

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

YASMIM TWANNE DE CÁSSIA SILVA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E VALORAÇÃO AMBIENTAL DE  
CULTIVOS DE MILHO PRÓXIMOS À CIDADE DE UBERLÂNDIA –  
POTENCIAIS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

UBERLÂNDIA  
2019

YASMIM TWANNE DE CÁSSIA SILVA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E VALORAÇÃO AMBIENTAL DE  
CULTIVOS DE MILHO PRÓXIMOS À CIDADE DE UBERLÂNDIA –  
POTENCIAIS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador (a)

Profa. Dra. Aracy Alves de Araújo

UBERLÂNDIA  
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

S586a  
2019      Silva, Yasmim Twanne de Cássia, 1993-  
            Avaliação do ciclo de vida e valoração ambiental de cultivos de  
            milho próximos à cidade de Uberlândia – potenciais impactos  
            socioambientais [recurso eletrônico] / Yasmim Twanne de Cássia Silva.  
            - 2019.

Orientadora: Aracy Alves de Araújo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.11>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Ecologia. 2. Milho - Cultivo. 3. Meio ambiente. 4. Impactos socioambientais. 5. Agricultura orgânica. 6. Alimentos geneticamente modificados. I. Araújo, Aracy Alves de, 1977-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental. III. Título.

YASMIM TWANNE DE CÁSSIA SILVA

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E VALORAÇÃO AMBIENTAL DE  
CULTIVOS DE MILHO PRÓXIMOS À CIDADE DE UBERLÂNDIA –  
POTENCIAIS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado,  
área de concentração em Meio Ambiente e Qualidade  
Ambiental, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 20 de fevereiro de 2019.

Profa. Dra. Aracy Alves de Araújo

UFU

Dra. Cristiane Betanho

UFU

Dra. Maria Rita Raimundo e Almeida

UNIFEI

Profa. Dra. Aracy Alves de Araújo  
FAGEN – UFU  
(Orientadora)

UBERLÂNDIA  
2019

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento, pelo apoio financeiro e pela consolidação do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Qualidade Ambiental e demais programas no Brasil.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), à Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPP-UFU), ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) e ao Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental – UFU pelo incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento sustentável e ambiental.

# Sumário

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	II
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1. Agricultura e o milho.....	3
2.2. Insumos agrícolas e sua problemática.....	5
2.3. Organismos Geneticamente Modificados: início de uma nova tecnologia.....	8
2.4. Agricultura Orgânica.....	12
2.5. Avaliação do Ciclo de Vida.....	14
2.5.1. Metodologia da ACV.....	16
2.6. Valoração Ambiental.....	18
2.6.1. Métodos de Valoração Ambiental.....	20
3. REFERÊNCIAS.....	22
CAPÍTULO 2.....	31
RESUMO.....	31
ABSTRACT.....	32
1. Introdução.....	33
2. Material e Métodos.....	35
2.1. Áreas de estudo e coleta de dados.....	35
2.2. Avaliação do Ciclo de Vida.....	36
3. Resultados e Discussões.....	37
3.1. Fertilizantes.....	38
3.2. Pesticidas.....	42
4. Conclusões.....	45
5. Referências Bibliográficas.....	46
CAPÍTULO 3.....	53
RESUMO.....	53
ABSTRACT.....	54
1. Introdução.....	55

2.	Referencial Teórico.....	57
2.1.	Valoração Ambiental .....	57
2.2.	Método de Custos Evitados e sua aplicação na atividade agrícola.....	59
3.	Material e Métodos .....	61
4.	Resultados e Discussões .....	62
5.	Conclusões .....	68
6.	Referências Bibliográficas .....	69

## RESUMO

SILVA, YASMIM TWANNE DE CÁSSIA. **Avaliação do ciclo de vida e valoração ambiental de cultivos de milho próximos à cidade de Uberlândia – potenciais impactos socioambientais.** 2019. 86p. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG<sup>1</sup>

A agricultura sempre foi de grande importância no desenvolvimento da sociedade e passou por diversas transformações, como o uso de insumos e biotecnologia, provocando impactos nos âmbitos econômicos, sociais e ambientais. Esta pesquisa de mestrado apresenta um referencial teórico sobre o sistema agrícola e as principais transformações ocorridas em seu processo de modernização. Em seguida, estão apresentados dois artigos científicos. O primeiro com o objetivo de analisar três sistemas de cultivo de milho em quatro áreas, convencional (CC), transgênico (CT1 e CT2) e orgânico (CO), próximas à cidade de Uberlândia, a partir da utilização de insumos agrícolas, a fim de identificar e comparar os potenciais impactos ambientais provocados pelo uso de fertilizantes, pesticidas e corretivos, por meio da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida. Já o segundo, teve como objetivo analisar custos/benefícios, decorrentes da utilização dos insumos nas quatro áreas mencionadas, estimando os custos evitados por meio da relação de gastos com esses produtos e gastos com atividades defensivas, utilizando a metodologia de valoração de Custos Evitados. Em nenhuma das áreas houve necessidade de aplicação de corretivos. Os resultados apontam que, de modo geral, o CT2 foi o cultivo que apresentou o pior perfil ambiental devido às suas maiores emissões de substâncias ao meio ambiente e também foi aquele que apresentou maiores gastos com fertilizantes e pesticidas, sendo que todos esses fatores podem ser justificados pelos tipos, variedades e quantidades de insumos aplicados na área. Os cultivos CC e CT1, mesmo adotando sementes diferentes no processo produtivo, apresentam as mesmas práticas de manejo, o que pode indicar erro na forma de manejo ou falta de conhecimento sobre os transgênicos. Já o CO foi o cultivo que apresentou menores emissões por utilizar um fertilizante orgânico que, além de provocar menores impactos ao meio ambiente, é um produto de baixo custo de mercado e utilizado em menor quantidade. Neste cultivo, não houve a aplicação de nenhum tipo de pesticida natural. Ao estimar os custos evitados, substituindo fertilizantes e pesticidas sintéticos por orgânicos, aplicando-os na mesma quantidade de costume, os produtores teriam um ganho econômico, além dos benefícios ambientais. Então, pode-se concluir que a forma de manejo, as condições da área e o tipo de insumo são fatores que influenciam a ocorrência de potenciais impactos ambientais, além dos custos. O CO apresenta vantagens quando comparado às outras áreas, por utilizar produtos que provocam menores emissões ao meio ambiente, além do baixo custo de mercado. Mas suas vantagens se tornam limitadas quando se trata de rendimento, pois, para ter altos rendimentos, como nas outras áreas, seriam necessárias maiores áreas de cultivo, o que acarretaria implicações ambientais. Ainda sim, muitos produtores têm buscado práticas orgânicas para tornar seus sistemas agrícolas mais sustentáveis.

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo de Vida. Valoração Ambiental. Agricultura. Transgênico. Insumos agrícolas.

---

<sup>1</sup> Orientadora: Aracy Alves de Araújo – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

## ABSTRACT

SILVA, YASMIM TWANNE DE CÁSSIA. **Life cycle assessment and environmental valuation of corn crops near the city of Uberlândia - potential socio-environmental impacts.** 2019. 86p. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG<sup>2</sup>

Agriculture has always been of great importance in the development of society undergoing various transformations, such as the use of inputs and biotechnology, provoking impacts in the economic, social and environmental spheres. This master's research presents a theoretical reference on the agricultural system and the main transformations occurred in its modernization process. Two scientific papers are presented below. The first one, with the objective of analyzing three systems of corn cultivation in four areas, conventional (CC), transgenic (CT1 and CT2) and organic (CO), near the city of Uberlândia, using agricultural inputs, in order to identify and compare the potential environmental impacts caused by the use of fertilizers, pesticides and correctives, through the Life Cycle Assessment methodology. In the second article, the objective was to analyze costs/benefits, resulting from the use of inputs in the four areas mentioned, estimating the costs avoided through the relation of expenses with these products and expenditures on defensive activities, using the methodology of valuation of Avoided Costs. None of the areas required correction. The results indicate that, in general, CT2 was the crop that presented the worst environmental profile due to its higher emissions of substances to the environment and was also the one that presented higher expenses with fertilizers and pesticides, all of which can be justified by the types, varieties and quantities of inputs applied in the area. The CC and CT1 crops, even adopting different seeds in the production process, present the same management practices. On the other hand, CO was the crop that presented lower emissions by using an organic fertilizer that, besides causing less impact to the environment, is a product of low market cost and used in less quantity. In this crop, there was no application of any type of natural pesticide. By estimating avoided costs, replacing synthetic fertilizers and pesticides with organic ones by applying them in the same custom quantity, producers would have an economic gain, as well as environmental benefits. So, one can conclude that the form of management, area conditions and type of input are factors that influence the occurrence of potential environmental impacts, in addition to costs. CO has advantages when compared to other areas, because it uses products that cause lower emissions to the environment, in addition to the low market cost. But its advantages become limited when it comes to yield, because in order to have high yields, as in other areas, larger areas of cultivation would be necessary which would have environmental implications. Yet many producers have been looking for organic practices to make their farming systems more sustainable.

**Keywords:** Life Cycle Assessment. Environmental Assessment. Agriculture. Transgenic. Agricultural Inputs.

---

<sup>2</sup> Orientadora: Aracy Alves de Araújo – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

## CAPÍTULO 1

### 1. INTRODUÇÃO

A agricultura sempre foi um fator de grande importância no desenvolvimento do homem e toda sociedade. Os grãos (arroz, centeio, milho, sorgo, trigo, entre outros), no sistema de produção agrícola mundial, são um dos produtos mais importantes, ocupando a maior parte das áreas de cultivos em diversos países e exercendo um papel central como *commodities* agrícolas (SCOLARI, 2006; MENDONÇA, 2015). A princípio, a agricultura apresentava mais autonomia em seus processos sem depender de fatores externos, como insumos químicos, mas, a partir da Revolução Verde, a agricultura passou por um processo de modernização, provocando uma grande demanda por estes produtos alimentícios e um aumento na produção agrícola, além de diversas transformações que trouxeram consequências para o meio ambiente (MENEGUETTI *et al.*, 2002; SCOLARI, 2006).

Dessas consequências, pode-se destacar: a expansão das fronteiras agrícolas por meio da derrubada de vegetação para formação de mais áreas de lavoura e produção de madeira, em que muitos países já apresentam condições ambientais preocupantes devido a grande degradação ambiental proveniente das atividades agrícolas (SCOLARI, 2006); a intensa dependência que o sistema agrícola passou a ter em relação ao uso de fertilizantes e pesticidas químicos sintéticos, trazendo sérios impactos na saúde pública e no meio ambiente (PIMENTEL *et al.*, 2005a) e a aplicação da biotecnologia do DNA recombinante, que, ao longo do tempo, tinha como objetivo reduzir a dependência nos processos mecânicos e químicos, proporcionando um aumento de produtividade, reduzindo custos de produção e desenvolvendo metodologias menos agressivas ao meio ambiente (SILVEIRA *et al.*, 2005).

Existem muitas dúvidas e preocupações da população sobre a intensa utilização de insumos agrícolas nos processos produtivos e em relação ao que representa os transgênicos, seus efeitos sobre a saúde humana e o meio ambiente e seus efeitos às gerações futuras (FURNIVAL; PINHEIRO, 2008). Muitos pesquisadores afirmam que os transgênicos promoveram uma redução na utilização de insumos químicos em seus processos de produção, mas há também aqueles que discordam como evidenciado no

dossiê *Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde* (AUGUSTO *et al.*, 2012; CARNEIRO *et al.*, 2015).

Esta pesquisa de dissertação apresenta questões referentes ao desenvolvimento e às aplicações de novas tecnologias no sistema agrícola, que, com o passar dos anos, têm provocado diversos impactos nos âmbitos econômicos, sociais e ambientais. A utilização de insumos químicos e a inserção de biotecnologia na agricultura trouxeram conforto, devido à praticidade e otimização no processo produtivo, mas, ao mesmo tempo, trouxeram muitas preocupações à sociedade. Essas novas tecnologias têm provocado ao longo do tempo diversos impactos negativos, principalmente ao meio ambiente, impactos estes que podem ser de difícil recuperação ou mesmo irreversíveis.

No primeiro momento, será apresentado um referencial teórico sobre o sistema agrícola, as principais transformações ocorridas em seu processo de modernização, enfatizando como tem sido a utilização de insumos químicos nos cultivos atualmente e o desenvolvimento de metodologias que possam identificar e analisar os potenciais impactos socioambientais provocados pelas atividades agrícolas.

Em seguida, serão apresentados dois artigos científicos, sendo o primeiro a respeito da aplicação da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida na agricultura com o objetivo geral de analisar três sistemas de cultivo de milho, sendo eles, convencional, transgênico e orgânico, a partir da utilização de insumos agrícolas em seus processos produtivos. Os objetivos específicos foram identificar e comparar os potenciais impactos ambientais provenientes da utilização de insumos agrícolas (fertilizantes, pesticidas e corretivos) utilizados pelos três sistemas de cultivo, além de apontar vantagens e desvantagens de cada processo frente às questões ambientais.

No segundo artigo, por meio da metodologia de valoração de Custos Evitados, o objetivo geral foi analisar os três sistemas de cultivo de milho (convencional, transgênico e orgânico), avaliando os gastos obtidos por meio da compra de insumos agrícolas aplicados por todo processo de produção de cada sistema. Os objetivos específicos foram verificar os custos/benefícios decorrentes dessa utilização de diferentes insumos agrícolas em cada um dos três cultivos analisados e estimar os valores de recursos naturais por meio da relação de gastos com esses insumos e gastos com atividades defensivas (menos agressivas ao meio ambiente e de baixo custo).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Agricultura e o milho

A modernização da agricultura teve início nos anos de 1950/60 e, segundo Meneguetti *et al.* (2002), as transformações sofridas pela agricultura incluem as alterações genéticas como uma das mais significativas na vida dos agricultores, além da utilização de fertilizantes, agrotóxicos, máquinas e equipamentos capazes de sustentar esse novo processo na agricultura. Foi também nesta época que começaram a surgir os primeiros estudos, evidenciando a relação entre o desenvolvimento do agronegócio e os demais setores da economia de modo geral, como a pesquisa de Johnston e Mellor (1961), que apontou cinco proposições que mostram as contribuições da agricultura para o desenvolvimento econômico: aumento substancial na demanda de produtos agrícolas; expansão de produtos agrícolas; mão de obra, proveniente da agricultura, sendo ofertada para a indústria; aumento do rendimento líquido da população agrícola como incentivo à expansão industrial; e a agricultura como setor dominante de uma economia subdesenvolvida. Por outro lado, no entanto, o agronegócio é um dos sistemas que no Brasil visa tanto aos mercados nacionais como internacionais, o que promove impactos no desenvolvimento do país (BENDLIN *et al.*, 2014).

A atividade agrícola sempre foi um fator de grande desempenho no crescimento e na geração de lucros no Brasil, sendo considerado um país de destaque no agronegócio. Quando se fala da influência das atividades agrícolas na economia brasileira, nota-se um efeito positivo, pois estas atuam como um propulsor no crescimento econômico (MOURA *et al.*, 1999), além de proporcionar consequências diretas nas condições de vida da sociedade como um todo (CARMO, 2016). Claudino e Talamini (2013) apontam que, mesmo com a consolidação do agronegócio no Brasil, a sociedade tem se preocupado com a sustentabilidade ambiental e a necessidade de estabelecer uma produção mais sustentável e limpa (HASLER *et al.*, 2015), além da requisição de rotulagem e certificação do mercado mundial em relação aos critérios ambientais para importação e comercialização.

Com as atividades agrícolas, a população brasileira aumentou, proporcionando a migração do campo para as grandes cidades nos últimos quarenta anos, consequência também da rápida inovação tecnológica que ocorreu a partir dos anos setenta com a

modernização do processo de mecanização do campo, havendo aumento na produtividade de mão de obra rural e permitindo melhores condições ao produtor do campo (SCOLARI, 2006). A agricultura familiar também exerce um papel de grande importância no desenvolvimento econômico brasileiro, tanto na geração de renda das famílias como na produção de alimentos e na redução do êxodo rural, incentivando a aplicação de práticas mais sustentáveis (PADUA *et al.*, 2013).

Dentro do sistema de agricultura brasileira, os principais produtos cultivados e comercializados são os grãos (algodão, arroz, feijão, milho, soja, entre outros), além da cana-de-açúcar e café, e essa comercialização tem crescido cada vez mais. Para a safra 2018/19, estima-se um valor entre 233,6 e 238,5 milhões de toneladas de grãos produzidos com uma variação entre 2,5 e 4,7%, maior em relação à safra 2017/18 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2018). Em relação à área plantada, estima-se entre 61,9 e 63,1 milhões de hectares com uma perspectiva de aumento de 0,2 a 2,3% se comparada com a safra anterior (CONAB, 2018).

Entre as culturas, a do milho sempre demonstrou ser de grande importância estratégica quando se trata de segurança alimentar e desenvolvimento regional e comercial (SANTOS *et al.*, 1994). Assim, essa cultura representa um dos principais produtos da base alimentar de diversos países e, devido à sua grande importância e utilização, é considerado o cereal mais cultivado no mundo. Para o ano de 2017, estimou-se que a produção de derivados do milho ultrapassasse o valor de três mil produtos, tanto para consumo humano quanto para produção industrial, como bebidas, alimentos, cosméticos, produção de antibióticos, entre outros (GERVÁSIO, 2017).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), estima-se para a safra 2018/19 da cultura de milho uma área plantada de aproximadamente 17 milhões de hectares, com estimativa de produção de 91 mil toneladas de milho e rendimento médio de 5.408 mil kg/ha (CONAB, 2018a). É a partir de sua importância social e econômica e de dados estatísticos tão elevados que o milho é considerado o segundo grão mais cultivado no território brasileiro. Para a safra 2018/19, tratando-se de área colhida e produção, o Brasil se encontra entre os principais países no sistema de cultivo de milho, ocupando o terceiro lugar do ranking (MINAS GERAIS, 2018).

No estado de Minas Gerais, de acordo com os relatórios da Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais (SEAPA), a produção de milho no ano de 2017 chegou a quase oito milhões de toneladas em, um pouco mais de

um milhão de hectare de área colhida e o município de Uberlândia é considerado um dos principais produtores do estado de Minas Gerais com uma área de plantio de 24 mil hectares, produção chegando a 170 mil toneladas e uma produtividade de 7.075 mil kg/ha (MINAS GERAIS, 2018). Até o mês de outubro do ano de 2018, Minas Gerais se apresentou em quarto lugar no ranking dos principais estados produtores de milho, contribuindo para 8,5% da produção total do país (MINAS GERAIS, 2018).

## **2.2. Insumos agrícolas e sua problemática**

O processo de modernização na agricultura é um sistema contínuo, devido às gerações de tecnologias eficientes ao longo do tempo, gerando crescimento econômico, mas também riscos potenciais ao meio ambiente (ROSSETI *et al.*, 2014). Essas tecnologias desenvolvidas, como substâncias organossintéticas para o controle de insetos, plantas daninhas e fitopatógenos indesejáveis aos cultivos agrícolas, proporcionaram às áreas de cultivo grandes expansões em todo o mundo e, por consequência, o aumento da produção de alimentos (STEFFEN *et al.*, 2011).

Com a ocorrência da Revolução Verde, a aplicação de novas tecnologias, como o uso de agrotóxicos, revolucionou o sistema agrícola na época. No livro *Primavera Silenciosa*, da autora Rachel Carson, há diversos relatos de grandes extermínios da biodiversidade ocorridos nos EUA entre os anos de 1940 e 1950 relacionados ao uso de agrotóxicos em um contexto de superprodução de alimentos no país, provocando efeitos negativos na qualidade de vida de plantas, animais e seres humanos em prol de poucos (CARVALHO *et al.*, 2017; GOMES; SERRAGLIO, 2017). Com o passar dos anos, vários tipos de agrotóxicos foram proibidos e outros sendo criados (CARVALHO *et al.*, 2017).

Esse processo de modernização no sistema agrícola motivou o Brasil à inserção da indústria de agrotóxico, mesmo sem nenhum preparo de mão de obra, expondo diretamente trabalhadores rurais a condições de risco, e indiretamente causando mal à saúde do consumidor, além dos impactos ambientais que seriam provocados como seu acúmulo na biota e contaminação da água e do solo (SOARES; PORTO, 2007). Mas com o aumento de produtividade nas lavouras, os efeitos negativos com relação ao uso de agrotóxicos, como problemas gerados à saúde humana e ao meio ambiente, como já

mencionado, vêm sendo mascarados e isso atrapalha a introdução ou a continuidade de práticas mais sustentáveis nos sistemas agrícolas (PORTO; SOARES, 2012).

Um dos problemas que cercam a utilização de agrotóxicos é que, além de eliminar pragas, também eliminam seus inimigos naturais, ou seja, predadores e competidores. Tomando por base que alguns indivíduos são sempre mais resistentes que outros, ao aplicar o insumo químico algumas pragas não são totalmente eliminadas, restando organismos mais resistentes, que, por ora, não terão que competir por alimento, espaço e abrigo, já que parte da população foi dizimada após a aplicação do agrotóxico. Como consequência natural, esses indivíduos vão aumentar novamente sua população, exigindo que a próxima aplicação química seja mais forte que a primeira (SOARES; PORTO, 2007).

O país só tornou público uma legislação a respeito do uso e consumo de agrotóxicos em 1989 com a Lei Federal nº 7.802, que traz o conceito de agrotóxico e algumas diretrizes a respeito destes produtos e afins (BRASIL, 1989). No ano de 2000, veio a público uma segunda legislação, a Lei Federal nº 9.974, que diz respeito à pesquisa, produção, embalagem e rotulagem, armazenamento, comercialização, destino final dos resíduos e embalagens, controle, fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, entre outras providências (BRASIL, 2000), além da divulgação do Decreto Federal nº 4.074/023, em 2002, regulamentando a Lei Federal nº 7.802, de 11 de julho de 1989 (BRASIL, 2002).

De acordo com o Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (AGROFIT) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em 2014, o Brasil computou a maior quantidade comercializada de agrotóxicos no país desde o início de seus registros (ALMEIDA *et al.*, 2017a). No ano de 2017, o Brasil foi considerado o maior consumidor de agrotóxicos do mundo, contribuindo para 19% do mercado mundial sendo mais de um bilhão de litros lançados nos solos brasileiros (GOMES; SERRAGLIO, 2017), e como a produção agrícola tem aumentado devido ao crescimento econômico e à exportação, o consumo desses produtos tem avançado cada vez mais (MIORIN *et al.*, 2016; CARVALHO *et al.*, 2017). De acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), “dos 50 agrotóxicos mais utilizados nas lavouras de nosso país, 22 são proibidos na União Europeia” (CARNEIRO *et al.*, 2012), fazendo do Brasil o maior consumidor de agrotóxicos já banidos por outros países (AUGUSTO *et al.*, 2012).

Com a legislação brasileira, o país deixou de utilizar o termo “defensivo agrícola”, pois este distorce seu conceito original já que nada defende ou protege o meio ambiente (GOMES; SERRAGLIO, 2017). O termo agrotóxico passou a ser utilizado, por muitos, substituindo o termo original, evidenciando ainda mais a toxicidade que esses produtos provocam no meio ambiente e na saúde humana (ROSSETI *et al.*, 2014). Mesmo com o surgimento e o desenvolvimento da agroecologia, sistema agrícola que não necessita de aplicação de agrotóxicos, e pela procura por produtos orgânicos, o uso de pesticidas ainda tem sido intenso (CARVALHO *et al.*, 2017).

Em 2018, o Congresso Nacional quis aprovar projetos que, há tempos, foram rejeitados por apresentar perdas e riscos à população, como o Projeto de Lei nº 6.299/2002. Este projeto facilitava a liberação de agrotóxicos e propunha substituir novamente a palavra “agrotóxico” por “defensivo agrícola” de modo a encobrir os riscos desses produtos, além de reduzir a atuação de órgãos de análise de riscos ambientais e à saúde, como o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Essas ações dariam maior poder ao Ministério da Agricultura, que, representado por agricultores que se baseiam no uso intensivo do solo e no uso de agrotóxicos sem se preocuparem com as consequências provocadas no meio ambiente e na saúde humana, aprova a comercialização desses produtos no mercado brasileiro (COSTA *et al.*, 2018).

A agricultura convencional é altamente dependente de insumos externos, como fertilizantes químicos e agrotóxicos (ADL; IRON; KOLOKOLNIKOV, 2011), que podem, quando utilizados de forma inadequada, provocar contaminação de solos, água e ar, além de causar resistência de pragas e aumento das emissões de gases de efeito estufa (TSCHARNTKE *et al.*, 2012). Alguns fertilizantes, além de disponibilizarem micronutrientes essenciais e benéficos às culturas, liberam metais pesados no meio e, ao se acumularem, contaminam os solos, provocando diversos problemas à saúde humana como potencial cancerígeno (NAVA *et al.*, 2011).

Como a utilização de produtos químicos no cultivo traz desvantagens econômicas e ecológicas, a utilização de organismos geneticamente modificados promove a redução destes produtos químicos na área de cultivo, tornando-o mais sustentável (VALOIS, 2016). Segundo uma notícia divulgada pelo Conselho de Informações sobre Biotecnologia (CIB), em 2007, desde 1996 o cultivo de transgênicos

proporcionou uma redução global de 15% nos impactos ambientais relacionados à utilização de agroquímicos e somando a este resultado a diminuição do uso de combustíveis e a redução na emissão de gás carbônico pelas lavouras transgênicas.

### **2.3. Organismos Geneticamente Modificados: início de uma nova tecnologia**

Na busca de se obter um aumento na produção de alimentos de maneira sustentável, foi iniciada a aplicação da biotecnologia do DNA recombinante no desenvolvimento de plantas com o objetivo de tornar as culturas mais flexíveis, com menor custo, aumento da produção e produtividade agrícola, benefícios sociais e de saúde com uma agricultura mais limpa por meio do uso reduzido de pesticidas convencionais e com alimentos mais saudáveis (VALOIS, 2016; INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APPLICATIONS – ISAAA, 2017). Essa biotecnologia tem como princípio que genes de qualquer organismo podem ser isolados, caracterizados, modificados e transferidos para qualquer outro organismo, alterando suas características primárias (VALOIS, 2016).

Segundo o *International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications* (ISAAA), os primeiros vinte e um anos de cultura de organismos geneticamente modificados (1996-2016) trouxeram importantes benefícios agronômicos (contribuindo para uma agricultura mais sustentável), ambientais, econômicos, sociais e de saúde e cada vez mais, aos consumidores. Neste período, houve um acúmulo de 2,15 bilhões de hectares de culturas biotecnológicas, sendo 1,04 bilhão de hectares de soja, 0,64 bilhão de hectares de milho, 0,34 bilhão de hectares de algodão e 0,13 bilhão de hectares de canola (ISAAA, 2017).

Nos cultivos geneticamente modificados encontrados atualmente, há genes que atuam na tolerância a herbicidas (gene *Roundup Ready* – RR, AHAS: BASTA) e à seca; na resistência a insetos (endotoxina da bactéria *Bacillus thuringiensis* – Bt e inibidores de proteases), vírus, fungos e bactérias; na qualidade de proteína, amido e óleo e no amadurecimento retardado (VALOIS, 2016).

A opinião de agricultores sobre o cultivo de organismos geneticamente modificados é bem variável e não conclusiva. Alguns adotaram variedades transgênicas, outros optam por nem se quer experimentar essa nova tecnologia e há ainda aqueles que

testam, mas, por insatisfação, abandonam esse novo método. Até mesmo nos países de maior produção de transgênicos no mundo, as opiniões são diversas devido às incertezas sobre as consequências que essas culturas poderiam provocar à saúde e ao meio ambiente. Quando se trata da posição dos pequenos agricultores, a pesquisa é ainda mais escassa, mesmo sendo eles um grupo de grande importância na disseminação dessa cultura e no futuro da biotecnologia agrícola nacional (ALMEIDA *et al.*, 2015).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada em 1992 na cidade do Rio de Janeiro – Brasil, foi proposto o Princípio da Precaução como “a garantia contra os riscos potenciais que, de acordo com o estado atual do conhecimento, não podem ser ainda identificados”. Com o intuito de preservar o meio ambiente por meio de medidas preventivas quando ameaçado por danos significativos ou, até mesmo, irreversíveis, este princípio foi aplicado aos organismos geneticamente modificados.

Mesmo com tantas opiniões diferentes sobre o assunto, dados apontam que os níveis de produtividade alcançados nos últimos vinte e um anos por meio das culturas biotecnológicas mostram que a cultura convencional (não transgênica) não é o bastante para suprir a demanda de alimentos de que a humanidade necessita (ISAAA, 2016). Cientistas de todo mundo optam por uma abordagem equilibrada, segura e sustentável, utilizando a melhor forma da tecnologia convencional de cultivo e o melhor da biotecnologia (transgênicos e não transgênicos) para alcançar uma produtividade sustentável das culturas intensificadas, que ocupam 1,5 bilhão de hectares de terras cultiváveis mundialmente (ISAAA, 2017).

Em 2017, a área global de culturas biotecnológicas teve um aumento de 185,1 milhões de hectares para 189,8 milhões de hectares, representando um aumento de 3%, equivalendo a 4,7 milhões de hectares e atingindo um recorde de 2,3 bilhões de hectares totais plantados com organismos geneticamente modificados. No total são 24 países que plantaram culturas biotecnológicas em 2017, sendo dezenove países em desenvolvimento, cinco industrializados e do total os três principais são, em termos de participação global em milhões de hectares plantados, os Estados Unidos da América (EUA) com 40% do total mundial, Brasil com 26% e Argentina com 12% (ISAAA, 2017).

No Brasil, houve grandes discussões sobre aceitar ou não a introdução de transgênicos. Em 1998, ocorreram algumas tentativas de se produzir cultura

geneticamente modificada em escala comercial, mas o Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor e o *Greenpeace* entraram em processo judicial e conseguiram bloquear a comercialização desses cultivos, adiando sua liberação por cerca de sete anos (ALMEIDA *et al.*, 2015). Segundo Silveira *et al.* (2005), para que um produto entre no mercado não é necessário somente apresentar custos de produção mais baixos ou rendimentos mais elevados, mas também é preciso que este produto seja aceito pelo consumidor.

Mesmo depois de tantas lutas, no ano de 2003, veio a público que grande parte da soja produzida no país era geneticamente modificada, resultado do plantio ilegal no Rio Grande do Sul (ALMEIDA *et al.*, 2015). Para resolver o problema, foi criada a Lei de Biossegurança (Lei Federal nº 11.105 de 2005), que estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados e seus derivados (BRASIL, 2005).

O Princípio da Precaução também foi mencionado no Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança, publicado em 2006, sobre “a ausência de certeza científica devida à insuficiência das informações e dos conhecimentos científicos relevantes sobre a dimensão dos efeitos adversos potenciais de um organismo vivo modificado na conservação e no uso sustentável da diversidade biológica na Parte importadora, levando também em conta os riscos para a saúde humana, não impedirá esta Parte, a fim de evitar ou minimizar esses efeitos adversos potenciais, de tomar uma decisão, conforme o caso, sobre a importação do organismo vivo modificado” (BRASIL, 2006). De acordo com Carvalho e Bieger (2016), ainda existe uma irresponsabilidade por parte dos produtores de organismos geneticamente modificados em liberar produtos sem aprovação científica e do governo, que não realiza, nem se quer, um processo de conscientização dos consumidores.

Em 2017, o Brasil se manteve no ranking mundial em segundo lugar, após os EUA, em termos de participação global em milhões de hectares plantados, com 50,2 milhões de hectares de culturas geneticamente modificadas plantadas (ISAAA, 2017), com um aumento de 2% em relação ao ano de 2016, representando 26% da área global de 189,8 milhões de hectares, como mencionado anteriormente. As culturas geneticamente modificadas mais representativas atualmente no país são a soja com 33,7 milhões de hectares, o milho com 15,6 milhões de hectares (cultura de verão e inverno)

e o algodão com 940 mil de hectares, sendo estes os primeiros produtos a receberem esta biotecnologia no país (ISAAA, 2017).

Além das citadas anteriormente, diante do desenvolvimento dessa biotecnologia no Brasil, existem outros tipos de cultivos (em menor escala) que apresentam organismos geneticamente modificados como o feijão (*Phaseolus vulgaris*) resistente a vírus e insetos; a batata (*Solanum tuberosum*) resistente a vírus; a banana (*Musa spp.*) e o cacau (*Theobroma cacao*) resistentes a fungos; o arroz (*Oryza sativa*) resistente a insetos e o mamão (*Carica papaya*) resistente a vírus e fungos (VALOIS, 2016). Além da cana-de-açúcar, do eucalipto e os cítricos, que estarão comercialmente disponíveis a partir de 2019-2020 (ISAAA, 2017).

Em relação ao cultivo de milho, a biotecnologia mais empregada no território brasileiro foi a de sementes transgênicas resistentes a insetos, tolerantes a herbicidas ou à combinação de ambas (MIGUEL *et al.*, 2014). Sendo a segunda maior cultura geneticamente modificada no país, a cultura do milho ocupa uma área de 15,6 milhões de hectares (ISAAA, 2017) e, de acordo com pesquisas desenvolvidas pela Céleres (2017), 88,4% dos cultivos de milho passaram a adotar essa biotecnologia na safra 2016/17, sendo, deste total, 63,9% com sementes transgênicas combinadas, 20,7% resistentes a insetos e 3,8% tolerantes a herbicidas.

Apesar de alguns estudos afirmarem a redução da utilização de produtos químicos nos cultivos transgênicos, ainda há discussões que apontam opiniões contrárias, como no trabalho desenvolvido por Almeida *et al.* (2017b). Neste trabalho, foi constatado que, após a introdução de culturas geneticamente modificadas, houve um aumento de 1,6 vezes no uso total de agrotóxicos no Brasil entre os anos de 2000 e 2012, sendo este número maior que o da produtividade agrícola geral do país. Também foi observado por estes autores que o crescimento no uso de agrotóxicos não foi acompanhado pelo aumento na área cultivada ou pelo crescimento populacional brasileiro na mesma proporção.

De acordo com os autores do dossiê *Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde* da Associação Brasileira de Saúde Coletiva (ABRASCO), lançado no ano de 2012 e posteriormente publicado uma versão atualizada em 2015, há ligação entre o aumento do uso de agrotóxicos e os transgênicos. Os documentos informam, por exemplo, que, com a liberação da semente de soja transgênica (*Roundup Ready – RR*), resistente ao *Roundup*, agrotóxico à base de glifosato, produzida pela

Monsanto, a ANVISA aumentou 50 vezes o nível de resíduo de glifosato permitido no grão colhido, já que essa semente é capaz de aguentar cargas altas de glifosato sem morrer. Mas o que é pouco levado em consideração é o fato que com essas altas cargas muitos seres vivos no entorno podem se contaminar ou mesmo morrer (AUGUSTO *et al.*, 2012; CARNEIRO *et al.*, 2015). O estudo aponta que a aplicação do produto acelera o desenvolvimento de plantas resistentes ao glifosato e por consequência demanda o consumo de produtos mais tóxicos para seu controle (CARNEIRO *et al.*, 2015; FIOCRUZ, 2015).

Esse dossiê conseguiu mostrar problemas relacionados à utilização de agrotóxicos no país, à deficiência do governo em avaliar, monitorar e intervir em situações de risco de acordo com seu uso e à necessidade de aprimorar os órgãos responsáveis por seus registros. Além disso, neste dossiê há evidências de que é possível produzir sem a aplicação de produtos químicos e de buscar uma reconversão tecnológica conforme a redução no uso de insumos químicos, adotando práticas agroecológicas, de agricultura orgânica, entre outras (FRIEDRICH *et al.*, 2018).

#### **2.4. Agricultura Orgânica**

A agricultura orgânica tem ganhado mundialmente mais espaço por meio de diversas discussões sobre desenvolvimento sustentável. O objetivo principal é viabilizar a economia, associando a ela uma melhor qualidade de vida e preservação dos ecossistemas (SOUZA *et al.*, 2015), já que o sistema agrícola moderno, aplicado principalmente nas áreas de maior produção, não tem se mostrado sustentável (PADUA *et al.*, 2013).

Segundo Pimentel *et al.* (2005b), as práticas de sistema integrado de manejo de pragas e de gestão de nutrientes, assim como na agricultura orgânica certificada, são fatores que podem contribuir para a redução da dependência de insumos agroquímicos e, como consequência, tornar a agricultura ambientalmente e economicamente viável. Além de uma produção sem o uso de agrotóxicos, a agricultura orgânica também se caracteriza como um sistema em que as interações ecológicas têm prioridade, a fim de conservar o meio ambiente (LAGO *et al.*, 2006) e oferecer maior conservação de

recursos, maior potencial de biodiversidade e um menor potencial de ecotoxicidade (NEMECEK *et al.*, 2011).

No Brasil, a agricultura orgânica começou a ser regulamentada pela Lei Federal nº 10.831, em 2003, considerando o sistema de agricultura orgânica aquele que otimiza o uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis, respeitando a cultura das comunidades rurais e empregando métodos culturais, biológicos e mecânicos sem o uso de materiais sintéticos, organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes em qualquer etapa do processo de produção, além da proteção do meio ambiente (BRASIL, 2003). A legislação pontua também que a agricultura orgânica tem por finalidade ofertar produtos saudáveis, preservar a biodiversidade, incrementar a atividade biológica do solo, promover uso saudável do solo, água e ar, reciclagem de resíduos orgânicos, entre outras providências.

Essa legislação foi um marco histórico para a agricultura orgânica brasileira, pois antes de sua divulgação o sistema produtivo orgânico era orientado por meio de normas e diretrizes internacionais. A comercialização de produtos derivados desse sistema, por obrigatoriedade, apresenta certificação de organismos credenciados no Ministério da Agricultura, exceto para os agricultores familiares que fazem parte de organizações de controle social cadastradas no MAPA, vendendo seus produtos diretamente aos consumidores finais (ANACLETO; PALADINI, 2015; BRASIL, 2016).

O sistema de agricultura orgânica tem sido aceito cada vez mais no Brasil por gerar impactos ambientais pouco significativos ao meio ambiente e devido à demanda gerada por consumidores que exigem uma produção de alimentos mais limpa (ALENCAR *et al.*, 2013). Segundo Silva e Silva (2016), trata-se de um sistema em que a produção considera o uso saudável e responsável dos recursos naturais, favorecendo a redução da contaminação e do desperdício, colaborando para um desenvolvimento mais sustentável.

Em 2005, a *International Federation of Organic Agriculture Movements* (IFOAM) publicou quatro princípios que regem a agricultura orgânica: a) saúde: produção de alimentos de alta qualidade, livres de produtos como fertilizantes minerais, pesticidas sintéticos, medicamentos para animais e aditivos alimentares que possam provocar efeitos adversos à saúde; b) ecologia: adequada aos ciclos e aos equilíbrios da natureza utilizando recursos locais, reciclagem, reutilização e gerenciamento eficaz de

materiais e energia, sem exploração; c) equidade: proporciona boa qualidade de vida, contribuindo para a soberania alimentar, reduzindo a pobreza, melhorando o bem-estar dos animais, além de considerar as futuras gerações e d) cuidados: precaução e responsabilidade antes de adotar novas tecnologias no sistema orgânico, considerando os riscos significativos para serem evitados, rejeitando tecnologias imprevisíveis, como a engenharia genética (INTERNATIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE MOVEMENTS – IFOAM, 2005).

Em relação à produção, os cultivos convencionais tendem a apresentar maior rendimento que os cultivos orgânicos e isso se tornou um dos principais focos de debates internacionais e, para atingir a mesma quantidade de produto, a agricultura orgânica deve ser cultivada em áreas bem maiores já que seus rendimentos são mais baixos, ocorrendo grandes perdas de nutrientes (NEMECEK *et al.*, 2011; MEIER *et al.*, 2015; TRICASE *et al.*, 2018). Mesmo com baixos rendimentos, a produção de alimentos nos sistemas orgânicos tem como ótima proposta combater os impactos ambientais e sociais do sistema de produção, além de oferecer melhor qualidade de vida para aqueles que os consomem (PUSSEMIER *et al.*, 2006).

## **2.5. Avaliação do Ciclo de Vida**

O conceito de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) teve início nos anos de 1960 e desde 1970 vem sendo lapidado com muitos esforços para se desenvolver. É uma técnica de gestão ambiental elaborada para avaliar questões ambientais e potenciais impactos ao longo da vida de um sistema de produto ou serviço, ou seja, desde a obtenção da matéria-prima, passando pelo processo de produção, consumo até a disposição final (do “berço ao túmulo”) (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, 1997; HASLER *et al.*, 2015). Também é possível analisar emissões para água, solo e ar provenientes do processo de produção, utilização e disposição final para avaliar o impacto ambiental consequente do uso dos recursos naturais (energia e materiais) e emissões de poluentes, identificando oportunidades para melhorar o sistema de forma a otimizar o desempenho ambiental do produto (QUEIROZ; GARCIA, 2010).

Uma análise feita a partir dessa metodologia oferece a capacidade de identificar fatores que possam melhorar a produção e os aspectos ambientais referentes ao produto ou serviço do estudo em vários pontos de seu ciclo de vida, além de contribuir para o desenvolvimento socioeconômico do empreendimento. Os resultados podem servir de fontes úteis para diversos processos de tomada de decisão e podem auxiliar tanto no *marketing* como em uma declaração ambiental ou de produto, programa de rotulagem, entre outros (ISO, 1997).

Um dos primeiros estudos feitos a partir desta metodologia foi no "*Midwest Research Institute*" (MRI), em 1969, para a fabricante *The Coca-Cola Company* nos Estados Unidos da América (EUA). O objetivo do estudo era quantificar as consequências energéticas, materiais e ambientais de todo o ciclo de vida de uma embalagem, desde a extração de matérias-primas até sua disposição final, levando também em consideração as consequências do uso dessas embalagens. O desenvolvimento da pesquisa nunca foi publicado devido ao seu conteúdo confidencial, mas foi usado pela empresa a partir dos anos setenta, como um suporte para tomadas de decisões a respeito das embalagens utilizadas. Apenas um dos resultados divulgados foi que as garrafas de plástico se apresentaram ambientalmente melhores que as garrafas de vidro (HUNT; FRANKLIN, 1996). Esses autores também relatam que a possibilidade de uso das garrafas de plástico já estava sendo considerada antes da divulgação dos resultados, por ser considerada uma ideia revolucionária naquela época.

Estudos de ACV, mesmo seguindo os mesmos padrões, podem chegar a resultados diferentes devido aos limites impostos, idade dos dados, técnicas, logística de abastecimento de matérias-primas e matriz energética, pois estes são fatores cruciais para a interpretação dos resultados (COLTRO, 2007). Para melhor utilização dessa metodologia, diversos pesquisadores da *International Organization for Standardization* (ISO), *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC), *United Nations Environmental Programme* (UNEP), *European Commission* e a Direção de Alimentos, Pescas e Agronegócios da Dinamarca buscaram desenvolvê-la e padronizá-la, além de outras organizações (ROY *et al.*, 2009). No Brasil, foi traduzida e publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (ISO, 1997).

Os trabalhos para normalização geraram a série de normas ISO 14040, sendo elas: ISO 14040 – *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework* (1997); ISO 14041 – *Environmental management – Life cycle assessment –*

*Goal and scope definition and inventory analysis* (1998); ISO 14042 – *Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment* (2000) e ISO 14043 – *Environmental management – Life cycle assessment – Life cycle interpretation* (2000) (COLTRO, 2007). Após alguns anos, estas normas foram agregadas em apenas duas normas que são utilizadas até os dias atuais: ISO 14040 – *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework* (2006) e ISO 14044 – *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and Guidelines* (2006) (COLTRO, 2007).

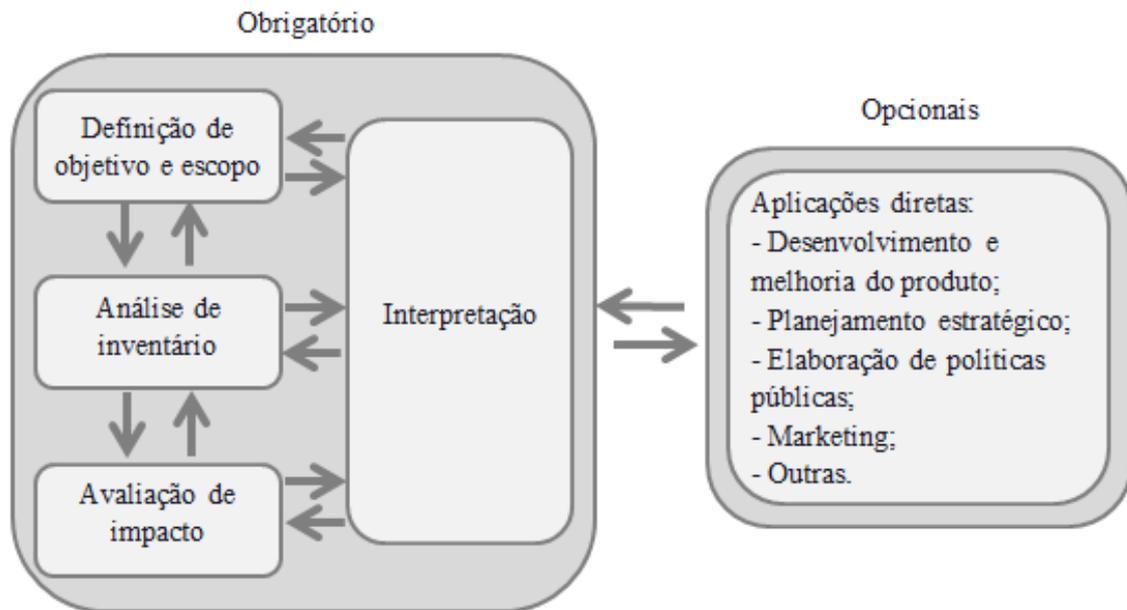
O sistema de produção agrícola, como já mencionado, é um dos que mais provocam danos ambientais (BRENTROP *et al.*, 2004; BENNETT *et al.*, 2006), então diversas ferramentas e pesquisas importantes estão sendo desenvolvidas para melhor mensurar e avaliar impactos ambientais e isso significa sustentabilidade no agronegócio e melhorias no processo de produção (CLAUDINO; TALAMINI, 2013). Os estudos de ACV, na maioria de suas aplicações, são destinados a produtos e processos industriais, mas, segundo Zalidis *et al.* (2002) e Roy *et al.* (2009), o interesse e a preocupação com relação a produtos e consumo de alimentos de modo sustentável têm aumentado, necessitando de diferentes estudos dos sistemas de produção agrícola e ganhando apoio e maior aceitação dentro dos processos convencionais.

Apesar de haver dificuldades em estimar os efeitos ambientais provocados pela produção de alimentos, muitos estudos estão sendo realizados a partir da metodologia de ACV para o agronegócio como forma de estimar os impactos ambientais provocados pela atividade e apoiar os processos de tomada de decisão em matéria de agricultura e tecnologia de produção de alimentos (ROY *et al.*, 2009; RUVIARO *et al.*, 2012; NEMECEK *et al.*, 2015), mas vale ressaltar que não há consenso sobre como avaliar os sistemas de cultivo dentro dessa metodologia (PETER *et al.*, 2017).

### **2.5.1. Metodologia da ACV**

A norma ISO 14040 estabelece a ACV estruturada a partir das seguintes etapas de estudo: definição de objetivo e escopo, análise de inventário do ciclo de vida, avaliação de impacto ambiental e interpretação, como evidenciados na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida



Fonte: Adaptado de (ISO, 1997).

**Objetivo e Escopo:** definição clara do motivo do estudo, público-alvo a quem serão informados os resultados, o sistema de produto a ser estudado, os limites desse sistema e a unidade funcional. É considerada a etapa mais importante, pois de acordo com o objetivo e escopo é que serão direcionadas e limitadas as próximas etapas, sendo que o escopo deve ser suficientemente definido (podendo este necessitar de modificações ao longo do estudo em caso de informações adicionais) para assegurar que a extensão, a profundidade e o nível de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender ao objetivo estabelecido (ISO, 1997).

**Inventário do ciclo de vida:** coleta de dados e utilização de cálculos para quantificação de entradas e saídas de matéria e energia no sistema de produto (ISO, 1997). Os dados são quantificados em softwares específicos para a metodologia de ACV. Conforme os dados são coletados e o sistema é conhecido, pode ser necessário estabelecer novos requisitos ou limitações para os dados, mudando o sistema de coleta. A qualidade do trabalho é dependente da consistência dos dados utilizados e sempre de acordo com os limites impostos pelo objetivo e escopo (ISO, 1997).

**Avaliação de impacto do ciclo de vida:** dados do inventário são associados a potenciais impactos ambientais específicos para sua compreensão e seu nível de detalhe. As entradas e saídas de matéria e energia que foram quantificadas no inventário são relacionadas aos indicadores de impactos ambientais quanto à saúde humana, ao meio ambiente e ao esgotamento de recursos. Vale ressaltar que os resultados apontados nesta

etapa devem ser considerados como indicadores de potenciais impactos relevantes provocados pelo produto ou serviço em estudo, e não como uma afirmação de ocorrências futuras (ISO, 1997).

**Interpretação:** a partir da análise do inventário e da avaliação de impactos referentes ao estudo, apontando de maneira consistente, de acordo com o objetivo e escopo definidos no início do estudo, são feitas conclusões e recomendações para mitigar potenciais impactos ambientais gerados pelo sistema em estudo (ISO, 1997). Um estudo de ACV, apesar de sua estrutura técnica é uma metodologia que também proporciona flexibilidade e praticidade, podendo se adaptar a diversos sistemas de produção e serviços.

## 2.6. Valoração Ambiental

A ideia de que as presentes gerações são responsáveis pelas gerações futuras traz para cientistas e pesquisadores o dever de saber de que maneira é mais viável a utilização dos recursos naturais, preservando a capacidade do meio ambiente de se reestabelecer e, ao mesmo tempo, proporcionar um desenvolvimento econômico (CAVALCANTI, 1994). Com a intensa utilização dos recursos renováveis e não renováveis, a população também tem se preocupado com a relação entre o crescimento e desenvolvimento da economia e as questões ambientais (SILVA; LIMA, 2004) e foi a partir dessa preocupação que surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável (MAIA *et al.*, 2004).

O sistema econômico foi elaborado de modo com que as externalidades ambientais não fossem levadas em consideração, ou seja, que os custos da degradação ecológica não estivessem incluídos no sistema econômico que as gerou (MOTTA, 1997). Essas externalidades, na teoria microeconômica, podem ser consideradas falhas de mercado, que, por este não ter um sistema de preços, faz com que aqueles recursos que já se encontram escassos sejam destinados de maneira incorreta (VIEIRA *et al.*, 2010). Como consequência, a apropriação do capital natural gera benefícios para alguns usuários desses recursos naturais sem que eles compensem os custos provenientes de usuários externos, além das gerações futuras que também irão arcar com as consequências de ações atuais (MOTTA, 1997).

Grande parte dos recursos naturais está sujeita a sofrer diversos níveis de degradação, esgotamento e exploração por meio de atividades antrópicas e todos esses fatores interferem na capacidade de suporte e custos de preservação, tornando necessária a aplicação de métodos que sejam capazes de avaliar atributos ambientais dentro das questões econômicas (MOTA; BURSZTYN, 2013).

A valoração tem ganhado importância conforme inclui os recursos naturais em suas análises de custo/benefício, nas decisões tomadas por processos judiciais, na contabilidade ambiental, entre outros (PAIVA, 2010), podendo prover ao poder público e à população informações que auxiliem na tomada de decisões sobre estes recursos, causando equilíbrio entre o desenvolvimento ambiental, econômico e social (LUCIARDO *et al.*, 2004). Isso possibilita uma alocação mais eficiente destes, mas colocar valor monetário nos recursos naturais tem como alvo muitas críticas de diversos profissionais. No entanto, enquanto os recursos ambientais permanecerem sem valor, sua utilização ocorrerá de maneira a degradá-los, podendo ocorrer destruição total (PAIVA, 2010).

Conforme Silva e Lima (2004), a valoração ambiental tem por objetivo estimar o preço de mercado que um recurso possui para servir de referência, criando, assim, a possibilidade de um uso mais viável dos recursos ambientais. Além disso, torna possível a intervenção de políticas públicas que possam preservar o meio ambiente e, ao mesmo tempo, suprir as necessidades humanas e econômicas. Para Mota e Bursztyn (2013), um recurso ambiental não é um bem econômico, mas apresenta semelhanças com os bens econômicos por também ter consumo e valor.

De acordo com Motta (1997), o valor econômico dos recursos ambientais é estabelecido de acordo com seus atributos e estes estarem ou não associados a um uso, ou seja, o consumo de um recurso natural se dá conforme seu uso e não uso. Ainda segundo este autor, no caso de um recurso ambiental, os fluxos de seus bens e serviços, que são derivados do seu consumo, definem seus atributos, mas existem também aqueles atributos de consumo associados à própria existência do recurso ambiental, independentemente de seu fluxo atual e futuro de bens e serviços apropriados na forma de seu uso.

Como mencionado anteriormente, o valor econômico de um recurso ambiental é derivado de seus atributos e estes podem ser associados ao seu uso ou não uso. O Valor de Uso (VU) é dividido em (PEARCE, 1992; MOTTA, 1997):

- **valor de opção (VO):** quando se valora bens e serviços ambientais por seus usos direto e indireto sendo utilizados em um futuro próximo e cuja preservação pode ser ameaçada;
- **valor de uso direto (VUD):** quando se utiliza atualmente de bens e serviços ambientais de maneira direta, seja produção ou consumo; e
- **valor de uso indireto (VUI):** quando bens e serviços ambientais são utilizados em decorrência das funções ecossistêmicas, sendo utilizados de modo indireto atualmente.

Segundo Motta (1997), os valores de não uso são também conhecidos como valores de existência, derivando de uma posição moral, cultural, ética e altruísta em relação aos direitos de existência de espécies não humanas ou preservação de outras riquezas naturais. Estimar os valores de uso, opção e de não uso de um determinado recurso ambiental é de suma importância, pois podem auxiliar órgãos competentes e tomadores de decisões na implementação de políticas de conservação e preservação dos recursos ambientais. Além disso, dar valor aos recursos pode servir de referência para a determinação de taxas e multas por danos ambientais provocados por ações antrópicas (FINCO, 2002).

### **2.6.1 Métodos de Valoração Ambiental**

Na literatura, há diversos métodos de valoração capazes de relacionar a provisão dos recursos naturais e os fatores econômicos de seus benefícios (MAIA *et al.*, 2004).

Os métodos de valoração ambiental podem ser classificados como métodos diretos e indiretos, em que o primeiro, por meio de uma função de demanda, analisa a preferência da população por meio de um mercado hipotético ou de mercados de bens complementares para determinar a disponibilidade de pagar por um bem ou serviço ambiental. Já o segundo obtém o valor do recurso natural que é um insumo, um substituto de um bem ou serviço privado por meio de uma função de produção. Os métodos aplicados aqui se utilizam de preços de mercado deste bem ou serviço para dar valor ao recurso ambiental por meio da relação entre o impacto das alterações ambientais e os produtos com preços de mercado, podendo estimar os benefícios ou custos destes recursos à sociedade (MOTTA, 1997; MAIA *et al.*, 2004). Representados

na Figura 2 estão os principais métodos de valoração ambiental existentes e suas devidas classificações.

Figura 2 – Métodos de Valoração Ambiental de acordo com suas classificações



Fonte: Adaptado de (MOTTA, 1997; MAIA *et al.*, 2004).

Para escolher o método a ser aplicado, é necessário conhecer o objetivo da valoração, das hipóteses, a qualidade dos dados e as características e especificações do recurso natural a ser valorado, como sua dinâmica ecológica, a fim de obter resultados que possam contribuir para a tomada de decisão de alocação e utilização desses recursos (MOTTA, 1997; PAIVA, 2010). Vale ressaltar que não há consenso sobre a eficiência dos métodos propostos, já que não é possível determinar o real valor de um bem ou serviço ambiental (MAIA *et al.*, 2004).

Diante das questões levantadas neste capítulo, pode-se observar como a implantação e a produção de culturas geneticamente modificadas têm crescido significativamente a cada ano e isso tem promovido impactos tanto no meio ambiente quanto no setor socioeconômico. As preocupações da sociedade foram surgindo ao longo do tempo quanto à sustentabilidade da agricultura e isso levou pesquisadores a

desenvolver métodos que pudessem avaliar essas questões tanto no meio ambiente quanto na economia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADL, S.; IRON, D.; KOLOKOLNIKOV, T. A threshold area ratio of organic to conventional agriculture causes recurrent pathogen outbreaks in organic agriculture. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 409, p. 2192-2197, 2011.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.026>

ALENCAR, G. V. *et al.* Percepção ambiental e uso do solo por agricultores de sistemas orgânicos e convencionais na Chapada da Ibiapada, Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], v. 51, n. 2, p. 217-236, 2013.

<https://doi.org/10.1590/S0103-20032013000200001>

ALMEIDA, C.; MASSARANI, L.; MOREIRA, I. C. As percepções de pequenos agricultores brasileiros sobre os cultivos geneticamente modificados. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 203-220, 2015.

<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422ASOC891V1812015>

ALMEIDA, M. D. *et al.* A flexibilização da legislação brasileira de agrotóxicos e os riscos à saúde humana: análise do Projeto de Lei no 3.200/2015. **Caderno Saúde Pública**, [s. l.], v. 33, n. 7, 2017a.

<https://doi.org/10.1590/0102-311x00181016>

ALMEIDA, V. E. S. *et al.* Uso de sementes geneticamente modificadas e agrotóxicos no Brasil: cultivando perigos. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 22, n. 10, p. 3333-3339, 2017b.

<http://dx.doi.org/10.1590/1413-812320172210.17112017>

ANACLETO, C. A.; PALADINI, E. P. Gestão estratégica da qualidade para empresas produtoras de alimentos orgânicos: diretrizes para a expansão do mercado consumidor. **Navus – Revista de Gestão e Tecnologia**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 51-64, 2015.

<https://doi.org/10.22279/navus.2015.v5n1.p51-64.203>

AUGUSTO, L. G. S. *et al.* **Dossiê ABRASCO**: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Parte 2. Rio de Janeiro: ABRASCO, 2012. Disponível em: [http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/Dossie\\_Abrasco\\_02.pdf](http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/Dossie_Abrasco_02.pdf). Acesso em: março 2018.

BENDLIN, L. *et al.* Expectativas de retorno e de risco percebidos no agronegócio da soja convencional versus soja transgênica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS. 21., 2014, Natal. **Anais [...]**. Natal: [s. n.], 2014. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3685/3686>. Acesso em: agosto 2018.

BENNETT, R. M.; PHIPPS, R. H.; STRANGE, A. M. The use of life cycle assessment to compare the environmental impact of production and feeding of conventional and genetically modified maize for broiler production in Argentina. **Journal of Animal and Feed Sciences**, [s. l.], v. 15, p. 71-82, 2006.

<https://doi.org/10.22358/jafs/66843/2006>

**BRASIL. Decreto n.º 4.074, de 4 de janeiro de 2002.** Regulamenta a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Brasília, DF: Casa Civil, 2002. Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/d4074.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4074.htm). Acesso em: março 2018.

**BRASIL. Decreto n.º 5.705, de 16 de fevereiro de 2006.** Promulga o Protocolo de Cartagena sobre Biossegurança da Convenção sobre Diversidade Biológica. Brasília, DF: Casa Civil, 2006. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Atos2004-2006/2006/Decreto/D5705.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Atos2004-2006/2006/Decreto/D5705.htm). Acesso em: março 2018.

**BRASIL. Lei n.º 7.802, de 11 de julho de 1989.** Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Brasília, DF: Casa Civil, 1989. Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L7802.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7802.htm). Acesso em: março 2018.

**BRASIL. Lei n.º 9.974, de 6 de junho de 2000.** Altera a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Brasília, DF: Casa Civil, 2000. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9974.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9974.htm). Acesso em: março 2018.

**BRASIL. Lei n.º 10.831, de 23 de dezembro de 2003.** Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Brasília, DF: Casa Civil, 2003. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/2003/L10.831.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/L10.831.htm). Acesso em: outubro 2018.

**BRASIL. Lei n.º 11.105, de 24 de março de 2005.** Regulamenta os incisos II, IV e V do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados – OGM e seus derivados, cria o Conselho Nacional de Biossegurança – CNBS, reestrutura a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio, dispõe sobre a Política Nacional de Biossegurança – PNB, revoga a Lei no 8.974, de 5 de janeiro de 1995, e a Medida Provisória no 2.191-9, de 23 de agosto de 2001, e os arts. 5º, 6º, 7º, 8º, 9º, 10 e 16 da Lei no 10.814, de 15 de dezembro de 2003, e dá outras providências. Brasília, DF: Casa Civil, 2005. Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2004-2006/2005/lei/111105.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2005/lei/111105.htm). Acesso em: abril 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Orgânicos. O que são produtos orgânicos?** Brasília, DF: MAPA, 2016. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos>. Acesso em: outubro 2018.

BRENTROP, F. *et al.* Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. **European Journal of Agronomy**, Montrouge, v. 20, p. 247-264, 2004.  
[https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00024-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00024-8)

CARMO, C. R. S. Atividade agrícola: uma análise sobre sua contribuição para a economia do estado de Minas Gerais e seus possíveis determinantes agrícolas. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 223-249, 2016.  
<https://doi.org/10.17765/2176-9168.2016v9n2p223-249>

CARNEIRO, F. F. *et al* (org.). **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** São Paulo: Expressão Popular, 2015. Disponível em: [http://www.abrasco.org.br/dossieagrototoxicos/wp-content/uploads/2013/10/DossieAbrasco\\_2015\\_web.pdf](http://www.abrasco.org.br/dossieagrototoxicos/wp-content/uploads/2013/10/DossieAbrasco_2015_web.pdf). Acesso em: outubro 2017.

CARNEIRO, F. F. *et al.* **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** Parte 1. Rio de Janeiro: ABRASCO, 2012. Disponível em: [https://www.abrasco.org.br/site/wp-content/uploads/2015/03/Dossie\\_Abrasco\\_01.pdf](https://www.abrasco.org.br/site/wp-content/uploads/2015/03/Dossie_Abrasco_01.pdf). Acesso em: março 2018.

CARVALHO, M. M. X.; NODARI, E. S.; NODARI, R. O. “Defensivos” ou “agrotóxicos”? História do uso e da percepção dos agrotóxicos no estado de Santa Catarina, Brasil, 1950-2002. **História, Ciências, Saúde**, Manguinhos, v. 24, n. 1, p. 75-91, 2017.  
<https://doi.org/10.1590/s0104-59702017000100002>

CARVALHO, M. T.; BIEGER, J. T. Abordagem crítica relacionada a alimentos transgênicos. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 1975-1990, 2016.  
<https://doi.org/10.3895/rbta.v10n1.1841>

CAVALCANTI, C. Breve Introdução à Economia da Sustentabilidade. *In*: CAVALCANTE, C (org.). **Desenvolvimento e Natureza: estudos para uma sociedade sustentável**, 1994. p. 17-28.

CÉLERES. 3º levantamento de adoção da biotecnologia agrícola no Brasil, safra 2016/17. *In*: CÉLERES. **Imprensa**. Uberlândia: Céleres, 2017. Disponível em: <http://www.celeres.com.br/3o-levantamento-de-adoacao-da-biotecnologia-agricola-no-brasil-safra-201617/>. Acesso em: abril 2018

CONSELHO DE INFORMAÇÕES SOBRE BIOTECNOLOGIA – CIB. Em 10 anos, transgênicos reduzem em 15% o impacto do uso de agrotóxicos no meio ambiente. *In*: CIB. **Categoria Notícias**. 2007. Disponível em: <http://cib.org.br/em-10-anos-transgenicos-reduzem-em-15-o-impacto-do-uso-de-agrototoxicos-no-meio-ambiente/>. Acesso em: outubro 2017.

CLAUDINO, E. S.; TALAMINI, E. Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 77-85, 2013.

<https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100011>

COLTRO, L. Avaliação do Ciclo de Vida com Instrumentos de Gestão. Campinas: CETEA/ITAL, p. 75, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos, v. 6, safra 2018/19 – Primeiro levantamento. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: outubro 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Indicadores da agropecuária**. Observatório Agrícola. Brasília, 2018a. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/precos>. Acesso em: novembro 2018.

COSTA, A. M.; RIZZOTTO, M. L. F.; LOBATO, L. V. C. A questão dos agrotóxicos rompe os limites da ética da preservação da saúde e da vida. **Editorial – Saúde Debate**, [s. l.], v. 42, n. 117, p. 346-353, 2018.

<https://doi.org/10.1590/0103-1104201811700>

FINCO, M. V. A.; ABDALLAH, P. R. Valoração econômica do meio ambiente: o método de custo de viagem aplicado ao litoral do rio grande do sul. **Teoria e Evidência Economia**, [s. l.], v. 10, n. 18, 2002. Disponível em: <http://www.repositorio.furg.br/handle/1/906>. Acesso em: janeiro 2019.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ – FIOCRUZ. Dossiê sinaliza ligação entre transgênicos e aumento do uso de agrotóxicos. *In*: FIOCRUZ. **Notícias**. 2015. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/pt-br/content/transgenicos-e-agrotoxicos-uma-relacao-controversa>. Acesso em: outubro 2017.

FRIEDRICH, K. *et al.* Agrotóxicos: mais venenos em tempos de retrocessos de direitos. **Revista OKARA: Geografia em debate**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 326-347, 2018.

<https://doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.2018v12n2.41320>

FURNIVAL, A. C.; PINHEIRO, S. M. A percepção pública da informação sobre os potenciais riscos dos transgênicos na cadeia alimentar. **História, Ciências, Saúde, Manguinhos**, v. 15, n. 2, p. 277-291, 2008.

<https://doi.org/10.1590/S0104-59702008000200003>

GERVÁSIO, E. W. Milho: análise de conjuntura 2017. *In*: SEAB. **Conjuntura do milho**. Disponível em:

<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=240>.

Acesso em: julho 2017.

GOMES, D.; SERRAGLIO, H. Z. A responsabilidade civil decorrente do uso e da produção de agrotóxicos no Brasil. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 305-325, 2017. Disponível em:

<http://ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/4408/3100>. Acesso em: janeiro 2019.

HASLER, K. *et al.* Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. **European Journal of Agronomy**, Montrouge, v. 69, p. 41-51, 2015.  
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001>

HUNT, R. G.; FRANKLIN, W. E. LCA: how it Came About: personal reflections on the origin and the development of LCA in the USA. **Ecomed publishers**, Landsberg – Germany, J. LCA, v. 1, n. 1, p. 4-7, 1996.  
<https://doi.org/10.1007/BF02978624>

INTERNATIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE MOVEMENTS – IFOAM. Principles of Organic Agriculture. *In*: IFOAM. **Definition of Organic Agriculture**. 2005. Disponível em:  
[https://www.ifoam.bio/sites/default/files/poa\\_english\\_web.pdf](https://www.ifoam.bio/sites/default/files/poa_english_web.pdf). Acesso em: outubro 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 14040. Environmental management: life cycle assessment: principles and framework. Genève: Switzerland, 1997.

INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APPLICATIONS – ISAAA. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2016. **ISAAA Brief**, Ithaca, NY, n. 52, 2016. Disponível em:  
<https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/download/isaaa-brief-52-2016.pdf>. Acesso em: julho 2017.

INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APPLICATIONS – ISAAA. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years. **ISAAA Brief**, Ithaca, NY, n. 53, 2017. Disponível em:  
<https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/53/download/isaaa-brief-53-2017.pdf>. Acesso em: outubro 2018.

JOHNSTON, B. F.; MELLOR, J. The role of agriculture in economic development. **The American Economic Review**, v. 51, n. 4, p. 566-593, sep 1961.

LAGO, A. *et al.* Agricultura familiar de produtos orgânicos: um olhar sob a ótica do marketing. **Revista Extensão Rural**, [s. l.], 2006.  
<https://doi.org/10.5902/23181796>

LUCIARDO, R. O.; CUNHA, N. R. S.; JUNIOR, A. G. S. Identificação e proposição de métodos de valoração econômica dos efeitos das queimadas no estado de Mato Grosso. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER). 42., 2004, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: [s. n.], 2004. Disponível em:  
<http://www.sober.org.br/palestra/12/08O383.pdf>. Acesso em: julho 2018.

MAIA, A. G.; ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P. Valoração de recursos ambientais – metodologias e recomendações. **Texto para Discussão**. IE/UNICAMP, n. 116, 2004.

MEIER, M. S. *et al.* Environmental impacts of organic and conventional agricultural products: are the differences captured by life cycle assessment? **Journal of Environmental Management**, London, v. 149, p. 193-208, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.006>

MENDONÇA, M. L. O papel da agricultura nas relações internacionais e a construção do conceito de agronegócio. **Contexto Internacional**, [s. l.], v. 37, n. 2, p. 375-402, 2015.

<https://doi.org/10.1590/S0102-85292015000200002>

MENEGUETTI, G. A.; GIRARDI, J. L.; REGINATTO, J. C. Milho crioulo: tecnologia viável e sustentável. **Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 12-17, 2002.

MIGUEL, F. B.; ESPERANCINI, M. S. T.; GRIZOTTO, R. K. Rentabilidade e risco da produção de milho safrinha geneticamente modificado e convencional na região de Guaíra/SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n. 1, p. 64-75, 2014.

<https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2014v29n1p64-75>

MINAS GERAIS. Secretária de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais. **Relatórios da agricultura: milho**. Belo Horizonte: SEAPA, 2018.

Disponível em:

[http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil\\_milho\\_out\\_2018\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil_milho_out_2018[1].pdf). Acesso em: novembro 2018.

MIORIN, J. D. *et al.* Percepções de agricultores sobre o impacto dos agrotóxicos para a saúde e o meio ambiente. **Revista de Enfermagem do Centro Oeste Mineiro**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 2410-2420, 2016.

<https://doi.org/10.19175/recom.v6i3.1117>

MOTA, J. A.; BURSZTYN, M. O Valor da Natureza como Apoio à Decisão Pública. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, [s. l.], v. 34, n. 125, p. 39-56, 2013.

Disponível em:

<http://www.ipardes.pr.gov.br/ojs/index.php/revistaparanaense/article/view/629>. Acesso em: setembro 2018.

MOTTA, R. S. Manual para valoração econômica de recursos ambientais. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, v. 1, p. 218, 1997.

MOURA, J. G.; CÂMARA, S. F.; LIMA, R. C. Eficiência alocativa e crescimento econômico: o papel do setor agrícola (compact disc). *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER). 1999, Brasília. **Anais [...]**. Brasília: [s. n.], 1999.

NAVA, I. A. *et al.* Disponibilidade dos metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo no solo e tecido foliar da soja adubada com diferentes fontes de NPK+Zn. **Ciência e Agrotecnologia**, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 884-892, 2011.

<https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000500004>

NEMECEK, T. *et al.* Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. **Agricultural Systems**, Barking, v. 104, n. 3, p. 217-232, 2011.

<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.10.002>

NEMECEK, T. *et al.* Designing eco-efficient crop rotations using life cycle assessment of crop combinations. **European Journal of Agronomy**, Montrouge, v. 65, p. 40-51, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.01.005>

PADUA, J. B.; SCHLINDWEIN, M. M.; GOMES, E. P. Agricultura familiar e produção orgânica: uma análise comparativa considerando dados dos censos de 1996 e 2006. **Interações – Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 225-235, 2013.

<https://doi.org/10.1590/S1518-70122013000200009>

PAIVA, R. F. P. S. **A valoração econômica ambiental a partir da economia ecológica**: um estudo de caso para a poluição hídrica e atmosférica na cidade de Volta Redonda/RJ. 2010. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/286348/1/Paiva\\_RobertaFernandaPaizdeSouza\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/286348/1/Paiva_RobertaFernandaPaizdeSouza_D.pdf). Acesso em: agosto 2017.

PEARCE, D. *Economic Valuation and the Natural World*. Washington DC: World Bank. 1992.

PETER, C. *et al.* The MiLA tool: modeling greenhouse gas emissions and cumulative energy demand of energy crop cultivation in rotation. **Agricultural Systems**, Barking, v. 152, p. 67-79, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.12.008>

PIMENTEL, D. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. **Environment, Development and Sustainability**, [s. l.], v. 7, p. 229-252, 2005a.

<https://doi.org/10.1007/s10668-005-7314-2>

PIMENTEL, D. *et al.* Environmental, energetic, and economic comparisons of organic and conventional farming systems. **Bioscience**, Washington, v. 55, p. 573-582, 2005b.

[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0573:EEAECO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0573:EEAECO]2.0.CO;2)

PORTO, M. F.; SOARES, W. L. Modelo de desenvolvimento, agrotóxicos e saúde: um panorama da realidade agrícola brasileira e propostas para uma agenda de pesquisa inovadora. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, [s. l.], v. 37, n. 125, p. 17-31, 2012.

<https://doi.org/10.1590/S0303-76572012000100004>

PUSSEMIER, L. *et al.* Chemical safety of conventionally and organically produced foodstuffs: A tentative comparison under Belgian conditions. **Food Control**, Guildford, v. 17, n. 1, p. 14-21, 2006.

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.08.003>

QUEIROZ, G. C.; GARCIA, E. E. C. Reciclagem de sacolas plásticas de polietileno em termos de inventário de ciclo de vida. **Revista Polímeros**, [s. l.], v. 20, p. 401-406, 2010.

<https://doi.org/10.1590/S0104-14282011005000003>

ROSSETI, J. S. *et al.* Agricultura convencional versus sistemas agroecológicos: modelos, impactos, avaliação da qualidade e perspectivas. **Scientia Agraria Paranaensis**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 80-94, 2014.

<https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v13n2p80-94>

- ROY, P. *et al.* A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. **Journal of Food Engineering**, London, v. 90, p. 1-10, 2009.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>
- RUVIARO, C. F. *et al.* Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 9-24, 2012.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.015>
- SANTOS, B. R. E.; DAMASO, O. R.; NASSAR, A. M. Evolução e perspectivas econômicas da produção de milho no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, [s. l.], n. 4, 1994. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/758/715>. Acesso em: fevereiro 2018.
- SCOLARI, D. D. G. Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil. In: Visão Progressista do Agronegócio Brasileiro. **Revista da Fundação Milton Campos**, Brasília, DF, n. 25, p. 9-86, 2006. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/417182>. Acesso em: setembro 2017.
- SILVA, A. T.; SILVA, S. T. Panorama da agricultura orgânica no Brasil. **Revista Segurança Alimentar e Nutricional**, [s. l.], v. 23, p.1031-1040, 2016.  
<https://doi.org/10.20396/san.v23i0.8635629>
- SILVA, R. G.; LIMA, J. E. Valoração Contingente do Parque “Chico Mendes”: uma Aplicação Probabilística do Método Referendum com Bidding Games\*. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s. l.], v. 42, n. 4, p. 685-708, 2004.  
<https://doi.org/10.1590/S0103-20032004000400008>
- SILVEIRA, J. M. F. J.; BORGES, I. C.; BUAINAIN, A. M. Biotecnologia e agricultura: da ciência e tecnologia aos impactos da inovação. **São Paulo em Perspectiva**, [s. l.], v. 19, n. 2, p.101-114, 2005.  
<https://doi.org/10.1590/S0102-88392005000200009>
- SOARES, W. L.; PORTO, M. F. Atividade agrícola e externalidade ambiental: uma análise a partir do uso de agrotóxicos no cerrado brasileiro. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 131-143, 2007.  
<https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000100016>
- SOUZA, A. R. L.; MACHADO, J. A. D.; DALCIN, D. Análise de estudos internacionais sobre fatores que influenciam a decisão dos agricultores pela produção orgânica. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 563-583, 2015.  
<https://doi.org/10.17765/2176-9168.2015v8n3p563-583>
- STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I. Contaminação do solo e da água pelo uso de agrotóxicos. **Tecnológica**, Santa Cruz do Sul, v. 15, n. 1, p. 15-21, 2011.  
<https://doi.org/10.17058/tecnolog.v15i1.2016>
- TRICASE, C. *et al.* A comparative Life Cycle Assessment between organic and conventional barley cultivation for sustainable agriculture pathways. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 172, p. 3747-3759, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.008>

TSCHARNTKE, T. *et al.* Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. **Biological Conservation**, Barking, v. 151, p. 53-59, 2012.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068>

VALOIS, A. C. C. Biodiversidade, biotecnologia e organismos transgênicos. **Texto para discussão**. Brasília, DF: Embrapa, p. 217, 2016. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1045843/1/textoparadiscussao46.pdf>. Acesso em: outubro 2017.

VIEIRA, P. F. S. P. *et al.* Valor econômico da polinização por abelhas mamangavas no cultivo do maracujá-amarelo. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, [s. l.], v. 15, p. 43-53, 2010. Disponível em:

<https://www.raco.cat/index.php/Revibec/article/view/200512/268016>. Acesso em: janeiro 2018.

ZALIDIS, G. *et al.* Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 88, p. 137–146, 2002.

[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00249-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00249-3)

## CAPÍTULO 2

### **Avaliação do ciclo de vida agrícola de cultivos de milho próximos à cidade de Uberlândia – potenciais impactos ambientais**

#### *Life cycle assessment agricultural of corn crops near the city of Uberlândia - potential environmental impacts*

**RESUMO:** Avaliação do Ciclo de Vida é uma técnica de gestão ambiental, que, no setor agrícola, estima potenciais impactos ambientais. O objetivo deste estudo é analisar três sistemas de cultivo de milho, convencional (CC), transgênico (CT1 e CT2) e orgânico (CO), em quatro áreas, a partir da utilização de insumos agrícolas, a fim de identificar e comparar os potenciais impactos ambientais provocados pelo uso de fertilizantes, pesticidas e corretivos, apontando vantagens e desvantagens de cada processo frente às questões ambientais. Os dados foram coletados a partir da aplicação de questionário para quantificar e caracterizar os tipos de insumos utilizados e, em seguida, associados ao banco de dados do programa de software para a elaboração do inventário do ciclo de vida. Posteriormente, foram analisados em categorias de impacto ambiental: acidificação, eutrofização, ecotoxicidade terrestre e aquática. Em nenhuma das quatro áreas, foi necessária a aplicação de qualquer tipo de corretivo. Com relação à aplicação de fertilizantes, o CT2 apresentou o pior perfil ambiental em todas as categorias devido às suas maiores emissões de substâncias quando comparado às outras áreas. Já o CO foi o cultivo com menores emissões por utilizar um produto orgânico em seu processo produtivo. Com relação à aplicação de pesticidas, o CO não utiliza nenhum produto que se assemelha a essa prática e novamente o CT2 apresentou o pior perfil, mesmo utilizando menor quantidade de pesticidas. Com esses resultados, é possível concluir que a forma de manejo e o local são fatores que influenciam os potenciais impactos provocados por um sistema de cultivo. O CO foi aquele que apresentou maiores vantagens quando comparado às outras áreas, mas um erro de manejo pode fazer com que ofereça riscos ambientais tanto quanto os outros.

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo de Vida. Agricultura. Transgênico. Pesticidas, Fertilizantes.

**ABSTRACT:** Life Cycle Assessment is an environmental management technique that, in the agricultural sector, estimates potential environmental impacts. The objective of this study is to analyze three systems of corn cultivation, conventional (CC), transgenic (CT1 and CT2) and organic (CO), in four areas, from the use of agricultural inputs, in order to identify and compare the potential environmental impacts caused by the use of fertilizers, pesticides and correctives, pointing to the advantages and disadvantages of each process against environmental issues. The data were collected from the application of a questionnaire to quantify and characterize the types of inputs used and then associated with the software program database for the development of the life cycle inventory. Subsequently, environmental impact categories were analyzed: acidification, eutrophication, terrestrial and aquatic ecotoxicity. In none of the four areas was it necessary to apply any type of corrective. Regarding fertilizer application, CT2 presented the worst environmental profile in all categories due to its higher emissions of substances when compared to other areas. On the other hand, CO was the cultivation with the lowest emissions for using an organic product in its production process. Regarding the application of pesticides, the CO does not use any product that resembles this practice and again the CT2 presented the worst profile, even using less pesticides. With these results it is possible to conclude that the management form and location are factors that influence the potential impacts caused by a cropping system. CO was the one that presented the greatest advantages when compared to other areas, but a management error could cause it to offer environmental risks as much as the others.

**Keywords:** Life Cycle Assessment. Agriculture. Transgenic. Pesticides. Fertilizers.

## 1. Introdução

O sistema de produção agrícola é um dos que mais provocam danos ambientais, como mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, toxicidade, entre outros (Brentrup *et al.*, 2004; Bennett *et al.*, 2006), e isso ocorre não somente por meio das atividades realizadas no campo, mas também por meio da produção de insumos agrícolas utilizados no processo (Brentrup *et al.*, 2004). A produção de alimentos necessita de grandes quantidades de recursos, satisfazendo as necessidades econômicas e de crescimento populacional, e isso tem provocado vários efeitos negativos ao meio ambiente (Claudino; Talamini, 2013).

No Brasil, o sistema agrícola tem sido considerado um fator que, tanto nos mercados nacionais como internacionais, mais promove impactos no desenvolvimento do país (Bendlin *et al.*, 2014), gerando forte influência sobre diversos setores, principalmente na economia (Carmo, 2016). Mesmo com a consolidação da agricultura no país, a sociedade tem se preocupado muito quanto à sustentabilidade ambiental, a fim de proporcionar uma produção mais sustentável e limpa (Claudino; Talamini, 2013; Hasler *et al.*, 2015).

Também segundo Zalidis *et al.* (2002) e Roy *et al.* (2009), o interesse e a preocupação com relação a produtos e consumo de alimentos de modo sustentável têm aumentado, necessitando de diferentes estudos nos sistemas de produção agrícola. Apesar de haver dificuldades em estimar os efeitos ambientais provocados pela produção de alimentos (Roy *et al.*, 2009; Ruviaro *et al.*, 2012), diversas ferramentas e pesquisas importantes estão sendo desenvolvidas para melhor mensurar e avaliar impactos ambientais, como os estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (Claudino; Talamini, 2013). A metodologia de ACV, na maioria de suas aplicações, é destinada a produtos e processos industriais, mas, quando voltada ao agronegócio, tem sido utilizada para apoiar processos de tomada de decisão em matéria de agricultura e tecnologia de produção de alimentos (Roy *et al.*, 2009; Ruviaro *et al.*, 2012).

A metodologia de ACV é uma técnica de gestão elaborada para avaliar questões ambientais e potenciais impactos ao longo da vida de um sistema de produto ou serviço, ou seja, desde a obtenção da matéria-prima, passando pelo processo de produção, consumo até a disposição final (do “berço ao túmulo”) (ISO, 1997; Hasler *et al.*, 2015). Conforme a norma ISO 14040 – *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework* (Coltro, 2007), a ACV é estruturada a partir da definição de

objetivo e escopo apontando o motivo do estudo, público-alvo, o sistema de produto, os limites desse sistema e a unidade funcional; a análise de inventário do ciclo de vida por meio da coleta de dados e a quantificação de entradas e saídas de matéria e energia em softwares específicos; avaliação de impacto ambiental em que os dados do inventário são associados a potenciais impactos ambientais específicos, que devem ser considerados como indicadores de potenciais impactos relevantes, e não como uma afirmação de ocorrências futuras; e a interpretação que, a partir da análise do inventário e da avaliação de impactos, faz conclusões e recomendações para mitigar potenciais impactos ambientais gerados pelo sistema em estudo.

Apesar de haver dificuldades em estimar os efeitos ambientais provocados pela produção de alimentos, muitos estudos estão sendo realizados a partir da metodologia de ACV para o agronegócio como forma de estimar os impactos ambientais provocados pela atividade e apoiar os processos de tomada de decisão em matéria de agricultura e tecnologia de produção de alimentos (Roy *et al.*, 2009; Ruviaro *et al.*, 2012; Nemecek *et al.*, 2015), mas vale ressaltar que não há consenso sobre como avaliar os sistemas de cultivo dentro dessa metodologia (Peter *et al.*, 2017).

Brentrup *et al.* (2004) afirmam que estudos de ACV no setor agrícola permitem investigar impactos ambientais de diferentes intensidades no sistema produtivo, além de analisar vantagens e desvantagens nos sistemas de cultivo intensivo ou extensivo. Isso torna o método de ACV adequado para analisar impactos ambientais em sistemas de cultivo (Nemecek *et al.*, 2011).

De acordo com Ruviaro *et al.* (2012), os estudos de ACV no ramo agrícola são de significativa importância em todas as fases de produção, podendo ser destacadas as seguintes externalidades de mercado: consumidores exigem produtos que respeitam o meio ambiente e estão dispostos a pagar mais por eles; produtores apresentam dificuldades em expor a sustentabilidade do cultivo de seus produtos, havendo dificuldades de acesso a mercados importantes e aplicação gradual de critérios ambientais nos países como requisitos para importação de produtos agrícolas.

Colocar no estudo todos os impactos e emissões ambientais provenientes das culturas é um desafio quando se leva em consideração que há culturas que são interligadas com outras culturas no sistema produtivo. Normalmente, a ACV agrícola é direcionada ao produto, ou seja, na safra, mas isolar uma cultura e as suas emissões do sistema de cultivo do qual faz parte é uma tarefa desafiadora e talvez impossível

(Goglio *et al.*, 2017). Para avaliar e comparar o peso ambiental relacionado aos sistemas de produção agrícola, é necessário comparar todos os impactos ambientais resultantes do processo ao mesmo tempo (Brentrup *et al.*, 2001).

De forma prática, são exemplos de ACV em sistemas agrícolas: Haas *et al.* (2001) compararam dezoito fazendas de pastagem em sistemas agrícolas intensivo, extensivo e orgânico, em que as fazendas com práticas extensiva e orgânica se mostraram com menor potencial na geração de impactos, como no uso de energia, aquecimento global, ecotoxicidade, acidificação e eutrofização, quando comparadas às fazendas intensivas. Já Bennett *et al.* (2006) compararam cultivos de milho convencional e transgênico de sementes combinadas em que o cultivo transgênico se mostrou mais benéfico para o meio ambiente e para a saúde humana, mas, quando se trata do uso do milho para alimentação de aves, os transgênicos são insignificantes em comparação ao convencional. Por fim, Tricase *et al.* (2018) analisaram cultivo orgânico e convencional de cevada, observando que o cultivo orgânico é a solução mais ambientalmente sustentável, mas não eficiente na produção, e o cultivo convencional é a solução mais eficiente de produção, mas não ambientalmente sustentável.

Tricase *et al.* (2018) e Martínez-Blanco *et al.* (2013) evidenciam que a metodologia de ACV tem sido muito utilizada para quantificar os potenciais impactos ambientais relacionados à agricultura e aos sistemas de produção de cereais. Assim, o presente trabalho tem como objetivo utilizar a ACV para analisar três sistemas de cultivo de milho, sendo eles convencional, transgênico e orgânico, a partir da utilização de insumos agrícolas em seus processos produtivos, a fim de identificar e comparar os potenciais impactos ambientais provocados pelo uso de fertilizantes, pesticidas e corretivos dentro dos processos de produção mencionados, apontando vantagens e desvantagens de cada processo frente às questões ambientais. O artigo está estruturado em material e métodos, evidenciando as áreas de estudo, forma de coleta de dados e as diretrizes adotadas para a realização da ACV; em seguida, os resultados obtidos na pesquisa acompanhados de discussões conforme trabalhos publicados e, por fim, as principais conclusões.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Áreas de estudo e coleta de dados**

Foram pesquisadas quatro áreas de plantação de milho sendo uma de cultivo convencional (CC) da cidade de Monte Carmelo, utilizando sementes híbridas; duas de cultivo transgênico (CT1 e CT2), a primeira com sementes híbridas resistentes a insetos da cidade de Monte Carmelo e a segunda com sementes híbridas combinadas (resistente a insetos e tolerante a herbicidas) da região rural de Uberlândia e uma de cultivo orgânico (CO) com sementes convencionais, também da região rural de Uberlândia. Neste estudo, não serão identificadas as áreas que forneceram os dados, sendo assim estas serão representadas no decorrer do estudo por abreviações como demonstrado (CC, CT1, CT2 e CO).

Os dados obtidos para o desenvolvimento desta pesquisa foram coletados no ano de 2018, por meio de um questionário e de acordo com a aprovação do projeto “*Avaliação do ciclo de vida e valoração ambiental de cultivos de milho próximos à cidade de Uberlândia – potenciais impactos socioambientais*” pelo Comitê de Ética (nº parecer 2.983.044). O questionário foi direcionado ao produtor responsável pela área (dados primários), solicitando informações como: tipos e a quantidade de insumos agrícolas – fertilizantes, pesticidas e corretivos – utilizados, conforme Coltro *et al.* (2006).

## 2.2. Avaliação do Ciclo de Vida

Conforme o protocolo da metodologia de ACV estabelecida pela norma ISO 14040 descrita anteriormente, o objetivo é analisar três sistemas de cultivo de milho: convencional, transgênico e orgânico, a partir da utilização de insumos agrícolas em seus processos produtivos. Como escopo do trabalho, foram quantificados e caracterizados os tipos de insumos – fertilizantes, pesticidas e corretivos – aplicados na safra de 2017/2018 (desde a preparação do solo até a colheita, sendo este o limite do sistema), como o trabalho referência de Coltro *et al.* (2006). Este estudo foi focado apenas na utilização dos insumos na fase de cultivo (ciclo de vida agrícola), não sendo contabilizados o transporte e o armazenamento dos insumos.

Com a aplicação deste estudo em sistemas agrícolas, diferentes unidades funcionais podem ser utilizadas (Bacenetti *et al.*, 2015) e, no presente estudo, a unidade funcional é um 1 kg de milho colhido (Coltro *et al.*, 2006; Roy *et al.*, 2009; Bacenetti *et al.*, 2015; Tricase *et al.*, 2018) para dar limites à coleta de dados e os resultados serão analisados e discutidos a partir de dados presentes na literatura científica. O público-

alvo desta pesquisa serão pequenos e médios agricultores e a comunidade acadêmico-científica.

Para a elaboração do Inventário do Ciclo de Vida, os dados foram coletados diretamente com os agricultores envolvidos na pesquisa sobre as quantidades e os tipos de insumos aplicados (dados primários) e estes associados ao banco de dados do programa de software SimaPro® (dados secundários), utilizando o método ReCiPe 2016 para a avaliação dos impactos ambientais (Noya *et al.*, 2015; Esteves *et al.*, 2016; Goglio *et al.*, 2018; Tricase *et al.*, 2018).

Na Avaliação de Impactos, as categorias selecionadas para avaliar os potenciais impactos provenientes das áreas estudadas foram: acidificação terrestre (Haas *et al.*, 2001; Brentrup *et al.*, 2004; Bennett *et al.*, 2006; Coltro *et al.*, 2006; Noya *et al.*, 2015; Tricase *et al.*, 2018), eutrofização (Haas *et al.*, 2001; Brentrup *et al.*, 2004; Bennett *et al.*, 2006; Noya *et al.*, 2015; Tricase *et al.*, 2018), ecotoxicidade terrestre (Brentrup *et al.*, 2004; Coltro *et al.*, 2006; Noya *et al.*, 2015; Tricase *et al.*, 2018) e ecotoxicidade aquática (Brentrup *et al.*, 2004; Bennett *et al.*, 2006; Noya *et al.*, 2015; Tricase *et al.*, 2018), por serem categorias de impacto regional.

A partir do inventário e da avaliação de impactos, o programa gerou gráficos para análises e eles foram interpretados e discutidos de acordo com a literatura científica.

### **3. Resultados e Discussões**

Após a aplicação dos questionários, os dados foram organizados e posteriormente aplicados ao programa de software SimaPro® da metodologia de ACV, em que os cálculos para fertilizantes, pesticidas e corretivos foram feitos separadamente. A Tabela 1 mostra os tipos e as quantidades de insumos agrícolas utilizados para a realização dos cálculos do inventário do ciclo de vida referente aos cultivos de milho. Vale ressaltar que as áreas CC e CT1 pertencem a um único produtor e suas práticas de cultivo são as mesmas, independentemente do tipo de semente. Esses dados foram fornecidos pelos agricultores responsáveis por cada uma das áreas analisadas.

TABELA 1: Insumos agrícolas utilizados nas áreas de estudo referentes à safra 2017/18.

Área de cultivo	Produto	Unidade	Quantidade/hectare
CC e CT1	<b>Fertilizantes</b>		
	<b>Total</b>	<b>kg/ha</b>	<b>540</b>
	Fertilizante nitrogenado	kg/ha	220
	Fertilizante potássico	kg/ha	20
	Fertilizante misto	kg/ha	300
	<b>Pesticidas</b>		
	<b>Total</b>	<b>L/ha</b>	<b>10,8</b>
	Fungicidas	-	-
	Herbicidas	L/ha	10,8
	Inseticidas	-	-
<b>Corretivos</b>	-	-	
CT2	<b>Fertilizantes</b>		
	<b>Total</b>	<b>kg/ha</b>	<b>730</b>
	Fertilizante nitrogenado	kg/ha	300
	Fertilizante potássico	kg/ha	150
	Fertilizante fosfatado	kg/ha	280
	<b>Pesticidas</b>		
	<b>Total</b>	<b>L/ha</b>	<b>9,85</b>
	Fungicidas	L/ha	1,4
	Herbicidas	L/ha	7,2
	Inseticidas	L/ha	1,25
<b>Corretivos</b>	-	-	
CO	<b>Fertilizantes</b>		
	<b>Total</b>	<b>kg/ha</b>	<b>76,19</b>
	Fertilizante - Esterco bovino	kg/ha	76,19
	<b>Pesticidas</b>	-	-
	<b>Corretivos</b>	-	-

FONTE: Elaboração do autor, com base nos resultados da pesquisa, 2018.

Em todas as áreas, é possível observar a aplicação de diferentes tipos e quantidades de fertilizantes, conforme as necessidades de cada área. Isso pode ser justificado pelas características do típico solo da região, um solo de cerrado, que apresenta baixa disponibilidade de nutrientes, gerando a necessidade de constantes aplicações de fertilizantes (Costa *et al.*, 2002).

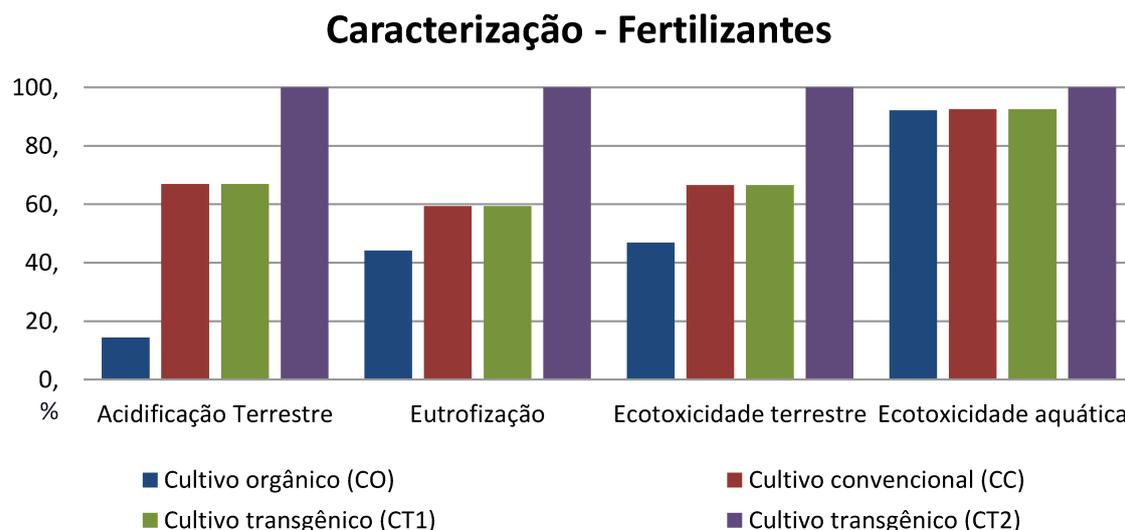
Com relação à utilização de pesticidas, nas áreas CC e CT1 é aplicado apenas um tipo (herbicidas), na área CT2 são aplicados três tipos (fungicidas, herbicidas e inseticidas), enquanto na área CO nenhum tipo é utilizado e essa diferença entre as áreas de cultivo está de acordo com as condições e o modo de manejo de cada uma delas. Em nenhuma das quatro áreas foi necessária a aplicação de qualquer tipo de corretivo.

### 3.1. Fertilizantes

Fertilizante é um dos produtos agrícolas que vem sendo cada vez mais utilizado com o objetivo de aumentar a produtividade do solo e repor seus nutrientes, que são

retirados durante o processo de produção (Artuzo *et al.*, 2017). A Figura 1 mostra uma comparação geral dos resultados ambientais de acordo com as categorias de impacto, previamente estabelecidas, para os quatro tipos de cultivos de milho avaliados neste estudo conforme a quantidade e os tipos de fertilizantes utilizados em cada processo produtivo.

FIGURA 1: Comparação entre um cultivo de milho orgânico, um convencional e dois transgênicos de acordo com os tipos e as quantidades de fertilizantes aplicados em seus processos de produção.



FONTE: Elaboração do autor, com base nos resultados da pesquisa, 2018.

Nos resultados aqui apresentados, o CT2 apresentou 100% de carga ambiental enquanto CO foi o cultivo que apresentou as menores cargas ambientais. Noya *et al.* (2015), ao comparar três cultivos de cereais (milho, trigo e triticale), classificaram o cultivo que apresentou 100% de carga nas categorias estabelecidas no trabalho como aquele de pior desempenho ambiental, ou seja, que provoca maiores impactos dentro de cada categoria. Seguindo sua classificação, o CT2 foi o cultivo que apresentou o pior perfil ambiental em todas as categorias e os valores absolutos de cada cultivo podem ser vistos na Tabela 2.

TABELA 2: Valores de emissão referentes às categorias de impacto de acordo com a aplicação de fertilizantes nos cultivos de milho.

Categorias de impacto ambiental	Unidade	CO	CC	CT1	CT2
Acidificação terrestre	kg SO <sub>2</sub>	0,421	1,96	1,96	2,93
Eutrofização	kg P	0,0198	0,0266	0,0266	0,0449
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DCB	76,3	108	108	163
Ecotoxicidade aquática	kg 1,4-DCB	6,85	6,87	6,87	7,43

FONTE: Elaboração do autor, com base nos resultados da pesquisa, 2018.

Em relação à primeira categoria, acidificação terrestre, potencialmente provocada pela emissão de amônia (NH<sub>3</sub>) (Alvarenga *et al.*, 2012), o CO foi o cultivo que apresentou o valor mais baixo quando comparado aos outros cultivos. Normalmente, o potencial de acidificação é quantificado em termos equivalentes de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), mas na agricultura tanto NH<sub>3</sub> quanto o SO<sub>2</sub> são considerados os principais responsáveis pela acidificação (Tuomisto *et al.*, 2012). Nos cultivos de agricultura intensiva, como os CC, CT1 e CT2, é comum alta aplicação de fertilizantes nitrogenados, principalmente na cultura do milho por ser uma cultura de biomassa elevada (Renouf *et al.*, 2008).

Nesta primeira categoria, o cultivo CT2 foi aquele que apresentou maiores emissões e isso pode ser justificado por ter sido o cultivo que aplicou a maior quantidade de fertilizante nitrogenado em relação às outras áreas, como mostrado na Tabela 1. Segundo Brentrup *et al.* (2004) e Bacenetti *et al.* (2015), esses impactos são mais intensificados, principalmente, quando os fertilizantes nitrogenados utilizados contêm maiores quantidades de ureia ou amônia em sua composição e quando provocam emissões por meio de lixiviação de nitrogênio, volatilização de amônia, entre outras. A quantidade liberada por essas emissões é fortemente influenciada pelas práticas de uso e manejo da terra, além do tipo de solo e condições climáticas (Hooda *et al.*, 2000).

No trabalho desenvolvido por Haas *et al.* (2001), ao comparar sistemas de agricultura de pastagem intensivos, extensivos e orgânicos, também foi possível observar que as fazendas de agricultura extensiva e, principalmente, as de agricultura orgânica emitem uma quantidade menor de amônia quando comparadas com as fazendas de agricultura intensiva. Ainda segundo esses autores, devido às características do sistema orgânico, este se mostra muito vantajoso em questões ecológicas inerentes ao sistema de produção.

Avaliando a categoria eutrofização, o CO foi o que apresentou menor emissão para esta categoria enquanto os cultivos CC, CT1 e CT2 apresentaram maiores emissões por serem cultivos de agricultura intensiva. O CT2 apresentou pior desempenho ambiental por utilizar fertilizante fosfatado e em quantidade mais elevada, diferentemente dos cultivos CC e CT1, que não utilizam fertilizante fosfatado, e, sim, fertilizante misto (com menor concentração de fosfato). É sabido que todo produto que contenha nitrogênio e, principalmente, o fosfato, que é considerado limitante na maioria

dos ambientes aquáticos, ao ser lixiviado, pode provocar este impacto (Alvarenga *et al.*, 2012; Tuomisto *et al.*, 2012).

Novamente no trabalho de Haas *et al.* (2001), também foi constatado que a agricultura orgânica emite menores quantidades de fosfato quando comparada às emissões provenientes do sistema de agricultura intensiva. Essa situação também é vista nos trabalhos de Foteinis e Chatzisyneon (2016), comparando cultivo de alface de campo orgânico com o convencional, e Chatzisyneon *et al.* (2017), comparando cultivo de pimenta convencional com o orgânico. Em ambos, foi constatado que na categoria de eutrofização o cultivo convencional se mostrou com maior potencial de contribuição para este impacto do que o cultivo orgânico. Os autores também justificam esses resultados devido ao uso de fertilizantes químicos, por apresentarem capacidade de efeitos devastadores em água locais em termos de eutrofização.

Nas categorias de ecotoxicidade terrestre e aquática, o CO também se manteve com as emissões menores que os demais cultivos, mas, diferentemente da primeira, na categoria de ecotoxicidade aquática, o CO apresentou um nível de emissão muito próximo aos cultivos CC e CT1. Essa alta emissão (Tabela 2) e esse desempenho ambiental negativo (Figura 1) podem ser justificados pelo excesso de aplicação de fertilizante no processo produtivo ou algum erro de manejo. Normalmente, a agricultura orgânica tende a diminuir os riscos de contaminação de corpos hídricos, por utilizar fertilizações orgânicas que provocam menos impactos e por não aplicar nenhum tipo de agrotóxico ou outros produtos sintéticos que possam contaminar ou serem fontes de contaminantes para estes recursos (Azadi *et al.*, 2011).

Nitrogênio e fósforo, por exemplo, em excesso, devido à alta aplicação de fertilizantes, podem penetrar na água subterrânea ou escoar superficialmente, poluindo os ecossistemas aquáticos (Tuomisto *et al.*, 2012). Em relação a esses nutrientes, o esterco animal tem normalmente a proporção de N e P 4:1, não sendo balanceado em relação às necessidades, proporção 8:1 (Shigaki *et al.*, 2006). Isso faz com que o produtor aplique maiores quantidades de esterco para alcançar o nível adequado de N, excedendo a quantidade de P nos solos, tornando esses nutrientes tóxicos tanto para o solo quanto para o meio aquático em caso de escoamento superficial (Sharpley, 1995).

Para reduzir a ocorrência de impactos negativos no solo, segundo Tuomisto *et al.* (2012), é preciso uma gestão de qualidade do solo como alta prioridade, sendo necessário aplicar práticas que aumentam o teor de matéria orgânica do solo,

melhorando sua estrutura, e reduzir a aplicação de produtos químicos, incluindo fertilizantes que quando aplicados de modo excessivo, interferem nas funcionalidades dele (Zalidis *et al.*, 2002).

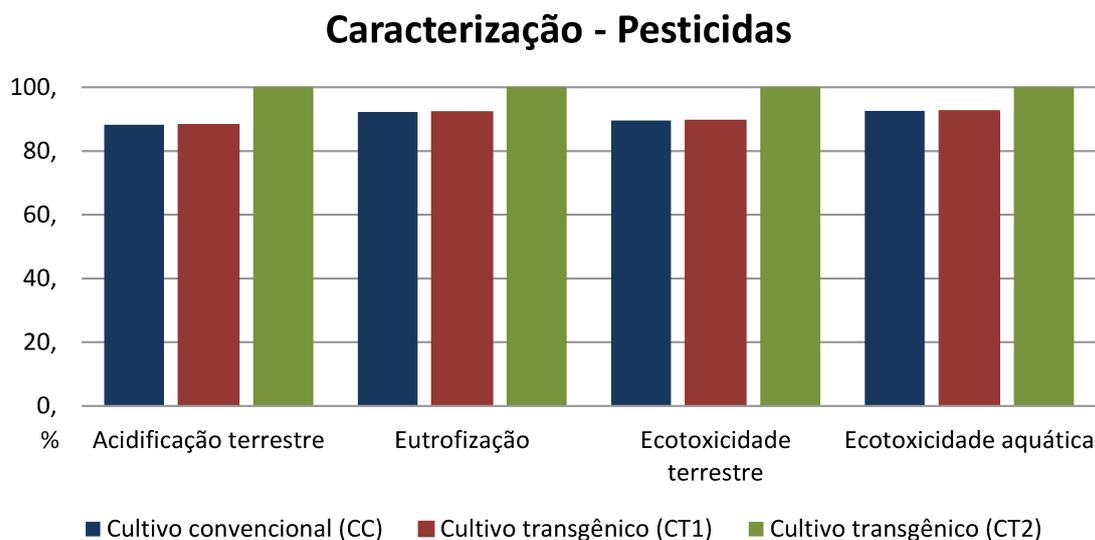
O trabalho desenvolvido por Noya *et al.* (2015), após comparar os encargos ambientais gerados por três cultivos de cereais, também observou que os insumos atuam como *hotspots* ambientais em todos os cultivos analisados e que o uso de fertilizantes é forte contribuinte para o perfil ambiental. Como solução desses problemas, a fim de obter uma cultura mais sustentável, é necessário um uso mais adequado de fertilizantes no processo produtivo, como os fertilizantes orgânicos (estrupe, lodo) (Hasler *et al.*, 2015).

### 3.2. Pesticidas

Segundo Hauschild (2000), os pesticidas foram insumos criados para controlar organismos (ervas daninhas, bactérias, fungos e insetos), melhorando a produtividade da cultura. Porém, com a ação de ventos e de processos como evaporação, lixiviação e escoamento superficial, uma parte desses produtos aplicados é carregada e acumulada, afetando ecossistemas terrestres e aquáticos.

Com relação à aplicação de pesticidas nas áreas de cultivo, o CT2 foi o cultivo que, novamente, apresentou 100% de carga em todas as categorias avaliadas, representando o pior perfil ambiental, conforme a classificação de Noya *et al.* (2015), quando comparado aos outros dois cultivos (Figura 2). O CO não está incluído na análise de pesticidas deste trabalho, pois ele não apresenta nenhuma prática que se assemelha ao uso desses tipos de produtos.

FIGURA 2: Comparação entre um cultivo de milho orgânico, um convencional e dois transgênicos de acordo com os tipos e as quantidades de pesticidas aplicados em seus processos de produção



FONTE: Elaboração do autor, com base nos resultados da pesquisa, 2018.

Sobre a caracterização dos pesticidas, é possível observar que as práticas dos cultivos CC e CT1, mesmo utilizando sementes diferentes, também não se mostram muito vantajosas ao meio ambiente. Seus níveis de emissão de substâncias que contribuem para a ocorrência desses impactos estão próximos aos do CT2 (Tabela 3), considerado o que apresentou o pior perfil ambiental desta pesquisa. Segundo Pimentel (2005), a poluição por pesticidas no meio ambiente já tem seus efeitos negativos comprovados em ecossistemas inteiros, devido ao seu alto consumo na agricultura, independentemente da forma de cultivo, sendo que a carga de muitos impactos ambientais está diretamente relacionada às escolhas de manejo que os agricultores aplicam em seus sistemas agrícolas (Tuomisto *et al.*, 2012).

TABELA 3: Valores de emissão referentes às categorias de impacto de acordo com a aplicação de pesticidas nos cultivos de milho.

Categorias de impacto ambiental	Unidade	CC	CT1	CT2
Acidificação terrestre	kg SO <sub>2</sub>	1,2	1,2	1,37
Eutrofização	kg P	0,0217	0,0217	0,0235
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DCB	118	118	132
Ecotoxicidade aquática	kg 1,4-DCB	6,99	6,99	7,55

FONTE: Elaboração do autor, com base nos resultados da pesquisa, 2018.

Como mencionando anteriormente, o CT2 apresentou o pior perfil ambiental em todas as categorias por propagar maiores níveis de emissões ao meio ambiente. Em

relação às categorias acidificação e ecotoxicidade terrestre, a diferença de CT2 com CC/CT1 foi de 12,4% e 10,6%, respectivamente. Contrário aos resultados aqui apresentados, no trabalho de Bennett *et al.* (2004), ao comparar três cultivos de beterraba açucareira convencional com um cultivo transgênico tolerante a herbicidas, foi observado que, nas categorias de acidificação e ecotoxicidade, o cultivo transgênico apresentou menores níveis de emissões que os cultivos convencionais devido a menores quantidades de herbicidas aplicados.

A contaminação do solo deve ser bem observada, pois é um dos principais locais de depósitos para os pesticidas lançados no meio agrícola, afetando a dispersão geral deles para outros compartimentos ambientais (Vryzas, 2018). Sua presença no solo provoca diversos impactos tanto no meio abiótico quanto no meio biótico, como consequência, as funções do solo são comprometidas, além de destruir parte da flora e da fauna, o que, por sua vez, provoca deterioração física e química do meio (Zalidis *et al.*, 2002).

Quando se trata da alteração do meio aquático, o processo de lixiviação de pesticidas no perfil do solo pode ser responsável pela contaminação de águas subterrâneas e a aplicação por pulverização, o plantio de sementes revestidas por pesticidas e a dispersão pelo vento facilmente podem levar à contaminação de águas superficiais (Vryzas, 2018). Ainda assim, certos pesticidas, mesmo sendo aplicados em dosagens adequadas, oferecem o risco de se acumularem por longos períodos, trazendo diversos prejuízos ao meio ambiente (Pimentel, 2005; Mota, 2009).

Nas categorias de eutrofização e ecotoxicidade aquática, a diferença nos níveis de emissões entre os cultivos CC e CT1 e o CT2 foi de 7,65% e 7,41%, respectivamente. No trabalho de Bennett *et al.* (2006), ao comparar três áreas de cultivo de milho transgênico com sementes combinadas (tolerante a herbicidas, resistente a insetos e com maior teor de óleo e lisina) com uma área de cultivo de milho convencional, concluiu-se que os cultivos transgênicos seriam melhores opções para o meio ambiente, pois apresentaram menores níveis de emissões em todas as categorias analisadas. Em relação à categoria de ecotoxicidade aquática de seu trabalho, a maior diferença constatada entre o cultivo transgênico e o cultivo convencional foi de 12,6%, porcentagem maior do que foi observado nos resultados aqui apresentados.

Os pesticidas são substâncias com diferentes níveis de toxicidade ambiental, devido à comprovação da presença de resíduos tóxicos no ambiente (Mota, 2009). Esses

insumos podem contaminar o meio ambiente por várias rotas, afetando diversos processos, em que a sua transferência pode ocorrer por volatilização, evaporação, diluição, escoamento, lixiviação, drenagem, entre outras formas (Vryzas, 2018).

Como observado, CC e CT1 apresentam as mesmas práticas de cultivo e, diferentemente de CT2, que aplicou três tipos de pesticidas, houve aplicação somente de herbicidas nessas áreas, pois não se detectou incidência de doenças que justificasse o uso (Tabela 1). De acordo com Bennett *et al.* (2006) diversas substâncias podem contribuir para cada categoria, como também uma única substância pode contribuir para mais de uma categoria de impacto. No trabalho de Coltro *et al.* (2006), analisando diversas áreas de cultivos de café, também foi possível perceber uma variação da quantidade de insumos agrícolas entre os cultivos analisados.

As práticas aplicadas em cada área de cultivo vão de acordo com suas respectivas necessidades, mas é necessário cuidado para não exceder a quantidade de insumos, sejam fertilizantes ou pesticidas. Coltro *et al.* (2006) também observaram que em cada área estudada o manejo era de acordo com suas necessidades específicas e, segundo esses autores, as diferenças de manejo evidenciaram uma ótima oportunidade para reduzir esses insumos nos processos produtivos.

#### **4. Conclusões**

Este trabalho teve como objetivo utilizar a metodologia de ACV para analisar sistemas de cultivo de milho, a partir da utilização de insumos agrícolas em seus processos produtivos, a fim de identificar e comparar os potenciais impactos ambientais provocados pelo uso de fertilizantes, pesticidas e corretivos, apontando vantagens e desvantagens de cada processo frente às questões ambientais.

A partir dos resultados aqui apresentados, é possível concluir que a forma de manejo e o local da cultura são fatores que influenciam os potenciais impactos provocados por um sistema de cultivo. Tanto as aplicações de fertilizantes quanto as de pesticidas ocorrem conforme as condições da área, como o tipo de solo, e também pela incidência ou não de doenças na cultura, que pode justificar o uso de um determinado produto agrícola.

O CO foi o cultivo que se mostrou mais vantajoso que os demais por utilizar produto orgânico para fertilização do solo e por não aplicar nenhum tipo de pesticida,

emitindo menos substâncias ao meio ambiente e, assim, contribuindo em menor escala para a ocorrência de potenciais impactos. Mas se houver aplicação excessiva de qualquer produto, mesmo sendo orgânico, este pode oferecer riscos tanto quanto um produto sintético, como visto na categoria de ecotoxicidade aquática.

Ainda existem muitas incertezas quanto às consequências da utilização de organismos geneticamente modificados no sistema agrícola. Quando se trata da aplicação de insumos, principalmente de pesticidas, os transgênicos podem ou não apresentar vantagens frente a um cultivo convencional, pois, como apresentados, ambos podem ser manejados da mesma maneira, mas isso também pode representar uma forma errada de manejo devida à falha de conhecimento com relação a essa biotecnologia.

Nos estudos de ACV na agricultura, ainda existem dificuldades para estimar os diversos efeitos ambientais provocados pelo sistema produtivo. Apesar de ser uma metodologia recomendada, pois pode auxiliar em processos de tomada de decisão, ainda necessita de mais ajustes para sua aplicação, principalmente para comparar sistemas agrícolas por haver muitas influências externas ao processo. Por ora, não é possível colocar no estudo todos os impactos ambientais provenientes de diferentes sistemas, além das dificuldades em diferenciar adequadamente características específicas de cada cultura, fazendo com que seja uma metodologia complementar de estudo.

## **5. Referências Bibliográficas**

Alvarenga, R. A. F.; Júnior, V. P. S.; Soares, S. R. Comparison of the ecological footprint and a life cycle impact assessment method for a case study on Brazilian broiler feed production. *Journal of Cleaner Production*, v. 28, p. 25-32, 2012.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.06.023>

Artuzo, F. D.; Foguesatto, C. R.; Silva, L. X. Agricultura de precisão: inovação para a produção mundial de alimentos e otimização de insumos agrícolas. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 13, n. 29, p. 146-161, 2017.

<https://doi.org/10.3895/rts.v13n29.4755>

Azadi, H., Schoonbeek, S., Mahmoudi, H., Derudder, B., Maeyer, P., e Witlox, F. Organic agriculture and sustainable food production system: Main potentials. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 144, n. 1, p. 92-94, 2011.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.001>

Bacenetti, J.; Fusi, A.; Negri, M.; Fiala, M. Impact of cropping system and soil tillage on environmental performance of cereal silage productions. *Journal of Cleaner Production*, v 86, 49-59, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.052>

Bendlin, L.; Senff, C. O.; Pedro, J. J.; Kolb, N. B. Expectativas de retorno e de risco percebidos no agronegócio da soja convencional versus soja transgênica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS. 21., 2014, Natal. *Anais [...]*. Natal: [s. n.], 2014. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3685/3686>. Acesso em: agosto 2018.

Bennett, R. M.; Phipps, R. H.; Strange, A. M. The use of life cycle assessment to compare the environmental impact of production and feeding of conventional and genetically modified maize for broiler production in Argentina. *Journal of Animal and Feed Sciences*, v. 15, p. 71-82, 2006.

<https://doi.org/10.22358/jafs/66843/2006>

Bennett, R. M.; Phipps, R. H.; Strange, A. M.; Grey, P. Environmental and human health impacts of growing genetically modified herbicide-tolerant sugar beet: a life-cycle assessment. *Plant Biotechnology Journal*, v. 2, p. 273-278, 2004.

<https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2004.00076.x>

Brentrup, F.; Küsters, J.; Kuhlmann, H.; Lammel, J. Application of the Life Cycle Assessment methodology to agricultural production: an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers. *European Journal of Agronomy*, Montrouge, v. 14, p. 221-233, 2001.

[https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00098-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00098-8)

Brentrup, F.; Küsters, J.; Kuhlmann, H.; Lammel, J. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy*, Montrouge, v. 20, p. 247-264, 2004.

[https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00024-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00024-8)

Carmo, C. R. S. Atividade agrícola: uma análise sobre sua contribuição para a economia do estado de Minas Gerais e seus possíveis determinantes agrícolas. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 9, n. 2, p. 223-249, 2016.

<https://doi.org/10.17765/2176-9168.2016v9n2p223-249>

Chatzisytheon, E.; Foteinis, S.; Borthwick, A. G. L. Life cycle assessment of the environmental performance of conventional and organic methods of open field pepper cultivation system. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 22, p. 896-908, 2017.

<https://doi.org/10.1007/s11367-016-1204-8>

Claudino, E. S.; Talamini, E. Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio: uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 1, p. 77-85, 2013.

<https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100011>

Coltro, L. Avaliação do Ciclo de Vida com Instrumentos de Gestão. Campinas: *CETEA/ITAL*, p. 75, 2007.

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. *Agriculture*, v. 11, n. 1, p. 16-21, 2006.

<https://doi.org/10.1065/lca2006.01.230>

Costa, L. M.; Nacif, P. G. S.; Costa, O. V.; Olskevski, N. Manejo dos solos da região dos cerrados. In: Araújo, Q. R (org.). *500 anos de uso do solo no Brasil*. Ilhéus, 2002. p. 201-218.

Esteves, V. P. P.; Esteves, E. M. M.; Bungenstab, D. J.; Loebmann, D. G. S. W.; Victoria, D. C.; Vicente, L. E.; Araújo, O. Q. F.; Morgado, C. R. V. Land use change (LUC) analysis and life cycle assessment (LCA) of Brazilian soybean biodiesel. *Clean Techn Environ Policy*, v. 18, p. 1655-1673, 2016.

<https://doi.org/10.1007/s10098-016-1161-8>

Foteinis, S.; Chatzisytheon, E. Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture. A case study of lettuce cultivation in Greece. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 2462-2471, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.075>

Goglio, P.; Brankatschk, G.; Knudsen, M. T.; Williams, A. G.; Nemecek, T. Addressing crop interactions within cropping systems in LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2017.

<https://doi.org/10.1007/s11367-017-1393-9>

Goglio, P.; Smith, W. N.; Worth, D. E.; Grant, B. B.; Desjardins, R. L.; Chen, W.; Tenuta, M.; Mcconkey, B. G.; Williams, A.; Burgess, P. Development of Crop.LCA, an adaptable screening life cycle assessment tool for agricultural systems: A Canadian scenario assessment. *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p. 3770-3780, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.175>

Haas, G.; Wetterich, F.; Köpke, U. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in Southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 83, n. 1-2, p. 43-53, 2001.

[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00160-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00160-2)

Hasler, K.; Bröring, S.; Omta, S. W. F.; Olf, H. W. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. *European Journal of Agronomy*, Montrouge, v. 69, p. 41-51, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001>

Hauschild, M. Estimating pesticide emissions for LCA of agricultural products. In: Weidema, B. P., Meeusen, M. J. G. (Eds.), *Agricultural Data for Life Cycle Assessments*, v. 2, 2000. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/29306146.pdf#page=70>. Acesso: março 2018.

Hooda, P. S.; Edwards, A. C.; Anderson, H. A.; Miller, A. A review of water quality concerns in livestock farming areas. *The Science of the Total Environment*, v. 250, p.143-167, 2000.

[https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00373-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00373-9)

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO 14040. *Environmental management: life cycle assessment: principles and framework*. Genève: Switzerland, 1997.

Martínez-Blanco, J.; LAZCANO, C.; CHRISTENSEN, T. H.; MUÑOZ, P.; RIERADEVALL, J.; MOLLER, J.; ANTÓN, A.; BOLDRIN, A. Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 33, n. 4, p. 721-732, 2013.

<https://doi.org/10.1007/s13593-013-0148-7>

Mota, L. M.; Agrotóxicos e transgênicos: solução ou problema à saúde humana e ambiental? *Saúde & Ambiente em Revista*, v. 4, n. 1, p. 36-46, 2009. Disponível em: [http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos\\_teses/2010/Biologia/artigos/agrotoxicos\\_transgenicos.pdf](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/2010/Biologia/artigos/agrotoxicos_transgenicos.pdf). Acesso em: setembro 2018.

Nemecek, T.; Dubois, D.; Huguenin-Elie, O.; Gaillard, G. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems*, Barking, v. 104, n. 3, p. 217-232, 2011.

<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.10.002>

Nemecek, T.; Hayler, F.; Bonnin, E.; Carrouée, B.; Schneider, A.; Vivier, C. Designing eco-efficient crop rotations using life cycle assessment of crop combinations. *European Journal of Agronomy*, Montrouge, v. 65, p. 40-51, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.01.005>

Noya, I.; González-García, S.; Bacenetti, J.; Arroja, L.; Moreira, M. T. Comparative life cycle assessment of three representative feed cereals production in the Po Valley (Italy). *Journal of Cleaner Production*, v. 99, p. 250-265, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.001>

Peter, C.; Specka, X.; Aurbacher, J.; Kornatz, P.; Herrmann, C.; Heiermann, M.; Müller, J.; Nendel, C. The MiLA tool: modeling greenhouse gas emissions and cumulative energy demand of energy crop cultivation in rotation. *Agricultural Systems*, Barking, v. 152, p. 67-79, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.12.008>

Pimentel, D. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environment, Development and Sustainability*, v. 7, p. 229-252, 2005.

<https://doi.org/10.1007/s10668-005-7314-2>

Renouf, M. A.; Wegener, M. K.; Nielsen, L. K. An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as producers of sugars for fermentation. *Biomass and bioenergy*, v. 32, p. 1144-1155, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.02.012>

Roy, P.; Nei, D.; Orikasa, T.; Xu, Q.; Okadome, H.; Nakamura, N.; Shiina, T. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, London, v. 90, p. 1-10, 2009.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>

Ruviaro, C. F.; Gianezini, M.; Brandão F. S.; Winck, C. A.; Dewes, H. Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. *Journal of Cleaner Production*, v. 28, p. 9-24, 2012.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.015>

Sharpley, A.N. Dependence of runoff phosphorus on extractable soil phosphorus. *Journal of Environmental Quality*, v. 24, p. 920-926, 1995.

<https://doi.org/10.2134/jeq1995.00472425002400050020x>

Shigaki, F.; Sharpley, A.; Prochnow, L. I. Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil: Options for the future. *Scientia Agricola*, v. 63, p. 194-209, 2006.

<https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000200013>

Tricase, C.; Lamonaca, E.; Ingrao, C.; Bacenetti, J.; Giudice, A. L. A comparative Life Cycle Assessment between organic and conventional barley cultivation for sustainable agriculture pathways. *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p. 3747-3759, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.008>

Tuomisto, H. L.; Hodge, I. D.; Riordan, P.; Macdonald, D. W. Does organic farming reduce environmental impacts: a meta-analysis of European research. *Journal of Environmental Management*, v. 112, p. 309-320, 2012.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.018>

Vryzas, Z. Pesticide fate in soil-sediment-water environment in relation to contamination preventing actions. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, v. 4, p. 5-9, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.001>

Zalidis, G.; Stamatiadis, S.; Takavakoglou, V.; Eskridge, K.; Misopolinos, N. Impacts of agricultural practices on soil and water quality in the Mediterranean region and proposed assessment methodology. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Oxford, v. 88, p. 137-146, 2002.

[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00249-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00249-3)

## CAPÍTULO 3

### VALORAÇÃO AMBIENTAL APLICADA A SISTEMAS AGRÍCOLAS DE MILHO PRÓXIMOS À CIDADE DE UBERLÂNDIA – MG

**Yasmim Twanne de Cássia Silva**

Mestranda em Qualidade Ambiental (UFU)

yasmim.twanne@gmail.com

**Aracy Alves de Araújo**

Economista, Doutora em Economia Aplicada (UFV) e

Professora Associada I (UFU)

#### **Resumo:**

O objetivo deste artigo é analisar três sistemas de cultivo de milho em quatro áreas, convencional (CC), transgênico (CT1 e CT2) e orgânico (CO), por meio dos gastos com insumos agrícolas, a fim de analisar custos/benefícios decorrentes da utilização desses produtos e estimar os custos evitados conforme a relação de gastos com insumos e gastos com atividades defensivas. Os dados foram coletados a partir de questionário e, em seguida, foi realizado um levantamento de preços de mercado conforme os principais insumos utilizados. Posteriormente, foram estimados os valores gastos conforme a quantidade/hectare aplicada nas áreas e foram estes, os valores aplicados para estimar os custos evitados. CT2 apresentou maiores gastos e isso se justifica pelos tipos de fertilizantes e pesticidas utilizados, além da variedade e quantidade dos produtos. CO, além de utilizar esterco bovino de baixo custo de mercado e em menor quantidade, não utilizou nenhum pesticida, mas apresentou menor rendimento. Ao estimar os custos evitados, substituindo fertilizantes e pesticidas sintéticos por orgânicos, aplicando-os na mesma quantidade de costume, os produtores teriam um ganho econômico, além dos benefícios ambientais. Pode-se concluir que é possível substituir práticas intensivas por práticas orgânicas obtendo um ganho econômico na produção, além de tornar o processo mais sustentável.

**Palavras-chave:** valoração ambiental, agricultura, insumos agrícolas, custos evitados, sustentabilidade.

**Abstract:**

The objective of this article is to analyze three systems of corn cultivation in four areas, conventional (CC), transgenic (CT1 and CT2) and organic (CO), by means of expenditures with agricultural inputs, in order to analyze the resulting costs/benefits of the use of these products and estimate the avoided costs according to the relation of expenses with inputs and expenses with defensive activities. The data were collected from a questionnaire and then a market price survey was performed according to the main inputs used. Subsequently, the amounts spent were estimated according to the quantity/hectare applied in the areas and these were the values applied to estimate the avoided costs. The CT2 presented higher expenses and this is justified by the types of fertilizers and pesticides used, besides the variety and quantity of the products. In addition to using low-cost cattle manure, it did not use any pesticides but had a lower yield. When estimating the avoided costs, replacing synthetic fertilizers with organic ones, applying them in the same amount of custom, producers would have an economic gain, in addition to the environmental benefits. It can be concluded that it is possible to substitute intensive practices for organic practices obtaining an economic gain in production, besides making the process more sustainable.

**Keywords:** environmental valuation, agriculture, agricultural inputs, avoided costs, sustainability.

**JEL:** Q12

## 1. Introdução

A ideia de que as presentes gerações são responsáveis pelas gerações futuras traz para cientistas e pesquisadores o dever de saber de que maneira é mais viável a utilização dos recursos naturais, preservando a capacidade do meio ambiente de se reestabelecer e, ao mesmo tempo, proporcionar um desenvolvimento econômico (Cavalcanti, 1994). Conforme Miranda et al. (2009), todo sistema econômico tem o meio ambiente como base para sua sustentação e, como as políticas ambientais estão se modernizando cada vez mais, ocorre a necessidade de maior desenvolvimento das bases econômicas, principalmente, para valoração monetária desses bens.

Com a intensa utilização dos recursos renováveis e não renováveis, a população também se preocupou com a relação entre o crescimento e desenvolvimento da economia e as questões ambientais (Silva; Lima, 2004). Foi a partir dessa preocupação que surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável (Maia et al., 2004), que é o “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as futuras gerações satisfazerem as suas próprias necessidades” (Brüseke, 1994).

O conceito de sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável mais difundido foi do relatório “Nosso Futuro Comum”, também conhecido como Relatório de Brundtland, utilizado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas (Brüseke, 1994; Claro et al., 2008). A partir desta definição, já surgiram outras, porém, todas em comum acordo quanto a três dimensões que compõem o termo: econômica, ambiental e social (Claro et al., 2008). Mesmo reconhecendo a importância do conceito, que levou à realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada em 1992 na cidade do Rio de Janeiro – Brasil, é notável a dificuldade que o homem tem de colocar em prática tal conceito, fazendo com que busque métodos que o coloquem como prioridade (Cavalcanti, 1994).

Para alcançar esse modo sustentável de utilizar os recursos naturais, conforme a tese da economia de mercado, surgiu a necessidade de conceituar um valor econômico para bens ambientais, bem como desenvolver técnicas para estimar este valor no mercado. O meio ambiente desempenha funções essenciais para a vida humana, apresentando um valor econômico positivo e ainda correndo o risco de uso excessivo e, até mesmo, chegando à sua degradação total, alcançando um estado de irreversibilidade, sem que tudo isso seja contabilizado (Marques; Comune, 1997). Mesmo que o uso desses recursos ambientais não tenha seu preço reconhecido, há

um valor econômico conforme seu uso interfere no nível de produção e consumo (bem-estar) da sociedade (Motta, 1997).

No caso do sistema agrícola, torná-lo sustentável está diretamente associado aos impactos ambientais, sociais e econômicos que são gerados em seus processos produtivos e, para alcançar essa sustentabilidade, é necessário analisar as técnicas empregadas pelos produtores e seus efeitos na produção, além das externalidades ambientais provocadas pelo processo. É de suma importância ter conhecimento sobre as tecnologias agrícolas utilizadas em relação à sua eficiência econômica, combinação positiva dos insumos no processo produtivo, e em sua eficiência social, que é direcionada ao bem-estar social, resultando das ações de agentes econômicos (Rodrigues et al., 2001).

A sustentabilidade também pode ser vista na agricultura como uma forma de agregar valor ao processo produtivo, sendo este economicamente viável, de modo que esteja contabilizando medidas mitigadoras para questões negativas ou que possa provocar alguma adversidade ao meio ambiente (Moura; Oliveira, 2013).

Para Duarte et al. (2005), as culturas com organismos geneticamente modificados têm como objetivo sustentável a redução de custos de produção. Como consequência, eleva o aumento de renda do produtor por haver uma redução nos custos unitários de produtos e pela alta quantidade ofertada e também reduz o preço de mercado e as perdas provocadas por algum agente no processo de produção.

Mas há aqueles que acreditam que as culturas biotecnológicas não reduziram os custos de produção por aumentar cada vez mais a aplicação de insumos agrícolas durante o processo (Augusto et al., 2012; Carneiro et al., 2015).

Desde 1980, as opiniões a respeito dessa biotecnologia vêm mudando: há aqueles que apoiam, pois há ganhos potenciais no aumento de produção e redução de preços por adotarem práticas agrícolas que reduzem o uso de insumos em seus processos, e outros são contra devido às dúvidas e preocupações quanto aos efeitos ambientais e de saúde negativos provocados por esses cultivos (Barrows et al., 2014).

Com opiniões distintas a respeito dessa biotecnologia na agricultura, o sistema de agricultura orgânica tem ganhado, mundialmente, mais espaço por meio de diversas discussões sobre desenvolvimento sustentável em que o principal objetivo é viabilizar a economia, associando a ela uma melhor qualidade de vida e a preservação dos ecossistemas (Souza et al., 2015), já que o sistema agrícola moderno, aplicado principalmente nas áreas de maior produção, não tem se mostrado sustentável (Padua et al., 2013). Além disso, há evidências de que é possível produzir sem a aplicação de produtos químicos e de buscar uma reconversão tecnológica conforme a redução no

uso de insumos químicos, adotando práticas agroecológicas, de agricultura orgânica, entre outras (Friedrich et al., 2018).

No Brasil, o sistema agrícola é o que mais promove impactos no desenvolvimento do país (Bendlin et al., 2014), principalmente na economia (Carmo, 2016). Entre as culturas mais significativas do país, a cultura do milho é a segunda maior com grande importância social e econômica (MINAS GERAIS, 2018). Por ser uma cultura viável tanto em grande quanto em pequena escala (Galvão et al., 2014) e por representar um dos principais produtos da base alimentar de diversos países (Gervásio, 2017), deve-se buscar sustentabilidade em seus processos produtivos, como em sistemas orgânicos, que geram impactos pouco significativos ao meio ambiente (Alencar et al., 2013).

Sob essas perspectivas, este artigo tem como objetivo analisar três sistemas de cultivo de milho (convencional, transgênico e orgânico) por meio dos gastos obtidos na compra de insumos agrícolas aplicados por todo processo de produção, a fim de analisar custos/benefícios decorrentes dessa utilização de diferentes insumos agrícolas em cada um dos três cultivos e estimar os custos evitados por meio da relação de gastos com insumos e gastos com atividades defensivas.

O artigo está estruturado da seguinte forma a partir da seção aqui apresentada: na seção 2, encontra-se o referencial teórico da pesquisa apresentando um contexto e a importância da valoração ambiental, seus métodos e alguns exemplos de aplicações, principalmente sobre o Método de Custos Evitados; a seção 3 traz a metodologia utilizada na pesquisa; na seção 4, são apresentados os preços de mercados dos principais insumos, o quanto um produtor pode gastar por hectare com esses produtos e o quanto de gastos podem ser evitados ao utilizarem uma atividade defensiva; e a seção 5 apresenta as conclusões do trabalho.

## **2. Referencial Teórico**

### **2.1. Valoração Ambiental**

Grande parte dos recursos naturais está sujeita a sofrer diversos níveis de degradação, esgotamento e exploração por meio de atividades antrópicas e todos esses fatores interferem na capacidade de suporte e custos de preservação, tornando necessária a aplicação de métodos que sejam capazes de avaliar atributos ambientais dentro das questões econômicas (Mota; Bursztyn, 2013).

A valoração ambiental é definida como um conjunto de técnicas e métodos que possibilitam mensurar custos e benefícios a partir do uso de um recurso ambiental, de

uma ação de melhoramento ambiental e, até mesmo, da geração de um dano ambiental (Romero, 1997). Segundo Paiva (2015), é de fundamental importância conhecer os bens e serviços oferecidos pelo ecossistema e dos valores a eles associados para que sejam realizadas avaliações ambientais mais completas, gerando, assim, resultados que possam tornar as políticas mais eficazes quando se trata de gestão ambiental. Para Mota e Bursztyn (2013), um recurso ambiental não é um bem econômico, mas apresenta semelhanças com os bens econômicos por também ter consumo e valor.

Inicialmente, o sistema econômico foi elaborado de modo com que as externalidades ambientais não fossem levadas em consideração, ou seja, que os custos da degradação ecológica não estivessem incluídos no sistema econômico que as gerou (Motta, 1997). Essas externalidades, na teoria microeconômica, podem ser consideradas falhas de mercado, que, por este não ter um sistema de preços, faz com que aqueles recursos que já se encontram escassos sejam destinados de maneira incorreta (Vieira et al., 2010). Como consequência, a apropriação do capital natural gera benefícios a alguns usuários desses recursos naturais sem que eles compensem os custos provenientes de usuários externos, além das gerações futuras, que também irão arcar com as consequências de ações atuais (Motta, 1997).

A necessidade de dar valor econômico a bens ambientais fez com que a valoração ambiental ganhasse importância conforme inclui os recursos naturais em suas análises de custo/benefício, nas decisões tomadas por processos judiciais, na contabilidade ambiental, no processo de desenvolvimento sustentável, entre outros (Miranda et al., 2009; Paiva, 2010). No entanto, existe uma dificuldade, até mesmo entre pesquisadores da área, em aplicar valor monetário a bens ambientais, mas enquanto os recursos ambientais permanecerem sem valor, sua utilização ocorrerá de maneira a degradá-lo, podendo ocorrer sua destruição total (Paiva, 2010). Resolver essas questões pode promover ao poder público informações que auxiliem na tomada de decisões sobre estes recursos, causando equilíbrio entre o desenvolvimento ambiental, econômico e social (Luciardo et al., 2004), além de ser um fator importante para a conscientização da população (Miranda et al., 2009).

De acordo com Silva e Lima (2004), a valoração ambiental tem por objetivo estimar o preço de mercado que um recurso possui para servir de referência, criando, assim, a possibilidade de um uso mais viável dos recursos ambientais. Além disso, torna possível a intervenção de políticas públicas que possam preservar o meio ambiente e, ao mesmo tempo, suprir as necessidades humanas e econômicas. Devido à importância de estimar valores monetários e tornar o uso de recursos naturais mais

viáveis, tanto em questões ambientais quanto em questões econômicas, foram desenvolvidos trabalhos como o de Meng et al. (2017). Em sua pesquisa, foi realizada uma avaliação monetária, analisando o desempenho da agricultura, indicadores de impactos ambientais, valores gastos com insumos agrícolas, nível produção e benefícios ambientais, a fim de comparar a viabilidade de desempenhos da agricultura orgânica e convencional.

Os métodos de valoração ambiental são classificados em métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos (valoração contingente, os custos de viagem e os preços hedônicos) são aqueles que levam em consideração a preferência da população por meio de mercados hipotéticos ou de bens complementares, a fim de analisar a disposição a pagar das pessoas por algum bem ou serviço ambiental (Maia et al., 2004). Como os trabalhos de Navrud e Mungatana (1994), Silva e Lima (2004), Rodrigues e Santana (2012) e Tourkolia et al. (2015), que utilizaram os métodos custos de viagem e valoração contingente.

Já os métodos indiretos (produtividade marginal, custos evitados ou defensivos, de controle, de reposição e de oportunidade) são aqueles que obtêm o valor do recurso natural por meio da função de produção de acordo com os impactos das alterações ambientais e preços de mercado (Maia et al., 2004). Como nos trabalhos de Vieira et al. (2010), Pugliesi et al. (2011) e Portugal et al. (2012), que utilizaram os métodos de custos evitados e custos de reposição.

Para escolher o método a ser aplicado é necessário conhecer o objetivo da valoração, das hipóteses, a qualidade dos dados e as características e especificações do recurso natural a ser valorado, como sua dinâmica ecológica, a fim de obter resultados que possam contribuir para a tomada de decisão de alocação e utilização desses recursos (Motta, 1997; Paiva, 2010). Vale ressaltar que não há consenso sobre a eficiência dos métodos propostos, já que não é possível determinar o real valor de um bem ou serviço ambiental (Maia et al., 2004).

## 2.2. Método de Custos Evitados e sua aplicação na atividade agrícola

Entre os métodos de valoração ambiental, o Método de Custos Evitados (MCE), classificado como método indireto de mercado de bens substitutos e também conhecido como Método de Gastos Preventivos ou Método de Gastos Defensivos, é aquele que proporciona estimar o valor que seria gasto ao substituir um bem ou serviço natural gratuito por outro bem ou serviço privado, em que a quantidade final do produto não se altera e a degradação ambiental seja evitada (Vieira et al., 2010;

Castro; Nogueira, 2017). É um método que estima o valor de um recurso por meio de gastos com atividades defensivas, seja para substituir ou complementar (Maia et al., 2004; Miranda et al., 2009).

Segundo Penna e Rezende (2018), os custos evitados e a qualidade ambiental devem ser substitutos perfeitos, representando o desconforto originado pela degradação, ou seja, que não subestimem mudanças no bem-estar humano. Esse processo pode auxiliar em tomada de decisões, sejam públicas ou privadas, em relação ao uso e à conservação do capital natural (Castro; Nogueira, 2017).

Uma das vantagens do MCE é que por meio dele é possível perceber que os custos para evitar possíveis danos ambientais são menores do que aqueles custos para a recuperação do meio destruído com o impacto ambiental, sendo considerado um método preventivo (Carvalho; Fonseca, 2017). Os preços de mercado asseguram uma medida mais precisa do valor econômico do recurso natural, uma vez que representam um valor reconhecido no mercado (Carvalho; Fonseca, 2017).

Uma das atividades antrópicas que tem afetado o meio ambiente de maneira negativa, nas últimas décadas, é a expansão agrícola no Brasil. Na maioria das vezes, sem planejamento, a agricultura não tem levado em consideração os indicadores ambientais, as avaliações dos impactos ambientais e inventários e as análises de custo/benefício (tanto em questões ambientais e sociais como econômicas). Isso leva a concluir que no sistema agrícola brasileiro os impactos ambientais negativos ocorrem por negligência por parte dos setores produtivos, que não se preocupam em elaborar bons planejamentos, e, quando o fazem, as questões econômicas são mais valorizadas que as questões ambientais (Maldonado et al., 2017).

Segundo Castro e Nogueira (2017), grande parte das atividades do setor agrícola não reconhece a fundo os custos ambientais que são internalizados em seus custos totais e conhecer esses custos em detalhes, por meio do MCE, pode permitir aos produtores uma melhor capacidade de construir estratégias de mercado.

Pode-se dar como exemplo de aplicação deste método o trabalho de Vieira et al. (2010), que teve como objetivo estimar o valor econômico com relação ao serviço ecossistêmico de polinização fornecido pelas abelhas em propriedades que cultivavam maracujá-amarelo, a fim de mostrar a importância do processo de polinização em termos monetários. Com os resultados, foi possível notar a alta quantia que os produtores deixavam de incluir em seus gastos por usufruírem gratuitamente do serviço de polinização das abelhas e, em termos monetários, o importante papel que esses organismos desempenham na agricultura.

No trabalho de Carvalho e Fonseca (2017), o estudo de custos evitados foi direcionado para analisar a viabilidade econômica e ambiental dos produtores de cana-de-açúcar da Paraíba ao substituírem a colheita manual pela colheita mecanizada. A prática de queimada na pré-colheita era muito comum no Brasil e justificada pela necessidade de limpeza do canavial, a fim de facilitar o corte manual. De acordo com os resultados, o projeto de substituição é viável por apresentar um valor positivo e este representar o custo evitado de não queimar o canavial, evitando diversos danos sociais e ambientais no processo produtivo.

Campani et al. (2018) avaliaram os custos evitados por meio da implementação de uma área para compostagem de material vegetal gerada em um *campus* da Universidade de Brasília, a fim de eliminar descartes em aterros sanitários e produzir adubo orgânico para ser utilizado nas áreas verdes da universidade. Nas conclusões, os autores afirmam que o projeto apresenta potencial para a redução de custos. As pesquisas de mercado demonstram que o valor da terra adubada pelo projeto é acima do valor dos insumos comprados, mas ao analisar os diversos benefícios gerados pelo projeto, ele se torna viável frente às questões ambientais e econômicas.

### **3. Material e Métodos**

Como a cultura do milho é a segunda maior no país e com grande importância social e econômica (MINAS GERAIS, 2018), foram analisadas quatro áreas de plantação de milho sendo uma de cultivo convencional (CC) da cidade de Monte Carmelo, utilizando sementes híbridas; duas de cultivo transgênico (CT1 e CT2), a primeira com sementes híbridas resistentes a insetos da cidade de Monte Carmelo e a segunda com sementes híbridas combinadas (resistente a insetos e tolerante a herbicidas) da região rural de Uberlândia, respectivamente, e uma de cultivo orgânico (CO) com sementes convencionais, também da região rural de Uberlândia. Neste estudo, não serão identificadas as áreas que forneceram os dados, sendo assim, estas serão representadas no decorrer do estudo por abreviações como demonstrado anteriormente.

Os dados para a realização desta metodologia foram coletados no ano de 2018, por meio de um questionário<sup>3</sup> direcionado ao produtor (dados primários), em que ele solicitava informações da safra 2017/2018, como: tipos de insumos agrícolas – fertilizantes, pesticidas e corretivos – e a quantidade de gastos (R\$/kg/hectare) obtidos

---

<sup>3</sup> Aprovação do projeto “Avaliação do ciclo de vida e valoração ambiental de cultivos de milho próximos à cidade de Uberlândia – potenciais impactos socioambientais” pelo Comitê de Ética (nº parecer 2.983.044)

por meio da utilização deles e seu rendimento final (Coltro et al., 2006). A aplicação da metodologia de custos evitados utilizada no presente estudo tem como base a teoria de Motta (1997) e a adaptação dos cálculos do trabalho Portugal et al. (2012).

Em seguida, foi realizado um levantamento de preços de mercado (R\$/litro, quilo ou tonelada – dados secundários) de acordo com os principais tipos de insumos agrícolas utilizados pelos agricultores envolvidos no estudo, valores estes estimados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) dos primeiros seis meses do ano de 2018 (CONAB, 2018). Posteriormente, foram estimados os valores gastos com insumos de acordo com a quantidade/hectare que estes agricultores aplicam nas áreas de cultivo e foram estes os valores aplicados para estimar os custos evitados.

Como esta metodologia de Custos Evitados tem como objetivo a estimativa de valor do recurso ambiental com base em atividades defensivas ou compensatórias, os gastos obtidos (R\$/kg/hectare) nos cultivos convencionais e transgênicos serão relacionados aos gastos obtidos no cultivo orgânico (relacionando as quantidades de insumos aplicados na mesma proporção por hectare), em que o cálculo tende ao seguinte raciocínio:

$$CE = C_{convencionais/transgênicos} - C_{orgânicos} \text{ (equação 1)}$$

em que CE: Custos evitados;  $C_{convencionais/transgênicos}$ : média dos custos com insumos agrícolas das três áreas, seja ele fertilizante, pesticida ou corretivo; e  $C_{orgânicos}$ : custos com produtos naturais. Todos os valores são de acordo com a quantidade/custos gastos por hectare de área.

Vale ressaltar que o cálculo apresentado na equação 1 foi feito com valores estimados para fertilizantes, pesticidas e corretivos separadamente e os dados solicitados de rendimento serão discutidos em conjunto com os resultados aqui obtidos e com as informações encontradas na literatura científica.

#### **4. Resultados e Discussões**

Com a aplicação dos questionários, os dados apresentados na Tabela 1 estão de acordo com os tipos de insumos aplicados na safra de 2017/2018 nas áreas de cultivo convencional, transgênico e orgânico e, com base no banco de preços estimados pela CONAB, foi realizada a média de gastos que um produtor pode ter ao comprar cada um desses produtos. Vale ressaltar que as áreas CC e CT1 pertencem a um único produtor e suas práticas de cultivo são as mesmas, independentemente do

tipo de semente. Em nenhuma das quatro áreas de cultivo analisadas, houve a necessidade de aplicação de qualquer corretivo.

**Tabela 1:** Levantamento de preços de mercado dos principais insumos agrícolas de acordo com os tipos de fertilizantes, pesticidas e corretivos utilizados (safra 2017/2018).

Área de cultivo	Produto	Uni.	Valores de 2018 - CONAB (R\$)						Média de valor de mercado (R\$)
			Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	
CC e CT1	<b>Fertilizantes</b>								
	Fertilizante nitrogenado	T	1.357,00	1.357,00	1.357,00	1.357,00	1.357,00	1.357,00	1.357,00
	Fertilizante potássico	T	1.624,00	1.624,00	1.433,95	1.433,95	1.433,95	1.433,95	1.497,30
	Fertilizante misto	T	1.736,67	1.736,67	1.508,43	1.508,43	1.508,43	1.508,43	1.584,51
	<b>Pesticidas</b>								
	Fungicidas	-	-	-	-	-	-	-	-
	Herbicidas	L	57,8	53,00	50,40	52,00	53,00	47,00	52,20
	Inseticidas	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Corretivos</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	
CT2	<b>Fertilizantes</b>								
	Fertilizante nitrogenado	T	1.736,67	1.736,00	1.508,43	1.508,43	1.508,43	1.385,86	1.440,57
	Fertilizante potássico	T	1.402,00	1.402,00	1.402,00	1.402,00	1.402,00	1.402,00	1.402,00
	Fertilizante fosfatado	T	1.802,00	1.802,00	1.802,00	1.802,00	1.802,00	1.802,00	1.802,00
	<b>Pesticidas</b>								
	Fungicidas	L	0	0	143,60	0	0	0	23,93
	Herbicidas	L	62,80	53,00	53,00	59,00	56,00	59,50	57,21
	Inseticidas	L	165,00	159,00	159,00	159,00	159,00	160,00	160,16
<b>Corretivos</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	
CO	<b>Fertilizantes</b>								
	Adubo orgânico	T	0	0	0	0	0	280,00	46,67
	<b>Pesticidas</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
	<b>Corretivos</b>	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaboração do autor, com base nos resultados da pesquisa, 2018.

Ao analisar os valores com fertilizantes, tanto para as áreas de CC e CT1 quanto para a área de CT2, é possível observar uma diferença de preços de mercado. Isso pode ser justificado não somente pelos tipos de fertilizantes, mas também pela marca dos produtos escolhidos pelos agricultores, o que provoca as diferenças de preços. Já o CO utiliza apenas adubo orgânico, sendo um produto mais barato no mercado.

Em relação aos pesticidas, a área de CT2 apresenta gastos bem maiores que as demais pela necessidade de aplicar diferentes variedades desse produto em sua área de produção. CC e CT1 utilizaram-se apenas de herbicidas com a justificativa de não ter sido detectado, para esta safra, incidência de doenças que justificassem o uso de fungicidas e inseticidas. Na área de CO, porém, não se utilizou de nenhum tipo de pesticida natural.

A partir da análise dos preços de mercado, a Tabela 2 mostra o valor que o produtor gasta conforme as quantidades de insumos que são aplicadas por hectare.

**Tabela 2:** Levantamento de gastos dos principais insumos agrícolas de acordo com a quantidade de fertilizantes e pesticidas utilizados (safra 2017/2018).

Área de cultivo	Produto	Unidade	Quantidade/ hectare	Valor gasto pelo produtor (R\$/ha)
CC e CT1	<b>Fertilizantes</b>			
	Fertilizante nitrogenado	kg/ha	220	298,54
	Fertilizante potássico	kg/ha	20	29,94
	Fertilizante misto	kg/ha	300	475,35
	<b>Total</b>	<b>kg/ha</b>	<b>540</b>	<b>803,83</b>
	<b>Pesticidas</b>			
	Fungicidas	-	-	-
	Herbicidas	L/ha	10,8	187,44
	Inseticidas	-	-	-
	<b>Total</b>	<b>L/ha</b>	<b>10,8</b>	<b>187,44</b>
	<b>Corretivos</b>	-	-	-
CT2	<b>Fertilizantes</b>			
	Fertilizante nitrogenado	kg/ha	300	432,17
	Fertilizante potássico	kg/ha	150	210,30
	Fertilizante fosfatado	kg/ha	280	504,56
	<b>Total</b>	<b>kg/ha</b>	<b>730</b>	<b>1.147,30</b>
	<b>Pesticidas</b>			
	Fungicidas	L/ha	1,4	14,36
	Herbicidas	L/ha	7,2	189,42
	Inseticidas	L/ha	1,25	69,41
	<b>Total</b>	<b>L/ha</b>	<b>9,85</b>	<b>273,19</b>
	<b>Corretivos</b>	-	-	-
CO	<b>Fertilizantes</b>			
	Fertilizante – Esterco bovino	kg/ha	76,19	50,79
	<b>Total</b>	<b>kg/ha</b>	<b>76,19</b>	<b>50,79</b>
	<b>Pesticidas</b>	-	-	-
	<b>Corretivos</b>	-	-	-

Nota-se que as dosagens de fertilizantes na área de CT2 são maiores que nas demais, principalmente quando se trata do uso de fertilizante potássico, e isso refletiu diretamente no custo total por hectare desses produtos. Essa diferença de quantidade está de acordo com as necessidades de cada área e a forma de manejo escolhida pelo produtor, que são fatores que influenciam os resultados desses processos produtivos.

Na área de CO, além do esterco bovino apresentar baixo preço de mercado, as quantidades normalmente aplicadas nesse tipo de cultivo são bem menores do que em cultivos convencionais e transgênicos e isso justifica o baixo custo que o produtor tem por hectare. Segundo Silva e Silva (2016), o sistema orgânico normalmente não

utiliza insumos externos em seu processo produtivo, então seu custo efetivo de produção se torna menor em comparação com a agricultura intensiva.

Analisando os gastos com pesticidas, a área de CT2 também apresenta custos mais elevados do que nas demais, pois o responsável por ela aplica maiores variedades de fungicidas, herbicidas e inseticidas, o que resulta em maiores quantidades e, conseqüentemente em maiores gastos por hectare. Ao observar apenas o uso de herbicidas, nas três áreas (CC, CT1 e CT2) os valores gastos são próximos, apresentando uma diferença de apenas R\$1,98. A diferença na aplicação dos pesticidas também é um reflexo das condições e formas de manejo escolhidas para cada uma das áreas.

Ao aplicar a média de valor que é gasto por hectare com fertilizantes nas áreas de cultivos CC e CT1 (R\$ 803,83), relacionando esse valor ao que se gastaria se fosse aplicado o esterco bovino da área de CO, na mesma quantidade (R\$ 359,97), tem-se a seguinte equação para estimar os custos evitados para este produtor:

$$\begin{aligned}CE &= C_{\text{convencional/transgênico}} - C_{\text{orgânico}} \\CE &= (803,83 + 803,83) / 2 - 359,97 \\CE &= 803,83 - 359,97 \\CE &= \text{R\$ } 443,86\end{aligned}$$

Analisando a média de valor gasto por hectare, também com fertilizantes, da área de cultivo CT2 (R\$ 1.147,30), relacionando esse valor ao que se gastaria se o produtor responsável substituísse o fertilizante sintético pelo esterco bovino utilizado na área de CO, na mesma quantidade (R\$ 486,63), tem-se a seguinte equação para estimar os custos evitados:

$$\begin{aligned}CE &= C_{\text{transgênico}} - C_{\text{orgânico}} \\CE &= 1.147,30 - 486,63 \\CE &= \text{R\$ } 660,67\end{aligned}$$

Observando estes cálculos de custos evitados, é possível verificar que se os produtores das áreas CC/CT1 e CT2 substituíssem os fertilizantes sintéticos por fertilizantes orgânicos, aplicando-os na mesma quantidade de costume, eles teriam uma economia de R\$443,86 e R\$660,67/ha, respectivamente. Isso representa um ganho econômico significativo ao processo produtivo, além dos benefícios ambientais,

por substituir práticas intensivas por práticas de agricultura orgânica, que gera impactos pouco significativos ao meio ambiente (Alencar et al., 2013).

Nesta pesquisa na área de cultivo orgânico não se aplicou nenhum tipo de pesticida natural e isso é comum na agricultura orgânica. Ao pensar nos custos evitados que os produtores das áreas CC/CT1 e CT2 teriam se utilizassem da mesma prática de cultivo que CO, ou seja, não aplicando este tipo de produto, haveria uma economia de 100% dos valores gastos de costume (R\$ 187,44 e R\$ 273,19/ha, respectivamente).

Vale ressaltar que os transgênicos surgiram com o objetivo de reduzir o uso de pesticidas no processo produtivo, apresentando menor custo (Valois, 2016; ISAAA, 2017), então o CC teria que ser aquele com maior uso e gasto com esses produtos. Mas de acordo com os resultados aqui apresentados um cultivo transgênico pode ser manejado como um convencional ou ainda com práticas mais intensivas e isso pode ser justificado por uma escolha exagerada de aplicação desses produtos ou, como é apresentado na pesquisa de Carneiro et al. (2015), em que os transgênicos, em vez de reduzir o consumo de pesticidas, têm intensificado seu uso ao longo do tempo.

De acordo com alguns pesquisadores, existe uma maior resistência às pragas nos sistemas orgânicos do que nos convencionais e essa elevada resistência pode ser justificada pela qualidade do solo e maior biomassa microbiana; o crescimento lento aumenta as defesas químicas naturais das plantas, o que pode impedir doenças e pragas, e isso é contrário às práticas convencionais, principalmente nas culturas transgênicas, em que o crescimento acelerado é prioridade por meio do uso de produtos químicos e em relação à rica biodiversidade que há nos cultivos orgânicos, diferentemente das culturas convencionais em que o uso de agroquímicos, combinado com monoculturas, intensificou a incidência de pragas na agricultura (Fuller et al., 2005; Hole et al., 2005; FAO, 2007; Birkhofer et al., 2008; Meyling et al., 2010; Azadi et al., 2011).

Além dos produtos orgânicos parecerem economicamente mais viáveis, como mencionado, esses produtos geram impactos pouco significativos ao meio ambiente (Alencar et al., 2013) e à saúde do trabalhador, porém a justificativa da maioria dos produtores de não adesão às práticas orgânicas é referente ao baixo rendimento final. Como abordado por Reganold e Wachter (2016), em que os desempenhos da agricultura orgânica são melhores em questões ecológicas, sociais e econômicas, mas não em relação ao rendimento. Ainda assim, em determinadas culturas, condições de crescimento, práticas de manejo e sistemas de agricultura orgânica podem se

aproximar de sistemas convencionais em relação ao rendimento (Reganold; Wachter, 2016).

Apesar do sistema de agricultura orgânica apresentar rendimentos mais baixos, ainda é um modelo significativamente mais lucrativo do que a agricultura convencional, por conciliar melhor as questões sobre saúde humana, meio ambiente e objetivos socioeconômicos (Crowder; Reganold, 2015). No trabalho desenvolvido por Meng et al. (2017), após uma avaliação monetária, foi concluído que os custos com insumos poupados e os benefícios do sistema de agricultura orgânica, quando analisados em valores monetários por unidade de área, compensaram as perdas econômicas relacionadas à diminuição no rendimento da safra.

Os resultados apresentados na Tabela 3 mostram esse baixo rendimento do CO na safra 2017/2018 quando comparado com as outras três áreas, porém vale destacar que foi no CO que houve menos gastos com insumos (Tabela 2), além de utilizar produto orgânico, que causa menor impacto ambiental.

**Tabela 3:** Rendimento final referente à plantação de milho da safra 2017/2018.

<b>Áreas de Cultivo</b>	<b>Rendimento (kg/hectare)</b>
<b>CC</b>	7.350
<b>CT1</b>	8.670
<b>CT2</b>	9.600
<b>CO</b>	1.562

Entre as áreas do estudo, as duas áreas de cultivo transgênico foram as que apresentaram maiores rendimentos e segundo Silveira et al. (2005) é esperado que esse tipo de cultura tenha maior rendimento. Porém, na pesquisa de Porto e Soares (2012), o aumento do rendimento de culturas geneticamente modificadas só serviu para mascarar os muitos efeitos da degradação ambiental em função do uso de insumos na agricultura moderna. Como visto nos cálculos de custos evitados, esses cultivos poderiam minimizar seus efeitos ambientais se adotassem atividades defensivas em seus processos produtivos, além de diminuir os custos de produção com insumos.

Com estes resultados, é possível verificar que os cultivos transgênicos não apresentam custos mais baixos, em relação aos gastos com insumos agrícolas, quando comparados a um cultivo convencional e orgânico, podendo apresentar despesas ainda maiores. Esses resultados estão de acordo com o que foi abordado no dossiê publicado pela Associação Brasileira de Saúde Coletiva (ABRASCO) em que

se afirma que há ligação entre o aumento do uso de agrotóxicos e as culturas transgênicas (Augusto et al., 2012; Carneiro et al., 2015).

Sobre a agricultura orgânica, para atingir rendimentos na mesma proporção que os demais cultivos, seria necessária a disponibilidade de áreas de cultivo bem maiores e isso provocaria grandes perdas ambientais (Nemecek et al., 2011; Meier et al., 2015; Tricase et al., 2018). Tuomisto et al. (2012) trazem que o principal desafio a essa agricultura é aumentar seus rendimentos sem provocar impactos negativos ao meio ambiente e isso seria possível, por exemplo, adotando práticas de agricultura integrada em que pragas, doenças e plantas daninhas fossem controladas por práticas preventivas e pesticidas utilizados apenas em casos isolados. Além disso, mesmo com baixos rendimentos, as práticas de agricultura orgânica têm como ótima proposta combater os impactos ambientais e sociais do sistema de produção, além de oferecer melhor qualidade de vida para seus consumidores (Pussemier et al., 2006).

## **5. Conclusões**

A partir dos resultados aqui apresentados, é possível concluir que cultivos com práticas intensivas, como os cultivos CC, CT1 e CT2, apresentam maiores gastos em seus processos produtivos devido ao elevado preço de mercado dos produtos utilizados e por aplicarem maiores quantidades de insumos químicos quando comparados ao preço e à quantidade de insumo orgânico utilizado no CO. A diferença dos gastos totais entre CC/CT1 e CT2 pode ser justificada pelas necessidades de cada área, forma de manejo, o tipo do insumo e até mesmo a marca do produto escolhido pelo produtor responsável.

Ao analisar os custos evitados substituindo fertilizante químico por fertilizante orgânico, o ganho econômico ao produtor por hectare de produto aplicado é significativo, além do ganho ambiental que essa substituição pode provocar no meio. Quando se trata da utilização dos pesticidas, o ganho econômico é ainda maior, mostrando que as práticas de agricultura orgânica podem ser tratadas como atividades defensivas para reduzir o uso de produtos químicos nos processos produtivos. A metodologia de custos evitados não contabiliza os impactos ambientais, mas pode auxiliar na redução com os gastos para recuperação após um dano ambiental, por ser de caráter preventivo.

O CC e CT1 apresentam as mesmas práticas de cultivo, mesmo trabalhando com sementes diferentes, mostrando que, quando se trata de insumos agrícolas, principalmente pesticidas, uma cultura transgênica pode não se diferenciar ou ser mais

ou menos vantajosa que uma convencional. Essa questão pode ser consequência de uma escolha errada de manejo ou pelas opiniões e posicionamentos não conclusivos da população sobre esses organismos geneticamente modificados.

O CO, em relação ao uso de insumos, apresenta maiores vantagens ecológicas, sociais e econômicas quando comparado às outras áreas de cultivo por aplicar menores quantidades e por utilizar produtos com baixo custo de mercado e de menor impacto ambiental. Porém, suas vantagens são limitadas quando se trata do rendimento final que esse tipo de cultivo obtém e que, para atingir um rendimento maior, necessitaria de maiores áreas de cultivos e isso acarretaria diversas implicações ambientais. Os cultivos CC, CT1 e CT2 apresentaram melhores resultados, principalmente os transgênicos, porém são os cultivos que podem provocar maiores impactos ao meio ambiente. Diferentemente do CO, que, mesmo apresentando menor rendimento, é aquele que provoca menos impactos e muitos produtores têm buscado práticas orgânicas para tornar seus sistemas agrícolas mais sustentáveis.

## 6. Referências Bibliográficas

Alencar, G. V., Mendonça, E. S., Oliveira, T. S., Jucksch, I., Cecon, P. R. Percepção ambiental e uso do solo por agricultores de sistemas orgânicos e convencionais na Chapada da Ibiapada, Ceará. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 51, n. 2, p. 217-236, 2013.

<https://doi.org/10.1590/S0103-20032013000200001>

Augusto, L. G. S., Carneiro, F. F., Pignati, W., Rigotto, R. M., Friedrich, K., Faria, N. M. X., Búrigo, A. C., Freitas, V. M. T., Guiducci Filho, E. Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Parte 2. Rio de Janeiro: ABRASCO, 2012. Disponível em: [http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/Dossie\\_Abrasco\\_02.pdf](http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/Dossie_Abrasco_02.pdf). Acesso em: março 2018.

Azadi, H., Schoonbeek, S., Mahmoudi, H., Derudder, B., Maeyer, P., e Witlox, F. Organic agriculture and sustainable food production system: main potentials. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 144, n. 1, p. 92-94, 2011.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.001>

Barrows, G., Sexton, S., Zilberman, D. Agricultural biotechnology: the promise and prospects of genetically modified crops. *Journal of Economic Perspectives*, v. 28, n. 1, p. 99–120, 2014.

<https://doi.org/10.1257/jep.28.1.99>

Bendlin, L., Senff, C. O., Pedro, J. J., Kolb, N. B. Expectativas de retorno e de risco percebidos no agronegócio da soja convencional versus soja transgênica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS. 21., 2014, Natal. Anais [...]. Natal: [s. n.], 2014. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3685/3686>. Acesso em: agosto 2018.

Birkhofer, K., Bezemer, T. M., Bloem, J., Bonkowski, M., Christensen, S., Dubois, D., Ekelund, F., Fliebach, A., Gunst, L., Hedlund, K., Mäder, P., Mikola, J., Robin, C., Setälä, H., Tatin-Froux, F., Putten, W. H. V., Scheu, S. Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 40, n. 9, p. 2297-2308, 2008.

<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.05.007>

Brüseke, F. J. O Problema do Desenvolvimento Sustentável. *In*: Cavalcanti, C. (org.). Desenvolvimento e Natureza: estudos para uma sociedade sustentável. 1994. p. 29-40.

Campani, A. R., Maciel, B. L. R., Raposo, B., Machado, M. O. C., Souza, S. S., Silva, M. M. A., Conceição, P. H. Z. Custos evitados na compostagem de resíduos vegetais no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília. Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <http://institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/826>. Acesso em: dezembro 2018.

Carmo, C. R. S. Atividade agrícola: uma análise sobre sua contribuição para a economia do estado de Minas Gerais e seus possíveis determinantes agrícolas. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 9, n. 2, p. 223-249, 2016.

<https://doi.org/10.17765/2176-9168.2016v9n2p223-249>

Carneiro, F. F., Augusto, L. G. S., Rigotto, R. M., Friedrich, K., Burigo, A. C. (org.). Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. São Paulo: Expressão Popular, 2015. Disponível em: [http://www.abrasco.org.br/dossieagrototoxicos/wp-content/uploads/2013/10/DossieAbrasco\\_2015\\_web.pdf](http://www.abrasco.org.br/dossieagrototoxicos/wp-content/uploads/2013/10/DossieAbrasco_2015_web.pdf). Acesso em: outubro 2017.

Carvalho, P. S. A., Fonseca, M. B. A mecanização do setor sucroalcooleiro paraibano: um estudo a partir da teoria dos custos evitados. *Revista Livre de Sustentabilidade e*

Empreendedorismo, v. 2, n. 1, p. 138-164, 2017. Disponível em: <http://relise.eco.br/index.php/relise/article/view/57/45>. Acesso em: janeiro 2019.

Castro, J. D. B., Nogueira, J. M. Método custos evitados: Conduta defensiva na produção versus a perda da biodiversidade: O estado-das-artes no Brasil. Revista Espacios, v. 38, n. 28, p. 30, 2017. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a17v38n28/a17v38n28p30.pdf>. Acesso em: abril 2018.

Cavalcanti, C. Breve Introdução à Economia da Sustentabilidade. *In*: Cavalcanti, C (org.). Desenvolvimento e Natureza: estudos para uma sociedade sustentável, 1994. p. 17-28.

Claro, P. B. O., Claro, D. P., Amâncio, R. Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações. Revista de Administração - RAUSP, São Paulo, v. 43, n. 4, p. 289-300, 2008.

<https://doi.org/10.1590/S0080-21072008000400001>

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. Agriculture, CETEA/ITAL, v. 11, n. 1, p. 16-21, 2006.

<https://doi.org/10.1065/lca2006.01.230>

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). Preços Agropecuários. Preços de Insumos. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/precos>. Acesso em: julho 2018.

Crowder, D. W., Reganold, J. P. Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America – PNAS, v. 112, n. 24, p. 7611-7616, 2015.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1423674112>

Duarte, J. O., Garcia, J. C., Mattoso, M. J. Análise de custos de produção de milho transgênico x não transgênico. Embrapa, dezembro 2005. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/489737>. Acesso em: março 2018

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Organic agriculture and food utilization. *In*: FAO. International Conference on Organic Agriculture and Food Security. Italy, 2017. Disponível em: <http://orgprints.org/11413/1/OFS-2007-4.pdf>. Acesso em: novembro 2018.

Friedrich, K., Almeida, V. E. S., Augusto, L. G. S., Gurgel, A. M., Souza, M. M. O., Alexandre, V. P., Carneiro, F. F. Agrotóxicos: mais venenos em tempos de retrocessos de direitos. *Revista OKARA: Geografia em debate*, v. 12, n. 2, p. 326-347, 2018.

<https://doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.2018v12n2.41320>

Fuller, R. J., Norton, L. R., Feber, R. E., Johnson, P. J., Chamberlain, D. E., Joys, A. C., Mathews, F., Stuart, R. C., Townsend, M. C., Manley, W. J., Wolfe, M. S., Macdonald, D. W., Firbank, L. G. Benefits of organic farming to biodiversity vary among taxa. *Biology Letters*, v. 1, n. 4, p. 431-434, 2005.

<https://doi.org/10.1098/rsbl.2005.0357>

Galvão, J. C. C., Miranda, G. V., Trogello, E., Fritsche-neto, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. *Revista Ceres*, v. 61, p. 819-828, 2014.

<https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000007>

Gervásio, E. W. Milho: análise de conjuntura 2017. *In: SEAB. Conjuntura do milho*. Disponível em:

<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=240>.

Acesso em: julho 2017.

Hole, D. G., Perkins, A. J., Wilson, J. D., Alexander, I. H., Grice, P. V., Evans, A. D. Does organic farming benefit biodiversity?. *Biological Conservation*, v. 122, n. 1, p. 113-130, 2005.

<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.07.018>

INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APPLICATIONS – ISAAA. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years. ISAAA Brief, Ithaca, NY, n. 53, 2017. Disponível em:

<https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/53/download/isaaa-brief-53-2017.pdf>. Acesso em: outubro 2018.

Luciardo, R. O., Cunha, N. R. S., Junior, A. G. S. Identificação e proposição de métodos de valoração econômica dos efeitos das queimadas no estado de Mato Grosso. *In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER)*. 42., 2004, Brasília. Anais [...]. Brasília: [s. n.], 2004. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/12/08O383.pdf>. Acesso em: julho 2018.

Maia, A. G., Romeiro, A. R., Reydon, B. P. Valoração de recursos ambientais – metodologias e recomendações. Texto para Discussão. IE/UNICAMP, Campinas, n. 116, 2004.

Maldonado, A. D. R. M., Eduardo, A. S., Ribeiro, J. S. Valoração econômica ambiental como instrumento do planejamento ambiental. Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação, v. 1, n. 1, 2017. Disponível em: <http://desafioonline.ufms.br/index.php/EIGEDIN/article/view/4289>. Acesso em: agosto 2018.

Marques, J. F., Comune, A. E. A teoria neoclássica e a valoração ambiental. In: Romeiro, A. R., Reydon, B. P., Leonardi, M. L. A. Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais. Embrapa Meio Ambiente - Capítulo em livro científico (ALICE), Campinas, p. 21-42, 1997. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/12710>. Acesso em: outubro 2017.

Meier, M. S., Stoessel, F., Jungbluth, N., Juraske, R., Schader, C., Stolze, M. Environmental impacts of organic and conventional agricultural products – Are the differences captured by life cycle assessment?. *Journal of Environmental Management*, v. 149, p. 193-208, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.006>

Meng, F., Qiao, Y., Wu, W., Smith, P., Scott, S. Environmental impacts and production performances of organic agriculture in China: a monetary valuation. *Journal of Environmental Management*, v. 188, p. 49-57, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.080>

Meyling, N. V., Navntoft, S., Eilenberg, J. Organic farming systems benefit biodiversity and natural pest regulation in white cabbage. *ICROFS news*, v. 1, p. 4-5, 2010. Disponível em: <http://orgprints.org/16988/1/16988.pdf>. Acesso em: novembro 2018.

MINAS GERAIS. Secretária de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais. Relatórios da agricultura: milho. Belo Horizonte: SEAPA, 2018. Disponível em:

[http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil\\_milho\\_out\\_2018\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil_milho_out_2018[1].pdf).

Acesso em: novembro 2018.

Miranda, G. M., Vitale, V., Zampier, J. F. Levantamento das metodologias propostas para valoração econômica de bens ambientais. *Revista Floresta*, v. 39, n. 4, p. 861-867, 2009.

<https://doi.org/10.5380/rf.v39i4.16321>

Mota, J. A., Bursztyn, M. O Valor da Natureza como Apoio à Decisão Pública. Revista Paranaense de Desenvolvimento, v. 34, n. 125, p.39-56, 2013. Disponível em:

<http://www.ipardes.pr.gov.br/ojs/index.php/revistaparanaense/article/view/629>. Acesso em: setembro 2018.

Motta, R. S. Manual para valoração econômica de recursos ambientais. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, v. 1, p. 218, 1997.

Moura, M. C. F., Oliveira, L. C. S. Atividade agrícola: produção, impacto e sustentabilidade. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v. 4, n. 1, 2013.

<https://doi.org/10.6008/ESS2179-6858.2013.001.0001>

Navrud, S. Mungatana, E. D. Environmental valuation in developing countries: The recreational value of wildlife viewing. Ecological Economics, v. 11, n. 2, p. 135-151, 1994.

[https://doi.org/10.1016/0921-8009\(94\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0921-8009(94)90024-8)

Nemecek, T., Dubois, D., Huguenin-Elie, O., Gaillard, G. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. Agricultural Systems, v. 104, n. 3, p. 217-232, 2011.

<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.10.002>

Padua, J. B., Schindwein, M. M., Gomes, E. P. Agricultura familiar e produção orgânica: uma análise comparativa considerando dados dos censos de 1996 e 2006. Interações – Revista Internacional de Desenvolvimento Local, v. 14, n. 2, p. 225-235, 2013.

<https://doi.org/10.1590/S1518-70122013000200009>

Paiva, R. F. P. S. A valoração econômica ambiental a partir da economia ecológica: um estudo de caso para a poluição hídrica e atmosférica na cidade de Volta Redonda/RJ. 2010. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo. Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/286348/1/Paiva\\_RobertaFernandadaPazdeSouza\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/286348/1/Paiva_RobertaFernandadaPazdeSouza_D.pdf). Acesso em: agosto 2017.

Paiva, R. F. P. S. As dimensões de valor dos recursos naturais e os métodos de valoração. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, v. 24, p. 203-219, 2015.

Penna, C. L. G., Rezende, E. N. Responsabilidade civil diante da tragédia do rompimento das barragens em Mariana: o desafio da quantificação dos danos. *Revista Direito Ambiental e Sociedade*, v. 8, n. 1, p. 65-82, 2018.

<https://doi.org/10.18226/22370021.v8.n1.04>

Porto, M. F., Soares, W. L. Modelo de desenvolvimento, agrotóxicos e saúde: um panorama da realidade agrícola brasileira e propostas para uma agenda de pesquisa inovadora. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v. 37, n. 125, p. 17-31, 2012.

<https://doi.org/10.1590/S0303-76572012000100004>

Portugal, N. S., Júnior, P. S. P., Santos, A. C., Paiva, L. R. Contribuições da Logística Reversa Ao Método de Valoração Ambiental dos Custos Evitados: um Estudo de Caso em uma Indústria de Autopeças. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2012. Disponível em: <http://www.cpge.aedb.br/seget/artigos12/41621.pdf>. Acesso em: janeiro 2019.

Pugliesi, A. C. V., Marinho, M. A., Marques, J. F., Lucarelli, J. R. F. Valoração econômica do efeito da erosão em sistemas de manejo do solo empregando o método custo de reposição. *Bragantia, Instituto Agronômico de Campinas*, v. 70, n. 1, p. 113-121, 2011.

<https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000100017>

Pussemier, L., Larondelle, Y., Peteghem, C. V., Huyghebaert, A. Chemical safety of conventionally and organically produced foodstuffs: A tentative comparison under Belgian conditions. *Food Control*, v. 17, n. 1, p. 14-21, 2006.

<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.08.003>

Reganold, J. P., Wachter, J. M. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2016.

<https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>

Rodrigues, W., Nogueira, J., Imbroisi, D. Avaliação econômica da agricultura sustentável: o caso dos cerrados brasileiros. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 18, n. 3, p. 103-130, 2001. Disponível em: <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8852/4982>. Acesso em: novembro 2018.

Rodrigues, W., Santana, W. C. Análise econômica de sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos: o caso da coleta de lixo seletiva em Palmas, TO. *Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)*, v. 4, n. 2, p. 299-312, 2012.

<https://doi.org/10.7213/urbe.7402>

Romero, C. Economía de los recursos ambientales y naturales. Madrid: Alianza Editorial, p. 51-76, 1997.

Silva, A. T., Silva, S. T. Panorama da agricultura orgânica no Brasil. Revista Segurança Alimentar e Nutricional, v. 23, p. 1031-1040, 2016.

<https://doi.org/10.20396/san.v23i0.8635629>

Silva, R. G., Lima, J. E. Valoração Contingente do Parque “Chico Mendes”: uma Aplicação Probabilística do Método Referendum com Bidding Games\*. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 42, n. 4, p. 685-708, 2004.

<https://doi.org/10.1590/S0103-20032004000400008>

Silveira, J. M. F. J., Borges, I. C., Buainain, A. M. Biotecnologia e Agricultura da ciência e tecnologia aos impactos da inovação. Revista São Paulo em Perspectiva, v. 19, n. 2, p. 101-114, 2005.

<https://doi.org/10.1590/S0102-88392005000200009>

Souza, A. R. L., Machado, J. A. D., Dalcin, D. Análise de estudos internacionais sobre fatores que influenciam a decisão dos agricultores pela produção orgânica. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 8, n. 3, p. 563-583, 2015.

<https://doi.org/10.17765/2176-9168.2015v8n3p563-583>

Tourkolias, C., Skiada, T., Mirasgedis, S., Diakoulaki, D. Application of the travel cost method for the valuation of the Poseidon temple in Sounio, Greece. Journal of Cultural Heritage, v. 16, n. 4, p. 567-574, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.09.011>

Tricase, C., Lamonaca, E., Ingrao, C., Bacenetti, J., Giudice, A. L. A comparative Life Cycle Assessment between organic and conventional barley cultivation for sustainable agriculture pathways. Journal of Cleaner Production, v. 172, p. 3747-3759, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.008>

Tuomisto, H. L., Hodge, I. D., Riordan, P., Macdonald, D. W. Does organic farming reduce environmental impacts: a meta-analysis of European research. Journal of Environmental Management, v. 112, p. 309-320, 2012.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.018>

Valois, A. C. C. Biodiversidade, biotecnologia e organismos transgênicos. Texto para discussão, Brasília, Embrapa, p. 217, 2016. Disponível em:

REVISTA DE LA RED IBEROAMERICANA DE ECONOMÍA ECOLÓGICA

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1045843/1/textoparadiscussao46.pdf>

f. Acesso em: outubro 2017.

Vieira, P. F. S. P., Cruz, D. O., Gomes, M. F. M., Campos, L. A. O., Lima, J. E. Valor econômico da polinização por abelhas mamangavas no cultivo do maracujá-amarelo. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica, v. 15, p. 43-53, 2010. Disponível em: <https://www.raco.cat/index.php/Revibec/article/view/200512/268016>. Acesso em: janeiro 2018.