à atuação dos grandes produtores que conseguem ofertar um produto com preço menor por causa de sua produção em escala e proporcionar menores custos unitários de produção. Portanto, de acordo com Knudsen et al (2006), a resposta para a pergunta que fica em aberto na Figura 12, é que pode existir equidade entre os aspectos apresentados, desde que sejam revistos os meios de se produzir.

Neste contexto, pode-se afirmar que a agricultura está diante de um desafio. Estimativas indicam que o planeta poderá contar com nove bilhões de habitantes até metade deste século, sendo necessário aproximadamente o dobro da produção de alimentos de hoje para suprir esta futura demanda. O desafio, então, é o contínuo aumento da produção amparada pela manutenção e melhoria da qualidade da água, do solo e da conservação da biodiversidade. Portanto, o caminho para a agricultura está na sintonia da produtividade com a sustentabilidade (GAZONNI, 2011).

Para que tal sintonia seja eficiente, um dos mecanismos viáveis, de acordo com Mazon (2003), é a utilização de indicadores de desempenho voltados à agricultura. De acordo com o autor, um comitê governamental australiano identificou fatores-chave que podem ser considerados como indicadores para uma agricultura sustentável, sendo: viabilidade das propriedades agrícolas manterem balanço financeiro positivo ao longo prazo, competência gerencial, qualidade da água e do solo e também a consideração de aspectos ambientais como base para aperfeiçoar uma decisão relacionada ao campo nacional e ao campo regional.

Dessa forma, a relevância destes indicadores e a necessidade da sustentabilidade do agronegócio reflete no comércio internacional de produtos agrícolas, fazendo com que a adoção de barreiras comerciais estabelecidas com base em exigências agroquímicas e fitossanitárias corrobore para isso. Cita-se, como exemplo destas barreiras, a proibição do comércio de produtos agrícolas que tenham sido produzidos com algum agrotóxico composto por qualquer tipo de ingrediente ativo considerado como propício a causar risco severo a saúde humana ou ao meio ambiente. Diante disso, uma rotulagem ambiental baseada em uma ACV é tida como uma medida eficaz para comprovar o comprometimento das práticas envolvidas na produção de determinado produto com as exigências sustentáveis vigentes (FERMAN & ANTUNES, 2008).

2.3.4 Avaliação do Ciclo de Vida na agricultura

De acordo com Horne e Grant (2009), em decorrência da atividade agrícola, existem diversos impactos associados ao uso da terra, às emissões de gases poluentes e ao uso da água que podem ser avaliados por meio de uma ACV, fazendo desta uma ferramenta relevante para a agricultura. Porém, a adoção da ferramenta ACV no setor agrícola pode ser mais complexa do que aquelas realizadas no campo industrial (HORNE & GRANT, 2009; HARRIS & NARAYANASWAM, 2009; KNUDSEN, 2009; FINNVEDEN *et al.*, 2009).

Segundo Harris & Narayanaswam (2009), a agricultura não consome insumos em um sentido linear, tal como ocorre em vários processos industriais. Devido a isso, muitos dos seus recursos centrais são derivados de outros sistemas agrícolas, como é o caso das sementes, de alguns fertilizantes e do solo, por exemplo.

De acordo com Finnveden *et al.* (2009), nem todas as categorias de impactos possuem uma total cobertura em ACVs agrícolas, como é o caso das incidentes sobre o uso da terra, que possuem uma cobertura parcial. De acordo com Horne & Grant (2009), sistemas agrícolas são relativamente abertos e envolvem recursos como terra, biodiversidade, e uma gama de inter-relações químicas e biológicas, sendo constante a existência de diferentes modos de produção para um mesmo produto agrícola. Portanto, de acordo com Finnveden *et al.* (2009), é necessário ser desenvolvida uma metodologia mais específica para a área, que pode ser alcançada através da interação com demais áreas afins envolvidas de alguma forma com a atividade.

Deste modo, de acordo com Figueiredo *et al.* (2008), a consideração de aspectos relacionados a perda da biodiversidade em atividades agrícolas é uma das formas de se complementar as lacunas existentes na metodologia. Sendo assim, uma das maneiras viáveis de se fazer isso, de acordo com Schader (2008), é o modelamento de um sistema que considere os impactos que podem incidir sobre as mais importantes espécies envolvidas com a prática agrícola.

Neste sentido, envolver os amplos aspectos que dizem respeito à biodiversidade pode ser considerado como um dos principais desafios condizentes com a execução de ACVs de produtos agrícolas, pois diferentes tipos de lavouras podem acarretar em distintos tipos e graus de impactos ambientais (KNUDSEN, 2009). Toma-se como exemplo a relação existente entre a biodiversidade e qualidade do ecossistema com as perdas ocasionadas para o solo em decorrência do uso deste por plantações de trigo, café convencional, café orgânico, agroflorestas, pastagens de pradaria e floresta tropical, expostos pela Figura 13.



Figura 13. Relações entre uso da terra por massa e biodiversidade.

Fonte: Knudsen e Haldberg (2007).

Numa relação simples, nota-se que quanto maior a qualidade do ecossistema requerida, maiores são as perdas do solo por kg de produto demandado, sendo esta relação completamente associada ao grau de intensividade e extensividade da cultura plantada. Portanto quanto mais extensiva a utilização do solo, maiores as perdas, e vice-versa.

Assim, da mesma forma que Mazon (2003) propõe a utilização de indicadores de desempenho para sustentabilidade agrícola, Knudsen e Haldberg (2007) corroboram a ideia da utilização destes mecanismos em ACV agrícolas, só que direcionados à biodiversidade. Após pesquisa de alguns indicadores já existentes, os autores apontam os seguintes exemplos destes: baseados em ecossistemas termodinâmicos, em fragmentação da área, no endemismo de espécies presentes na área, em descrições qualitativas, dentre outros.

Além da concordância metodológica acerca dos aspectos relacionados à biodiversidade e à parametrização mais acurada sobre as peculiaridades da agricultura, é preciso que haja participação política na mobilização de recursos de captação para ACV do segmento e também iniciativas que incentivem sistemas agrícolas sustentáveis. No entanto, mesmo diante de tais peculiaridades e necessidades, a ACV tem contribuído para gerar resultados satisfatórios no campo da agricultura, tal como é o caso dos trabalhos que envolvem comparações entre diferentes processos e insumos agrícolas (HORNE & GRANT, 2009).

2.3.4.1 Recentes trabalhos envolvendo a ACV no segmento agrícola

Com o intuito de demonstrar a aplicabilidade da ACV com o setor agrícola, demonstra-se alguns recentes trabalhos que se relacionam ao desenvolvimento da ACV no setor agrícola. Deste modo, são apresentados estudos publicados no cenário nacional, bem como no internacional.

Para uma referência dos trabalhos publicados no Brasil, pesquisou-se os artigos publicados na modalidade “Apresentação Oral” do “II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços”, ocorrido na cidade de Florianópolis – SC, no ano de 2010. Os artigos escolhidos para análise foram aqueles que diretamente associavam em seus títulos a aplicação da ACV em alguma cadeia produtiva agrícola ou em algum segmento relacionado à agricultura.

Por outro lado, o periódico “*The International Journal of Life Cycle Assessment*” serviu como base de referência para os trabalhos publicados fora do Brasil. Assim, utilizou-se o termo “*agriculture*” no campo de busca e todos os artigos publicados no ano de 2011 e disponibilizados nas categorias “*LCA for Agriculture*” ; “*Land Use in LCA*” e “*LCA for Energy Systems*”, foram analisados.

2.3.4.1.1 Recentes trabalhos envolvendo ACV no segmento agrícola publicados no “II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços”

Ao se pesquisar as recentes publicações no Brasil voltadas à ACV na agricultura, constata-se que oito trabalhos se destacam abordando temas variados, tais como: energia, biodiversidade, alimentos e metodologia.

Arena *et al.* (2010), Matsura *et al.* (2010), Rocha e Ugaya (2010a) e Souza e Pacca (2010) trabalharam com o segmento de energia. O tema biodiversidade foi tratado nos artigos de Braga *et al.* (2010) e Rocha e Ugaya (2010b). Já a abordagem da ACV na agricultura aplicada ao segmento de alimentos foi desenvolvido por Olszensvski *et al.* (2010) e Willers *et al.* (2010). Destes trabalhos, ressalta-se que o artigo de Rocha & Ugaya (2010a) discute, além da questão energética, também aspectos metodológicos e que o trabalho de Arena *et al.* (2010) não se trata de uma aplicação da ACV no Brasil, mas sim de um estudo de caso desenvolvido na Argentina e publicado no congresso em questão.

Neste contexto, apresenta-se o Quadro 4, que traz as principais considerações sobre cada um destes estudos

Autores	Principais considerações	Tema abordado
Arena <i>et al.</i> (2010)	Destacam o perfil ambiental do ciclo de vida do biodiesel de soja produzido numa região da Argentina. Afirmam que a etapa da produção do óleo de soja é a que mais contribui para a geração de impactos ambientais entre todas as etapas do ciclo de vida do biodiesel.	Energia
Braga <i>et al.</i> (2010)	Propõem encontrar indicadores de qualidade relacionados ao uso da terra propícios à avaliação da perda de biodiversidade na avaliação ambiental do biodiesel feito do dendê, dando ênfase para métodos quantitativos diretos e também para métodos qualitativos do ecossistema. Afirmam que indicadores com intuito de avaliar perda de biodiversidade na ACV necessitam considerar a complexidade dos ecossistemas.	Biodiversidade
Matsura <i>et al.</i> (2010)	Constatam pelo ICV desenvolvido um alto consumo de fertilizantes e calcário na produção do grão do pinhão manso, quando comparado com outros tipos de oleaginosas obtidas em sistemas de produção semelhantes ao deste pinhão.	Energia
Olszensvski <i>et al.</i> (2010)	Desenvolveram uma ACV da produção de leite em distintas regiões do estado de SC, abordando as seguintes categorias de impacto: acidificação, eutrofização, aquecimento global, ocupação da terra e demanda de energia pelas regiões. As emissões mais significativas deste estudo residem na produção e manutenção do pasto, na etapa de forragem e também das emissões entéricas do gado.	Alimento
Rocha e Ugaya (2010a)	Discute os aspectos de harmonização de ICV aplicados no segmento de biocombustíveis brasileiros, explanando o caso de harmonização do ICV de biodiesel oriundo de palma (dendê).	Metodologia / Energia
Rocha e Ugaya (2010a)	Enfatizam a limitação da metodologia de ACV em avaliar impactos sobre biodiversidade e indicam a possibilidade de avaliar a biodiversidade da floresta tropical brasileira em função da precipitação pluvial e da alteração da pluviosidade. Afirmam também que a produção do biodiesel de soja no Brasil estimula o desmatamento da Amazônia Legal para aquisição de novas pastagens e causa impacto significativo na biodiversidade do bioma amazônico.	Biodiversidade
Souza e Pacca (2010)	Comparam, por meio de indicadores ambientais, a produção tradicional de etanol de cana brasileiro com a produção integrada de álcool e biodiesel de dendê, concluindo que o sistema integrado eleva o balanço energético e reduz as emissões de gases efeito estufa.	Energia
Willers <i>et al.</i> (2010)	Por meio de um ICV, identificaram os dados quantitativos relacionados ao balanço de massa da produção de leite cru do tipo C, tendo como principais resultados que a utilização de medicamentos, fertilizantes e herbicidas são possíveis causadores de toxidade e que o uso de fertilizantes e detergentes podem causar eutrofização.	Alimento

Quadro 4. Considerações sobre trabalhos nacionais envolvendo ACV na agricultura.

2.3.4.1.2 Recentes trabalhos envolvendo ACV no segmento agrícola publicados no “*The International Journal of Life Cycle Assessment*”

Ao se pesquisar os artigos deste periódico publicados no ano de 2011, nas categorias “*LCA for Agriculture*”, “*Land Use in LCA*” e “*LCA for Energy Systems*”, constata-se que quatro artigos foram publicados na primeira categoria, dois na segunda e três na terceira. Assim, em “*LCA for Agriculture*” constam os trabalhos dos seguintes autores: Zimmermann et al. (2011), Bosna et al. (2011), Stone et al. (2011) e de Martinez-Blanco et al. (2011). Na categoria “*Land Use in LCA*”, destacam-se os trabalhos de Saad et al. (2011) e Mattila et al. (2011). Já em “*LCA for Agriculture*”, os três trabalhos disponíveis nesta categoria de publicação são de Suwant et al. (2011), Prasara e Grant (2011) e González-Garcia et al. (2011).

Dessa forma, o Quadro 5 resume as principais considerações de cada um destes artigos.

Autores	Principais considerações	Categoria de publicação
Bosna et al. (2011)	Discute a amplificação da ACV para o setor de piscicultura e o levantamento dos pontos críticos ambientais ao longo do seu ciclo de vida em políticas e tópicos de pesquisa. Afirmam que os processos relacionados a fase de produção dos alimentos dos peixes, entre eles o agrícola, são as que mais podem acarretar em impactos ambientais, tal como eutrofização.	<i>LCA for Agriculture</i>
González-Garcia et al. (2011).	Fazem uma avaliação ambiental mediante a metodologia da ACV da produção de etanol celulósico da espécie <i>Robinia pseudoacacia</i> L., tendo como base para análise o uso do etanol na proporção de mistura à gasolina de 10% (90% gasolina) e de 85% (15% de gasolina). Leva em consideração neste estudo deste a fase do cultivo desta planta até o uso do combustível, concluindo que o uso deste etanol pode contribuir para a redução dos principais impactos ambientais a medida que o percentual de adição a gasolina aumenta.	<i>LCA for Energy Systems</i>
Martinez-Blanco et al. (2011)	Faz comparações relacionadas aos campos ambientais e econômicos entre a horticultura fertilizada de maneira orgânica e a horticultura fertilizada de modo tradicional, variando a unidade funcional utilizada para determinados itens analisados. Afirmam que unidade funcional associada com parâmetros econômicos, de qualidade, segurança e satisfação do consumidor podem auferir diferentes resultados para os impactos ambientais.	<i>LCA for Agriculture</i>

Quadro 5. Considerações sobre trabalhos publicados no “*The International Journal of Life Cycle Assessment*” no ano de 2011.

Autores	Principais considerações	Categoria de publicação
Mattila <i>et al.</i> (2011).	Testam e comparam diversos tipos de indicadores de avaliação de impacto do uso da terra em um sistema de produção de cerveja. Alguns dos indicadores utilizados foram: ocupação da terra, transformação da terra, pegada do carbono, prejuízos ao ecossistema, entre outros. Tais indicadores focaram em três pontos, saber: biodiversidade, qualidade do solo e esgotamento de recursos. Os autores enfatizam que a maioria dos impactos do ciclo de vida foram associados a fase de cultivo da cevada e que a avaliação dos impactos do ciclo de vida do uso da terra fica mais eficiente mediante a utilização de dados regionais.	<i>Land Use in LCA</i>
Prasara e Grant (2011)	Fazem uma ACV do uso da casca de arroz destinada a fins enérgicos na Tailândia, ao comparar seu uso na produção de energia elétrica e na produção de etanol celulósico. Ressaltam que a casca de arroz é preferencial para se produzir energia elétrica para a maior parte das categorias de impacto utilizadas no estudo, como por exemplo: mudanças climáticas, formação de ozônio, eutrofização, toxicidade humana, dentre outros.	<i>LCA for Energy Systems</i>
Saad <i>et al.</i> (2011)	Dado as deficiências metodológicas para avaliar impactos no uso do solo, os autores desenvolvem avaliação dos impactos do uso da terra relacionados às funções ecológicas do solo em um contexto específico para o Canadá. Dão grande ênfase a consideração de aspectos regionais em uma ACV, especialmente no caso de uma abordagem que leve em consideração o desenvolvimento de fatores de caracterização da ecologia do solo regionalizados, e não tão genéricos.	<i>Land Use in LCA</i>
Stone <i>et al.</i> (2011)	Este estudo demonstra os aspectos ambientais positivos e negativos associados com um dos segmentos relacionados a suinocultura, demonstrando alternativas tangíveis de serem implantadas pelos agentes do ramo, como por exemplo das emissões de gases deste setor.	<i>LCA for Agriculture</i>
Suwant <i>et al.</i> (2011)	Fazem uma ACV da geração de energia elétrica de mini usinas hidrelétricas localizadas na Tailândia, resultando que a fase que mais pode contribuir para a geração de impactos ambientais está relacionada à construção das usinas, pois estas demandam diversos tipos de materiais, tal como é o exemplo da areia, do cimento, da pedra e do aço, cujos ciclos de vida apresentam acarretam em diversos tipos de impactos ambientais.	<i>Land Use in LCA</i>
Zimmermann <i>et al.</i> (2011),	Estende funções de custo e parâmetros sociais em cenário projetado entre os anos de 2008 e 2015 para avaliar ambientalmente sistema de produção agrícola orgânico em unidades neozelandesas. Afirmam que, no caso da agricultura, uma medida específica não possui um único impacto nos alvos associados, mas efeitos em todas as funções agrícolas e que os resultados da associação do modelo proposto podem diminuir os efeitos ambientais indesejáveis pertinentes ao sistema analisado.	<i>LCA for Agriculture</i>

Quadro 5 (Continuação). Considerações sobre trabalhos publicados no “*The International Journal of Life Cycle Assessment*” no ano de 2011.

2.3.4.2 Avaliação do Ciclo de Vida da cultura do milho

Dado que nestas publicações não foram encontradas nenhum trabalho relacionando a aplicação da ACV à cultura do milho, apresentam-se alguns trabalhos oriundos de distintas fontes que associam a metodologia ACV à cultura do milho. São

publicações que tratam de temas diversos, tais como energia, eficiência de sistemas de cultivo, plásticos orgânicos. Dessa forma, a eficiência de sistemas de cultivo é tratado por Kløverpris *et al.* (2009) e Kim *et al.* (2009). O tema energia por Kim e Dale (2006) e Wu *et al.* (2009) e o tema plásticos orgânicos por Allganer (2010).

2.3.4.2.1 Trabalhos relacionados com ACV aplicada na cultura do milho

Diante disso, Kløverpris *et al.* (2009), avaliam os impactos ambientais de sistemas agrícolas cultivados de modo convencional e de sistemas agrícolas cultivados mediante o uso de um agrotóxico que possui o intuito de aumentar a produção da lavoura e reduzir o uso de fertilizantes fosfatados em certos tipos de áreas. Utilizam como base de referência a produção de milho dos Estados Unidos e a de canola do Canadá por estas possuírem procedimentos de produção semelhantes. Tal estudo considera as seguintes categorias de impactos: aquecimento global, acidificação, eutrofização, formação de ozônio fotoquímico, demanda por energia fóssil, uso de terra agrícola e uso de fósforo. Trata-se de um estudo que avalia os potenciais impactos com o auxílio do software *SimaPro 7.1* e também por uma metodologia qualitativa, sendo esta utilizada para avaliar os impactos toxicológicos pela quantidade de óxido de enxofre demandado.

Já Kim e Dale (2006) fazem uma ACV do etanol estadunidense produzido de milho misturado à gasolina na taxa de 10% (E10) e na taxa de 85% (E85). Delimitou-se a fronteira do sistema no cultivo do milho, transporte do grão para a usina processadora, processamento do grão, distribuição do combustível, e etanol utilizado no veículo. Os autores utilizam dois tipos de unidade funcional, um quilometro percorrido com um automóvel movido à etanol e um kg de etanol. Por este estudo, além dos fatores característicos de impactos analisados, o artigo enfatiza que a utilização de duas unidades funcionais contribui para discrepâncias em alguns resultados, mas que os impactos associados ao consumo de carvão e gás natural são semelhantes entre o etanol E10 e o etanol E85.

Wu *et al.* (2009) estimam as potencialidades de um tipo de processo de produção do butanol combustível, feito de milho nos EUA, contribuir para a geração de gases efeito estufa. O trabalho compõe a produção do butanol passando pela fase de processamento dos grãos até a produção do butanol mediante um método desenvolvido

pelo *Argonne National Laboratory*. Os autores comparam as potencialidades de emissões do butanol feito de milho com a gasolina e afirmam que o butanol produzido de milho contribui menos para a geração dos gases do efeito estufa.

Segundo Kim *et al.* (2009), o nível de impacto ambiental do cultivo do milho varia com as condições climáticas, localização da fazenda, propriedade do solo, maneira de gerenciamento da produção, dentre outros fatores. Diante disso, estes autores realizam uma ACV do milho cultivado em várias regiões produtoras dos Estados Unidos, considerando no sistema de produto o milho plantado e colhido sem coletar a palha residual e também o milho plantado e colhido mediante a coleta da palha residual desta planta, pois esta pode ser utilizada para fabricação de etanol celulósico.

Assim, tal ACV considera como categorias de avaliação de impacto o uso de energia fóssil, potencialidade de gerar acidificação, eutrofização e gases do efeito estufa. Neste estudo, os autores ressaltam que a remoção dos resíduos do solo podem reduzir as emissões relacionadas a lixiviação e também com o óxido nítrico, bem como diminuir a concentração de carbono no solo. Contudo, o sistema de produção do grão de milho que coleta a palha possui menores chances de causar eutrofização e acidificação, bem como demanda menos combustível de origem fóssil e gera menos gases relacionados ao efeito estufa.

Já no Brasil, Allganer (2010) faz uma avaliação das emissões dos gases causadores do efeito estufa no decorrer do ciclo de vida do amido de milho plastificado com glicerol destinado à compostagem por meio de uma ACV que considera as fases do plantio do milho, extração do amido, produção do amido plastificado e biodegradação do amido plastificado. Pelos resultados deste trabalho, concluiu-se que o polímero biodegradável a base de amido de milho plastificado com glicerol possui vantagens ambientais durante o seu ciclo de vida, pois um dos fatores que mais contribui para isso é que a principal fonte de matéria-prima é de origem renovável.

Assim, pelos trabalhos apresentados, nota-se que a aplicabilidade da ACV na agricultura pode ser destinada a diversas áreas, mesmo necessitando ainda de uma adequação metodológica mais precisa para o caso das condições relacionadas aos campos agrícolas, contribuindo assim para o alcance da sustentabilidade do setor.

3 - RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, é apresentado o desenvolvimento do estudo de caso dividido nos subcapítulos 3.1, 3.2 e 3.3. Logo, o primeiro aborda a definição do objetivo e escopo desta ACV, o segundo a análise de inventário e o terceiro a fases de avaliação do impacto e interpretação do ciclo de vida.

3.1 - DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E DO ESCOPO DO ESTUDO DE CASO

Antes de se apresentar o objetivo e o escopo, é necessário expor a distinção entre grão e semente para que haja amparo no entendimento deste estudo. Para isso, apresenta-se o conceito de EMBRAPA (2010) ao afirmar que:

“A semente e o grão parecem ser a mesma coisa. Mas não são. A semente tem que estar viva, nova e sadia para dar origem à uma nova planta de onde se espera outras tantas sementes. O grão de milho não, pois é destinado ao consumo e não carece deste tipo de preocupação”.

Dessa forma, é possível afirmar que este estudo de caso aborda dois processos de produção agrícola de uma variedade de milho. Enquanto um é referente à produção da semente desta variedade de milho, o outro é à produção do grão desta variedade.

Em função disso, compreende-se que a produção da semente de milho faz parte de uma das etapas do ciclo de vida do grão de milho, já que não há como este existir sem aquele ter sido produzido. Portanto, isso implica que as entradas relacionadas à produção agrícola da semente de milho devem ser inclusas na ACV Simplificada do milho grão.

Assim, para melhor diferenciar ao longo do texto entre as menções à semente de milho e ao grão de milho, convencionou-se nomeá-los como “milho semente” e “milho grão”, respectivamente.

Neste sentido, tanto o objetivo quanto o escopo do estudo, apresentados a seguir, são condizentes com as requisições contidas na NBR ISO 14040: 2009 e na NBR ISO 14044:2009, sendo sua estrutura de exposição baseada em Ometto (2005).

3.1.1 Definição do objetivo do estudo de caso

O objetivo desta ACV Simplificada é avaliar quantitativamente os consumos dos recursos renováveis e dos recursos não renováveis e qualitativamente os graus de periculosidade ambiental e toxicológica dos agrotóxicos utilizados ao longo das etapas que fazem parte do ciclo de vida do milho grão analisado neste estudo de caso, bem como sugerir atitudes visando à eficiência ambiental dos processos estudados.

3.1.2 Definição do escopo do estudo de caso

Os elementos que compõem o escopo deste estudo de caso estão descritos na seguinte sequência:

- 1- Função do sistema;
- 2- Unidade Funcional;
- 3- Sistema de produto estudado;
- 4- Fronteiras do sistema;
- 5- Procedimentos de alocação;
- 6- Metodologia de AICV e tipos de impactos;
- 7- Requisitos dos dados e de suas respectivas qualidades;
- 8- Pressupostos;
- 9- Limitações;
- 10- Tipo de revisão crítica aplicada ao estudo;
- 11- Tipo de formato do relatório.

Nesta ordem, apresenta-se a seguir cada um destes elementos.

1 - Função do sistema

O objeto deste estudo é a produção agrícola do milho grão, plantado e colhido em uma fazenda localizada no município de Cristalina - GO. A função deste milho é ser utilizado na produção de ração animal.

2 - Unidade Funcional

Produção de 1000 kg de grão de milho para produção de ração animal.

3 - Sistema de produto estudado

O sistema de produto do milho grão é composto por nove atividades, sendo estas: preparo do solo do milho semente; plantio do milho semente; tratos culturais do milho semente; despendoamento do milho semente; colheita do milho semente; colheita do milho grão; plantio do milho grão; tratos culturais do milho grão e colheita do milho grão. Neste sentido, a Figura 14 demonstra a relação destas nove atividades pertinentes ao sistema de produto do milho grão.

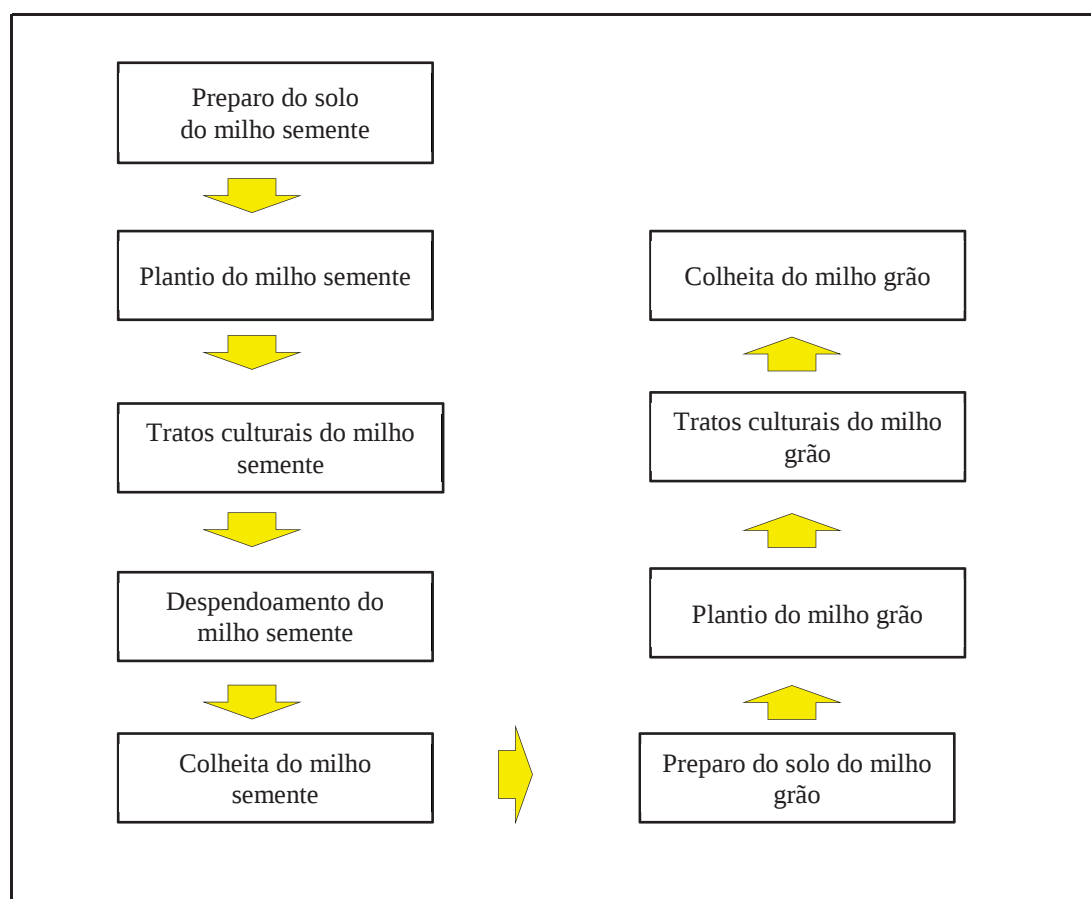


Figura 14. Sistema de produto do milho grão

Considerando-se apenas a parte agrícola, cinco processos elementares compõem a produção do milho semente e quatro do milho grão. Neste contexto, as Tabelas 14 e 15 apresentam, respectivamente, a sequência dos processos elementares na produção do milho semente e na produção do milho grão juntamente com a relação de cada processo elementar com sua respectiva atividade.

Tabela 14. Sequência de ocorrência dos processos elementares da produção agrícola do milho semente.

Sequencia de cada processo	Atividade	Processo elementar
1º	Dessecação	Preparo do solo
2º	Plantio	Plantio do milho
3º	Aplicação de KCl	Tratos culturais
4º	Primeira aplicação de herbicida	Tratos culturais
5º	Primeira aplicação de uréia	Tratos culturais
6º	Primeira aplicação de inseticida	Tratos culturais
7º	Segunda aplicação de inseticida	Tratos culturais
8º	Segunda aplicação de herbicida	Tratos culturais
9º	Segunda cobertura com uréia	Tratos culturais
10º	Terceira aplicação inseticida	Tratos culturais
11º	Primeira aplicação de fungicida	Tratos culturais
12º	Quarta aplicação de inseticida	Tratos culturais
13º	Quinta aplicação de inseticida	Tratos culturais
14º	Segunda aplicação de fungicida	Tratos culturais
15º	Despendoamento mecânico	Despendoamento
16º	Despendoamento manual	Despendoamento
17º	Sexta aplicação de inseticida	Tratos culturais
18º	Terceira aplicação de fungicida	Tratos culturais
19º	Sétima aplicação de inseticida	Tratos culturais
20º	Colheita do milho semente	Colheita

Tabela 15. Sequência de ocorrência dos processos elementares da produção agrícola do milho grão

Sequencia de cada processo	Atividade	Processo elementar
1º	Dessecação	Preparo do solo
2º	Plantio	Plantio do milho
3º	Aplicação de KCl	Tratos culturais
4º	Primeira aplicação de herbicida	Tratos culturais
5º	Primeira aplicação de uréia	Tratos culturais
6º	Primeira aplicação de inseticida	Tratos culturais
7º	Segunda aplicação de inseticida	Tratos culturais
8º	Segunda aplicação de herbicida	Tratos culturais
9º	Segunda cobertura com uréia	Tratos culturais
10º	Terceira aplicação inseticida	Tratos culturais
11º	Primeira aplicação de fungicida	Tratos culturais
12º	Quarta aplicação de inseticida	Tratos culturais
20º	Colheita	Colheita do milho grão

4 - Fronteiras do Sistema

Antes de discorrer sobre as fronteiras do sistema, julga-se necessário a compreensão das etapas que compõem a produção da semente e do grão deste objeto de estudo. Para isso, apresenta-se na Figura 15 o fluxograma simplificado entre as etapas de pesquisa e desenvolvimento e uso do milho grão como ração animal.

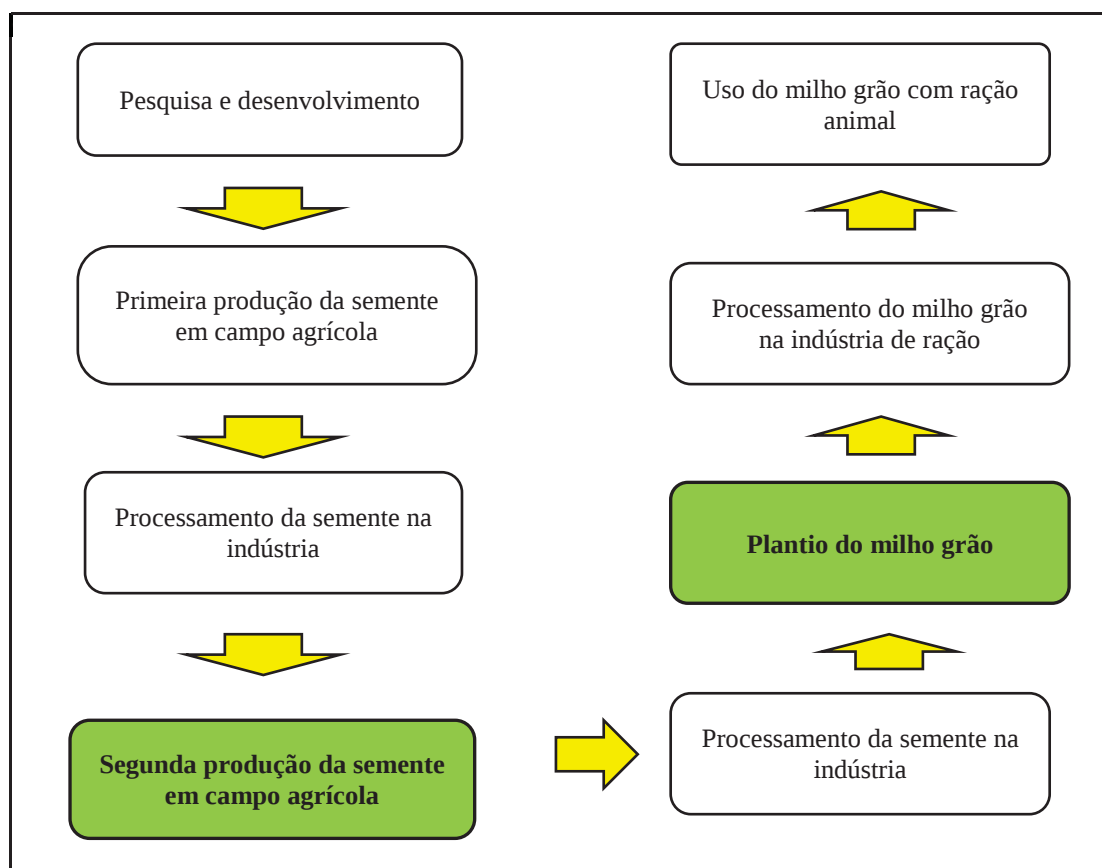


Figura 15. Fluxograma simplificado da produção do milho semente até o uso do milho grão como ração.

Neste contexto, faz parte da etapa de pesquisa e desenvolvimento os estudos em laboratório com o intuito de formar a variedade de semente. Após esta etapa, as sementes são plantadas no solo para serem reproduzidas. Colhida esta produção, as espigas são destinadas à indústria processadora para serem selecionadas e assim receberem tratamento. Como observado pela Figura 15, repetem-se as etapas de produção em campo agrícola e de tratamento na indústria processadora. Somente depois destas fases é que as sementes serão plantadas com o intuito de originarem o milho grão e assim seguirem para o processamento na indústria de ração e seu efetivo uso como ração animal, principalmente para suínos e aves.

Dentre os estágios descritos no fluxograma simplificado pela Figura 15, esta dissertação contempla apenas os dois destacados, ou seja, a segunda reprodução da semente e a produção do milho grão em campo agrícola. Dessa forma, não fazem parte do escopo deste inventário as seguintes fases:

- a) A etapa de pesquisa e desenvolvimento;
- b) A primeira produção da semente em campo agrícola;
- c) Qualquer processamento da semente na indústria;
- d) A produção de fertilizantes consumidos nas duas lavouras;
- e) A produção de corretivos e pesticidas consumidos nas duas lavouras;
- f) O transporte da semente até a indústria beneficiadora;
- g) As etapas de beneficiamento da semente na indústria;
- h) O transporte dos insumos até a fazenda;
- i) O transporte do milho grão até a indústria fabricante da ração;
- j) O uso do milho grão como ração.

Portanto, tal como observado pelo sistema de produto, este estudo abrange apenas a segunda reprodução em campo do milho semente e a produção do milho grão.

5 - Procedimentos de alocação

Dado que o sistema não apresenta mais de um produto, não houve necessidade de se utilizar procedimentos de alocação.

6 - Metodologia de AICV e tipos de impactos

A metodologia de AICV segue um procedimento simplificado para uma ACV. Logo, as categorias de impactos avaliados neste estudo são referentes aos consumos de recursos renováveis (água, etanol e energia elétrica) e não renováveis (óleo diesel) demandados ao longo do ciclo de vida estudado, bem como aos graus de periculosidade ambiental e de toxicidade dos agrotóxicos utilizados nos processos elementares que compõem o ciclo de vida do milho grão.

Neste sentido, os recursos renováveis e não renováveis são avaliados por métodos quantitativos, ou seja, pela contabilização das quantidades de cada um destes

recursos requeridas no decorrer do ciclo de vida do milho grão. Já os métodos para avaliação da periculosidade ambiental e da toxicidade decorrentes dos agrotóxicos utilizados são semi-quantitativos, pois se baseiam na observação de quais produtos são mais perniciosos ao meio ambiente e à saúde humana com base nos graus de periculosidade ambiental e toxicológica dos agrotóxicos consumidos para formação do milho grão e também na contabilização destes agrotóxicos para a unidade funcional.

Portanto, pela interpretação dos dados quantitativos e semi- quantitativos há como se apontar quais atividades mais consomem recursos renováveis e não renováveis, bem como quais necessitam de mais atenção visando os menores impactos para o meio ambiente e para a saúde humana.

7 - Requisitos dos dados e de suas respectivas qualidades

Os dados de entrada para o cálculo do inventário foram coletados diretamente na unidade produtiva, numa fazenda localizada na região centro-oeste do Brasil, no município de Cristalina – GO. A latitude deste município é 16° 46' 07 S e a longitude 47 ° 36' 49 O.

As especificações de cada agrotóxico consumido, tais como classificação de periculosidade ambiental, classificação de toxicidade, ingredientes ativos e teores de concentrações foram coletadas em três fontes, a saber :

- a) Andrei (2009), cuja obra é um compêndio de defensivos agrícola;
- b) Sistema de Agrotóxicos Fitossanitário (AGROFIT), vinculado ao Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento do Brasil;
- c) Bulas dos agrotóxicos, emitidos pelos respectivos fabricantes e aprovados por órgãos competentes, tais como ANVISA (Agencia Nacional de Vigilância Sanitária) e IBAMA (Instituto Brasileiro de Meio Ambiente), por exemplo.

O escopo temporal dos dados é da safra de 2010/2011, período que contempla desde a primeira atividade, que foi o preparo do solo de cada lavoura, bem como suas respectivas colheitas. Nesse ínterim, acredita-se que a cobertura temporal destes dados está completamente vinculada à cobertura tecnológica do sistema estudado, pois neste é empregado um nível tecnológico muito alto, implicando em uma representatividade destes dados para os processos de produção do milho convencional (objeto deste estudo

de caso) diretamente associados ao tempo em que este estiver sendo plantado nas fazendas localizadas no município de Cristalina.

Isso porque na produção do milho convencional há maior demanda por agrotóxicos, que diretamente incide em uma maior demanda por recursos não renováveis devido à utilização do óleo diesel como combustível na maioria dos equipamentos agrícolas, e também em uma maior demanda por recursos renováveis, quando os sistemas analisados apresentarem características semelhantes ao deste estudo de caso, com a utilização de pivôs para aspergir a água na cultura e o uso de aviões movidos a etanol para pulverizar agrotóxicos na lavoura, por exemplo.

Neste sentido, alguns aspectos que justificam a afirmação de que os níveis tecnológicos empregados neste estudo de caso possam ser considerados como avançados estão associados ao emprego de técnicas de trabalho e equipamentos agrícolas condizentes com os padrões das grandes áreas estudadas, pois apresentam as seguintes características:

- a) Lavoura plantada em sistema de plantio direto;
- b) Proprietários com sólidos conhecimentos sobre as técnicas de manutenção da cultura e sistemas de gestão empresarial;
- c) Acompanhamento constante da sanidade da lavoura por técnicos agrícolas e agrônomos, desde o plantio até a colheita;
- d) Utilização de equipamentos agrícolas que são revisados constantemente pelos proprietários, apresentando bom estado de conservação, com tempo médio de utilização de aproximadamente cinco anos, tal a Tabela 16 enfatiza a situação de cada equipamento envolvido neste estudo nos seguintes termos: tipo de equipamento, modelo e fabricante, ano de fabricação, finalidade e combustível utilizado.

Tabela 16. Situação dos equipamentos utilizados na produção do milho semente e do milho grão.

Equipamento	Fabricante / modelo	Ano de fabricação	Finalidade	Combustível do equipamento
Avião pulverizador	Embraer / Ipanema	2008	Pulverizar agrotóxicos	Álcool
Pulverizador	Stara / Gladiador 3000	2010	Pulverizar agrotóxicos	Óleo diesel
Trator 1	Massey Ferguson /680	2003	Rebocar plantadeira	Óleo diesel
Trator 2	Massey Ferguson / 290	1993	Rebocar aplicador de KCl e máquina de aplicação de uréia	Óleo diesel
Trator 3	Massey Ferguson /	2003	Transporte dos cortadores de pendão	Óleo diesel
Colheitadeira 1	John Deere / 1450	2004	Colheita do milho grão	Óleo diesel
Colheitadeira 2	OXBO / DB 18	2009	Colheita do milho semente	Óleo diesel
Máquina de retirar pendão	Massey Ferguson /	2009	Cortar pendões da planta	Óleo diesel
Pivô de irrigação	Fockink / S2 2LL 5LM 8”3LL Lb 26m	2010	Irigar terreno plantado	Energia elétrica

Dessa forma, os dados relacionados aos consumos destes equipamentos e dos demais insumos são apresentados nas tabelas que servem de base para o cálculo do inventário desta ACV em termos do consumo médio por hectare e do consumo pela unidade funcional, refletindo diretamente a situação estudada no período compreendido da safra em questão. Logo, seus valores foram obtidos mediante o cálculo do fluxo de massa das entradas, que serviu como parâmetro para avaliação do sistema de produto.

Portanto, dado as características intrínsecas do agronegócio brasileiro, considera-se este caso passível de reprodutibilidade por outros pesquisadores que possuam como foco fazer estudo semelhante em outras culturas, e não apenas a do milho. As atividades agrícolas analisadas neste estudo de caso se diferenciam muito pouco dos processos de produção das principais commodities agrícolas do Brasil. Sendo assim, os potenciais impactos ambientais que cada uma apresenta podem ser detalhados ao se reproduzir este estudo.

8 - Pressupostos

Este estudo parte do pressuposto de que as duas áreas plantadas já estavam sendo utilizadas com a finalidade agrícola. Isso implica que não foram considerados os processos de retirada da mata nativa destas áreas nem os de correção do solo desde a retirada desta mata até a atual safra. Portanto, dado que as áreas em questão pertencem à região do centro-oeste brasileiro onde prepondera o bioma do cerrado, não são considerados os impactos ocasionados à biodiversidade do cerrado em decorrência de sua retirada para ocupação agrícola nem toda quantidade de insumos agrícolas consumidos desde então.

Já em relação aos cálculos utilizados neste estudo, afirma-se que para o da concentração de massa do óleo diesel, álcool e água, foram utilizados como parâmetros as seguintes concentrações de massa por litro: óleo diesel, 0,85%; álcool, 0,80% (OMETTO, 2005); água, 100% .

Com relação ao cálculo da água consumida, afirma-se que aquela consumida na diluição dos agrotóxicos foi diretamente calculada. Já a utilizada na irrigação da cultura leva em consideração o consumo médio dos dois pivôs instalados na propriedade no decorrer do ciclo de produção do milho. Dessa forma, a base da informação sobre este consumo médio foi obtida mediante consulta de técnicos em irrigação , agrônomos e proprietários da fazenda.

Nesse ínterim, dado que o milho grão e o semente fazem parte do mesmo ano safra, afirma-se que o plantio do milho grão não foi realizado com as sementes oriundas da colheita do milho semente apresentado neste estudo de caso. No entanto, o milho grão foi plantado com sementes adquiridas diretamente da empresa beneficiadora, produzidas na safra do ano anterior em sistema produtivo semelhante ao do milho semente apresentado neste estudo de caso.

Para o cálculo da quantidade de sementes lançadas em cada tipo de cultura, foi utilizado como parâmetro a quantidade de sessenta mil sementes contidas em um saco de aproximadamente vinte quilos. Em relação a tal quantidade, julga-se viável afirmar que as sementes de milho atualmente não são vendidas pelo peso, mas sim pela quantidade padronizada de sessenta mil sementes que possuem massa de aproximadamente vinte quilos. Assim, pressupõe-se que nos 36,63 kg de sementes

plantadas por hectare no milho semente constam aproximadamente 109.900 sementes. Já nos 23,33 kg de sementes plantadas por hectare na lavoura do milho grão, pressupõe-se que foram lançadas ao solo aproximadamente 70 mil sementes.

O cálculo para contagem da unidade funcional levou em consideração a participação percentual de cada insumo consumido para se obter o milho destinado ao mercado de ração. Dessa forma, os consumos totais de cada sistema foram mensurados e proporcionalizados pelas quantidades necessárias para suprirem as necessidades da unidade funcional.

Portanto, dado que a unidade funcional é a produção de 1000 kg de grãos de milho, os dados do inventário devem ser relacionados à produção das sementes necessárias para se produzir uma tonelada destes grãos, tanto no sistema produtivo do milho semente quanto no do milho grão. Dado que tanto o milho grão quanto o milho semente foram plantados em uma área de 60 ha cada, apresenta-se a Figura 16, que contribui para o entendimento dos valores levados em consideração para se calcular a unidade funcional.

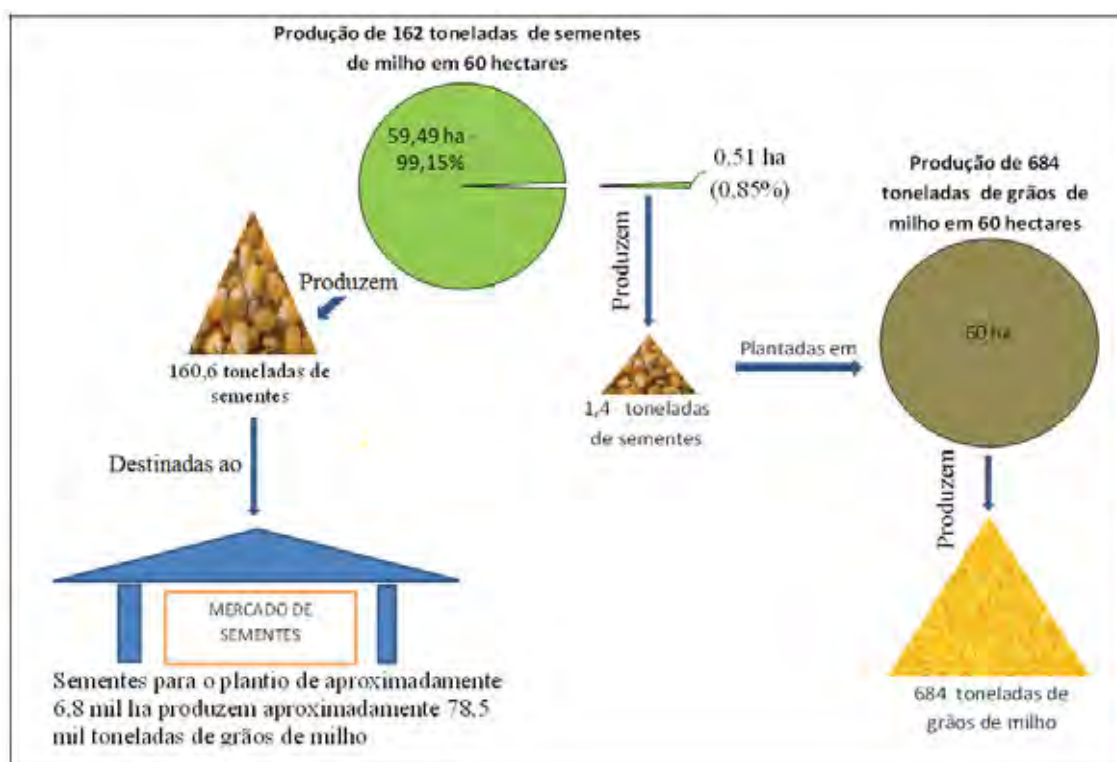


Figura 16. Esboço do destino dos 60 hectares de milho semente até o plantio dos 60 hectares do milho grão.

Assim, os 60 ha plantados com milho semente foram produzidas 162 toneladas de sementes. Dado que nos 60 ha plantados com milho grão foram consumidos 1,4 toneladas de sementes e colhidos 684 toneladas grãos de milho, pode-se afirmar que, teoricamente, estas 1,4 toneladas foram oriundas de apenas 0,85% da área do milho semente, ou seja, 0,51ha.

Neste sentido, o restante das sementes que não foram utilizadas no plantio do milho grão, foi destinado ao mercado de sementes. Portanto, tal mercado recebeu 160,6 toneladas de milho, produzidas em 99,15% da área do milho semente. Caso estas 160,6 toneladas sejam plantadas em condições semelhantes ao deste estudo, oferecendo também uma rentabilidade de 11,4 toneladas por hectare, pode-se supor que elas seriam suficientes para plantar aproximadamente 6,882 ha, o que acarretaria em uma oferta de aproximadamente 78,5 mil toneladas de grãos de milho para o mercado de ração.

Dessa forma, a base para o cálculo da unidade funcional deste estudo fica restrita a proporção dos insumos necessários para se produzirem 1000 kg de grãos de milho no sistema produtivo do milho grão, e a proporção dos insumos requeridos pelo sistema produtivo do milho semente para se produzirem as sementes plantadas na área do milho grão que formarão os 1000 kg de grãos de milho. Neste sentido, a Figura 17 apresenta em detalhes o fluxo do sistema de cálculo da unidade funcional deste estudo.

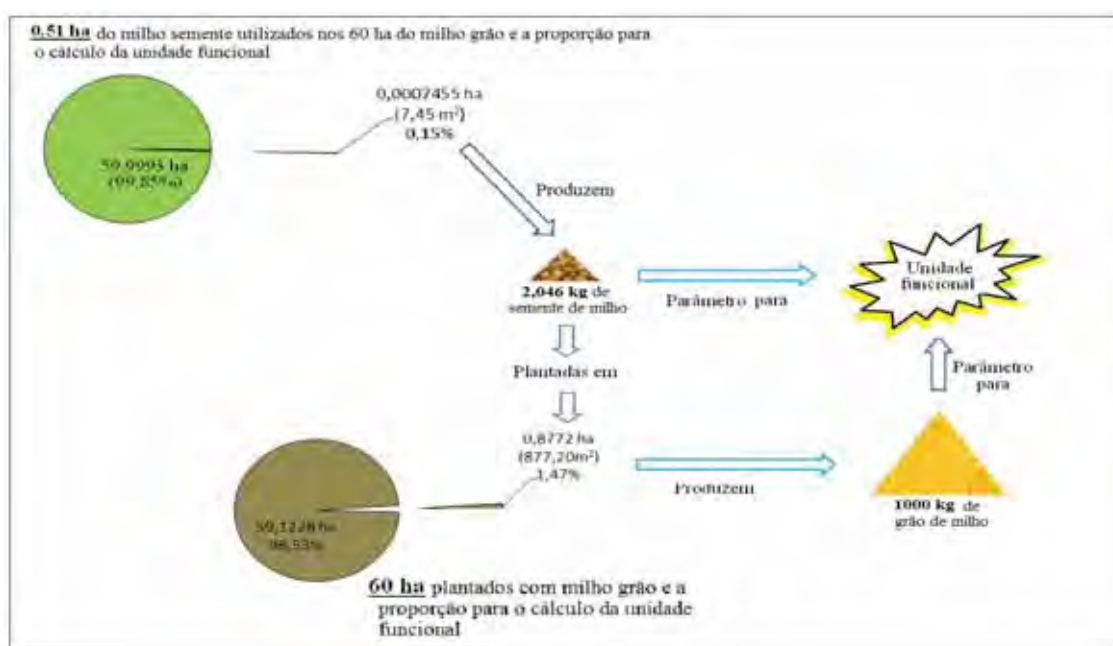


Figura 17. Formação da base de cálculo da unidade funcional.

Observa-se por esta Figura que os 0,51 ha representam a área que produziu as 1,4 toneladas de sementes que foram plantadas nos 60 ha da área do milho grão e que resultaram numa colheita de 684 toneladas de grãos de milho. Assim, como a unidade funcional é a produção de 1000 kg de grãos de milho, a proporção da área do milho semente necessária para se produzir as sementes que dão origem a estes 1000 kg de grãos é aproximadamente 0,0007455 ha, ou seja, 7,45 m². Desta área, resulta uma produção de 2,046 kg de sementes, que são plantadas nos 0,8772 ha (877,2 m²) para serem colhidos os 1000 kg de grãos de milho. Portanto, a base para a unidade funcional deste estudo leva em consideração os insumos gastos em 7,45 m² da área do milho semente e os insumos gastos em 877,2 m² do milho grão.

9 - Limitações

Os dados deste estudo são limitados a uma única safra e às fronteiras do sistema da produção agrícola do milho grão.

10 - Tipo de revisão crítica aplicada ao estudo

Além do autor do trabalho, a revisão crítica deste ICV será uma avaliação composta por três professores doutores.

11 - Tipo e formato do relatório para o estudo

Tal como sugere Rebitizer *et al.* (2004), no desenvolvimento do projeto houve sinergia entre os agentes envolvidos direta e indiretamente com o objeto de estudo. Entre estes, citam-se: pesquisadores especialistas em ACV, proprietários da fazenda, engenheiros agrônomos consultores da propriedade e também representantes da empresa que beneficia o milho semente após este ser colhido.

Partindo-se do pressuposto que este documento se trata de uma dissertação de mestrado, afirma-se que seu modelo de apresentação se assemelha a um relatório de terceira parte, pois:

- a) Possui como alvo comunicar seus resultados em caráter de domínio público;
- b) Os dados utilizados são idôneos e representativos de sistemas de produção típicos do agronegócio brasileiro;
- c) Não há informações confidenciais preservadas, além do nome da propriedade e de seu respectivo proprietário.

d) Cada processo foi exposto e explicado, visando uma possível reprodução de estudos semelhantes e também a contribuição para o entendimento das entradas e saídas associadas ao objeto de estudo.

Apresentado a definição do objetivo e do escopo deste estudo de caso, parte-se para apresentação do inventário do ciclo de vida deste objeto de estudo.

3.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

O inventário deste estudo é apresentado seguindo a divisão dos processos elementares do sistema de produto do milho grão, apresentado pela Figura 14. Objetiva-se com este inventário angariar informações importantes para o campo ambiental associadas diretamente aos processos elementares, em consonância com a definição do escopo, apresentadas em função da concentração para a unidade funcional e também em função da concentração para produção de um ha para possíveis comparações entre os processos de produção do milho semente e do milho grão.

Neste contexto, as Tabelas 17 a 31 apresentam os resultados da análise do inventário deste estudo, tanto para os dados quantitativos quanto para os qualitativos. Por estas tabelas é possível se identificar, além do insumo, sua respectiva função, a quantidade total consumida por hectare (desconsiderados as concentrações), a concentração de massa do elemento ativo do agrotóxico por hectare, a concentração de massa deste elemento ativo necessário para se obter os 1000 kg de milho grão e também os graus de periculosidade ambiental e toxicidade de cada agrotóxico.

Neste sentido, afirma-se que os agrotóxicos consumidos não estão referenciados pelos seus nomes comerciais, mas sim pela composição dos elementos ativos de cada um. Além disso, as referências para os graus de concentração de cada elemento ativo, graus de periculosidade ambiental e de toxicidade se baseiam em dados expostos pela Tabela 13 (apresentada no subtítulo 2.3.2 deste documento), que por sua vez se baseia em AGROFIT (2011) e Andrei (2009).

Tabela 17. Resultado dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de preparo do solo do milho semente

Parâmetros	Unidade	Quantidade por ha	Quantidade para Unidade Funcional (kg)
PREPARO DO SOLO DO MILHO SEMENTE			
Agrotóxicos			
Herbicida	kg	1,7080	0,00129459
Glifosato	kg	1,6800	0,00127337
Carfentrazona-etílica	kg	0,0280	0,00002122
Inseticida/acaricida/adjuvante	kg	0,3800	0,00028802
Óleo mineral	kg	0,3800	0,00028802
Recursos renováveis			
Água	kg	200,0000	0,15159185
Diluição de agrotóxicos	kg	200,0000	0,15159185
Recursos não renováveis			
Óleo diesel	kg	0,3188	0,00024160
Combustível do pulverizador	kg	0,3188	0,00024160

Tabela 18. Resultado dos dados qualitativos da análise do inventário relacionado à fase de preparo do solo do milho semente

Insumos	Função do insumo	Periculosidade ambiental	Classe toxicológica
Glifosato	Herbicida	I	II
Carfentrazona-etílica	Herbicida	II	II
Óleo mineral	Inseticida / acaricida / adjuvante	III	IV
Éster metílico de óleo de soja	Adjuvante	NÃO USOU	NÃO USOU

Tabela 19. Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de plantio do milho semente

Parâmetros	Unidade	Quantidade por ha	Quantidade para Unidade Funcional (kg)
PLANTIO DO MILHO SEMENTE			
Agrotóxicos			
Inseticida	kg	0,2100	0,00015917
Imidacloprido	kg	0,0525	0,00003979
Tidiocarbe	kg	0,1575	0,00011938
Acaricida	kg	0,0075	0,00000568
Óxido de fembutatina	kg	0,0075	0,00000568
Fertilizantes			
Mais representativos	kg	206,4900	0,15711373
Nitrogênio	kg	34,4000	0,02607380
Fósforo	kg	120,4000	0,09125829
Potássio	kg	51,6000	0,03911070
Cobalto	kg	0,0450	0,00033547
Molibidênio	kg	0,0450	0,00033547
Sementes de milho			
Sementes de milho semente	kg	36,6300	0,02776405
Recursos não renováveis			
Óleo diesel	kg	8,5000	0,00644265
Combustível do trator	kg	8,5000	0,00644265

Tabela 20. Resultados dos dados qualitativos da análise do inventário relacionado à fase de plantio do milho semente

Insumos	Função do insumo	Periculosidade ambiental	Classe toxicológica
Imidacloprido	Inseticida	II	II
Tidiocarbe	Inseticida	II	II
Óxido de fembutatina	Acaricida	II	I

Tabela 21. Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de tratamentos culturais do milho semente

Parâmetros	Unidade	Quantidade por ha	Quantidade para Unidade Funcional (kg)
TRATOS CULTURAIS DO MILHO SEMENTE			
Agrotóxicos			
Herbicida	kg	3,7240	0,00282264
Atrazina	kg	2,4800	0,00187974
Atrazina II	kg	1,4800	0,00112178
Atrazina III	kg	1,0000	0,00075796
S-Metalacloro	kg	1,1600	0,00087923
Tembotriona	kg	0,0840	0,00006367
Fungicida	kg	1,0240	0,00077615
Azoxistrobina	kg	0,2400	0,00018191
Ciproconazol	kg	0,5440	0,00041233
Tebuconazol	kg	0,2400	0,00018191
Inseticida	kg	1,0452	0,00079222
Chlorantraniciprole	kg	0,0100	0,00000758
Clorpirifós	kg	0,1920	0,00014553
Espinosade	kg	0,0864	0,00006549
Fenpropatrina	kg	0,1200	0,00009096
Lambda Cialotrina	kg	0,0424	0,00003214
Metomil	kg	0,2580	0,00019555
Tiametoxam	kg	0,0564	0,00004275
Tiodicarbe	kg	0,2800	0,00021223
Inseticida/acaricida/adjuvante	kg	1,9000	0,00144012
Óleo mineral	kg	1,9000	0,00144012
Adjuvante	kg	1,1480	0,00087014
Éster metílico de soja	kg	0,7200	0,00054573
Óleo mineral	kg	0,4280	0,00032441
Compostos para nutrir e nitrogenar o solo			
Principais compostos	kg	428,0000	0,32440656
Potássio	kg	78,0000	0,05912082
Uréia	kg	350,0000	0,26528574
Recursos renováveis			
Água	kg	40860,0000	3032,48184
Aspergida pelo pivô de irrigação	kg	40000,0000	3031,83700
Diluição de agrotóxicos	kg	860,0000	0,65184496
Energia elétrica	Kw	1,2200	0,00092470
Mover pivô de irrigação	Kw	1,2200	0,00092470
Etanol	kg	4,8000	0,00363820
Combustível do avião pulverizador	kg	4,8000	0,00363820
Recursos não renováveis			
Óleo diesel	kg	2,8688	0,00217440
Combustível do pulverizador	kg	1,5938	0,00120800
Combustível dos tratores	kg	1,2750	0,00096640

Tabela 22. Resultados dos dados qualitativos da análise do inventário relacionado à fase de tratamentos culturais do milho semente

Insumos	Função do insumo	Periculosidade ambiental	Classe toxicológica
S-Metolaclopro	Herbicida	II	II
Atrazina	Herbicida	II	III
Atrazina	Herbicida	III	II
Azoxistrobina	Fungicida	II	III
Chlorantrianiprole	Inseticida	II	III
Ciproconazol	Fungicida	II	III
Clorpirifós	Inseticida	IV	IV
Espinosade	Inseticida	III	III
Éster metílico de óleo de soja	adjuvante	IV	IV
Fenpropatrina	Inseticida	II	II
Lambda Cialotrina	inseticida	II	I
Lufenuron	Inseticida	NÃO USOU	NÃO USOU
Metomil	Inseticida	III	I
Óleo mineral	Inseticida / acaricida / adjuvante	III	IV
Óleo mineral	Adjuvante	III	IV
Permetrina	Inseticida	NÃO USOU	NÃO USOU
Tebuconazol	Fungicida	II	III
Tebuconazol	Fungicida	II	IV
Tembotriona	Herbicida	III	III
Tiametoxam	Inseticida	II	I
Tiodicarbe	Inseticida	III	II

Tabela 23. Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de despendimento do milho semente

Parâmetros	Unidade	Quantidade por ha	Quantidade para Unidade Funcional (kg)
DESPENDOAMENTO DO MILHO SEMENTE			
Recursos não renováveis			
Óleo diesel	kg	10,2850	0,00779561
Combustível da máquina de retirar pendão	kg	6,0350	0,00457428
Combustível do trator	kg	4,2500	0,00322133

Tabela 24. Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de colheita do milho semente

Parâmetros	Unidade	Quantidade por ha	Quantidade para Unidade Funcional (kg)
COLHEITA DO MILHO SEMENTE			
Recursos não renováveis			
Óleo diesel	kg	7,6500	0,00579839
Combustível da colheitadeira	kg	7,6500	0,00579839

Tabela 25. Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de preparo do solo do milho grão

Parâmetros	Unidade	Quantidade por ha	Quantidade para Unidade Funcional (kg)
PREPARO DO SOLO DO MILHO GRÃO			
Agrotóxicos			
Herbicida	kg	1,7080	0,14982456
Glifosato	kg	1,6800	0,14736842
Carfentrazona-etílica	kg	0,0280	0,00245614
Adjuvante	kg	0,3600	0,03157895
Éster metílico de óleo de soja	kg	0,3600	0,03157895
Recursos renováveis			
Água	kg	200,0000	17,54385965
Diluição de agrotóxicos	kg	200,0000	17,54385965
Recursos não renováveis			
Óleo diesel	kg	0,3188	0,02796053
Combustível do pulverizador	kg	0,3188	0,02796053

Tabela 26. Resultados dos dados qualitativos da análise do inventário relacionado à fase de preparo do solo do milho grão

Insumos	Função do insumo	Periculosidade ambiental	Classe toxicológica
Glifosato	Herbicida	II	III
Carfentrazona-etílica	Herbicida	II	II
Óleo mineral	Inseticida / acaricida / adjuvante	NÃO USOU	NÃO USOU
Éster metílico de óleo de soja	Adjuvante	IV	IV

Tabela 27. Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de plantio do milho grão

Parâmetros	Unidade	Quantidade por ha	Quantidade para Unidade Funcional (kg)
PLANTIO DO MILHO GRÃO			
Agrotóxicos			
Inseticida	kg	0,1362	0,01194737
Imidacloprido	kg	0,0341	0,00298684
Tidíocarbe	kg	0,1022	0,00896053
Acaricida	kg	0,4875	0,04276316
Óxido de fembutatina	kg	0,4875	0,04276316
Fertilizantes			
Mais representativos	kg	206,4900	18,10593410
Nitrogênio	kg	34,4000	3,01754386
Fósforo	kg	120,4000	10,56140351
Potássio	kg	51,6000	4,52631579
Cobalto	kg	0,0450	0,00033547
Molibidênio	kg	0,0450	0,00033547
Sementes de milho			
Sementes de milho grão	kg	23,3000	2,04385965
Recursos não renováveis			
Óleo diesel	kg	3,4000	0,29824561
Combustível do trator	kg	3,4000	0,29824561

Tabela 28. Resultados dos dados qualitativos da análise do inventário relacionado à fase de plantio do milho grão

Insumos	Função do insumo	Periculosidade ambiental	Classe toxicológica
Imidacloprido	Inseticida	II	II
Tidíocarbe	Inseticida	II	II
Óxido de fembutatina	Acaricida	II	I

Tabela 29 . Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de tratamentos culturais do milho grão

Parâmetros	Unidade	Quantidade por ha	Quantidade para Unidade Funcional (kg)
TRATOS CULTURAIS DO MILHO GRÃO			
Agrotóxicos			
Herbicida	kg	2,8400	0,24912281
Atrazina	kg	1,6800	0,14736842
Atrazina II	kg	1,4800	0,12982456
Atrazina III	kg	0,2000	0,01754386
S-Metalacloro	kg	1,1600	0,10175439
Fungicida	kg	0,1680	0,01473684
Azoxistrobina	kg	0,1200	0,01052632
Ciproconazol	kg	0,0480	0,00421053
Inseticida	kg	0,3414	0,02994737
Lufenuron	kg	0,0450	0,00394737
Metomil	kg	0,2580	0,02263158
Permetrina	kg	0,0384	0,00336842
Inseticida/acaricida/adjuvante	kg	0,7600	0,06666667
Óleo mineral	kg	0,7600	0,06666667
Adjuvante	kg	1,5080	0,13228070
Éster metílico de soja	kg	1,0800	0,09473684
Óleo mineral	kg	0,4280	0,03754386
Compostos para nutrir e nitrogenar o solo			
Principais compostos	kg	430,1400	37,73157895
Potássio	kg	80,0000	7,01754386
Uréia	kg	350,0000	30,70175439
Manganês	kg	0,1400	0,01228070
Recursos renováveis			
Água	kg	4000910,0000	350957,0175
Aspergida pelo pivô de irrigação	kg	4000000,0000	350877,1929
Diluição de agrotóxicos	kg	910,0000	79,82456140
Energia elétrica			
Mover pivô de irrigação	kw	1,2200	0,10701754
Etanol	kg	2,4000	0,21052632
Combustível avião pulverizador	kg	2,4000	0,21052632
Recursos não renováveis			
Óleo diesel	kg	2,5628	0,22480263
Combustível do pulverizador	kg	1,2878	0,11296053
Combustível dos tratores	kg	1,2750	0,11184211

Tabela 30. Resultados dos dados qualitativos da análise do inventário relacionado à fase de tratamentos culturais do milho grão

Insumos	Função do insumo	Periculosidade ambiental	Classe toxicológica
S-Metolaclozolo	Herbicida	II	II
Atrazina	Herbicida	II	III
Atrazina	Herbicida	III	II
Azoxistrobina	Fungicida	II	III
Chlorantraniliprole	Inseticida	NÃO USOU	NÃO USOU
Ciproconazol	Fungicida	II	III
Clorpirifós	Inseticida	NÃO USOU	NÃO USOU
Espinosade	Inseticida	NÃO USOU	NÃO USOU
Éster metílico de óleo de soja	adjuvante	IV	IV
Fenpropatrina	Inseticida	NÃO USOU	NÃO USOU
Lambda Cialotrina	inseticida	NÃO USOU	NÃO USOU
Lufenuron	Inseticida	II	IV
Metomil	Inseticida	II	I
Óleo mineral	Inseticida / acaricida / adjuvante	III	IV
Óleo mineral	Adjuvante	III	IV
Permetrina	Inseticida	II	III
Tebuconazol	Fungicida	NÃO USOU	NÃO USOU
Tebuconazol	Fungicida	NÃO USOU	NÃO USOU
Tembotriona	Herbicida	NÃO USOU	NÃO USOU
Tiametoxam	Inseticida	NÃO USOU	NÃO USOU
Tiodicarbe	Inseticida	NÃO USOU	NÃO USOU

Tabela 31. Resultados dos dados quantitativos da análise do inventário relacionado à fase de colheita do milho grão

Parâmetros	Unidade	Quantidade por ha	Quantidade para Unidade Funcional (kg)
COLHEITA DO MILHO GRÃO			
Recursos não renováveis			
Óleo diesel	kg	10,6250	0,93201754
Combustível da colheitadeira	kg	10,6250	0,93201754

Demstrado o inventário do ciclo de vida do milho grão, parte-se para as etapas de avaliação de impacto do ciclo de vida e interpretação do ciclo de vida do milho grão, tal como especificado no escopo deste estudo.

3.3 AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA E INTERPRETAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ESTUDO DE CASO

Dado que a apresentação do inventário do ciclo de vida foi dividida pelos processos elementares pertinentes ao sistema de produto, a avaliação de impacto do ciclo de vida do milho grão e sua respectiva interpretação são da mesma forma elencados. Desse modo, os resultados do inventário deste estudo são usados para apontar os potenciais impactos associados aos processos que fazem parte do ciclo de vida do milho grão. Neste sentido, para cada unidade de processo, são realizadas as avaliações quantitativas para o consumo de recursos renováveis e não renováveis e as avaliações qualitativas quanto ao grau de periculosidade ambiental e toxicológica pertinente aos agrotóxicos utilizados no ciclo de vida estudado.

3.3.1 Avaliação quantitativa dos recursos renováveis e não renováveis consumidos no ciclo de vida do milho grão

Os insumos renováveis consumidos avaliados são: água, etanol e energia elétrica. Por outro lado, o único insumo não renovável avaliado é o consumo de diesel. Assim, a Tabela 32 apresenta os resultados quantitativos referentes aos consumos de recursos renováveis para aquelas unidades de processos que consumiram este tipo de recurso por unidade funcional.

Tabela 32. Consumo de recursos renováveis no ciclo de vida do milho grão

Unidade de processo	Recursos renováveis para unidade funcional		
	Água (kg)	Etanol (kg)	Energia elétrica (kw)
1^a Preparo do solo do milho semente	0,1516	Não usou	Não usou
3^a Tratos culturais do milho semente	3.032,4818	0,003638	0,000925
6^a Preparo do solo do milho grão	17,5439	Não usou	Não usou
8^a Tratos culturais do milho grão	350.957,0175	0,210526	0,107018

Dessa forma, tendo como base a unidade funcional, verifica-se que a oitava unidade de processo foi que mais consumiu água, etanol e energia elétrica. O maior consumo de água e energia elétrica nesta etapa ocorreu principalmente em função da irrigação. Já o consumo de etanol é devido às intervenções para se aplicar agrotóxicos com o uso de um avião agrícola pulverizador movido a este combustível.

Neste ínterim, a Tabela 33 apresenta o consumo de óleo diesel para cada unidade de processo para a unidade funcional e também em relação ao consumo por hectare.

Tabela 33. Consumo de recursos não renováveis no ciclo de vida do milho grão

Unidade de processo		kg de recurso não renovável - óleo diesel	
		Por hectare	Para unidade funcional
1 ^a	Preparo do solo do milho semente	0,3188	0,000242
3 ^a	Tratos culturais do milho semente	2,8688	0,002174
5 ^a	Colheita do milho semente	7,6500	0,005798
2 ^a	Plantio do milho semente	8,5000	0,006443
4 ^a	Despendoamento do milho semente	10,2850	0,007796
7 ^a	Plantio do milho grão	3,4000	0,298246
6 ^a	Preparo do solo do milho grão	0,0280	0,318750
8 ^a	Tratos culturais do milho grão	0,2248	2,562750
9 ^a	Colheita do milho grão	0,9320	10,625000

Assim, ao se avaliar o consumo de óleo diesel tendo como parâmetro a unidade funcional, verifica-se que a nona unidade de processo é a que mais consumiu este recurso não renovável (10,62 kg) devido, principalmente, ao alto consumo de óleo diesel da colheitadeira. No entanto, ao se avaliar o consumo de óleo diesel por hectare, verifica-se que as três maiores unidades de processo que consumiram este derivado de petróleo foram às associadas ao processo de produção do milho semente, sendo estas: despendoamento do milho semente (10,28 kg/ha), plantio do milho semente (8,50 kg/ha) e colheita do milho semente (7,65 kg/ha). Assim, estes consumos são maiores devido aos processos de manejo do milho semente serem diferenciados dos do milho grão, tal como exemplo: fase de despendoamento ocorrer apenas no processo do milho semente, plantio do milho semente requerer mais intervenções com maquinários do que no plantio do milho grão, por exemplo. Ainda, é necessário ressaltar que os tratores e as colheitadeiras utilizados nas fases de plantio e colheita consomem mais combustível do que o pulverizador utilizado mais frequentemente nas etapas de tratos culturais do milho semente e tratos culturais do milho grão.

3.3.2 Avaliação qualitativa dos graus de periculosidade ambiental e toxicidade relacionado aos agrotóxicos consumidos no ciclo de vida do milho grão.

A avaliação qualitativa dos graus de periculosidade ambiental e de toxicidade associada aos agrotóxicos consumidos é realizada separadamente, ou seja, em primeira

instância se avalia os graus de toxidade destes agrotóxicos e posteriormente os graus de periculosidade ambiental.

3.3.2.1 Avaliação semi-quantitativa da toxidade no ciclo de vida do milho grão

Tal avaliação fica melhor compreendida diante da exposição das Tabelas 34 e 35, que apresentam os graus de toxidade associados a cada unidade de processo do sistema de produto relacionados pela finalidade de cada elemento ativo, bem como as concentrações destes para a unidade funcional. Assim, a Tabela 34 faz estas apresentações para as seguintes unidades do processo que consumiram agrotóxicos: Preparo do solo do milho semente, Plantio do milho semente e tratos culturais do milho semente. Já a Tabela 35 para as demais, ou seja: preparo do solo do milho grão, plantio do milho grão e tratos culturais do milho grão.

Tabela 34. Relação das classificações de toxidade relacionada aos agrotóxicos consumidos no preparo do solo do milho semente, plantio do milho semente e tratos culturais do milho semente.

CLASSES DE TOXIDADE NAS UNIDADES DE PROCESSOS	Concentração par a unidade funcional (kg)
1° - PREPARO DO SOLO DO MILHO SEMENTE	
Classe I	Não constou
Classe II	0,00129459
Herbicidas	0,00129459
Classe III	Não constou
Classe IV	0,00028802
Óleo mineral	0,00028802
2° - PLANTIO DO MILHO SEMENTE	
Classe I	0,00000568
Acaricidas	0,00000568
Classe II	0,00015917
Inseticidas	0,00015917
Classe III	Não constou
Classe IV	Não constou
3° - TRATOS CULTURAIS DO MILHO SEMENTE	
Classe I	0,00027044
Inseticidas	0,00027044
Classe II	0,00230420
Herbicidas	0,00200101
Inseticidas	0,00030318
Classe III	0,00167085
Fungicidas	0,00077615
Herbicidas	0,00082163
Inseticidas	0,00007307
Classe IV	0,00263770
Adjuvante	0,00087014
Fungicidas	0,00018191
Inseticidas	0,00014553
Inseticidas/acaricidas/adjuvantes	0,00144012

Tabela 35. Relação das classificações de toxidade relacionada aos agrotóxicos consumidos no preparo do solo do milho grão, plantio do milho grão e tratos culturais do milho grão

CLASSES DE TOXIDADE NAS UNIDADES DE PROCESSOS	Concentração par a unidade funcional (kg)
6° - PREPARO DO SOLO DO MILHO GRÃO	
Classe I	Não constou
Classe II	Não constou
Classe III	0,18140351
Adjuvante	0,03157895
Herbicida	0,14982456
Classe IV	Não constou
7° - PLANTIO DO MILHO GRÃO	
Classe I	0,00000568
Acaricidas	0,00000568
Classe II	0,00015917
Inseticidas	0,00015917
Classe III	Não constou
Classe IV	Não constou
8° - TRATOS CULTURAIS DO MILHO GRÃO	
Classe I	0,02263158
Inseticidas	0,02263158
Classe II	0,23157895
Herbicidas	0,23157895
Classe III	0,03564912
Fungicidas	0,01473684
Herbicidas	0,01754386
Inseticidas	0,00336842
Classe IV	0,20289474
Adjuvante	0,13228070
Inseticidas	0,00394737
Inseticidas/acaricidas/adjuvantes	0,06666667

Dessa maneira, pode-se afirmar que a unidade de processo que mais apresenta potencialidade de ser tóxica é aquela onde consta uma maior concentração de insumos relacionados às classes, I, II, III e IV, respectivamente. Assim, diante dos dados das Tabelas 34 e 35, é possível se estabelecer uma matriz para se verificar quais processos elementares do ciclo de vida do milho grão são mais tóxicos. Neste sentido, o consumo total de cada classe toxicológica em todas as unidades de processo é apresentado pela Tabela 36, que contribui para a formação da matriz de avaliação das classificações de toxidade.

Tabela 36. Concentração total dos agrotóxicos associados às classes de toxidades nas unidades de processos do ciclo de vida do milho grão

Unidades de processo	Classes de toxidade			
	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
1 ^a Preparo do solo do milho semente	Não constou	0,00129459	Não constou	0,00028802
2 ^a Plantio do milho semente	0,00000568	0,00015917	Não constou	Não constou
3 ^a Tratos culturais do milho semente	0,00027044	0,00230420	0,00167085	0,00263770
6 ^a Preparo do solo do milho grão	Não constou	Não constou	0,18140351	Não constou
7 ^a Plantio do milho grão	0,00000568	0,00015917	Não constou	Não constou
8 ^a Tratos culturais do milho grão	0,02263158	0,23157895	0,03564912	0,20289474

Diante disso, a Tabela 37 apresenta a matriz para avaliação da toxidade envolvida no ciclo de vida do milho grão. Nesta matriz, os consumos de cada processo elementar em cada classe apresentados pela Tabela 36 estão ordenados ordinalmente para facilitar o entendimento.

Tabela 37. Matriz classificatória dos graus de toxidade dos agrotóxicos consumidos no ciclo de vida do milho grão.

Unidades de processo	Classes de toxidade			
	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
1 ^a Preparo do solo do milho semente	Não constou	3º	Não constou	3º
2 ^a Plantio do milho semente	3º	4º	Não constou	Não constou
3 ^a Tratos culturais do milho semente	2º	2º	3º	2º
6 ^a Preparo do solo do milho grão	Não constou	Não constou	1º	Não constou
7 ^a Plantio do milho grão	4º	5º	Não constou	Não constou
8 ^a Tratos culturais do milho grão	1º	1º	2º	1º

Portanto, pode-se afirmar que o processo que mais possui potencialidade de ser tóxico é o de tratos culturais do milho grão, pois este é elencado como o que mais utilizou insumos categorizados nas classificações “extremamente tóxicos” (Classe I) e “muito tóxicos (Classe II)”. Da mesma forma, pode se afirmar que o processo elementar tratos culturais do milho semente pode ser considerado como o segundo a possuir potencialidade de ser tóxico. Ao se analisar os tipos de insumos destes dois processos

elementares, verifica-se que são os inseticidas e os herbicidas que mais apresentam graus de nocividade toxicológica.

3.3.2.1 Avaliação qualitativa da periculosidade ambiental no ciclo de vida do milho grão.

A avaliação dos graus de periculosidade ambiental dos agrotóxicos consumidos no ciclo de vida do milho grão é auxiliada diante dos dados das Tabelas 38 e 39, coletados do inventário deste estudo e que apresentam as classes de periculosidade ambiental de cada unidade de processo do sistema de produto relacionadas pela finalidade do elemento ativo, bem como de suas concentrações para unidade funcional. Dessa forma, enquanto a Tabela 38 apresenta os processos elementares de preparo do solo do milho semente, plantio do milho semente e tratos culturais do milho semente, a Tabela 39 faz as apresentações do preparo do solo do milho grão, do plantio do milho grão e dos tratos culturais do milho grão.

Tabela 38. Relação dos graus de periculosidade ambiental relacionados aos agrotóxicos consumidos no preparo do solo do milho semente, plantio do milho semente e tratos culturais do milho semente.

CLASSES DE PERICULOSIDADE AMBIENTAL NAS UNIDADES DE PROCESSOS	Concentração par a unidade funcional (kg)
1º - PREPARO DO SOLO DO MILHO SEMENTE	
Classe I	Não constou
Classe II	0,00129459
Herbicidas	0,00129459
Classe III	0,00028802
Inseticida / acaricida/ adjuvante	0,00028802
Classe IV	Não constou
2º - PLANTIO DO MILHO SEMENTE	
Classe I	Não constou
Classe II	0,00004548
Inseticidas	0,00003979
Acaricida	0,00000568
Classe III	0,00011938
Inseticida	0,00011938
Classe IV	Não constou
3º - TRATOS CULTURAIS DO MILHO SEMENTE	
Classe I	0,00014553
Inseticidas	0,00014553
Classe II	0,00295058
Fungicidas	0,00077615
Herbicidas	0,00200101
Inseticidas	0,00017342
Classe III	0,00305943
Herbicidas	0,00082163
Inseticidas	0,00047327
Inseticida / acaricida/ adjuvante	0,00144012
Adjuvante	0,00032441
Classe IV	0,00054573
Adjuvante	0,00054573

Tabela 39. Relação dos graus de periculosidade ambiental relacionados aos agrotóxicos consumidos no preparo do solo do milho grão, plantio do milho grão e tratos culturais do milho grão.

CLASSES DE PERICULOSIDADE AMBIENTAL NAS UNIDADES DE PROCESSOS	Concentração par a unidade funcional (kg)
6° - PREPARO DO SOLO DO MILHO GRÃO	
Classe I	Não constou
Classe II	0,14982456
Herbicidas	0,14982456
Classe III	Não constou
Classe IV	0,03157895
Adjuvante	0,03157895
7° - PLANTIO DO MILHO GRÃO	
Classe I	Não constou
Classe II	0,04575000
Inseticidas	0,00298684
Acaricidas	0,04276316
Classe III	0,00896053
Inseticidas	0,00896053
Classe IV	Não constou
8° - TRATOS CULTURAIS DO MILHO GRÃO	
Classe I	0,00336842
Inseticidas	0,00336842
Classe II	0,25026316
Herbicidas	0,23157895
Fungicidas	0,01473684
Inseticidas	0,00394737
Classe III	0,23912281
Herbicidas	0,01754386
Inseticidas	0,02263158
Inseticida/ acaricida / adjuvante	0,06666667
Adjuvante	0,13228070
Classe IV	Não constou

Diante de tais dados, pode-se afirmar que a unidade de processos do ciclo de vida do milho grão que mais apresenta potencialidade para causar perigo ao meio ambiente é aquela que possui mais concentrações de agrotóxicos associados às classes I, II, III e IV, respectivamente. Assim como no caso da toxidade, os dados das Tabelas 38 e 39 torna viável a construção de uma matriz para se analisar quais processos elementares do ciclo de vida do milho grão são mais perniciosos para o meio ambiente, tal como apresenta a Tabela 41, com base no resumo dos consumos totais apresentados Tabela 40.

Tabela 40. Concentração total dos agrotóxicos associados às classes periculosidade ambiental nas unidades de processos do ciclo de vida do milho grão

Unidades de processo	Classes de periculosidade ambiental			
	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
1 ^a Preparo do solo do milho semente	Não constou	0,00129459	0,00028802	Não constou
2 ^a Plantio do milho semente	Não constou	0,00004548	0,00011938	Não constou
3 ^a Tratos culturais do milho semente	0,00014553	0,00295058	0,00305943	0,00054573
6 ^a Preparo do solo do milho grão	Não constou	0,14982456	Não constou	0,03157895
7 ^a Plantio do milho grão	Não constou	0,04575000	0,00896053	Não constou
8 ^a Tratos culturais do milho grão	0,00336842	0,25026316	0,23912281	Não constou

Tabela 41. Matriz classificatória dos graus de periculosidade ambiental dos agrotóxicos consumidos no ciclo de vida do milho grão.

Unidades de processo	Classes de periculosidade ambiental			
	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
1 ^a Preparo do solo do milho semente	Não constou	5º	4º	Não constou
2 ^a Plantio do milho semente	Não constou	6º	5º	Não constou
3 ^a Tratos culturais do milho semente	2º	4º	3º	2º
6 ^a Preparo do solo do milho grão	Não constou	2º	Não constou	1º
7 ^a Plantio do milho grão	Não constou	3º	2º	Não constou
8 ^a Tratos culturais do milho grão	1º	1º	1º	Não constou

Logo, dado que as classes I, II, III e IV significam, respectivamente, produto altamente perigoso, produto muito perigoso, produto medianamente perigoso e produto pouco perigoso, o processo elementar do ciclo de vida do milho grão que pode ser considerado como mais pernicioso ao meio ambiente é o de tratos culturais do milho grão, que consumiu para a unidade funcional 3,37 gramas de agrotóxicos classificados como ‘altamente perigoso’, 250, 25 gramas de agrotóxicos classificados como “muito perigoso” e 239, 15 gramas classificados como medianamente perigoso. Neste sentido, pode se afirmar também que os agrotóxicos presentes no ciclo de vida do milho apresentam mais potencialidades para serem considerados “muito perigosos” (Classe II) e “medianamente perigosos” (Classe III). Isso porque em quatro unidades de processos não houve consumo de qualquer agrotóxicos pertencente à classe I (1º, 2º, 6º e 7º) nem à classe IV (1º, 2º, 7º e 8º).

Portanto, pode-se afirmar que no ciclo de vida do milho grão são as unidades de processos pertencentes ao processo de produção do milho grão que mais acarretam em impactos para todos os campos avaliados. Enquanto a unidade de processo de colheita do milho grão consome mais recursos renováveis, a unidade de processo dos tratamentos culturais do milho grão pode ser considerada como aquela que mais consome recursos renováveis, que é mais perigosa para o meio ambiente e também que é mais tóxica. No entanto, é preciso se ressaltar que estes resultados são das análises obtidas com base nos consumos para unidade funcional do ciclo de vida do milho grão, e não com base nos consumos por hectare dos processos de produção do milho semente e do milho grão.

Neste sentido, afirma-se que o presente estudo pode servir como parte integrante de um estudo mais amplo que englobe mais estágios da cadeia do ciclo de vida do milho, podendo, dessa forma, servir como subsídio para este. Contudo, por meio dos resultados deste estudo de caso, é possível indicar algumas propostas para melhoria ambiental do ciclo de vida estudado, sendo as principais:

- a) Utilização de sistemas de pulverização de água pelos pivôs que aplicam as quantidades necessárias para cada ponto isolado da lavoura, e não de forma homogênea, respeitando as necessidades hídricas de cada ponto isolado com o intuito de diminuir a quantidade de água consumida;
- b) Diminuição da dependência do agricultor pelas multinacionais fabricantes de insumos agrícolas;
- c) Necessidade de incremento de uma tecnologia viável economicamente para se substituir o óleo diesel consumido pelos equipamentos agrícolas por combustíveis derivados de fontes renováveis, tal como é o caso dos biocombustíveis, por exemplo.

4. CONCLUSÕES

Além das conclusões a respeito do ciclo de vida do milho grão, diversas outras podem ser elencadas, sendo as principais condizentes aos seguintes temas: a ferramenta de ACV e sobre seus campos metodológicos, ao panorama da cultura do milho no cenário nacional e também sobre a sustentabilidade do setor agrícola.

Assim, com base no ciclo de vida do milho grão é possível se afirmar que seus resultados podem ser representativos também do perfil ambiental da produção de milho do município de Cristalina. Isso porque os dados de produtividade de milho por hectare obtidos na unidade de coleta dos dados se assemelham aos da produtividade média no município como um todo. No entanto, é enfático se considerar que estes dados dificilmente podem simbolizar o perfil ambiental de produções de milho baseadas em técnicas ainda consideradas como de subsistência, cuja eficiência por hectare é muito abaixo das apresentadas pelo município de Cristalina.

Neste sentido, afirma-se que os fatores mais implicantes para esta constatação são aqueles associados ao escopo tecnológico desta ACV, pois pode ser atribuído ao nível tecnológico considerado como alto deste objeto de estudo como o principal responsável pela alta produtividade de milho por hectare ocorrido no sistema estudado, bem como ao município de Cristalina. Logo, isso influencia diretamente nos graus de impactos ambientais ocasionados pela cultura do milho em regiões onde são aplicadas robustos pacotes tecnológicos (com utilização de pivôs de irrigação e equipamentos agrícolas computadorizados, por exemplo), e em regiões onde são predominantes os sistema de cultivos tidos como de subsistência.

Nos locais onde há presença de tecnologias capazes de proporcionar rendimentos maiores, os impactos são menores em termos relativos, pois os impactos gerais são divididos pela quantidade de quilos colhidos por hectare. Portanto, pode-se afirmar que, em termos relativos, os impactos ambientais gerados pela cultura do milho são menores em Cristalina do que os da média brasileira, pois enquanto este município colhe 7,80 toneladas de milho por hectare, o Brasil colhe 3,71 toneladas de milho por hectare, por exemplo.

Contudo, após a conclusão deste estudo, abrem-se oportunidades para outros estudos serem desenvolvidos, também focados nos impactos ambientais ocasionados pela cultura do milho, tanto no sentido de englobarem uma maior quantidade de unidades produtivas do próprio município de Cristalina, como também no sentido de fazer ACVs comparativas. Assim, futuros estudos podem abranger mais unidades produtivas do município de Cristalina com o intuito oferecer uma avaliação mais próxima da realidade deste município, bem como desenvolverem ACVs comparativas da produção de milho convencional e da produção transgênica e também da produção sem alto emprego de tecnologia com a produção com alta tecnologia associada ao seu processo.

Neste sentido, julga-se também relevante o desenvolvimento de uma ACV do mesmo processo estudado, porém de maneira estritamente quantitativa com o auxílio de softwares específicos para que sejam estimados as potencialidades da cultura do milho do município de Cristalina ocasionar outros tipos de impactos relevantes no setor agrícola, tal como eutrofização, por exemplo. Da mesma forma, dado a quantidades de processos produtivos envolvidos no ciclo de vida da cadeia produtiva do milho, torna-se viável estudos que levem em consideração todas as etapas que não fizeram parte do sistema de produto do milho grão apresentados neste estudo.

No entanto, mesmo diante do fato da ACV poder contribuir de maneira significativa com os objetivos ambientais de sistemas agrícolas, ainda existem lacunas a serem preenchidas visando a total eficiência desta metodologia na agricultura. Logo, torna-se extremamente necessário o desenvolvimento de métodos que levem em consideração aspectos mais regionalizados, tais como os condizentes com as características da biodiversidade de cada região, pois diferentes tipos de impactos podem ocorrer em distintas regiões onde são aplicadas as mesmas quantidades de agrotóxicos, por exemplo.

Neste ínterim, dado a expansão da fronteira agrícola para a região centro-oeste e a representatividade desta região para o agronegócio brasileiro, torna-se viável o desenvolvimento de uma metodologia de ACV que considere os impactos que a agricultura pode causar para a biodiversidade da principal vegetação desta região, que é o cerrado, bem como para outros tipos de vegetações predominantes em outras

localidades, tais como a vegetação da caatinga, predominante no nordeste brasileiro e a vegetação dos campos sulinos, predominante no sul do Brasil, por exemplo.

Por outro lado, tão importante quanto desenvolver métodos mais eficientes, é a disseminação dos que já existem, principalmente para o caso do Brasil. Apesar das normas sobre ACV publicadas pela ABNT oferecerem um importante parâmetro para execução de estudos que focam no ciclo de vida do produto, estas não são tão claras quanto a forma de se desenvolver uma avaliação do ciclo de vida, pois praticamente listam uma infinidade de requisições sem da mesma forma listarem as metodologias de execução.

Nos meios de publicação científicos brasileiros, por exemplo, não se encontra uma vasta literatura sobre o tema tal como se encontra em trabalhos publicados em periódicos, livros e congressos internacionais. No entanto, isso não necessariamente quer dizer que não existam importantes trabalhos sobre ACV desenvolvidos no Brasil, pois muitos pesquisadores brasileiros optam por publicarem seus estudos em eventos internacionais em virtude das maiores pontuações que estes oferecem em comparação com as publicações de congressos nacionais e de alguns periódicos brasileiros. Por causa disso, julga-se de extrema relevância a existência de eventos nacionais especificamente voltados à ACV, tal como o I e o II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços.

Assim, a ampla disseminação da ferramenta ACV pode propiciar o aumento das chances de mais trabalhos serem desenvolvidos por meio de sua utilização direcionada para diversos segmentos, tais como o acadêmico, o industrial e o agrícola, por exemplo. Dessa maneira, ao se tomar como referência o setor agrícola brasileiro, verifica-se que ainda existe um longo caminho a ser percorrido rumo a sustentabilidade produtiva, sendo a ACV um instrumento importante para auxiliar as melhores estratégias direcionadas a otimização de sistemas que levem em consideração aspectos ambientais, e não somente econômicos.

Deste modo, o fato de o Brasil ser hoje um dos maiores celeiros agrícolas do mundo pode não ser motivos apenas de comemorações, pois ao mesmo tempo é também o maior consumidor de agrotóxicos do planeta. Assim, os preceitos da sustentabilidade produtiva devem alcançar também os campos brasileiros em uma amplitude maior.

Contudo, acredita-se que este objetivo somente será alcançado após mobilização pública, empresarial e, principalmente, política, pois o alto consumo de agrotóxicos nos campos brasileiros não tem como único responsável os agricultores deste país, tal como frequentemente se associa.

Portanto, a estratégia para se atingir a sustentabilidade produtiva nos campos brasileiros não deve ter como objetivo focar apenas em ações voltadas para o agricultor brasileiro. O interesse em ter alimentos mais saudáveis à mesa, fabricados em sistemas de produção mais limpa, deve nascer em cada ambiente familiar, no desejo de cada integrante da sociedade ter o máximo de qualidade de vida da comida que diariamente é ingerida. Neste sentido, tal desejo se faz valer de duas formas principais.

Enquanto uma parte da mobilização da sociedade em exigir de seus governantes políticas públicas direcionadas à redução de elementos nocivos à saúde e ao meio ambiente presentes no processo de fabricação dos alimentos, a outra parte diretamente da escolha de cada consumidor por optar pelo produto mais saudável disponível em cada gôndola de supermercado.

Para viabilidade de ambas as possibilidades, fica uma questão em aberto. - Como comprovar que ao longo de todo o processo produtivo de determinado alimento não foram utilizados produtos que são perniciosos à saúde? Dado as características de uma ACV, esta pode ser considerada como a maneira mais eficaz de se fazer tal comprovação, pois a avaliação será direcionada não somente para aqueles processos ocorridos na última etapa de processamento de determinado produto, mas para todos envolvidos no ciclo de vida deste.

Neste contexto, ao se tomar como exemplo a cadeia produtiva de suínos, de nada adianta uma avaliação apenas dos processos e insumos envolvidos na produção de determinado tipo de presunto, por exemplo, se no processo de criação dos porcos foram constantes a presença de produtos nocivos à saúde e ao meio ambiente, ou se, da mesma forma, tal fato não ocorreu na indústria processadora de ração ou também no processo de produção do milho que pode ter sido oriundo da unidade produtiva analisada neste estudo de caso.

Portanto, por mais sustentável que um único processo de determinado sistema produtivo seja, este sempre estará carregando às cargas da insustentabilidade dos

processos ocorridos a montante. Dessa forma, mesmo que ainda existam algumas limitações para se conduzir estudos de ACV direcionados a sistemas agrícolas, conclui-se que esta é uma ferramenta extremamente eficaz para fornecer informações relevantes sobre os impactos associados ao ciclo de vida de produtos agrícolas, bem como de outros segmentos produtivos, sendo as metodologias simplificadas importantes aliadas quando fatores como tempo e custo fornecerem de alguma forma barreiras para a execução de uma ACV.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, F.; HUERTA, E.; BURGEFF, C.; KOLEFF, P.; SARUKHAN, J. Is transgenic maize what Mexico really needs?. *Nature Biotechnology*.v.29,n.1,pp.23-24, 2011.

AGRIANUAL. *Anuário da agricultura brasileira*. São Paulo: FNP. p.490-496,2010.

ALENCAR, J.A.; Sistema de produção do melão. *Embrapa*, agosto de 2010. Disponível em:< <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br> >. Acesso em: 29/12/2011.

ALLGANER, K. *Emissões de CO2 como parâmetro da avaliação do ciclo de vida do amido de milho plastificado com glicerol destinado à compostagem*. 2010. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2010.

ALLGANER, K. *Emissões de CO2 como parâmetro da avaliação do ciclo de vida do amido de milho plastificado com glicerol destinado à compostagem*. 2010. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2010.

ANDERI DA SILVA, G. Panorama da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no Brasil: conceito, princípios, perspectivas e dificuldades de aplicação nas empresas, capacitação. In: Seminário Avaliação do Ciclo de Vida de produtos e ecodesign. São Paulo, 23 de março de 2006. Disponível em:< http://www.fiesp.com.br/download/publicacoes_meio_ambiente/apres_gil_anderi.pdf >. Acesso em: 20/12/2011.

ANDERS S. G. ANDRAE; ANDERSEN, O. Life cycle assessment of integrated circuit packaging technologies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.16,n.3, p.258-267, 2011.

ANDREI, E. *Compêndio de Defensivos Agrícolas: guia prático de produtos fitossanitários para uso agrícola*. São Paulo: Andrei, 2009, 1378p.

ARENA, A.P.; PIASTRELLINI, R.. NOVELLO, E.; CUCCIA, S.; CIVIT, B. Perfil ambiental de la producción de biodiesel en la región Pampeana norte de Argentina. In: *II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços*, 2010. Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2001a). *NBR ISO 14040 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura*. Brasil: ABNT, 2001a, 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004 b). *NBR ISO 14042 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Avaliação do impacto do ciclo de vida*. Brasil: ABNT, 2004, 25p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009a), Rio de Janeiro. *NBR ISO 14040:2009 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro, 2009b. 46 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2009b), Rio de Janeiro. NBR ISO 14044:2009 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro, 2009a. 46 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14041 *Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Definição do objetivo e escopo e análise de inventário*. Brasil: ABNT, 2004. 17p.

BALA, A.; RAUGEI, M; BENVENISTE,G; GAZULLA,C ; I-PALMER, P.F-. Simplified tools for global warming potential evaluation: when ‘good enough’ is best. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.15,n.5, p.489-498, 2010.

BALKEMA, A. J.; PREISING, H. A.; OTTERPOHL, R.; LAMBERT. F. J. D. Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Urban Water*, v. 4, p. 153-161. 2002.

BARBOSA JÚNIOR, A. F.; MORAIS, R. M.; EMERECIANO, S. V.; PIMENTA, H. C. D.; GOUVINHAS, R. P. Conceitos e Aplicações de Análise de Ciclo de Vida (ACV) no Brasil. *Revista Gerenciais*. v.7, p.39-44, 2008.

BARBOSA JUNIOR, A.F. ; MORAIS, R.M.; EMERENCIANO, S. V.; PIMENTA, H.C.; GOUVINHAS, R. P. *Conceitos e Aplicações de ACV no Brasil*. In: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2010. São Carlos. Anais...São Carlos, 2010. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007. Foz do Iguaçu. Anais...Foz do Iguaçu, 2007.

BENEDET JÚNIOR, G. *Avaliação de Incertezas em inventários do ciclo de vida*. 2007. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2007.

BENOÎT,C.;NORRIS,G.A.; VALDIVIA,S; CIROTH,A. ; MOBERG,A.; BOS,U.; PRAKASH,S.; UGAYA,C.;BECK,T.The guidelines for social life cycle assessment of products: just in time!. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.15,n.2, p.156-163, 2010

BHAMRA, T.; LOFTHOUSE, V. *Design for sustainability: a practical approach*. Gower Publishing, England, 2007.

BINEMELIS, R. Coexistence of Plants and Coexistence of Farmers: Is an Individual Choice Possible?. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. v.21, n.5,pp.437-457, 2008.

BJÖRKLUND A. E. Survey of Approaches to Improve Reliability in LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*. v.7, n.2, p. 64-72, 2002.

BLENGINI, G.A.; CARLO, T. Energy-saving policies and low-energy residential buildings:an LCA case study to support decision makers in Piedmont (Italy). *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.15,n.7, p.652-665, 2010

BOCHNER, R. *Sistema Nacional de Informações Tóxico-Farmacológicas SINITOX e as intoxicações humanas por agrotóxicos no Brasil*. *Ciências & Saúde Coletiva*. v.12, n.1, pp. 73-89, 2007.

BORCHARDT, M; POLTOSI, L. A. C; SELLITO, M. A.; PEREIRA, G. M. Considerações sobre ecodesign: um estudo de caso na indústria eletrônica automotiva. *Ambiente & Sociedade*. Campinas, v.11, n.2, p. 341-353, 2008.

BORGES FILHO, E.L. Inovação tecnológica na agricultura: o caso do plantio direto. In: *XLVII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural*, 2009. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, 2009.

BORGES FILHO, E.L. Impactos Ambientais ocasionados pelo uso de defensivos agrícolas: a escassez de pesquisas no programa nacional de pesquisa agropecuária. In: *XLII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural*, 2004. Cuiabá. Anais...Cuiabá, 2004.

BOSNA, R.; THI ANH, P.; POTTING, J. Life cycle assessment of intensive striped catfish farming in the Mekong Delta for screening hotspots as input to environmental policy and research agenda. *The international Journal of Life Cycle Assessment*. v. 16,n.9,pp-903-915, 2011.

BRAGA, R.C.S.B.; OLIVEIRA, L.B.; ALMEIDA NETO, J.A.; ARAÚJO, C.C. Indicadores de biodiversidade na avaliação ambiental da produção de biodiesel de dendê no estado da Bahia. . In: *II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços*, 2010. Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2010.

BREZET, H, HEMEL,V. C. *Ecodesign: A promising approach to sustainable production and consumption*. France: United Nations Environmental Programme (UNEP); 1997.

BUSTAMANTE, M.; NOBRE, C.; SMERALDI, R.; PINTO, A.; AGUIAR, A. P.; OMETTO, J.; LONGO, K.; FERREIRA, L.; BARIONI, L. G. e MAY, P. *Estimativa de Emissões Recentes de Gases de Efeito Estufa pela Pecuária no Brasil*. IPAM - Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. 2009. Disponível em: <www.ipam.org.br>. Acesso em: 01/07/2010.

BYGGETHA, S.; HOCHSCHORNERB, E. Handling trade-offs in Ecodesign tools for sustainable product development and procurement. *Journal of Cleaner Production*. v.14, n.15-16, p.1420-1430, 2006.

CAMILLIS, C.; RAGGI,A.; PETTI, L. Tourism LCA: state-of-the-art and perspectives. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.15,n.2, p.148-155, 2010

CARDOSO, J. A. *Cristalina pratica o ABC do desenvolvimento*. Agência SEBRAE de Notícia, quatro de novembro de 2010. Disponível em: <<http://www.go.agenciasebrae.com.br/noticia.kmf?canal=785&cod=10895825>>. Acesso em 15/08/2011.

CHAIM, A. *Pulverização eletrostática como alternativa para redução do uso de agrotóxicos*. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, 1999.

CHEHEBE, J. B. *Análise do ciclo de vida de produtos* Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 1997. 120p.

CHRISTIANSEN, K. *Simplifying LCA: Just a Cut?* Final report from the SETAC-Europe LCA screening and streamlining working group. Brussels: SETAC, 1997.

COLTRO, L. Avaliação do Ciclo de Vida – ACV. In: _____. (Org.). *Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão*. Campinas: CETEA/ITAL, 2007. p.7-14.

COLTRO, L.; MOURAD, A. L.; OLIVEIRA, P.A.P.L.V.; BADDINI, J.P.O.A.; KLETECKE, R.M. Environmental Profile of Brazilian Green Coffee. *International Journal of Life Cycle Assessment*.v.11, n.1, p.16-21, 2006.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento, setembro de 2011/ Companhia Nacional de Abastecimento* . Brasília: Conab, 2011b.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Indicadores da Agropécua*. Brasília: CONAB, v.20, n.8, agosto de 2011^a.

CORDEIRO, Z.J.M. Cultivo da banana para o polo de Petrolina Juazeiro. *Embrapa Mandioca e Fruticultura*, janeiro de 2003. Disponível em:< <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaJuazeiro/agrotoxicos.htm#toxicidade> >. Acesso em: 20/07/2011.

COSTA, R. V.; CASELA, C. A.; COTA, L. V. *Controle químico de doenças*. Agência de Informação Embrapa. Disponível em:< <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000g0tk3rt902wx5ok026zxpgnc6ynwi.html> >. Acesso em: 15/09/2011.

CRUZ, J.C. No plantio direto o milho é melhor. *Revista Cultivar Grandes Culturas*. n.8, 1999.

CURRAN, M. A. Life Cycle Assessment. In: JORGENSEN, S. E.; FATH, B.D. (editor chefe). *Human Ecology*. v.3, p. 2168-2174, 2008

DALTON, R. Mexico's transgenic maize under fire. *Nature International Weekly Journal of Science*. Publicação on line. v. 462, 25 de nov. 2009.

DUARTE, J. de O. *Sistemas de Produção – o cultivo do milho*. EMBRAPA milho e sorgo. 2º edição, dezembro de 2006.

DUARTE, J. O.; GARCIA, J.C.; CRUZ, J. C. *Aspectos econômicos da produção de milho transgênico*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, 2009, 15p. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 127)

EKVALL T. Key methodological issues for life cycle inventory analysis of paper recycling. *Journal of Cleaner Production*. v.7, n.4, p, 281-294, 1999.

EKVALL, T.; ANDRAE, A. S. G. Attributional and consequential environmental assessment of the shift to lead-free solders. *International Journal of Life Cycle Assessment*. v.11, n.5, p. 344-353. 2006

EKVALL, T.; TILMAN, A. M. Open-loop recycling: Criteria for allocation procedures. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.2, n.3, p.155-162, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE AGRICULTURA E PECUÁRIA – EMBRAPA. *Posição da Embrapa com relação ao cultivo dos milhos transgênicos aprovados pela CTNBio no Brasil*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, 2008, 8p. (Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 102).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa milho e sorgo. *Capacitação na “produção de sementes de milho-variedade” com foco na agricultura familiar*. Sete Lagoas, MG, junho de 2010, 4 p. <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/884240/1/Capacitacaoproducao.pdf>>. Acesso em: 28/08/2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Cultivo de banana para o polo Petrolina Juazeiro*. Disponível em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaJuazeiro/agrotoxicos.htm#toxicidade>>. Acesso em: 01/09/2011.

ESTRUTURA. Iniciativa: *Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida*. Site vinculado à Universidade Federal de Santa Catarina que reúne informações sobre ACV. Disponível em:<<http://www.ciclodevida.ufsc.br/acv/Main.php?do=adminAction&action=exibirSubMenu&idSubMenu=5>>. Acesso em : 05/05/2011.

EUROPEAN COMMISSION. Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) *Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010.

FAVA, J.A, DENISON, R, JONES, B, CURRAN, M.A, VIGON, B, SELKE, S, et al. *A Technical Framework for Life-Cycle Assessment*. Washington, USA: SETAC; 1991.

FERMAM, R.K.S.; ANTUNES, A. Requisitos ambientais e acesso a mercados: o setor de defensivos agrícolas. *Revista Brasileira de Política Internacional*. v.51,n.2, pp.26-38, 2008.

FERMENT, G.; ZANONI,M.; BRACK, P.; KAGEYAMA, P.; NODARI, R.O. Coexistência: o caso do milho. Brasília: MDA, 2009.56p.

FIGUEIREDO,M.C.B.; MOTA, F.S.B.; RODRIGUES, A.; CALDEIRA PIRES, M.F.ROSA.; VIEIRA, V.P.P.B. Method for considering life cycle thinking and watershed vulnerability analysis in the environmental performance evaluation of agro-industrial innovations (Ambitec-Life Cycle). In: *6th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector*, 2008, Zurich. Anais....Zurich, 2008.

FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M.; EKVALL, T.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; HELLWEG, S.; KOEHLER, A.; PENNINGTON, D. ; SUH, S. Recent developments in Life Cycle Assessment . *Journal of Environmental Management*. v. 91, n.1, p. 1-21, 2009.

FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M.; EKVALL, T.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; HELLWEG, S.; KOEHLER, A.; PENNINGTON, D. ; SUH, S. Recent developments in Life Cycle Assessment . *Journal of Environmental Management*. v. 91, n.1, p. 1-21, 2009.

FLEISCHER,G.; GERNER, K.; KUNST, H.; LICHTENVORT,K.; REBITZER, G. A semi-quantitative method for the impact assessment of emissions within a simplified life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.6,n.3,p.149-156, 2001.

FUKUROZAKI,S.H. *Análise ambiental da célula a combustível de membrana trocadora de prótons sob o enfoque da avaliação do ciclo de vida*. 2006. 150p. Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) – São Paulo, 2006.

GALVÃO, D. M. S. *Casos de sucesso em ACV desenvolvidos pela indústria*. Disponível em:<<http://acv.ibict.br/casos/casos-de-sucesso-em-acv-desenvolvidos-pela-industria/>>. Acesso em: 28/12/2011.

GARCIA, J.C.; DUARTE, J.O. *O avanço do milho transgênico no Brasil*. Página Rural. 09 agosto de 2011. Disponível em:< <http://www.paginarural.com.br/> >. Acesso em:20/12/2011.

GAZONNI, D.L. Os desafios dos cientistas agrícolas. *Agroanalysis: a revista de agronegócio da FGV*. São Paulo: março de 2011.

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY. *Life-Cycle Analysis/ Assessment (LCA)*. Disponível em:< <http://www.docstoc.com/docs/102580994/LCA> >. Acesso em : 15/12/2011.

GHORABI, H.O-A.; RUIZ, D. C. Tool for the environmental assessment of cranes based on parameterization. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.16,n.5, p.392-400, 2011.

GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A.; VILLEGAS,J.; PANICHELLI,L. Life Cycle Assessment of Biofuels: Energy and greenhouse gas balances. *Bioresource Technology*, vol. 100, n. 21, p. 4919-4930. 2009.

GOEDKOOP, M.; DEMMERS, M.; COLLINGNON, M. *The Eco-indicator 95: Manual for designers*. Amersfoort: Pré consultants, 1996.

GONZÁLEZ-GARCÍA,S.;GASOL, C.M.; MOREIRA, M.T.;GABARRELL, X.; PONS, J.R. FEIJOO, C. Environmental assessment of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.)-based ethanol as potential transport fuel. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.v.16,n.5,pp.465-477, 2011.

GRAEDEL T.E.; ALLENBY B.R. *Industrial ecology*. New Jersey: Prentice Hall, 1995

GRAEDEL, T.E. *Streamlined Life-Cycle Assessment*. New Jersey. Prentice Hall , 1998.

GRUPO DE PESQUISA EM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA. Outras Abordagens. Disponível em: <<http://www.ciclodevida.ufsc.br/acv/Main.php?do=adminAction&action=exibirSubMenu&idSubMenu=8>> Acesso em: 20/11/2011.

GUINÉE, J.B. *Handbook on Life Cycle Assessment : operational guide to the ISO standards (eco-efficiency in industry and science)*. Netherlands : Kluwer Academic Publishers, 2002, 708p.

HARRIS,S.; NARAYANASWAM,V. *A Literature Review of Life Cycle Assessment in Agriculture*. Canberra (Austrália) : RIRDC (Rural Industries Research and Development Corporation),2009, 28p.

HAUSCHILD, M.; Wenzel H. Scientific background. *Environmental assessment of products*, vol. 2. London,UK:Chapman&Hall; 1998.

HERTWICH, E. G. Life Cycle Approaches to Sustainable Consumption: A Critical Review. *Environmental Science & Technology*. Vol. 39, n.13, p. 4672-4684. 2005.

HOCHSCHORNER, E. ; FINNVEDEN, G. Evaluation of Two Simplified Life Cycle Assessment Methods. *The International Journal of Life Cycle Assessment*.v.8,n.3,p-119-128, 2003.

HOCHSCHORNER,E.; FINNVEDEN,G. *Environmental Life Cycle Methods in Acquisition of Defence Materiel*. Swedish Defence Research - Agency FOI-R-1384- SE, Stockholm, 2004. Disponível em:< http://www.infra.kth.se/fms/pdf/lcm_defencemtrl.pdf>. Acesso em 10/11/2011.

HOCHSCHORNER,E.;NORING,M. Practitioners' use of life cycle costing with environmental costs—a Swedish study. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.16,n.9, p. 897-902, 2011.

HORNE, R.; GRANT, T.Life Cycle Assessment and agriculture: challenges and prospects. In: HORNE, R.; GRANT, T, VERGHESE, K.(Ed.). *Life Cycle Assessment: Principles, Practice and Prospects*. Melbourne: CSIRO, 2009. pp. 107-124.

HUNT, R.G.; BOGUSKI, T. K.; WEITZ, K.; SHARMA, A. Case studies examining LCA streamlining Techniques. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v. 3,n.1,p-36-42, 2001.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. Produção agrícola municipal. Disponível em:< <http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20/05/2011.

IBRAHIM, G.D.; PEIXOTO, J.A.; XAVIER, L.S.; SOUZA, D. P. Análise de Ciclo de Vida de sacos plásticos produzidos por reciclagem: estudo de caso em Seropédica, RJ.In: *XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2007. Foz do Iguaçu. Anais...Foz do Iguaçu, 2007.

INÁCIO, A. Venda de defensivos bate recorde no Brasil. Valor Econômico, São Paulo, 17 fev. 2011. Disponível em:< <http://www.valor.com.br/arquivo/873077/venda-de-defensivos-bate-recorde-no-brasil>>. Acesso em: 15/09/2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT. *Avaliação do ciclo de vida – Limitações na elaboração do estudo de ACV*. 2011. Disponível em:<http://acv.ibict.br/fases/limitacoes.htm/document_view>. Acesso em: 20/07/2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Banco de dados agregados. Sistema IBGE de recuperação Automática, 2011. Disponível em:< <http://www.sidra.ibge.gov.br/>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Indicadores de Desenvolvimento Sustentável Brasil 2010. Rio de Janeiro : IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA – AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (IBICT ACV). *Casos de Sucesso*. Disponível em:< <http://acv.ibict.br/casos>> . Acesso em:< 27/12/2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Portaria normativa IBAMA nº 84, de 15 de outubro de 1996. Disponível em: < http://servicos.ibama.gov.br/ctf/manual/html/Portaria_84.pdf>. Acesso em: 01/09/2011.

JACOVELLI, S. J.; FIGUEIREDO, P.J.M. F. Avaliação de ciclo de vida simplificada aplicada a evolução de tornos. In: XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2003, Ouro Preto. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2003.

JØRGENSEN, A.; LAI, L.C.H.; HAUSCHILD,M.Z. Assessing the validity of impact pathways for child labour and well-being in social life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.15,n.1, p. 5-16, 2010.

KASSAHUN, B.; SAMINATHAN, M.; SEKUTOWSKI, J.C. *Green design tool Electronics and the Environment*. ISEE, Proceedings of the 1995 IEEE International Symposium, p.118-125, 1995.

KIM, S.; DALE, B.E. Ethanol Fuels: E10 or E85 – Life Cycle Perspective. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.11, n2,pp.117-121, 2006.

KIM, S.; DALE, B.E.; JENKINS, R. Life cycle assessment of corn grain and corn stover the United States. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.14, n.2,pp.160-174, 2009.

KLOVERPRIS, J.; WENZEL, H.; NIELSEN, P. H. Life Cycle Inventory Modelling of Land Use Induced by Crop Consumption Part 1: conceptual analysis and methodological proposal. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.13, n.1,p. 13-21. 2008.

KLØVERPRIS, J.H. ; SMITH, W.; BENTHAM, M.J. *Life Cycle Assessment of us corn production and Canadian canola production with the yield enhancing microbial phosphate inoculant jumpstart®*. Agriculture and Agri-Food Canada. Novozymes, 2009. Disponível em:< <http://www.novozymes.com/en/sustainability/sustainable-solutions/life-cycle-assessments/Published%20LCA%20studies/JumpStartLCApublicversion.pdf>> . Acesso em: 28/12/2011.

KNUDSEN, M. T. *Environmental Assessment of Imported Organic Products : focusing on orange juice from Brazil and soybeans from China*. 141p. Tese (PHD em Ciências Agrícolas). Universidade de Copenhagen, Copenhagen, 2009.

KNUDSEN, M. T.; HALDBERG, N. ; OLESEN, J. E. BYRNE, J.; LYER. V.; TOLY, N. Global trends in agriculture and food systems. In: HALDBERG, N.; ALROE, H.F; KNUDSEN, M.T; KRISTENSEN, E.S. (Ed.). *Global Development of Organic Agriculture : Challenges and Prospects*. Wallingford: CABI, 2006.pp.1-48.

KNUDSEN, M.T.; HALBERG, N. How to include on-farm biodiversity in LCA in food?. In: *Contribution to the LCA Food Conference*, 25-26 abril de 2007, Gothenburg. Anais...Golthenburg, 2007. :< <http://orgprints.org/18411/1/18411.pdf>>

KONING,A.,SCHOWANEK,D.; DEWAELE,J.; WEISBROD,A.; GUINÉE,J. Uncertainties in a carbon footprint model for detergents; quantifying the confidence in a comparative result. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.15,n.1, p. 79-89, 2010.

KRIKKE,H. Opportunistic versus life-cycle-oriented decision making in multi-loop recovery: an eco-eco study on disposed vehicles. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.15,n.8, p. 757-768, 2011.

LEWANDOWSKA, A.; FLEJSZMAN, A.M.; JOACHIMIAK, K.; CIROTH,A. Environmental life cycle assessment (LCA) as a tool for identification and assessment of environmental aspects in environmental management systems (EMS). Part 2: case studies.*The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.16,n.3, p. 247-257, 2011.

LEWANDOWSKA, A.; KURCZEWSKI, P. ISO 14062 in theory and practice—ecodesign procedure. Part 1: structure and theory. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.15,n.8, p. 769-776, 2010.

LIMA, A.M.F. *Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil: inserção e perspectivas*. 116p. Dissertação (Mestrado em Geoprocessamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia –UFBA, Salvador, 2007.

LIMA, A.M.F.; KIPERSTOK, A. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no Brasil e no mundo. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte. Anais.....Belo Horizonte, 2007.

LIMA,A.M.F. *Avaliação do ciclo de vida no Brasil – inserção e perspectivas*. 2007. 116p. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia (UFBA) – Salvador, 2007.

LIMITAÇÕES na Elaboração do Estudo de ACV. *Iniciativa: Instituto Brasileiro de Informações em Ciência e Tecnologia – IBICT*. Site vinculado ao ministério brasileiro de tecnologia que apresenta informações sobre elaboração de estudos de ACV. Disponível em:< http://acv.ibict.br/fases/limitacoes.htm/document_view> Acesso em: 04/05/2011.

LONDRES, F. Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida. Rio de Janeiro: Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa (AS-PTA), 2011. 190p

MACEDO, R. K. Equívocos e Propostas para a avaliação ambiental. In: TAUKE, S. M. (org.). *Análise Ambiental: Uma Visão Multidisciplinar*. 2. ed. São Paulo: Ed. da Universidade Estadual Paulista, 1995.

MALIN, N. Life Cycle Assessment for whole buildings: seeking the holy grail. *Building Design and Construction*. v. 46, n. 11, p. 6-11, 2005.

MAPA - – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Série Agronegócios - *Cadeia produtiva do milho*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Política Agrícola, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura; coordenador Luiz Antonio Pinazza. – Brasília: IICA: MAPA/SPA, 2007.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *Milho*. Disponível em:< <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/milho>>. Acesso em: 20/09/2011.

MARTINEZ-BLANCO, J.; ANTÓN, A.; RIERADEVALL, J.; CASTELLARI, M.; MUÑOZ, P. Comparing nutritional value and yield as functional units in the environmental assessment of horticultural production with organic or mineral fertilization. *The international Journal of Life Cycle Assessment*. v. 16, n.1, pp.12-26, 2011.

MASON, J. *Sustainable agriculture*. 2º ed. Collingwood: Land Links, 2003. 205p.

MATSUURA, M.I.S.F.; ANDER DA SILVA, G. KULAY, L.A.; LAVIOLA, B.G. Inventário do Ciclo de Vida do pinhão manso destinado à produção de biodiesel. In: *II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços*, 2010. Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2010. (PAG 41)

MATTILA, T.; HELIN, T.; ANTIKAINEN, R. Land use indicators in life cycle assessment: A case study on beer production. *The international Journal of Life Cycle Assessment*. online first, December 2011.

MEINDERS, H. Point of no return. *Philips EcoDesign guidelines*. Eindhoven; 1997.

MELHORANÇA, A. L.; KARAM, D. *Tratos culturais*. Agência de informação Embrapa milho. Disponível em< <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONT000g0tk3rt902wx5ok026zxpgs5zpcjkj.html>>. Acesso em: 21/08/2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Vigilância em saúde ambiental: *III Informe Unificado das Informações sobre agrotóxicos existentes no SUS*. Brasília: Ministério da Saúde, 2009.

NASCIMENTO, R. *KIA Sportage recebe certificado ISO 14040*. Disponível em:< > . Acesso em: 28/12/2011.

NIELSEN , P.H. ; WENZEL, H. Integration of environmental aspects in product development: a stepwise procedure based on quantitative life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*. v.10, n.3, p. 247-257, 2002.

NIGRI, E. M. ; ROMEIRO FILHO; ROCHA, S. D. F. Cimento tipo Portland: uma aplicação da análise do ciclo de vida simplificada. In: *XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2009. Salvador. Anais...Salvador, 2009.

NIGRI, E.M.; ROMEIRO FILHO, E.; ROCHA, S. D. F. ; FARIA, P. E. Comparando processos industriais e artesanais: uma aplicação da análise simplificada do ciclo de vida na produção de cachaça. In: *XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2010. São Carlos. Anais...São Carlos, 2010.

NOGUEIRA, J.; PALMA, R. S; ARMANDO, C. Integration of the input-output approach into the life cycle framework: state of the art, applications and contribution to ecological economics. In: *ISEE 2010 Conference. Advancing Sustainability in a time of crises*, 2010, Oldenburg & Bremen. Advancing Sustainability in a time of crises, 2010.

NUNES, I. S.; SILVA, L.; CUNHA, L.E. R. ; XAVIER, L. S. ; PEIXOTO, J. A. A. Prospecção de impactos ambientais com apoio da metodologia de avaliação do ciclo de vida: um estudo de caso na produção de soros hiperimunes em um laboratório farmacêutico oficial. In: *XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2011. São Carlos. Anais...São Carlos, 2011.

OLSZENSVSKI, F.T.; SILVA JUNIOR, V.P.; MEIRELES, S.; LEIS, C.M.; LENZI, F.S.; SOARES, S.R. Avaliação do Ciclo de Vida da produção de leite em mesorregiões de Santa Catarina. . In: *II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços*, 2010. Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2010.

OMETTO, A.R. *Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia*. 2005. 200p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, USP 2005.

PENNINGTON D. W.; POTTING J.; FINNVEDEN, G.; LINDEIJER E.; JOLLIET, O.; RYDBERG, T.; REBITZER, G. Life cycle assessment - part 2: current impact assessment practice. *Environment International*. v.30, n.5, p.701-720, julho de 2004.

PIGOSSO, D.C.A.; SOUSA, S.R. Life Cycle Assessment (LCA): discussion on full-scale and simplified assessment to support the product development process. In: *3rd International workshop advances in cleaner production*, 2011. São Paulo, Anais do 2nd International Workshop Advances in Cleaner Production, 2011.

PIÑEYRO-NELSON, A.; VAN HEERWAARDEN, J.; PERALES, H.R.; SERRATOS-HERNÁNDEZ, J.A.; RANGEL, A.; HUFFORD, M.B.; GEPTS, P.; GARAY-ARROYO, A.; RIVERA-BUSTAMANTE, R.; ÁLVAREZ-BUYLLA, E.R. Transgenes in Mexican maize: molecular evidence and methodological considerations for GMO detection in landrace populations. *Molecular Ecology*. v.18, n. 4, pp.750-761, 2009;

POMMER K.; BECH P.; WENZEL, H.; CASPERSEN, N.; OLSEN, S.I. *Håndbog i miljøvurdering af produkter – en enkel metode*. Miljønyt n. 58º 2001. Miljøstyrelsen, Miljø – og Energiministeriet. Denmark, 2001.

POYNER, J.R.; SIMON, M. *Integration of DFE tools with product development, Clean Electronics Products and Technology*. (CONCEPT) – International Conference, p.54-59, 1995.

PRASARA, J.; GRANT, T. Comparative life cycle assessment of uses of rice husk for energy purposes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.16, n.6, pp.493-502, 2011.

PRASARA-A,J. ; GRANT,T. Comparative life cycle assessment of uses of rice husk for energy purposes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v.16,n.6, p. 493-502, 2011.

REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D.; NORRIS, G.; RYDBERG, T.; 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, julho de 2004.

RIEDER, A. DORES, E. F. G. ; NUNES, V.S.; OLIVEIRA, M.D.; MOZETO,A. A. ; MODRO, A. F. H.; SANTOS, J. L.; ROCHA, G.S. Classes de potencial de periculosidade ambiental (PPA) dos pesticidas receitados em municípios do Pantanal Norte, Mato Grosso (MT), Brasil, no biênio 1999-200. In: *IV Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-econômicos do Pantanal*, 2004. Corumbá, Anais...Corumbá, 2004.

ROCHA, L.S.; UGAYA, C.M.L. Avaliação da perda da biodiversidade decorrente da conversão da floresta tropical em pastagem. In: *II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços*, 2010. Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2010b.

ROCHA, T.B.; UGAYA, C.M.L. Adaptação dos ICVs de palma (dendê) no Brasil. In: *II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços*, 2010. Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2010a.

RODRIGUES, M.D.;INACIO, R. O.; FARIA, P. E.; ROMEIRO FILHO, E. Utilização da Análise do Ciclo de Vida e aplicação de *Design for Environment*: o caso de produtos de pedra-sabão de Minas Gerais. In: *XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2011. São Carlos. Anais...São Carlos, 2011.

RUSSEL, A.; EKVALL, T. ; BAUMANN, H. Life cycle assessment – introduction and overview. *Journal of Cleaner Production*. v. 13, n. 13-14, p.1207-1210, 2005.

SAAD,R.; MARGNI,M.; KOELLNER, T.; WITTSTOCK, B.; DESCHÊNES,L. Assessment of land use impacts on soil ecological functions: development of spatially differentiated characterization factors within a Canadian context. *The international Journal of Life Cycle Assessment*. v. 16,n.3,pp.198-211, 2011.

SANTOS, D. T. *Análise do ciclo de vida dos produtos açúcar & álcool em usinas sucroalcooleiras no estado de Mato Grosso do Sul*. 2009. 115p. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, Campo Grande, 2009.

SANTOS, L. J. C.; TENORIO, J. A. S. Avaliação do ciclo de vida e custeio do ciclo de vida de evaporadores para usinas de açúcar. *Revista da Escola de Minas*. v. 63, n. 1, p. 179-184, 2010.

SCHADER, C.; NEMECEK, T.; GAILLARD, G.; SANDERS, J.; STOLZE, M. Using LCA data for agri-environmental policy analysis at sector level. In: *6th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector*, 2008, Zurich. Anais....Zurich, 2008.

SCIENTIFIC APPLICATIONS INTERNATIONAL CORPORATION -SAIC . *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. Cincinnati, 2006, 80p.

SEPPÄLA, J.; KOSKELA, S.; MELANEN, M.; PALPERI, M. The Finnish metals industry and the environment. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 35, n. 1-2, p. 61-76, 2002.

SEYLER, C.; HOFSTETTER, T. B.; HUNGERBUHLER, K. Life cycle inventory for thermal treatment of waste solvent from chemical industry: a multi-input allocation model. *Journal of Cleaner Production*, v.13, n. 13-14, p. 1211-1224, 2005.

SILVA, G. A da; KULAY, L. A. Avaliação do ciclo de vida. In: VILELA JUNIOR, A.; DEMAJOROVIC, J. (Org.). *Modelos e Ferramentas de Gestão Ambiental: desafios e perspectivas para as organizações*. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2006. p.313-336.

SILVA, G. A. *Impacto da Avaliação do Ciclo de Vida na Competitividade da Indústria Brasileira – Panorama da Avaliação do Ciclo de Vida*. 2005. Disponível em: <http://acv.ibict.br/publicacoes/trabalhos-apresentados-em-eventos/gil_anderi_1.pdf>. Acesso em: 20/07/2011.

SINDAG – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA AGRÍCOLA. O setor de defensivos agrícolas: câmara setorial da cadeia produtiva de milho e sorgo e aves. Florianópolis, 12 de maio de 2010. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Milho_e_sorgo/1_reuniao/Setor.pdf>. Acesso em: 20/12/2011.

SINDEN, G. The contribution of PAS 2050 to the evolution of international greenhouse gas emission standards. *The International Journal of Life Cycle Assessment* . v.14,n.3, p.195-203, 2009.

SISTEMA DE AGROTÓXICOS FITOSSANITÁRIOS – AGROFIT. Ministério da Agricultura. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/servicos-e-sistemas/sistemas/agrofit>>. Acesso em 20 de setembro de 2011.

SOARES, F. C. *Análise de viabilidade da irrigação de precisão na cultura do milho (Zea mays L.)*. 2010. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) – Santa Maria, 2010.

SOLUGUREN, L. *Produtividade do milho no Brasil: o novo desafio para consolidar as exportações*. Disponível em: <<http://www.cib.org.br/pdf/sologuren.pdf>>. Acesso em: <20/09/2011.

SOUSA, S.R.; SANCHES, R.; OMETTO, A. R.; PACCA, S.A. A utilização da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gestão ambiental: Modelos de aplicação. *INGEPRO Inovação, Gestão e Produção*. v. 2, p. 90-98, 2010.

SOUZA, P. M. de; BRAGA, M. J. *Aspectos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil*. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. (Editores) *Tecnologia de produção do milho*. 20. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004, v.1, p.13-53, 2004

SOUZA, S.P.; PACCA, S.A. Avaliação Ciclo de Vida da produção integrada de etanol de cana-de-açúcar e biodiesel de dendê. In: *II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços*, 2010. Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2010.

STONE, J.J.; AURAND, K.R.; DOLLARHIDE, C.R.; JINKA, R.; THALER, R.C.; CLAY, D.E.; CLAY, S.A. . *The international Journal of Life Cycle Assessment*. v. 16,n.1,pp-27-39, 2011.

SUH, S.; HUPPES, G. Methods for life cycle inventory of a product. *Journal of Cleaner Production*. v. 13, n. 7,p. 687-697, 2005.

SUN, J., HAN, B., EKWARO,S.; ZHANG, H.C. *Design-for- Environment: Methodologies, Tools, and Implementation, Integrated Design and Process Technology*. Austin, Texas, 2003.

SUWANIT, W.; GHEEWALA, S.H. Life cycle assessment of mini-hydropower plants in Thailand. *The international Journal of Life Cycle Assessment*. v. 16,n.9,pp.493-502, 2011.

TISCHNER U, SCHMINCKE E, RUBIK F, PROSLER M. *How to do Ecodesign? A guide for environmentally and economically sound design*. Berlin: German Federal Environmental Agency; 2000.

TISCHNER U, SCHMINCKE E, RUBIK F, PROSLER M. *How to do Ecodesign? A guide for environmentally and economically sound design*. Berlin: German Federal Environmental Agency; 2000.

TODD J.A.; CURRAN, M.A. Streamlined Life-Cycle Assessment: *A Final Report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup*: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) and SETAC Foundation for Environmental Education, 1999.

VALT, R. B. G. *Análise do ciclo de vida de embalagens de PET, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais*. 2004. 193 f. Dissertação (mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

VIANA, M. M.. *Inventário do ciclo de vida do biodiesel etílico do óleo de girassol*. 2008. 197p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2008.

VIZCARRA, A. T.; LO, K. V.; LIAO, P. H.; A life-cycle inventory of baby diapers subject to Canadian conditions. *Environmental Toxicology and Chemistry*. v. 13, n. 10, p. 1707-1716, 1994.

WAQUIL, J.M.; VILELLA, F.M.F. Perspectiva para o uso do Milho-Bt no Brasil. In: *25º Congresso Nacional de Milho e Sorgo*, 2004. Cuiabá. Anais...Cuiabá, 2004.

WENZEL,H. Application dependency of LCA methodology: Key variables and their mode of influencing the method. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. v. 3,n.5,p.281-288, 1998.

WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L.B.; SILVA, BUENO DA SILVA, L.; ALVES DA SILVA, C. *Avaliação do Ciclo de Vida: uma investigação bibliográfica dos trabalhos sobre a metodologia*. In: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2010. São Carlos. Anais...São Carlos, 2010.

WILLERS, C.D.; RODRIGUES, L.B. ; SILVA, N.L. Inventário de Ciclo de Vida da produção de leite em uma unidade experimental em Itapetinga – BA. In: *II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços*, 2010. Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2010.

WU, M.; WANG, M.; LIU, J.; HUO, H. *Life-Cycle Assessment of corn-based butanol as a potential transportation fuel*. Chicago: U.S. Department of Energy, 2009. 44p.

YARWOOD, J. M.; EAGAN, P. D. *Design for the Environment - Toolkit*. Minnesota Office of Environmental Assistance. Minnesota, p. 72, 1998.

ZIMMERMANN, A.; BAUMGARTNER, D.; NEMECEK, T.; GAILLARD, G. Are public payments for organic farming cost-effective? Combining a decision-support model with LCA. *The international Journal of Life Cycle Assessment*. v. 16,n.6,pp-548-560, 2011.