



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Rodolfo Armelim Del Santo

Caracterização ambiental e econômica da Produção de tomate de mesa no Brasil

Campinas
Janeiro de 2021



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Rodolfo Armelim Del Santo

Caracterização ambiental e econômica da Produção de tomate de mesa no Brasil

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de
Engenheiro Agrícola à Faculdade de
Engenharia Agrícola da Universidade
Estadual de Campinas.

Orientador: Prof. Dr. Marco Tulio
Ospina Patino

Campinas
Janeiro de 2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

D387c Del Santo, Rodolfo Armelim, 1997-
Caracterização ambiental e econômica da produção de tomate de mesa no Brasil / Rodolfo Armelim Del Santo. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Marco Tulio Ospina Patino.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Tomate. 2. Avaliação de ciclo de vida. 3. Agricultura - Custos. 4. Impacto Ambiental. I. Ospina Patino, Marco Tulio, 1960-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações adicionais, complementares

Título em outro idioma: Environmental and economic characterization of table tomato production in Brazil

Palavras-chave em inglês:

Tomato

Life cycle assessment

Agriculture - Costs

Impact environmental

Titulação: Engenheiro Agrícola

Banca examinadora:

Marco Tulio Ospina Patino [Orientador]

Nilson Antonio Modesto Arraes

Gilson Rogério Marcomini

Data de entrega do trabalho definitivo: 08-01-2021



Caracterização ambiental e econômica da Produção de tomate de mesa

Rodolfo Armelim Del Santo

BANCA EXAMINADORA

.....
Prof. Dr. Marco Tulio Ospina Patino

Orientador

.....
Prof. Dr. Nilson Antonio Modesto
Arraes

Avaliador

.....
Me. Gilson Rogério Marcomini

Avaliador

RESUMO:

O tomate de mesa é a hortaliça mais produzida e consumida no Brasil dentre 60 consideradas pelo IBGE, porém, o modelo produtivo desta hortaliça no país, caracterizado pelo cultivo a céu aberto e manejo convencional, apresenta pontos negativos como custos de produção elevados e potenciais danos ao meio ambiente, inviabilizando o cultivo para o produtor. Desta forma, o objetivo deste projeto é caracterizar o modelo produtivo de tomate de mesa brasileiro fundamentada na análise do impacto ambiental e a variação nos custos. A análise ambiental da produção de tomate de mesa foi realizada aplicando-se a metodologia da Análise de Ciclo de Vida (ACV), na qual o impacto ambiental de todos os materiais utilizados para a produção de tomate de mesa foi calculado. Para a avaliação econômica, realizou-se uma análise temporal dos custos de produção dos últimos oito anos (2012 a 2019) e essa série histórica foi utilizada para a projeção dos custos de produção para os próximos oito anos (2020 a 2027). A análise ambiental mostra que em seis categorias de impacto (ecotoxicidade terrestre, acidificação terrestre, depleção abiótica, uso de combustíveis fósseis, eutrofização e potencial de aquecimento global) das sete analisadas tiveram contribuição acima de 70% por parte do uso de fertilizantes liderados pela aplicação de nitrogênio e cama de galinha. Na categoria restante da depleção da camada de ozônio, a aplicação de pesticidas contribuiu com 71,31% do impacto causado, tornando o uso de insumos o principal causador de impacto ambiental no sistema produtivo brasileiro. Na avaliação econômica, os insumos representam a terceira maior classe de custos, apresentando taxa de crescimento anual de 16,89%. As outras duas classes de custo mais relevantes para a produção de tomate de mesa, mão de obra e outros, apresentaram taxa anual de crescimento de 8,83% e 11,11%, respectivamente. Conclui-se que a maior parcela do custo de produção para o tomate de mesa está atrelada às entradas de maior impacto ambiental da produção, trazendo à tona a necessidade de avaliar novos sistemas de produção com potencial de reduzir custos de produção e impactos ambientais.

Palavras Chave: Tomate de Mesa, Análise de Ciclo de Vida, Custos Agrícolas, Impacto Ambiental.

ABSTRACT:

Fresh tomatoes are the most produced and consumed vegetable in Brazil among 60 products considered by IBGE, however, the production system of this vegetable in the country, characterized by open cultivation and conventional management, presents negative points such as high production costs and potential damage to the environment, making cultivation unfeasible for the producer. Thus, the objective of this project was to characterize the Brazilian productive model of fresh tomatoes based on the analysis of the environmental impact and cost variation. The environmental analysis of the production of fresh tomatoes was performed using the Life Cycle Analysis (LCA) methodology, in which the environmental impact of all materials used for the production of fresh tomatoes were calculated. For the economic evaluation, a temporal analysis of the production costs from last eight years (2012 to 2019) was carried out and further used to project production costs for the next eight years (2020 to 2027). The environmental analysis shows that in six impact categories (terrestrial ecotoxicity, terrestrial acidification, abiotic depletion, use of fossil fuels, eutrophication and global warming potential) of the seven analyzed had a contribution above 70% by the use of fertilizers led by nitrogen and chicken manure application. In the remaining category of ozone depletion, the application of pesticides contributed with 71.31% of the impact caused, turning the use of inputs the main cause of environmental impact in the Brazilian production system. In the economic evaluation, inputs represent the third largest cost class, with a compound annual growth rate of 16.89%. The other two most relevant cost classes for fresh tomatoe production, labor and others, presented an annual growth rate of 8.83% and 11.11%, respectively. It is concluded that the largest portion of the production cost for fresh tomatoes is linked to the inputs with the greatest environmental impact of production, suggesting the need to evaluate new production systems with potential to reduce production costs and environmental impacts.

Keywords: Fresh Tomatoes, Life Cycle Analysis, Agricultural Costs, Environmental Impact.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Condições de temperatura ideais para o desenvolvimento do tomateiro	5
Tabela 2: Produção (milhões de toneladas) dos líderes mundiais de produção de tomate no mundo.....	6
Tabela 3: Produção (milhões de toneladas) dos líderes mundiais de produção de tomate no mundo.....	6
Tabela 4: <i>Ranking</i> de países exportadores de tomate, 2018	7
Tabela 5: <i>Ranking</i> de países importadores de tomate, 2018	8
Tabela 6: Evolução em área plantada (ha) dos principais estados produtores de tomate entre 1990 e 2019.....	11
Tabela 7: Evolução da produção de tomate de mesa no Brasil	15
Tabela 8: Categorias de impacto selecionadas para análise e a metodologia de cálculo utilizada.....	33
Tabela 9: <i>Inputs</i> utilizados na produção de tomate de mesa (em MJ) para a produção de tomate de Mesa em 1 ha.	40
Tabela 10: Valores de energia embutidos utilizado para a conversão mássica das entradas do sistema.....	41
Tabela 11: <i>Inputs</i> utilizados para a produção de 1.000kg de tomate de mesa.....	41
Tabela 12: Custos de Produção para o tomate de mesa, em R\$/ha	54
Tabela 13: CAGR por categoria, calculado e R\$/ha.....	57
Tabela 14: Projeção dos Custos de produção de tomate de mesa para os próximos 7 anos (em USD/ha)	58
Tabela 15: Representatividade das classes para a projeção dos custos de produção	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas da avaliação do Ciclo de Vida e possíveis aplicações da metodologia..	20
Figura 2: Exemplo de definição de sistema, processos elementares e fronteira do sistema	22
Figura 3: Fluxo do processo da análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV). .	24
Figura 4: Fluxo conceitual correlacionando categoria de impacto, indicador de categoria e ponto final de categoria.....	26
Figura 5: Categorias de Impacto do AICV CML.....	27
Figura 6: Categorias de Impacto do AICV ReCiPe	28
Figura 7: Processo produtivo do tomate de mesa, definido as fronteiras do sistema	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução da área plantada de tomate no Brasil (mil ha)	10
Gráfico 2: Evolução da quantidade produzida de tomate no Brasil (toneladas)	12
Gráfico 3: Evolução da produtividade de tomate no Brasil (ton/ha)	13
Gráfico 4: Comparação de custo e preço do Tomate de Mesa na cidade de Caçador, SC.	16
Gráfico 5: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Ecotoxicidade terrestre - ReCiPe	43
Gráfico 6: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Acidificação Terrestre - ReCiPe	44
Gráfico 7: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Aquecimento Global - ReCiPe	45
Gráfico 8: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Uso de Combustíveis Fósseis	46
Gráfico 9: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Eutrofização .	47
Gráfico 10: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Depleção Abiótica	48
Gráfico 11: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Depleção da camada de ozônio	49
Gráfico 12: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Ecotoxicidade Terrestre – CML	50
Gráfico 13: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Acidificação - CML	52
Gráfico 14: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Aquecimento Global - CML	53

Gráfico 15: Evolução das representatividades do custo de produção.54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral.....	3
2.2. Objetivo Específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1. Tomate	4
3.1.1. Tomate - Características.....	4
3.1.2. Tomate no mundo.....	6
3.1.3. Tomate no Brasil.....	8
3.1.4. Tomate de mesa.....	14
3.1.5. Sistemas de produção de tomate	17
3.2. Análise de Ciclo de Vida.....	18
3.2.1. Definição de Objetivo e Escopo	20
3.2.2. Definição e Análise do Inventário de Ciclo de Vida	22
3.2.3. Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)	25
3.2.4. Interpretação dos Resultados	28
3.2.5. Outros Trabalhos de ACV	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1. Análise de Ciclo de Vida.....	30
4.1.1. Definição do Objetivo e Escopo	31
4.1.2. Definição e Análise do Inventário de Ciclo de Vida	33
4.1.3. Análise do Inventário de Ciclo de Vida (AICV).....	35
4.1.4. Interpretação dos Resultados	36
4.2. Análise de Custo.....	36
4.2.1. Análise da Série Histórica de Custo.....	37
4.2.2. Projeção dos Custos de Produção.....	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1. ACV	39
5.1.1. Definição e Análise de Inventário de Ciclo de Vida	39
5.1.2. Análise de Impacto de Ciclo de Vida.....	42
5.2. Análise de Custos.....	53
5.2.1. Análise da Série Histórica de Custo.....	53
5.2.2. Projeção dos Custos de Produção.....	57
6. CONCLUSÕES.....	60
7. REFERÊNCIAS	62

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, um dos grandes hábitos da população é o consumo elevado de hortaliças. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), cerca de 60 produtos foram classificados como hortaliças, destacando o tomate como a hortaliça mais produzida e consumida, com produção estimada de 1,9 milhão de toneladas por ano e renda anual de R\$3,5 bilhões. Apesar do forte crescimento da indústria de tomate no Brasil, cerca de 63% da produção da hortaliça é voltado para o consumo em mesa, tendo relevância no dia a dia do brasileiro.

Em um panorama global, o Brasil é o 10º maior produtor de tomate segundo dados da *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2020), com área plantada de aproximadamente 57 mil hectares e produtividade próxima de 72 toneladas por hectare (IBGE, 2020). Em relação ao consumo e comercialização, o Brasil é considerado autossuficiente na produção de tomate, não registrando importações ou exportações do produto *in natura*.

Apesar desta importância, o histórico da produção de tomate no país mostra que a instabilidade de preços, perdas constantes devido a condições climáticas e custos de produção elevados deixa os produtores menos atraídos para o cultivo desta hortaliça. Nos últimos 10 anos (2011 a 2019), a área destinada ao cultivo de tomate decresceu à uma taxa de 3,3% ao ano, acarretando o decréscimo da quantidade produzida à uma taxa anual de 1,5%. A taxa anual de decréscimo menor da quantidade produzida comparada à área plantada deve-se ao crescimento da produtividade no período, justificado pela evolução e desenvolvimento de novas técnicas de manejo referentes a uso de insumos, ambiência, entre outros. Neste período, a produtividade apresentou taxa anual de crescimento de 1,9%, com valores registrados de 61,8 toneladas por hectare em 2011 e atingindo 72 toneladas por hectare no ano de 2019 (IBGE,2020).

Em paralelo com estes dados, o custo de produção subiu consideravelmente. Entre 2013 e 2019, o custo de produção subiu cerca de 63%, acima do valor da inflação acumulada do mesmo período (aproximadamente 40%). Deste custo, um dos mais representativos é o referente a insumos, representados pela aplicação de fertilizantes químicos e orgânicos, corretivos de solo, defensivos agrícolas, entre outros. Estes contribuem para cerca de 30% do custo total de produção (PAGLIUCA E DELEO, 2014; DELEO ET. AL, 2019).

O uso intensivo destes insumos faz-se necessário no modelo de produção atual do Brasil (produção a céu aberto) devido ao índice de perdas elevados causado por condições

climáticas e/ou pragas e doenças e a necessidade intensiva de nutrição da cultura. Tomando como exemplo a questão fitossanitária, a aplicação de fungicidas e inseticidas é amplamente utilizada devido à ausência de cultivares resistentes a doenças. Este uso tem como consequência o aumento dos custos, além de causar diversos impactos ambientais sobre os trabalhadores, frutos, solo e água utilizada no manejo (CARVALHO ET. AL, 2016). A aplicação destes produtos notadamente causa diversos danos para o ambiente produtivo, como a acidificação do solo e eutrofização dos recursos naturais (ROSA, 2014).

Assim, a necessidade de um sistema de produção mais sustentável, englobando as esferas econômica, social e ambiental abrem diversas possibilidades de melhorias, devendo ser criteriosamente avaliadas para implantação. Um dos métodos utilizados para esta análise é a Análise de Ciclo de Vida, comumente referida como ACV.

A ACV é uma metodologia que busca avaliar os impactos ambientais causados por um processo, seja ele a fabricação de um produto, um processo produtivo, etc. Sua aplicação é capaz de avaliar o impacto deste ciclo de vida em diversas categorias como a acidificação, eutrofização, emissão de gases estufas, dentre outras, possibilitando encontrar diversos pontos críticos e/ou gargalos em processos (IBICT, 2020). Como citado por Muniz (2012), a aplicação da

A nível mundial, diversos trabalhos sobre a análise do ciclo produtivo de tomate foram realizados, porém não há registro de avaliações para o cultivo da hortaliça no Brasil. Além disso, grande parte dos trabalhos realizam esta análise de forma isolada, não integrando a visão ambiental aos outros pilares da sustentabilidade, que são o viés econômico e social. Os trabalhos de Roy *et al.* (2007), Bojacá *et al.* (2014), Rosa (2014) e Hatirli *et. al* (2005) analisam a cadeia produtiva do tomate sob a perspectiva ecológica, propondo mudanças no processo (principalmente referente ao consumo de fertilizantes, diesel e a fabricação de materiais plásticos), porém, não é feita nenhum tipo de avaliação econômica. Em outro contexto, Çetin e Vardar (2007), analisam conjuntamente os custos de produção e o impacto ambiental da cadeia produtiva, porém, tal avaliação ecológica não é realizada pela ACV.

Sendo usada em melhorias de processos, a ACV ganha espaço no mundo dos negócios, tendo crescimento principalmente na indústria para o desenvolvimento de produtos com viés ecológico, utilizando o uso da metodologia como uma ferramenta de *marketing*. Assim, o uso da ACV permite que diversos processos sejam aprimorados ecologicamente e viabilizem economicamente um produto ou negócio, aferindo maior

competitividade a este no mercado através do aumento de rentabilidade ou redução nos custos. Para o tomate de mesa no Brasil, a aplicação da ACV para o sistema de produção convencional, mais comum entre os produtores, levaria em conta todas as peculiaridades do modelo produtivo local, caracterizando de forma fiel a produção brasileira. Os resultados destes estudos permitem que novas ações sejam implementadas para a busca de alternativas mais sustentáveis de produção não só sob o ponto de vista ambiental, mas também econômico através de possíveis redução na aplicação de insumos, combustíveis, etc.

Portanto, as metodologias de ACV e de avaliação econômica de um processo podem caminhar juntas, havendo espaço para a aplicação no tomate de mesa com potencial para redução de processos, atividades e insumos que gerem impactos positivos sob os pontos de vista ambiental e econômico do sistema produtivo. (MUNIZ, 2012).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é caracterizar o sistema atual de produção de tomate no Brasil através de uma avaliação unificada dos aspectos ambientais e econômicos. A avaliação ambiental visa quantificar e analisar os impactos ambientais causados pelos *inputs* do modelo produtivo utilizando a metodologia da Análise de Ciclo de Vida, enquanto a avaliação econômica busca definir e avaliar o comportamento dos custos de produção do tomate de mesa nos últimos anos, servindo como base para a projeção do comportamento destes custos para os próximos anos.

2.2. Objetivo Específicos

Os objetivos específicos do trabalho podem ser descritos como:

- Definir o escopo e os objetivos da Análise de Ciclo de Vida para o modelo;
- Identificar e quantificar os *inputs* necessários para a produção de tomate no Brasil;
- Definir, quantificar e avaliar os impactos ambientais do sistema de produção atual;
- Avaliar e projetar o comportamento dos custos de produção de tomate do tomate de mesa

- Quantificar e avaliar o histórico de custo de produção de tomate de mesa no período de 2012 a 2019.
- Projetar e avaliar o custo de produção de tomate para os próximos sete anos (2020 a 2027)

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Tomate

3.1.1. Tomate - Características

O tomateiro é uma planta herbácea nomeada cientificamente de *Lycopersicon esculentum*, da mesma família de plantas como beringela, pimentão e do jiló: as solanáceas. Seu fruto, o tomate, é originário da região andina, mais especificamente de países como Peru, Bolívia e Equador. Porém, a cultura foi domesticada no México e regiões da América Central ainda antes da chegada de Cristóvão Colombo ao continente, de onde o produto fora levado para a Europa. Porém, no mesmo continente, outras variedades de tomate eram conhecidas na Itália e na França, onde características afrodisíacas foram atribuídas ao produto. Apesar da história pré-europeia na América, a difusão do tomate na culinária ocorreu apenas em meados do século XIX na Europa. A princípio, o tomate era considerado venenoso e comumente utilizado como ornamental. Após isso, o tomate foi difundido ao mundo, como por exemplo no Brasil, vindo juntamente com os imigrantes italianos na virada dos séculos XIX e XX (BARSA, 2004; CANELLAS & BASSO, 2001).

O tomate, apesar de ser um fruto, é amplamente definido como uma hortaliça, principalmente devido aos hábitos de consumo ao redor do mundo. Pode ser consumido *in natura* como salada ou em receitas, ou da forma processada como molhos industriais, *ketchup*, entre outros. Em relação à planta, o tomateiro possui pelos viscosos e caule flexível e redondo quanto jovem, adquirindo maior angularidade e fibras com o tempo, porém, estas características variam de acordo com cada variedade. Algumas delas podem ser caracterizadas como plantas de crescimento determinado e indeterminado. As variedades de crescimento indeterminado não apresentam limite ao crescimento, havendo casos de plantas de cerca de 10 metros de altura. Nestas situações, são necessárias técnicas de tutoramento (técnica de cultivo de tomate para o crescimento vertical da planta através de sua vinculação a um arame, fitilho ou estaca) para que a planta fique ereta, evitando o contato do fruto com o solo. Já as plantas de crescimento determinado são utilizadas sem a necessidade de tutoramento e são conhecidas como variedades rasteiras, amplamente utilizadas na produção de tomate voltado para o processamento industrial

(BARSA, 2004; CANELLAS & BASSO, 2001; EMBRAPA; 20--).

Como qualquer outra espécie, o tomateiro possui exigências climáticas específicas para o seu desenvolvimento, sendo considerados fatores como temperatura, radiação solar e umidade do ar, por exemplo, que interferem diretamente nas fases fenológicas do tomateiro. Estas fases, por sua vez, podem ser divididas em cinco: germinação, período vegetativo, floração, pegamento de frutos e maturação dos frutos. Sobre a radiação solar, EMBRAPA (20--) aponta que baixos índices de radiação no período vegetativo das plantas resultam em alta incidência de frutos ocos e níveis baixos de açúcares. Em relação as exigências hídricas, a adoção de sistema de irrigação é comumente empregado no Brasil devido à necessidade abundante de água da cultura, sendo sua ausência causa de baixas produtividades e dificultadora no desenvolvimento. Por fim, as 5 etapas do desenvolvimento do tomateiro apresentam temperaturas ótimas estabelecidas, que são explicitadas na tabela 1. (Schmidt *et. al*, 2017; EMBRAPA, 20--).

Tabela 1: Condições de temperatura ideais para o desenvolvimento do tomateiro

Etapa de desenvolvimento do tomate	Faixa de temperatura
Germinação	16 °C – 29 °C
Período Vegetativo	20 °C – 24 °C
Floração	18 °C – 24 °C
Pegamento de Frutos	Diurna: 19 °C – 24 °C; Noturna: 13 °C – 18 °C
Maturação dos frutos	20 °C – 24 °C

Fonte: Adaptado de Schmidt *et. al* (2017).

O ciclo produtivo do tomateiro pode ser dividido em quatro fases, propostas por Alvarenga (2013): da sementeira ao transplante de mudas; do transplante de mudas ao florescimento; do florescimento ao início da colheita e, por fim, o período de colheita. O tempo de produção do tomate pode variar de 95 a 125 dias de acordo com a variedade escolhida, genótipo e outras condições climáticas e de nutrição, por exemplo. A duração das etapas está explicitada na tabela 2.

Tabela 2: Etapas de desenvolvimento do tomateiro.

Etapa de desenvolvimento do tomate	Faixa de temperatura
Semeadura - Mudas	3-4 semanas
Mudas – Florescimento	4-5 semanas
Florescimento - Colheita	5-6 semanas

Fonte: Adaptado de Alvarenga (2013).

Em relação à hortaliça tomate, esta apresenta grande quantidade de vitaminas e outros nutrientes como fósforo e ferro. Atualmente, existem diversas variedades comerciais de tomate, sendo as variedades rasteiras voltadas para a indústria e as diversas outras destinadas ao consumo *in natura*, conhecido como tomate de mesa. (EMBRAPA, 20--)

3.1.2. Tomate no mundo

Atualmente, de acordo com dados da FAO (2020), o tomate é uma das principais hortaliças produzidas no mundo, com produção estimada em 243,9 milhões de toneladas no ano de 2018 (1ª posição) em área cultivada de 5,80 milhões de hectares (2ª posição, atrás apenas da área destinada ao cultivo de cebola). A tabela 3 apresenta a produção dos líderes mundiais da produção de tomate entre 2010 e 2018. Sendo atualmente o 9º maior produtor mundial, a cultura do tomate tem grande presença na vida dos brasileiros.

Tabela 3: Produção (milhões de toneladas) dos líderes mundiais de produção de tomate no mundo.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
China	46,88	49,32	48,17	50,69	52,80	55,81	57,57	59,60	61,63
Índia	12,43	16,53	18,65	18,23	18,74	16,39	18,73	20,71	19,38
EUA	14,05	13,76	14,48	13,83	15,88	14,58	12,88	11,14	12,61
Turquia	10,05	11,00	11,35	11,82	11,85	12,62	12,60	12,75	12,15
Egito	8,54	8,11	8,63	8,29	8,29	7,74	7,32	6,73	6,62
Irã	5,70	5,64	5,57	5,76	6,36	6,01	5,83	6,23	6,58
Itália	6,02	5,95	5,59	5,32	5,62	6,41	6,44	6,02	5,80
Espanha	4,31	3,86	4,05	3,78	4,89	4,83	5,23	5,16	4,77
Brasil	4,11	4,42	3,87	4,19	4,30	4,19	4,17	4,23	4,11
México	3,00	2,44	3,43	3,28	3,54	3,78	4,05	4,24	4,56

Fonte: Adaptado de FAO (2020).

O líder mundial de produção entre 2010 e 2018 foi a China, totalizando cerca de 482,42 milhões de toneladas produzidas no período. A 2ª e 3ª posição ficaram com Índia e

Estados Unidos, com produção de 159,78 e 123,21 milhões de toneladas no período, respectivamente, alternando estas posições ao longo dos anos avaliados. O Brasil, por sua vez, manteve-se entre os 10 maiores produtores de tomate do mundo ao longo dos 8 anos avaliados pela FAO, somando cerca de 37,58 milhões de toneladas entre 2010 e 2018, a 9ª maior quantia no período.

Em relação a importações e exportações, dados da FAO (2020) confirmam que o estas localizam-se na Europa, Ásia e na América do Norte. A tabela 4 apresenta dados dos principais países importadores de tomate em milhões de toneladas.

Tabela 4: *Ranking* de países exportadores de tomate, 2018

Posição	País	Quantidade (Toneladas)
1	EUA	1.856.918
2	Alemanha	740.847
3	Rússia	577.735
4	França	524.098
5	Iraque	506.938
6	Reino Unido	382.144
7	Holanda	229.503
8	Canadá	227.947
9	Afeganistão	196.279
10	Arábia Saudita	189.688

Fonte: Adaptado de FAO (2020).

Devido à grande demanda principalmente de tomates frescos, os Estados Unidos apresentam-se como grande líder de importação de tomate, com aproximadamente 1,86 milhões de toneladas da hortaliça importada em 2018. Na sequência, a Europa aparece entre os 10 maiores importadores com 5 países, sendo eles Alemanha, Rússia, França, Reino Unido e Holanda, ocupando respectivamente as posições número 2, 3, 4, 6 e 8. Iraque, Afeganistão e Arábia Saudita representam a Ásia no top 10, enquanto o Canadá fecha o *ranking* dos 10 maiores importadores de tomate.

Em relação à exportação, a tabela 5 apresenta dados dos 10 líderes mundiais em exportação de tomate no mundo.

Tabela 5: *Ranking* de países importadores de tomate, 2018

Posição	País	Quantidade (Toneladas)
1	México	1.831.837
2	Holanda	1.090.251
3	Espanha	813.875
4	Marrocos	628.538
5	Irã	572.856
6	Turquia	525.874
7	Jordão	257.889
8	França	223.556
9	Bélgica	220.153
10	EUA	216.286

Fonte: Adaptado de FAO (2020).

O México lidera o *ranking* com 1,83 milhões de toneladas em 2018 segundo estatísticas da FAO (2020), exportando cerca de 50% de sua produção própria, sendo cerca de 95% deste valor para os Estados Unidos (FIRA, 2017). Países de elevado consumo e produção (GLOBALTRADE, 2020) também aparecem nos 10 maiores exportadores, como Irã, Turquia e Jordânia, que ocupam respectivamente a 5ª, 6ª e 7ª posição do *ranking*. Os integrantes europeus do ranking são Holanda, Espanha, França e Bélgica e, finalizando o ranking, integram Marrocos e os Estados Unidos.

3.1.3. Tomate no Brasil

Nos dados mais recentes da FAO (2020), o Brasil é atualmente o 10º maior produtor de tomate no mundo, considerado autossuficiente pelos baixos índices de exportação e importação da hortaliça e registrando consumo *per capita* de 21 kg

A intensificação da produção de tomate no Brasil ocorre em conjunto com a diversificação da agricultura paulista entre os anos 20 e 30. De acordo com Camargo Filho *et al.* (1994), a agricultura até o ano de 1929 foi predominada pela cultura do café. Porém, a abolição da escravidão forçou a vinda de imigrantes ao Brasil, estimulando o cultivo e o mercado de alimentos para o sustento, dando início a diversificação da agropecuária à época. Neste contexto, está inserido a produção de hortifruti granjeiros, incluindo o tomate, o qual teve os primeiros registros de produção em meados da década de 1930, sendo produzida em Suzano, SP. Já nos anos 1940, implantou-se a colônia de olericultores nipônica em Santa Cruz, no Rio de Janeiro. Foi neste período que o cruzamento entre duas

outras variedades culminou na variedade Santa Cruz, a mais utilizada para o tomate de mesa e base de pesquisa para a evolução de diversos cultivares.

A evolução do tomate continuou até as décadas de 1960 e 1970, onde houve o interesse na tecnificação e conseqüente modernização da agricultura. Foi neste período em que foram criadas iniciativas como a EMBRAPA e os CEASAS, sendo este último voltado para a fruticultura e olericultura, em especial alho, batata, cebola e tomate de mesa e industrial. Essas iniciativas permitiram, segundo Camargo Filho *et. al* (2017) “(...) o desenvolvimento e a modernização das cadeias produtivas da olericultura, com metas de melhoria na produção, comercialização, distribuição e abastecimento”.

Neste mesmo período intensificou-se o desenvolvimento de novas cultivares e variedades tanto para o tomate industrial para o tomate de mesa. Segundo Lucidarme (2018), o melhoramento genético para o tomate de mesa permitiu o aumento do tempo de prateleira do produto, assim como auxilia na diminuição das perdas de características de qualidade importantes, permitindo o aumento de produtividade. Para as indústrias, variedades com alto potencial produtivo, possibilidade de mecanização e outras características agrônômicas que favoreciam o processamento foram o foco de pesquisa (MELO & VILELA, 2005).

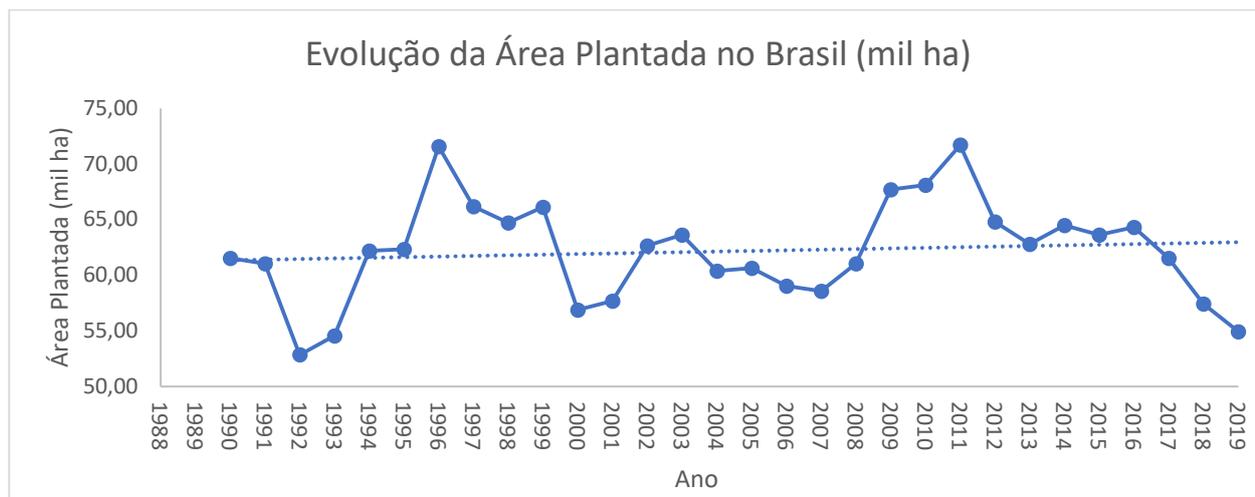
Assim, de acordo com Camargo Filho *et. al* (2017), houve estímulo à produção de tomate rasteiro para abastecimento da indústria durante os anos de 1964 a 1970, tendo o estado de São Paulo como o principal produtor tanto para o tomate industrial como para o tomate de mesa. Neste período, a produção de tomate industrial chegou a ser de 44% da produção total, enquanto o restante era destinado ao consumo *in natura* (CAMARGO FILHO ET. AL, 2017). O estado de São Paulo apresentou-se como o maior produtor de tomate até os anos de 1982, quando o desenvolvimento de novos híbridos por parte da EMBRAPA permitiu a entrada do Nordeste no mapa produtivo, fornecendo matéria prima as indústrias de produtos derivados do tomate.

Neste período, o Nordeste consolida-se como maior produtor de tomate para processamento, chegando a ceder 70% da matéria prima de processamento brasileiro, seguido por São Paulo e a região do Cerrado (CAMARGO FILHO ET. AL, 2017). Porém, a partir dos anos 1990, o surgimento de uma doença causada pelo gemnivirus fez com que a produção de tomate para a indústria, na época, migrasse para o Cerrado, mais especificamente o estado de Goiás.

A partir dos anos 1990, dados com maior precisão disponibilizados pelo IBGE (2020),

assim como eventos registrados nos trabalhos de Camargo Filho *et. al* (2017), Lucidarme (2018) e Melo e Vilela (2005) podem ser analisados conjuntamente com maior precisão. O gráfico 1 apresenta a evolução da área plantada no Brasil, no qual as três décadas constadas podem ser analisadas separadamente devido às mudanças no cenário produtivo ocorridas em cada uma delas.

Gráfico 1: Evolução da área plantada de tomate no Brasil (mil ha)



Fonte: Adaptado de IBGE (2020)

De acordo com dados do IBGE (2020) e Camargo Filho *et.al* (2017), a área destinada a produção de tomate no Brasil apresenta queda entre 1990 e 1992, devido à diminuição da área produtiva em Pernambuco pela metade devido a ocorrência do gemnivírus. Até os anos 2000, a área plantada apresentou diversas oscilações, mas foi marcada pelo crescimento da participação dos estados de Goiás e Minas Gerais, sendo que o primeiro passou de próximo de 7 mil hectares para números acima de 10 mil hectares no final do século, enquanto Minas Gerais elevou sua participação de 5,8 mil hectares para 9,69 mil hectares. Ambos os estados substituíram a participação de Pernambuco, principal estado produtor no Nordeste entre os anos 1990-2000, passando de 10,21 mil hectares em 1990 para cerca de 2 mil hectares no final do século. Entre 2000-2010, devido ao alcance de produtividades elevadas de tomate, principalmente para a hortaliça destinada à indústria, a área destinada a cultura para o processamento apresentou retração. Por outro lado, o tomate de mesa manteve-se em patamares similares no quesito área. O estado de Goiás continuou apresentando expressivo crescimento em área produtiva de tomate, chegando a representar cerca de 78% da produção de tomate industrial no Brasil (CAMARGO FILHO ET. AL, 2017), enquanto outros estados com grande participação como São Paulo e Minas

Gerais apresentaram retração na área plantada de tomate (IBGE, 2020). Já na década final (2010-2019) a área plantada apresentou forte retração, passando inicialmente de 68,09 mil hectares em 2010 para 54,92 hectares em 2019. Em relação aos estados brasileiros, apenas São Paulo apresentou crescimento de área destinado ao tomate entre 2010 e 2019, enquanto todos os outros estados de produção relevante apresentaram redução. Os dados específicos dos principais estados produtores são apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Evolução em área plantada (ha) dos principais estados produtores de tomate entre 1990 e 2019

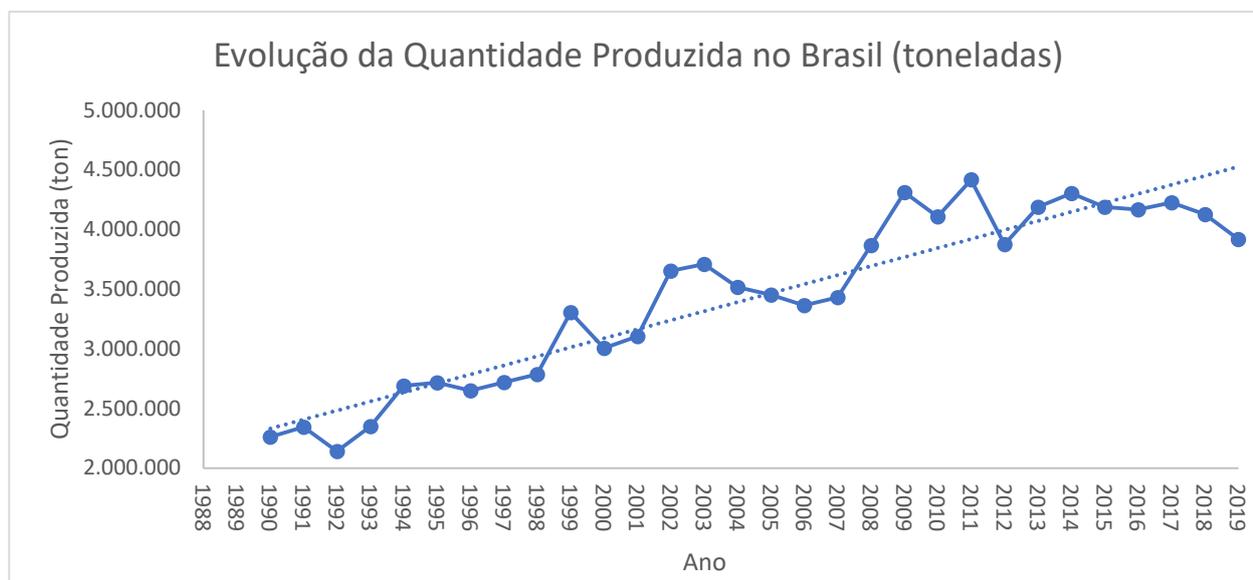
Ano	Goiás	São Paulo	Minas Gerais	Pernambuco
1990	6.911	15.360	5.808	10.212
1991	5.821	15.720	6.114	10.366
1992	3.904	15.105	5.768	5.878
1993	4.454	14.420	6.303	7.223
1994	5.451	18.080	6.279	8.197
1995	4.654	16.930	6.492	8.704
1996	5.228	15.080	11.925	8.927
1997	6.780	14.280	9.240	6.840
1998	5.568	14.340	11.659	4.670
1999	11.073	13.040	12.174	2.873
2000	10.201	11.487	9.685	2.062
2001	10.549	10.290	10.250	2.420
2002	12.512	11.930	9.765	4.414
2003	13.196	12.110	10.295	3.834
2004	11.384	11.430	9.251	4.275
2005	10.792	12.170	9.088	4.280
2006	9.900	11.340	8.130	4.208
2007	9.820	12.466	6.879	4.020
2008	12.849	11.234	7.384	3.725
2009	18.109	10.745	7.326	3.410
2010	18.437	10.646	7.735	3.206
2011	18.679	13.096	7.365	2.787
2012	14.028	13.768	6.878	2.857
2013	15.679	12.086	8.151	2.406
2014	11.755	12.692	9.311	3.746
2015	10.664	14.967	9.773	2.527
2016	11.457	14.835	10.304	1.761
2017	16.307	12.125	7.556	1.503
2018	14.682	11.075	7.320	1.287
2019	12.313	11.221	7.041	1.520

Fonte: Adaptado de IBGE (2020)

O gráfico 2 apresenta a evolução da quantidade de tomate produzida no país.

Diferente ao comportamento da área plantada, a quantidade produzida no país apresentou uma tendência mais uniforme de crescimento ao longo dos últimos 30 anos, impulsionada principalmente pelo crescimento da produtividade que será avaliada posteriormente.

Gráfico 2: Evolução da quantidade produzida de tomate no Brasil (toneladas)

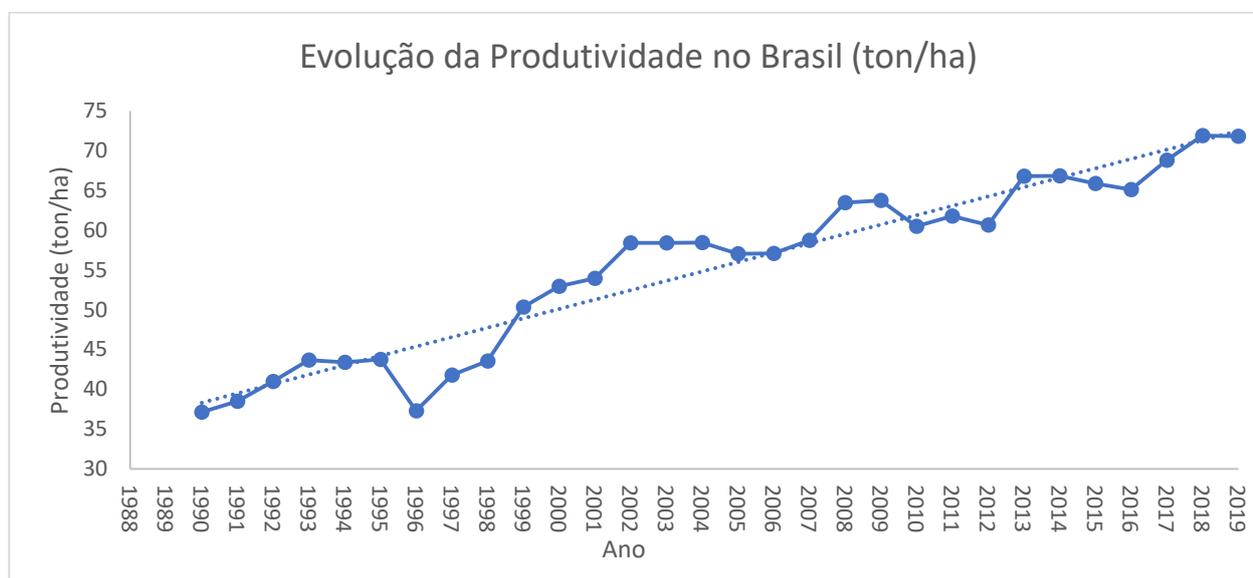


Fonte: Adaptado de IBGE (2020)

Na primeira década avaliada (1990-2000), houve um crescimento nos números de quantidade produzida no Brasil, impulsionadas principalmente pelo incremento na produtividade. No mesmo período supracitado, a quantidade produzida passou de 2,26 milhões de toneladas para 3 milhões (crescimento próximo de 33%), enquanto a produtividade. Estes números são reflexos da evolução tanto da produção de tomate para indústria como para o tomate de mesa, referente às evoluções de variedades citadas por Camargo Filho *et. al* (2017) e Lucidarme (2018). Neste período, dados de Camargo Filho *et. al* (2017) mostram grande evolução principalmente na produtividade do tomate industrial, superando a produtividade do tomate de mesa que anteriormente era superior. Este comportamento manteve-se ao longo da próxima década, no qual a quantidade produzida atingiu 4 milhões de toneladas produzidas em 2010 (IBGE 2020), incremento justificado pela aplicação de novas técnicas de manejo, emprego de forma crescente fertilizantes, defensivos agrícolas e outros produtos. Já na última década, o crescente aumento na produtividade das lavouras aliviou o efeito da forte retração observada na área de plantada de 19,34%, fazendo com que a quantidade produzida no período registrasse queda de apenas 4,5%, reduzindo de 4,42 milhões de toneladas em 2010 para 3,20 milhões em 2019.

Por fim, os dados de produtividade de tomate no Brasil são apresentados no gráfico 3, demonstrando evolução ao longo de todo o período.

Gráfico 3: Evolução da produtividade de tomate no Brasil (ton/ha)



Fonte: Adaptado de IBGE (2020)

Na primeira década avaliada pelo gráfico, a evolução da produtividade já é notória passando de 37 para 53 toneladas por hectare entre 1990 e 2000 (aumento estimado de 42,6%) (IBGE, 2020). Já nos anos 2000 a produtividade de tomate apresentou grande evolução tanto no tomate industrial como tomate de mesa. As produtividades de tomate de mesa, anteriormente na faixa entre 40 e 42 toneladas por hectare chegou a registrar valores de 50,48 toneladas/ha entre 2001 e 2007 e, posteriormente, 57,30 entre 2008 e 2012. (CAMARGO FILHO ET. AL, 2017). Junto com a crescente na produção do tomate de mesa, o tomate destinado a indústria chegou nos anos 2010 aos patamares de 80 toneladas/ha (CAMARGO FILHO ET. AL, 2017), fazendo com que a produtividade de tomate no Brasil subisse para valor de 60 toneladas/ha. Diferentemente do comportamento de quantidade e área plantada, a produtividade, manteve-se em crescimento entre os anos 2010 e 2019, iniciando o período em 60 toneladas/ha e finalizando em 72 toneladas/ha na produção geral brasileira (incremento de 19%).

O comportamento das variáveis de área plantada, quantidade produzida e produtividade nesta última década no Brasil pode ser explicado principalmente pela instabilidade da produção, marcada por diversos eventos de excesso de demanda ou oferta. Como exemplo, Lima (2013) registrou perdas na produção de tomate e redução da

área plantada, o que culminou em aumento de preços devido a incapacidade de suprir a demanda. Por outro lado, no ano de 2019, houve queda de preços devido ao excedente de oferta reportado por Parede *et. al* (2019). Neste caso, fatores climáticos favoreceram a produção da hortaliça e geraram uma oferta acima da capacidade de absorção da demanda, fazendo com que diversos produtores selecionassem os produtos a serem colhidos e descartassem os frutos de menor qualidade em campo. Como apontado por Del Santo e Patino (2019), tal instabilidade faz com que produtores de hortaliça procurem produtos alternativos com maior garantia de renda. Além disso, tal instabilidade da produção quando refletidas no preço também forçam os consumidores a mudarem seus hábitos, substituindo o tomate por outro produto.

3.1.4. Tomate de mesa

Segundo dados do IBGE (2017), o tomate é a hortaliça mais produzida e consumida no Brasil dentre as 60 classificadas no país, atingindo atualmente cerca de 1,9 milhões de toneladas produzidas, tendo registro de produção atual em cerca de 4 mil municípios.

A evolução da produção de tomate de mesa no Brasil inicia-se nos anos 30, com a chegada da colônia nipo-brasileira na cidade de Santa Cruz, Rio de Janeiro. O nome da cidade nomeou a variedade mais utilizada por muitos anos, a variedade Santa Cruz, originada inicialmente por cruzamentos realizados pelos próprios produtores. Até 1990, foi a variedade mais utilizada no Brasil e base de diversas melhorias genéticas de outras cultivares, marcada principalmente pela pesquisa de Hiroshi Nagai, pesquisador do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). A partir dos anos 1990, a adoção de outras variedades foi implantada, com grande importação na aquisição de sementes (CAMARGO FILHO ET. AL, 2017; LUCIDARME, 2018). Nos próximos anos, a tabela 7 traz os dados referentes a produtividade, quantidade produzida e área produzida de tomate de mesa.

Tabela 7: Evolução da produção de tomate de mesa no Brasil

Ano-período	Área (ha)	Produtividade (t/ha)	Produção (1.000 t)
1990-1994	37.131	40,80	1.515.000
1995-2000	45.204	41,67	1.883.651
2001-2007	42.131	50,48	2.126.773
2008-2012	44.218	57,30	2.533.830
2013-2016	40.618	54,50	2.213.805

Fonte: Adaptado de Camargo Filho et. al (2017)

Entre os anos de 1990 e 2016, a área destinada a produção de tomate de mesa apresentou grande oscilação, com áreas médias de 37,13 mil hectares entre 1990 e 1994, atingindo seu pico entre 1995 e 2000 com 45,2 mil hectares produzidos, e, entre 2013 e 2016, registrando área de 40,62 mil hectares. Neste período de 16 anos (1990-2016), a produção foi impulsionada pela evolução da produtividade, que cresceu cerca de 34% no período (40,8 ton/ha entre 1990 e 1994 para 54,50 entre 2013 e 2016). Além da evolução das cultivares, o incremento na produtividade pode ser atribuído a evolução das práticas de manejo na cultura de tomate. (CAMARGO FILHO ET. AL, 2017)

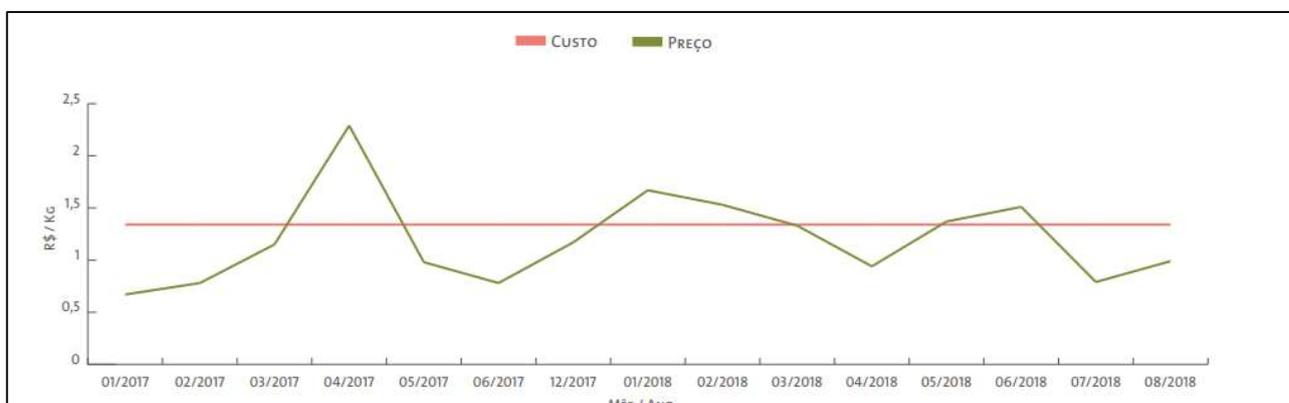
No Brasil, em relação a distribuição da produção de tomate de mesa, a região Sudeste sempre foi líder na produção. Segundo dados de Camargo Filho *et. al* (2017), a região Sudeste chegou a ter 55% de participação na produção de tomate de mesa entre 1970 e 1990, seguido pela região Sul (21%) e o restante do Brasil (24%). Atualmente, a distribuição da produção de tomate de mesa continua tendo como líder o Sudeste, com 45,5% da produção nacional. A segunda posição é ocupada pela região Nordeste, com 25,6% da produção nacional com polos de produção nos estados da Bahia, Ceará, Pernambuco e Piauí. Por fim, Sul e Centro-Oeste ocupam a 3ª e 4ª posição na produção brasileira com participações de 14,8% e 14,2% respectivamente. Em relação a distribuição entre tomate de mesa e tomate industrial, cerca de 63% do tomate produzido no Brasil é destinado ao consumo *in natura*, enquanto os outros 37% destinam-se ao processamento industrial. (BOTEON ET. AL , 2020).

Apesar da importância do tomate de mesa no Brasil, a redução nos últimos anos referente à produção do tomate de mesa demonstra a saída de diversos produtores da cultura do tomate devido a diversos pontos que se interligam: a suscetibilidade da cultura a pragas e doenças, gerando perdas e instabilidade no preço; o uso intensivo de produtos químicos, como defensivos e fertilizantes; e o custo de produção elevado ao produtor.

Melo e Vilela (2005) reforçam a suscetibilidade da cultura do tomate a doenças e mudanças climáticas, impactando diretamente no rendimento da produção ocasionando

perdas. Estes valores são confirmados por Lima (2013), onde foram registradas perdas devido a incidência de pragas e chuva, resultando na falta de produto para atender a demanda de mercado. Com isso, o produtor é forçado a planejar tais perdas, produzindo quantidades acima do esperado para garantir certa renda. Porém, em casos específicos, condições favoráveis geram produtividades acima do esperado, ocasionando excesso de produção e conseqüentemente da oferta de tomate no mercado, como apontado por Parede *et. al* (2019). Tal instabilidade na produção gera alterações significativas no preço, como apontado por Del Santo e Patino (2019) e exemplificado no gráfico 4.

Gráfico 4: Comparação de custo e preço do Tomate de Mesa na cidade de Caçador, SC.



Fonte: Adaptado de CONAB (2020)

Em momentos de grandes perdas, a demanda excedente por tomate eleva o preço, tornando-o não atrativo para o cliente, que opta por outros produtos secundários. Por outro lado, o excesso de oferta no mercado leva os preços para patamares do preço mínimo, fazendo com que o produtor seja incapaz de superar seus custos, diminuindo o interesse por parte dos agricultores pela produção de tomate, forçando-os a optar por outras culturas com rentabilidade mais previsível. (DEL SANTO; PATINO, 2019).

Sob o modelo de produção a céu aberto, mais comum no Brasil atualmente, uma das formas encontradas pelos produtores para mitigar riscos de perdas e garantir minimamente a produtividade da lavoura é através do uso de insumos químicos, como inseticidas, pesticidas, fungicidas e fertilizantes. Dossa e Fuchs (2017) registraram cerca de 36 aplicações de defensivos em uma única safra, com intenção de conter o ataque de mosca branca. CONAB (2020) reforça o fato de a cultura do tomate ser conhecida pela aplicação de grande volume de defensivos, assim como Melo e Vilela (2005). Tal carga de insumos químicos são potenciais geradores de impacto ambiental, o que pode afastar grande parte

do mercado consumidor que optam por produtos que adotam sistemas de produção mais sustentáveis. Melo e Vilela (2005) reforçam que o manejo utilizando agroquímicos gera degradação de diversos ecossistemas, ocasionando o acúmulo de resíduos tóxicos que colocam em risco recursos como o ar, solo, água e a saúde humana.

Além dos impactos ambientais, o uso excessivo de insumos na cultura do tomate causa impactos econômicos, principalmente na elevação dos custos de produção da cultura. Dados de Boteon *et. al.*, (2019) mostram que, atualmente, os insumos representam cerca de 25% dos custos totais da lavoura de tomate. Outro fator de produção do tomate de mesa que impacta no alto custo é a mão de obra, principalmente na colheita, custo não contemplado na cultura de tomate industrial devido a possibilidade da colheita mecanizada.

3.1.5. Sistemas de produção de tomate

De maneira geral, a produção de tomate pode ocorrer usando 3 sistemas diferentes: o sistema de produção convencional; o sistema de produção orgânico; e o cultivo protegido.

De acordo com Santos (2016), o sistema de produção convencional baseia-se no manejo voltado para a aplicação intensiva de fertilizantes e defensivos químicos em doses elevadas e voltada a monocultura, o que favorece a incidência de pragas e impactos ambientais referentes a degradação do solo, contaminação dos cursos de água, entre outros. Apesar disto, é o sistema que apresenta os melhores resultados em produtividade para diversas culturas, sendo amplamente adotado pelos produtores brasileiros.

Uma alternativa para este sistema produtivo é a produção orgânica de alimentos. De acordo com a Associação de Agricultura Orgânica (AOO, 2020), “Agricultura Orgânica é um processo produtivo comprometido com a organicidade e sanidade da produção de alimentos vivos (...) razão pela qual usa e desenvolve tecnologias apropriadas à realidade local de solo, topografia, clima, água, radiações e biodiversidade própria de cada contexto(...)”. Assim, a utilização de insumos orgânicos sem o uso de defensivos químicos, técnicas de manejo mínimo de solo e alinhamento entre diversas culturas sem a restrição da monocultura contribuem para a diminuição no impacto sobre o solo, água e até trabalhadores agrícolas.

Juntamente com estas técnicas pode-se aliar o cultivo protegido, que é definido por Silva *et. al.*, (2014) como uma técnica que permite o controle de variáveis como temperatura radiação solar e umidade do ar, que podem traduzir em elevação de eficiência produtiva, diminuindo o efeito da sazonalidade das culturas e possibilitando a redução dos custos com

o controle de pragas e doenças e adubação, diminuindo conseqüentemente o índice de perdas das culturas. Pode ser realizado sobre estufas, casa de vegetação, entre outros.

No Brasil, a produção de tomate dá-se basicamente sob o sistema de produção convencional a céu aberto, sem qualquer espécie de proteção contra clima. Porém, a aplicação dos sistemas de produção orgânico e/ou sob cultivo protegido mostra bons resultados. Fayad *et al.* (2001) mostrou que o tomate sob cultivo protegido apresenta 1% menos perdas e produtividade de 21% maior do que o tomate cultivado a céu aberto. Luz *et al.* (2007) indicam que a lucratividade do tomate orgânico sob cultivo protegido é 100% superior à cultura convencional, tornando estes métodos alternativos uma possibilidade viável para a produção da hortaliça juntamente com a redução de impactos ambientais e maior viabilidade econômica.

3.2. Análise de Ciclo de Vida

De acordo com o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT, 2020), a ACV “(...)é uma técnica desenvolvida para mensuração dos possíveis impactos ambientais causados como resultado da fabricação e utilização de determinado produto ou serviço” Esta técnica permite identificar qual estágio do ciclo de vida ou materiais possuem maior contribuição no impacto ambiental ocasionado pelo processo, produto ou serviço estudado através do mapeamento de todos os materiais e processos utilizados durante este ciclo. Geralmente, declarações ambientais sobre determinado produto podem ser baseadas em sua análise de ciclo de vida.

De acordo com dados apresentados por Coltro (2007) e Muniz (2012), os primeiros estudos de ACV são datados entre as décadas de 1960 e 1970, impulsionada pela crise do petróleo. De acordo com Chehebe (1997), a crise gerou a necessidade de encontrar formas alternativas de energia, fazendo com que o mundo buscase uma forma melhor de utilizar os recursos naturais disponíveis, iniciando o processo de avaliação de processos produtivos. Como esta análise de energia envolvia balanços de massa e energia, todos os materiais envolvidos e seus resíduos gerados eram automaticamente contabilizados. Com isso, estes estudos começaram a ser referidos como “análise de recursos” e/ou “análise do perfil ambiental” (COLTRO, 2007). A primeira ACV registrada oficialmente, segundo Muniz (2012), foi realizada pela Coca-Cola, com o objetivo de comparar diferentes embalagens de refrigerantes e definir qual apresentava o desempenho mais satisfatório referente a preservação de recursos naturais. Porém, após a crise do petróleo, Coltro (2007) aponta

um período de enfraquecimento da metodologia, tendo seu ressurgimento no final dos anos 80, com a crescente preocupação com os recursos naturais e o meio ambiente.

De acordo com Coltro (2007), alguns trabalhos de ACV praticamente iguais apresentavam resultados diferentes devido a diversas informações divergentes como matérias-primas, uso de energia, entre outros, diferindo também na interpretação de qual o sistema mais adequado para o meio ambiente. Devido a isto, iniciou-se o processo de padronização da metodologia, tendo a primeira contribuição vinda da *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC), que gerou o primeiro documento sobre a padronização da ACV em 1993. Foi este trabalho que orientou posteriormente as normas da ISO.

Atualmente, a Análise de Ciclo de Vida é normatizada e concentra suas diretrizes em 2 normas: a ABNT NBR ISO 14040 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípio e Estrutura (2009) e a ABNT NBR ISO 14044 – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações (2009). Segundo a norma ABNT NBR ISO 14040 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípio e Estrutura (2009), a ACV enfoca aspectos e impactos ambientais em potencial, e pode servir como subsídio para identificar pontos de melhoria de desempenho ambiental de produtos, para a tomada de decisão em instituições, como a definição de um planejamento estratégico e para o *marketing*, sendo utilizado por exemplo para a rotulagem ambiental e/ou a declaração ambiental de um produto e/ou serviço.

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040 (2009), a ACV pode ser dividida em quatro etapas que interagem entre si: 1. Definição de Objetivo e Escopo; 2. Análise de Inventário de Ciclo de Vida; 3. Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida; 4. Interpretação dos Resultados. As fases e suas interações, tal como os possíveis usos de ACV supracitados estão contemplados na figura 1.

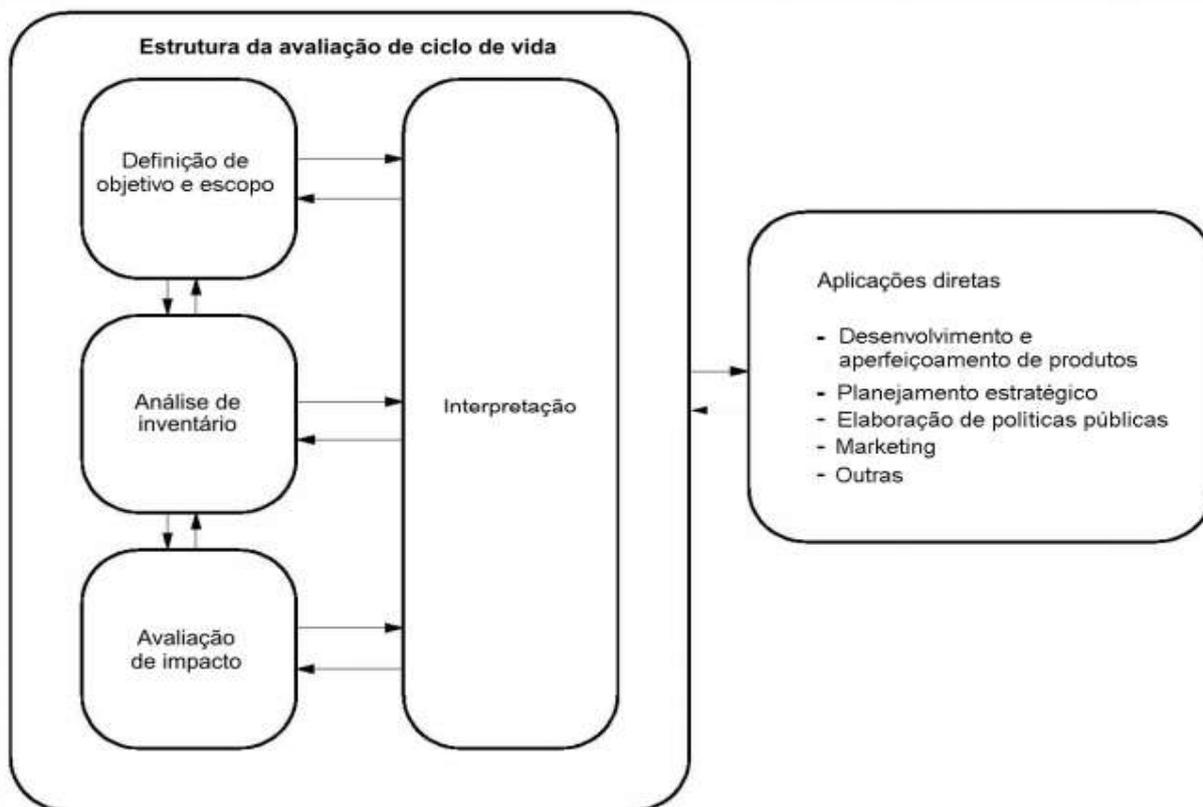


Figura 1: Etapas da avaliação do Ciclo de Vida e possíveis aplicações da metodologia. Fonte: ABNT NBR ISO 14040 (2009).

3.2.1. Definição de Objetivo e Escopo

De acordo com a ABNT NBR ISO 14044 (2009), “O objetivo e escopo de uma ACV devem ser claramente definidos e devem ser consistentes com a aplicação pretendida. Devido à natureza iterativa da ACV, o escopo pode ter que ser ajustando durante o estudo.”

Primeiramente, deve ser definido o objetivo do estudo que contempla os seguintes passos:

- Aplicação pretendida (ABNT NBR ISO 14044, 2009);
- Motivo de realização do estudo (ABNT NBR ISO 14044, 2009);
- Público-alvo de realização do estudo (ABNT NBR ISO 14044, 2009);
- Se há a intenção de utilizar os resultados para comparação e divulgação pública (ABNT NBR ISO 14044, 2009).

Definido o objetivo do estudo, prossegue-se para a definição do escopo da aplicação da ACV. Para isso alguns itens devem ser considerados, como listados pela ABNT NBR ISO 14044 (2009), dentre eles: o sistema do produto estudado e suas funções; a unidade

funcional do sistema; a fronteira do sistema; a metodologia de Análise de Impacto do Ciclo de Vida e seus tipos de impactos; a interpretação a ser utilizada.

Alguns destes itens são considerados como elementos fundamentais da ACV, explicitado por Coltro (2007). A ABNT NBR ISO 14040 (2009) contempla que a função do sistema depende das definições do objetivo da aplicação da ACV. Outro item fundamental dado por Coltro (2007) é a unidade funcional. A ABNT NBR ISO 14044 (2009) define o termo unidade funcional sendo “o desempenho quantificado de um sistema de produto para a utilização como uma unidade de referência”. Com isto, todos os dados referentes à ACV referem-se à unidade funcional em questão, ou seja, tudo que for utilizado como entrada e saída do processo fará referência a unidade funcional, que deve ser mensurável e definida corretamente (COLTRO, 2007). Como exemplo, Coltro (2007) traz como unidade funcional 1.000 kg de café torrado e disponível para distribuição. Ou seja, em uma possível ACV para a distribuição de café, todas as entradas, saídas e quaisquer outros dados devem fazer referência ao transporte de 1.000kg de café.

Outro item citado como fundamental para a realização de uma ACV é a fronteira do sistema. De acordo com dados da ABNT NBR ISO 14044 (2009), todo o sistema é composto de processos elementares, que é definido como “o menor elemento considerado na análise de inventário do ciclo de vida para qual os dados de entrada e saída são quantificados”. Como exemplo de processos elementares de um produto alimentício, podem ser citados: a produção dos insumos, a etapa produtiva da matéria prima, o processamento industrial, o transporte e o consumo. Assim, o sistema é prioritariamente definido, geralmente na forma de fluxograma, representando as entradas e saídas do sistema e seus processos elementares. Com isto, as fronteiras do sistema delimitam quais destes processos elementares serão analisados, ou seja, quais etapas do ciclo de vida do produto/serviço devem ser contempladas para que o objetivo do estudo seja cumprido. Um exemplo genérico de definição de sistema, processos elementares e a definição das fronteiras do sistema é apresentado na figura 2.

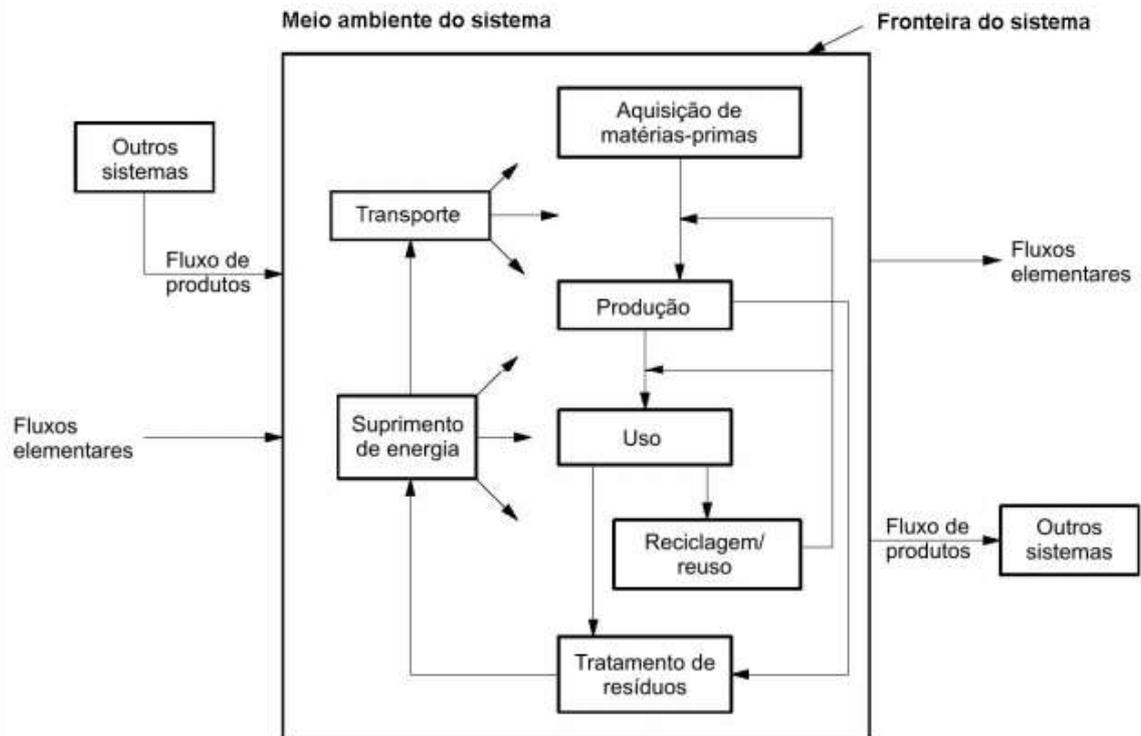


Figura 2: Exemplo de definição de sistema, processos elementares e fronteira do sistema. Fonte: ABNT NBR ISO 14040 (2009).

Após a definição de todas as informações do sistema, são selecionadas as metodologias de análise de impacto de ciclo de vida (AICV), bem como as categorias de impacto que serão analisadas e os respectivos métodos de cálculo para tal. Estas metodologias serão mais detalhadas na etapa de Análise de Impacto de Ciclo de Vida.

3.2.2. Definição e Análise do Inventário de Ciclo de Vida

De acordo com a ABNT NBR ISO 14040 (2009), “A análise de inventário envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes de um sistema de produto” A definição do inventário é um processo iterativo, ou seja, pode haver mudanças nos procedimentos de coleta de dados, que podem ou não culminar em alterações dos objetivos e do escopo do projeto ao decorrer de sua realização. Para isto, algumas etapas são necessárias para a condução da definição e análise do inventário de ciclo de vida (figura 3): a coleta de dados, validação dos dados, correlação dos dados aos processos elementares, correlação dos dados à unidade funcional, agregação dos dados e o refinamento da fronteira.

Inicialmente, de acordo com as orientações da ABNT NBR ISO 14044 (2009), “os

dados qualitativos e quantitativos a serem incluídos no inventário devem ser coletados para cada processo elementar incluído na fronteira do sistema”. Estes dados podem ser calculados, obtidos através do local de produção ou através de fontes literárias (ABNT NBR ISO 14044, 2009). Juntamente, uma descrição de cada processo elementar pode ser formulada, de forma a identificar de forma clara e evitar erros durante o processo de classificação dos dados. Além disso, estes dados podem ser incluídos dentro do fluxograma do processo, desenvolvendo uma lista especificando as unidades dos dados coletadas, técnicas de cálculo necessárias para adequação e instruções para tal. A classificação destes dados, de acordo com ambas as normas ABNT NBR ISO 14040 (2009) e ABNT NBR ISO 14044 (2009) podem ser descritas como:

- Entradas de energia, matéria-prima, auxiliares ou outras,
- Produtos e resíduos,
- Emissões para atmosfera, água e solo, entre outros.

Em alguns estudos, há diversos motivos pelos quais a obtenções dos dados do sistema, comumente chamados de primários, é dificultada, como por exemplo a necessidade de sigilo, ou dificuldade de alguma mensuração. Nestes casos, pode-se fazer uso de fontes secundárias, que reúnem diversos estudos das mais variadas cadeias ao redor do mundo que contemplam entradas e saídas a serem utilizadas no cálculo. No universo da ACV, uma das fontes secundárias mais utilizada é a Ecoinvent. De acordo com ACV Brasil (2020), a Ecoinvent é uma biblioteca de inventários que contempla entradas, saídas, substâncias e cargas energéticas associadas ao ciclo de vida de vários produtos e processos. Ela teve sua primeira versão desenvolvida em 2003 pelo Instituto Federal Suíço para Pesquisa e Testes de Materiais (EMPA) e outras parcerias governamentais. Foi atualizada em 2007 e mais recentemente em 2013, abrangendo inventários de diversos setores como agricultura, química, vidro, transporte, etc. É utilizado em diversas ACV's mundialmente e apresenta alta confiabilidade.

Após a definição de todas as entradas e saídas, é necessário adequar as informações através de cálculos. Como o exemplo dado pela ABNT NBR ISO 14044 (2009), entradas referentes ao uso de combustível podem ser convertidas em resultados de energia, multiplicando os seus valores pelos respectivos valores de combustão, sempre relatando qual foi a informação utilizada para tal conversão. Para todos os dados, todos os procedimentos de cálculos utilizados devem ser expostos de forma explícita.

Com a validação destes dados, as entradas e saídas do processo podem ser correlacionadas aos processos elementares a às unidades funcionais. Assim, as entradas e saídas devem ser estimadas para cada um dos processos elementares contidos na fronteira do sistema (produção, manufatura, transporte, etc.), assim como devem estar adequados para atender a unidade funcional pré-estabelecida no objetivo e escopo. (ABNT NBR ISO 14044,2009). Por exemplo: se for definida como unidade funcional 1.000 kg de café, como exposto por Coltro (2007), todas as respectivas entradas e saídas do ciclo de vida em estudo devem estar adequadas para 1.000 kg de café.

A medida que os dados são coletados, deve-se reavaliar as fronteiras do sistema, excluindo estágios de ciclo de vida e/ou processos elementares que foram definidos como não significativos, assim como entradas ou saídas que não são relevantes para o estudo e não contribuirão para o atingimento do objetivo e escopo pré-definidos. Esta etapa precede a análise de impacto de ciclo de vida.

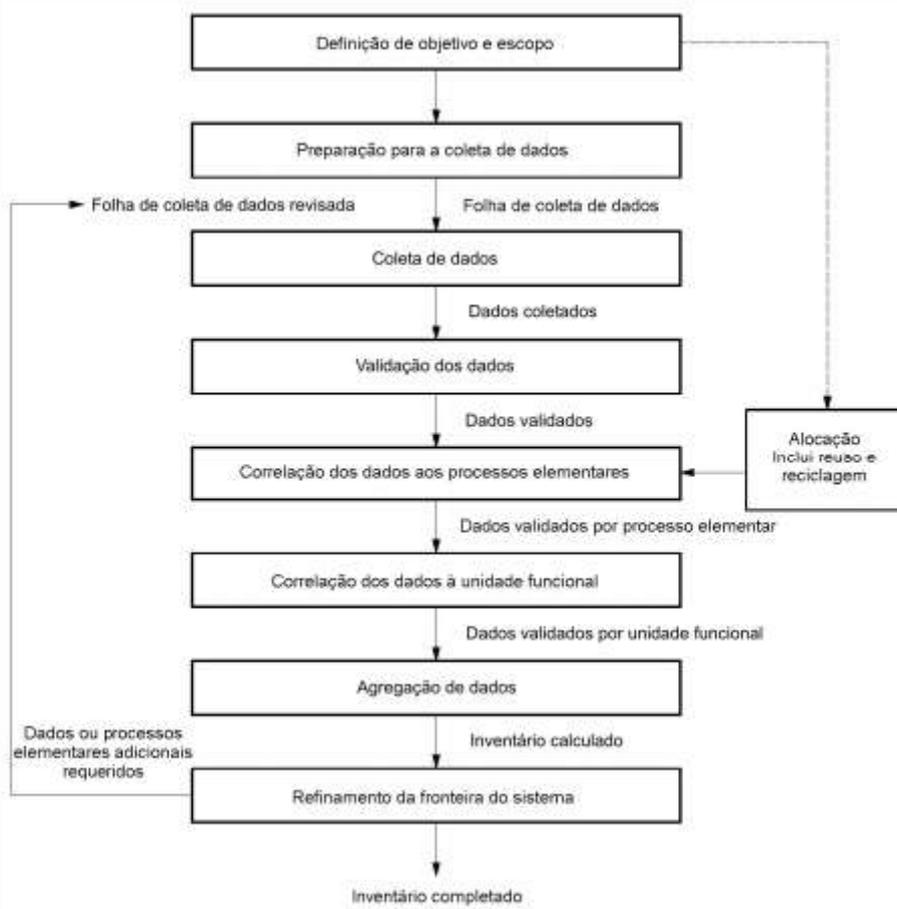


Figura 3: Fluxo do processo da análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV). Fonte: ABNT NBR ISO 14044 (2009).

3.2.3. Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14040 (2009), “A fase de avaliação de impacto da ACV tem como objetivo estudar a significância dos impactos ambientais potenciais, utilizando os resultados do ICV.” De forma concisa, a Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida tenta entender o impacto ambiental gerado pelo processo através dos dados obtidos no inventário utilizando categorias de impacto. Exemplos destas categorias de impacto são acidificação, eutrofização, potencial de aquecimento global, entre outras (ABNT NBR ISO 14040, 2009; COLTRO, 2007).

Com isso, a AICV é dividida em 3 partes: a seleção das respectivas categorias de impacto, a classificação dos dados do inventário as categorias de impacto selecionadas e, por fim, a caracterização, que consiste no cálculo dos resultados dos indicadores de categoria. (ABNT NBR ISO 14044, 2009; COLTRO, 2007)

Inicialmente, tais categorias de impacto devem ser analisadas e selecionadas de forma a atender o objetivo e o escopo do projeto, refletindo também um conjunto de questões ambientais que estão relacionadas com o sistema do produto em questão. Com isso, os resultados do inventário são relacionados a esta categoria, que estão relacionados a um indicador de categoria e ao seu ponto final, que pode ser o ar, solo, água, mar, entre outros. Coltro (2007) exemplifica este caso em relação a categoria de emissão de gases de efeito estufa, que é mensurado em função da emissão de CO₂ equivalente para a unidade funcional (indicador de categoria). Assim, todos os dados do inventário, sejam entradas ou saídas são transformados em equivalentes à emissão de CO₂ (caracterização do sistema), mensurando assim o impacto de cada elemento do inventário em função da categoria de impacto, que tem como ponto final a atmosfera. Este fluxo conceitual que engloba as categorias de impacto, o indicador de categoria e o seu respectivo ponto final é apresentado na figura 4.

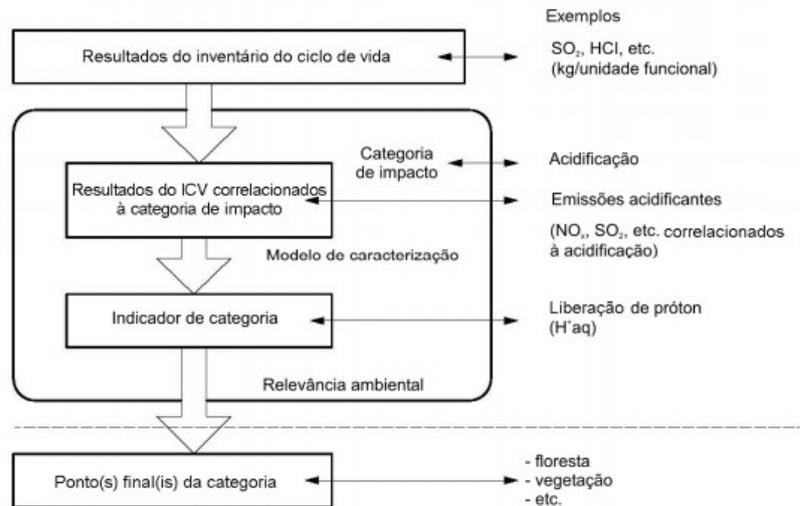


Figura 4: Fluxo conceitual correlacionando categoria de impacto, indicador de categoria e ponto final de categoria. Fonte: ABNT NBR ISO 14044 (2009).

Ao longo dos anos, diversas metodologias foram desenvolvidas para facilitar a realização da Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida amplamente utilizadas no ambiente da ACV, tendo pré-definidos as categorias de impacto, indicadores de categoria e o ponto final de impacto, sendo estas aceitas internacionalmente, com indicadores de categoria e modelos de caracterização relevantes e validados tecnicamente, como prevê a ABNT NBR ISO 14044 (2009). Estas metodologias podem ser distinguidas em 2 categorias: *midpoint* e *endpoint*. De acordo com Rosa (2014), "A modelagem *midpoint* consiste em agregar todas as substâncias do ICV que apresentam uma característica comum na cadeia causa-efeito do mecanismo ambiental" Neste caso, todas as entradas e saídas listadas no inventário do ciclo de vida são caracterizadas em função das categorias de impacto da metodologia, convertendo estes valores de acordo com o indicador equivalente da categoria. Sendo assim, a abordagem *midpoint* apresenta os impactos ambientais gerado pelo processo. Por outro lado, a abordagem *endpoint* quantifica as consequências causadas pelo impacto ambiental causado em uma análise *midpoint*.

Como exemplo, enquanto a abordagem *midpoint* calcula categorias como acidificação e potencial de aquecimento global, a abordagem *endpoint* mensura os impactos desta categoria ao ambiente de estudo. Para aplicação no Brasil, Coltro (2007) reforça que a abordagem *midpoint* é mais recomendada pelo fato de realizar apenas os 3 passos obrigatórios da AICV, que são a seleção das categorias de impacto, a classificação e a caracterização do inventário. Abordagens *endpoint* baseiam-se em outros requisitos opcionais da AICV como a normalização dos dados, sendo que estes requisitos foram

desenhados para atender padrões de ACV realizados na Europa, EUA e Austrália, não apresentando bons resultados para Análises de Ciclo de Vida no Brasil.

Dentre as diversas possibilidades de metodologias para a realização da Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida, duas das mais utilizadas são a CML 2001/2002 e a ReCiPe. De acordo com Rosa (2014), o método CML surgiu de um grupo de cientistas na Holanda, em forma de guia operacional para as normas ISO. Possui abordagem *midpoint*, cobrindo todas as emissões e recursos para os modelos de caracterização aceitáveis e disponíveis, tendo suas categorias de impacto apresentadas na figura 5.

O método ReCiPe surgiu com a intenção de unir os pontos fortes das análises do tipo *midpoint* e *endpoint*. O método apresenta dezoito categorias de impacto ambiental a nível *midpoint* e três a nível *endpoint*, apresentadas na figura 6. Vale ressaltar que, analisando as categorias de impacto para ambas as metodologias, é possível identificar o indicador de categoria, sendo listado como a unidade de análise em ambas as tabelas. Em paralelo, o ponto final da categoria pode ser identificado através da própria definição da categoria de impacto, comprovando que ambas as metodologias estão de acordo com os requisitos abordados na norma ABNT NBR ISO 14044 (2009). De acordo com o objetivo e escopo do trabalho, ambas as metodologias podem ser utilizadas e as categorias de impacto que melhor atendem a necessidade do projeto devem ser escolhidas para a análise.

Categoria de Impacto	Sigla	Unidade
Acidification	AP	kg SO ₂ eq
Abiotic depletion	AD	kg Sb eq
Ozone layer depletion	ODP	kg CFC ¹¹ eq
Fresh-water aquatic ecotoxicity	FAETP	kg DCB eq
Marine aquatic ecotoxicity	MAETP	kg DCB eq
Terrestrial ecotoxicity	TEP	kg DCB eq
Global warming potential	GWP 100	kg CO ₂ eq
Eutrophication	EP	kg PO ₄ ³⁻ eq
Photochemical oxidation	POP	kg C ₂ H ₂ eq
Human toxicity	HTP	kg DCB eq

Figura 5: Categorias de Impacto do AICV CML. Fonte: Rosa (2014)

Midpoint		
Categoria de impacto	Sigla	Unidade
Climate change	CC	kg CO ₂ eq
Ozone depletion	OD	kg CFC ⁻¹¹ eq
Terrestrial acidification	TA	kg SO ₂ eq
Freshwater eutrophication	FE	kg P eq
Marine eutrophication	ME	kg N eq
Human toxicity	HT	kg 1,4-DB eq
Photochemical oxidant formation	POF	kg NMVOC
Particulate matter formation	PMF	kg PM ₁₀ eq
Terrestrial ecotoxicity	TET	kg 1,4-DB eq
Freshwater ecotoxicity	FET	kg 1,4-DB eq
Marine ecotoxicity	MET	kg 1,4-DB eq
Ionising radiation	IR	kg U ₂₃₅ eq
Agricultural land occupation	ALO	m ² .a
Urban land occupation	ULO	m ² .a
Natural land transformation	NLT	m ²
Water depletion	WD	m ³
Mineral resource depletion	MRD	kg Fe eq
Fossil fuel depletion	FD	kg oil eq
Endpoint		
Categoria de impacto	Sigla	Unidade
Damage to human health	HH	DALYs
Damage to ecosystem diversity	ED	years
Damage to resource availability	RA	surplus costs

Figura 6: Categorias de Impacto do AICV ReCiPe. Fonte: Rosa (2014)

3.2.4. Interpretação dos Resultados

A realização da AICV é finalizada com a interpretação dos seus resultados. Nesta última etapa, deve ser levado em conta os resultados obtidos tanto pela fase de análise do inventário de ciclo de vida (ICV) tanto quanto os resultados da Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), identificando primeiramente as questões significativas do estudo. Estas questões significativas podem ser dados do inventário junto com os resultados das categorias de impacto. Com estas informações, é realizada a avaliação se as informações obtidas são suficientes para atingir o escopo e o objetivo do projeto (ABNT NBR ISO 14044, 2009).

Com as questões significativas levantadas e validação dos resultados quanto ao atendimento do objetivo e do escopo do processo, é iniciado o processo de identificação de conclusões, limitações e recomendações em relação ao ciclo de vida do produto estudado. Assim, os resultados gerados apresentam conclusões em relação, principalmente, as questões significativas e a metodologia aplicada. Estas conclusões, por sua vez, indicam limitações do sistema analisado, gerando diversas recomendações que devem ser realizadas de acordo com a aplicação pretendida do estudo (ABNT NBR ISO 14040, 2009).

3.2.5. Outros Trabalhos de ACV

No Brasil, a aplicação de ACV não é difundida, apresentando poucos trabalhos, sendo estes voltados para aplicações industriais. Para cadeias agrícolas, a aplicação da ACV no Brasil ainda é rara. Por fim, não houve registro de realização de Análise de Ciclo de Vida para a cultura do tomate de mesa no Brasil.

Porém, a aplicação da técnica ao redor do mundo possui grande potencial e vários trabalhos voltados para a cultura do tomate. Rosa (2014) realizou o a análise de ciclo de vida para a cultura do tomate em Portugal analisando 4 processos elementares para 5 produtores: cultivo, processamento, embalagem e transporte. Para a realização da AICV, foram utilizadas a metodologias CML 2001 e ReCiPe, considerando apenas algumas categorias de impacto de cada um dos métodos. Para o CML 2001, foram avaliadas as categorias de toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce e ecotoxicidade marinha, enquanto as categorias do método ReCiPe complementam a avaliação de toxicidade fornecidos pelo CML. Como resultado, os maiores impactos em acidificação, eutrofização e ecotoxicidade terrestre foram registrados pelos produtores com maior aplicação de fertilizantes, enquanto o aquecimento global teve maior contribuição por parte do uso de gásóleo. O menor nível de impacto ambiental foi identificado pelo produtor com baixos *inputs* energéticos e aplicação de fertilizantes reduzida.

Outra aplicação da ACV foi realizada por Roy *et. al* (2007), que analisou a cadeia de suprimentos de tomate de mesa no Japão, focando na diferença entre os sistemas produtivos (*greenhouses* e cobertura plásticas), assim como no transporte deste produto (via terrestre ou marítima), utilizando como categoria de impacto o aquecimento global relativo a emissão de CO₂. Como resultado, a produção sob cobertura plástica obteve menores emissões de CO₂, assim como o transporte marítimo do produto, sendo propostas alterações na cadeia produtiva japonesa, onde a produção é predominantemente sob *greenhouses* e o transporte é realizado via terrestre.

Zarei *et. al.*, (2017) por sua vez, realizou a Análise de Ciclo de Vida utilizando a metodologia CML 2001 com o objetivo de comparar a produção de tomate de mesa produzido em campo aberto e em *greenhouses*, utilizando como limite do sistema apenas a etapa de cultivo. Todas as categorias de impacto da metodologia foram consideradas. Em todas elas, o maior impacto ambiental foi gerado para a produção em *greenhouses* por fontes de energia, seja ela o consumo de diesel ou de gás natural, além de grandes emissões causadas pelo uso em grandes quantidades de fertilizantes. Por fim, outro

trabalho que utilizou a metodologia CML 2001 e todas as suas categorias de impacto foi Bojacá *et. al* (2014), que realizou uma análise de ciclo de vida para a produção de tomate sob casa de vegetação na Colômbia.

Neste trabalho, as fronteiras do sistema incluíram a extração e fabricação dos materiais estruturais como madeira, aço e plástico e a avaliação do tratamento de dejetos após o consumo, além do cultivo do tomate em si. O inventário dos dados neste caso foi obtido através de entrevistas com produtores locais em conjunto com bibliotecas de inventários, neste caso, a Ecoinvent. Como resultado, a parte referente a infraestrutura da produção foi considerada a que gera maior impacto ambiental, principalmente nos indicadores de depleção abiótica, potencial ao aquecimento global e na depleção da camada de ozônio, com contribuições respectivas de 50, 45 e 100%. O principal motivo deste resultado deve-se a fabricação de polietileno para cobertura das estruturas e a fabricação do aço para sustentação dessa. Em relação a acidificação e eutrofização de recursos, o impacto maior foi causado pelo uso de fertilizantes, com representatividade de 35 e 28%, respectivamente. Com isso, o autor sugere a diminuição da extração e aplicação de materiais fósseis para a cultura do tomate, devendo-se considerar materiais recicláveis para a estrutura do negócio.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo principal do trabalho, foram utilizadas duas metodologias: a Análise de Ciclo de Vida para a avaliação ambiental, e a análise história e projeção de custos de produção para a avaliação econômica. Cada etapa da metodologia utilizada é explicitada nos tópicos abaixo.

4.1. Análise de Ciclo de Vida

A análise de ciclo de vida foi realizada seguindo as normas da ABNT NBR ISO 14040 (2009) e a ABNT NBR ISO 14044 (2009), juntamente com informações relevantes obtidas de outros trabalhos que utilizaram a metodologia da ACV, como por exemplo os de Coltro (2007), Rosa (2014), Zarei *et. al* (2017), Bojacá *et. al* (2014), dentre outros.

As etapas implementadas foram as supracitadas na seção de revisão bibliográfica, sendo elas: Definição do Objetivo e do Escopo, Definição e Análise do Inventário de Ciclo de Vida, Análise de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) e Interpretação dos resultados.

4.1.1. Definição do Objetivo e Escopo

Na definição do objetivo e do escopo, seguiu-se as instruções fornecidas pelas normas ABNT NBR ISO 14040 (2009) e ABNT NBR ISO 14044 (2009).

Para definir o objetivo e o escopo, é necessário entender todas as etapas da cadeia produtiva do tomate de mesa. Estas etapas, definidas com base nos trabalhos de Bojacá *et. al* (2014), Rosa (2014) e Nuevo (1994), podem ser separadas em: Extração de Materiais Brutos, Manufatura dos Materiais de infraestrutura, Produção de Mudas, Construção da Infraestrutura, Maquinário, Adubação, Manejo de Pragas, Colheita e Transporte

Inicialmente, temos a extração de todos os materiais necessários para a montagem de infraestrutura e uso no campo, como por exemplo a extração da matéria prima de todos os nutrientes utilizados na adubação (como por exemplo, nitrogênio, potássio e fósforo) e também materiais voltados para a fabricação de possíveis estruturas utilizadas no processo, como por exemplo materiais de alumínio, madeira, entre outros utilizados na cultura do tomate, principalmente em sistema de cultivo protegido. A manufatura destes materiais até o seu estado de utilização é considerada no processo, assim como a montagem de toda a infraestrutura

Na sequência, são consideradas as etapas produtivas, que inclui a produção de mudas, uso de maquinários, transporte interno, mão de obra e irrigação, nutrição das plantas e manejo de pragas. No caso da produção de mudas, esta é considerado separadamente das outras etapas produtivas devido a diferença no manejo das plantas, nas condições ambientais que são submetidas às mudas e outras variáveis que devem ser consideradas no processo.

Com as mudas formadas e prontas para o plantio, as etapas de nutrição e manejo de pragas, juntamente com o uso de mão de obra, maquinário e irrigação podem ser consideradas como a grande etapa de produção tomate, ocorrendo o desenvolvimento da planta do tomateiro e a formação dos frutos, que são colhidos e transportados para o consumo. Neste caso, a colheita do tomate de mesa apresenta *inputs* de mão de obra devido a impossibilidade da mecanização desta atividade

Para a definição do projeto de ACV, é necessário definir o objetivo do projeto com base no motivo de realização do estudo, como citado por ABNT NBR ISO 14044 (2009). De acordo com CONAB (2020), o manejo da produção de tomate de mesa no Brasil é amplamente conhecido pelo uso em grandes quantidades de insumos químicos como inseticidas, pesticidas, fungicidas e fertilizantes, gerando um impacto ambiental

considerável. Com isto o objetivo do projeto é atendido analisando os impactos ambientais causados pela etapa de produção e manejo da cultura do tomate de mesa, que ocorre majoritariamente a céu aberto. A figura 7 explicita as etapas supracitadas da cadeia de produção de tomate, assim como as fronteiras do sistema a serem consideradas para o estudo.

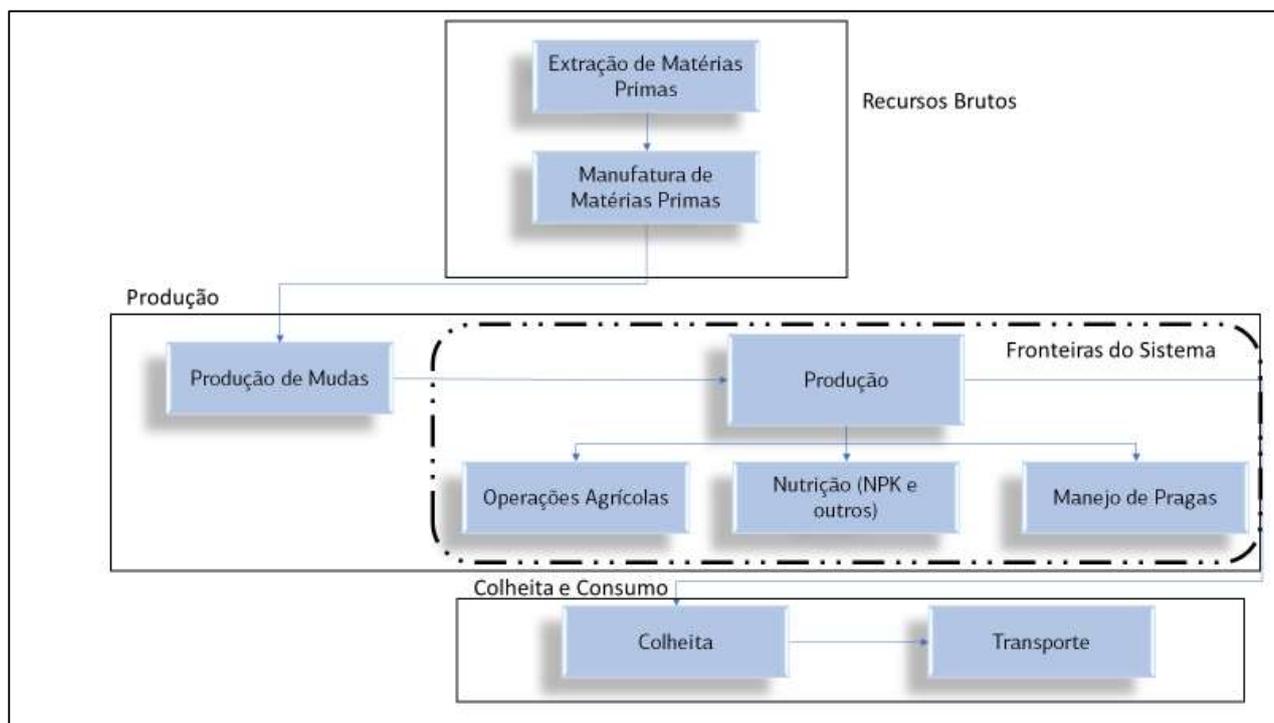


Figura 7: Processo produtivo do tomate de mesa, definido as fronteiras do sistema. Fonte: Adaptado de Rosa (2014), Nuevo (1994) e Bojacá *et. al* (2014)

Após a definição do objetivo do trabalho e da fronteira do sistema, é definida a unidade funcional para a avaliação do ciclo do tomate de mesa. Como apontado por Coltro (2007), a unidade funcional “é a unidade de referência quantitativa à qual todos os fluxos de entradas e saídas na ACV estão relacionados”. No caso da produção de tomate, há a possibilidade de considerar as entradas e saídas de processo em função da área da produção de tomate (comumente hectare), ou a quantidade produzida de tomate em massa (kg, por exemplo). Porém, Coltro e Mourad (2007) apontam que uma boa prática na análise de ciclo de produtos alimentícios é a utilização da unidade funcional em função da massa do produto, sendo usado como exemplos a produção de 1.000 kg de café. Confirmando esta hipótese, o trabalho de Rosa (2014) realiza a ACV para a produção de 1.000 kg de tomate. Seguindo esta linha, esta Análise de Ciclo de Vida será realizada com base na produção de 1.000 kg (1 tonelada) de tomate.

Outra etapa a ser definida dentro do escopo da realização da Análise de Ciclo de Vida são as metodologias de Análise de Impacto de Ciclo de vida e os tipos de impacto considerados para a análise. O critério de escolha foi baseado nas categorias de impacto mais aderentes às fronteiras do sistema que se encontravam nas metodologias disponíveis para a análise com base nos trabalhos de Rosa (2014), Zarei *et. al* (2017) e Roy *et. al* (2007), e apresentadas na tabela 8.

Tabela 8: Categorias de impacto selecionadas para análise e a metodologia de cálculo utilizada

Categoria de Impacto	Metodologia de Cálculo
Potencial de Aquecimento Global	ReCiPe e CML
Acidificação Terrestre	ReCiPe e CML
Ecotoxicidade Terrestre	ReCiPe e CML
Uso de Combustíveis Fósseis	ReCiPe
Eutrofização	CML
Depleção Abiótica	CML
Depleção da Camada de Ozônio	CML

Fonte: Elaborada pelo autor

As categorias de impacto definidas constam em duas metodologias: CML 2002 (World) e ReCiPe (Midpoint (H)). Dentro destas metodologias, as categorias de impacto mais aderentes ao processo produtivo do tomate de mesa que foram escolhidas para a análise foram: eutrofização (expressa em kg PO₄ eq), depleção abiótica (expressa em kg Sb eq), depleção da camada de ozônio (expressa em kg CFC-11 eq), potencial de aquecimento global (expressa em kg CO₂ eq), acidificação terrestre (expressa em kg SO₂ eq), ecotoxicidade terrestre (expressa em kg 1,4 DCB eq) e uso de combustíveis fósseis (expressa em kg de óleo eq). No caso de ambas as metodologias de AICV, pode-se notar 3 categorias de impacto comum: acidificação, potencial de aquecimento global e ecotoxicidade terrestre. Neste caso, estas categorias serão calculadas pelas duas metodologias e os resultados podem ser comparados entre si.

4.1.2. Definição e Análise do Inventário de Ciclo de Vida

Definido o objetivo e o escopo do projeto, o inventário a ser utilizado para posterior Análise de Impacto de Ciclo de Vida foi definido através de dados da literatura.

Primeiramente, foram definidos os dados primários, ou seja, aqueles coletados

especificamente para a fronteira do sistema analisada. Para este trabalho, os dados primários foram definidos como todos os como *inputs* necessários para a produção de tomate de mesa no Brasil. As fontes principais destes dados foram os trabalhos de Teixeira *et. al* (2005) e Araujo *et. al* (2006). Teixeira *et. al* (2005) realizaram seu experimento no município de Coimbra, estado de Minas Gerais, que encontra-se durante todos os anos do século XXI como o terceiro maior produtor de tomate no Brasil. Além disso, a produção está localizada na Região Sudeste, responsável por 45,5% da produção de tomate no Brasil segundo Boteon *et. al* (2020).

Conjuntamente a esta informação, Teixeira *et. al* (2005) realizaram manejo convencional da lavoura, utilizando insumos químicos e orgânicos, além da utilização de tratores e caminhões movidos a óleo diesel, irrigação com auxílio de motobomba também a diesel e outras operações manuais, como por exemplo a colheita, tudo isso em um sistema produtivo a céu aberto, apresentando assim, todas as características necessárias para a aplicação da ACV.

No caso do trabalho de Araujo *et. al* (2006), foram utilizados apenas dados complementares para a análise da irrigação. Portanto, a realização do inventário do ciclo de vida baseado nas informações dos trabalhos supracitados é justificada devido a validação destes através da publicação de artigo e por representar a grande maioria do sistema produtivo adotado para o tomate de mesa no Brasil.

Por outro lado, Teixeira *et. al* (2005) realizaram o balanço energético da produção de tomate de mesa. Portanto, todos os *inputs* utilizados como base deste trabalho são apresentados em função de sua energia embutida, expressa em MJ. Porém, este valor deve ser convertido para unidade de referência, que depende da forma de aplicação do *input*. Por exemplo: insumos devem ser mensurados em kg de aplicação, enquanto outros combustíveis podem ser quantificados em L.

Para isto, foi necessário encontrar fatores de conversão expressos em MJ/unidade de referência validados pela literatura para transformar os *inputs* utilizados na sua unidade de referência. Como exemplo, os fatores de conversão para a aplicação de nitrogênio devem ser expressos em MJ/kg.

Na maioria dos casos, Teixeira *et. al* (2005) disponibiliza os fatores de conversão utilizados, sendo necessários encontrar alguns outros fatores em outras fontes de literatura. Desta forma, o cálculo para conversão realizado para a obtenção destes dados é:

$$\text{Quantidade de produto (unidade de referência)} = \frac{\text{Energia embutida (MJ)}}{\text{Fator de conversão do input } \left(\frac{\text{MJ}}{\text{unidade de referência}}\right)}$$

Além desta conversão, os valores apresentados no trabalho de Teixeira *et. al* (2005) são apresentados como os *inputs* necessários para a produção de tomate em área de 1 hectare. Porém, como recomendado por Coltro (2007), produtos alimentícios devem ter sua unidade funcional expressas em unidades mássicas. Por isso, foi utilizada a produtividade obtida em um hectare no experimento (apresentados em toneladas por hectare) para a conversão dos *inputs* para a quantidade mássica de tomate. Ou seja, a primeira conversão converte os valores em MJ apresentados para a quantidade de produto em sua unidade de referência por hectare de tomate produzido.

Com a segunda conversão em função da produtividade da área, é possível encontrar a quantidade dos *inputs* utilizados por quantidade de tomate produzido em massa, seja em kg, toneladas ou qualquer outra unidade mássica desejada. Por fim, todos os *inputs* utilizados, assim como as quantidades que serão utilizadas no inventário juntamente com os fatores de conversão necessários para obter estes dados no formato necessário para a realização da AICV são apresentados na seção de resultados.

Além dos *inputs*, são necessários também incluir os *outputs* da cadeia produtiva de tomate gerado através da utilização destes *inputs*, que podem se dar na forma de emissões para o ar, solo ou água. Como estes não são apresentados para a cadeia do tomate em nenhuma literatura, estes dados serão utilizados de forma secundária, utilizando bases de dados de inventário aplicadas anteriormente em outras Análises de Ciclo de Vida. Para esta simulação, foram utilizadas as emissões embutidas em cada *input* contidos na base da Ecoinvent. Neste caso, as emissões são dadas para a utilização de cada unidade de referência do *input*. Por exemplo: para cada aplicação de 1 kg de nitrogênio, a base de dados da Ecoinvent apresenta fatores de emissão de gases, metais pesados e diversos outros materiais para a água, solo e ar. Desta forma, inserindo os valores de *input* utilizados para a produção de tomate de mesa, estes fatores de emissões são aplicados para calcular tais emissões em funções da quantidade aplicada de nitrogênio. Com esta informação, é finalizada a etapa de Definição e Análise do Inventário de Ciclo de Vida, possibilitando iniciar a Análise de Impacto de Ciclo de Vida.

4.1.3. Análise do Inventário de Ciclo de Vida (AICV)

A partir dos dados de *inputs* e *outputs* obtidos na etapa de Definição e Análise de

Inventário de Ciclo de Vida, juntamente com a definição das metodologias de cálculo de AICV para as categorias de impacto selecionadas na etapa de definição do escopo do projeto, é realizada a etapa de AICV.

Como as metodologias de cálculo possuem algoritmos complexos, fez-se necessário o uso de *softwares* para auxiliar na realização dos cálculos. Neste trabalho, utilizou-se o *software* SimaPro versão 9.1.1. De acordo com ACV Brasil (2020), o SimaPro é um *software* utilizado em mais de 80 países e líder na utilização para a realização de Análises de Ciclo de Vida. Nele, é possível obter todas as metodologias de cálculo, assim como diversas bases de dados de inventários para a inclusão dos dados secundários, incluindo a Ecoinvent utilizada neste trabalho.

Portanto, os dados do inventário para a produção de tomate de mesa obtidos na seção anterior foram inseridos neste *software*, no qual foram atribuídos todos os *outputs* através da base de dados da Ecoinvent. Com isso, o cálculo da AICV foi realizado, obtendo os valores equivalentes do indicador de todas as categorias de impacto selecionadas para cada *input* (utilizando o exemplo de Coltro (2007), a quantidade aplicada de nitrogênio é convertida no equivalente em kg de CO₂ para o impacto de potencial de gases de efeito estufa, sendo assim feito para todos os outros *inputs* e todas as outras categorias de impacto em função do seu indicador). Com a finalização desta etapa, deu-se início a interpretação dos resultados.

4.1.4. Interpretação dos Resultados

Após a obtenção dos resultados obtidos pela AICV, estes foram analisados e comparados com outros trabalhos. A análise dos resultados próprios foi realizada sob a ótica dos *inputs* que mais contribuíram para cada categoria de impacto (em porcentagem do impacto total). Na comparação com os outros trabalhos, foi levado em conta as diferentes fronteiras do sistema e os diferentes modos de produção que podem causar disparidade entre os resultados obtidos.

4.2. Análise de Custo

Para a realização da análise de custo deste projeto, a metodologia foi dividida em duas partes: a análise da série histórica do custo de produção de tomate de mesa no Brasil e, com base nesta análise, a projeção dos custos de produção para os próximos anos.

4.2.1. Análise da Série Histórica de Custo

Para a realização da análise da série histórica de custo de produção de tomate de mesa, utilizou-se dados da literatura que contemplavam o custo por hectare de tomate em uma escala satisfatória (acima de 20 ha produzidos) com o manejo convencional. Com isso, foram utilizados dados da Revista Hortifruti Brasil para a produção de um hectare de tomate de mesa na região de Caçador, estado de Santa Catarina. Por se tratar de uma região referência na produção de tomate de mesa no país, esta análise pode ser extrapolada como representativa para o sistema produção brasileiro como um todo (BOTEON ET. AL, 2020). Neste caso, foi considerada o custo de produção em uma área média de 25 hectares utilizando o sistema produtivo a céu aberto e manejo convencional. O período analisado foi de 2012 a 2019. Para todos os anos da série histórica, todas as fontes apresentam as mesmas classes de custo. Porém, para facilitar a análise, foi realizada uma simplificação destas classes, definindo-as como: Insumos, Sementes, Infraestrutura, Mão de Obra, Irrigação e Outros.

No caso de Insumos, foram considerados os custos utilizados para a aplicação de fertilizantes e defensivos, já contemplados em todas as literaturas sem haver a necessidade de alterações, assim como o custo de Sementes e Irrigação, que também são mantidos neste trabalho da mesma forma que são apresentados nas fontes. No caso das classes de custo de Mão de Obra e Operações, o primeiro está voltado para o custo com pessoas em atividades não mecanizadas, enquanto a classe de custo de Operações é definida como aquele voltado para as atividades mecanizadas, incluindo o custo com operador das máquinas. Assim como as classes de Insumos, Irrigação e Sementes, não houve necessidade de alterações, sendo inseridas neste trabalho da mesma forma apresentada nas fontes. Por fim, as classes de custo de Infraestrutura e Outros necessitaram de alterações para composição neste trabalho. Em relação aos dados de Infraestrutura, foi considerada a soma das infraestruturas para manutenção da operação (banheiro, vestiários, etc.) com a estrutura utilizada de viveiro para o replantio. Todas as outras categorias listadas igualmente em todas as fontes de dados contidas na tabela 8, para cada ano, foram somadas e contabilizadas como Outros, contendo dentro desta classe custos referentes a: Ferramentas de Campo, Despesas Gerais, Arrendamento de Terra, Depreciação de Ativos, Custo de Oportunidade, entre outros. Para todas as classes definidas acima, o custo foi calculado em R\$/ha.

Após esta etapa, foi realizada uma análise vertical destes custos, avaliando a

contribuição (porcentagem) de cada uma das 7 classes de custo citadas anteriormente (Insumos, Sementes, Infraestrutura, Mão de Obra, Irrigação Operações e Outros) em função do custo total de produção em cada ano. Conjuntamente, foi analisada a evolução destas contribuições ao longo da série histórica, buscando identificar as classes que aumentaram ou diminuíram a sua participação nos custos de produção de tomate de mesa.

Além da análise vertical, foi analisada a taxa de crescimento anual de cada uma das classes de custo consideradas durante a série histórica, comparando os valores em USD/ha de cada classe de custo do início da série histórica (2012) e do final da série histórica (2019). A métrica utilizada para esta análise foi o *Compound Annual Growth Rate*, expresso pela sigla CAGR. Este indicador, dado em porcentagem, mostra a taxa de crescimento anual de um determinado investimento ou valor. O seu cálculo é realizado da seguinte maneira:

$$CAGR = \left(\frac{\text{Valor Final da Série Histórica (2019)} \left(\frac{R\$}{ha} \right)}{\text{Valor Inicial da Série Histórica (2012)} \left(\frac{R\$}{ha} \right)} \right)^{\frac{1}{\text{diferença entre anos}}} - 1$$

Dentro desta fórmula foram substituídos os valores em R\$/ha iniciais e finais da série histórica de cada uma das classes de custo consideradas neste trabalho, definindo assim, a sua taxa de crescimento anual. Posteriormente, este valor foi utilizado para a projeção dos custos de produção de tomate de mesa de cada uma das classes.

4.2.2. Projeção dos Custos de Produção

Como os custos de produção do tomate de mesa foram analisados em uma série histórica de 8 anos, tais custos foram projetados para os próximos 8 anos, ou seja, entre 2020 e 2027 foram utilizados os dados do CAGR obtidos na etapa anterior.

Porém, em prol de uma análise mais precisa da evolução destes custos, foi necessário a conversão para dólares por hectare (USD/ha). Para isso, foram obtidos os dados médios de câmbio para cada ano da série histórica no Banco Central do Brasil (BCB, 2020), possibilitando esta conversão. Assim, a projeção para os próximos 8 anos para cada classe de custo é calculada pela fórmula de matemática financeira expressa abaixo:

$$\text{Custo Projetado} \left(\frac{USD}{ha} \right) = \text{Custo do ano anterior} \left(\frac{USD}{ha} \right) * (1 + CAGR)$$

Com esta fórmula, o custo de cada classe em 2020 é projetado a partir do valor realizado no ano de 2019 aplicado a taxa de crescimento anual expressa pelo CAGR. Já para o 2021, o valor projetado é obtido aplicando-se o CAGR ao valor projetado obtido para 2020, repetindo o processo para todos os anos até o final do período determinado, neste caso, o ano de 2027. Com os valores projetados para cada classe de custo e cada ano de projeção, o custo de produção total para cada ano foi obtido através da soma dos custos de todas as classes calculadas anteriormente.

Com a projeção do custo de produção total e para cada classe de custo entre os anos de 2020 e 2027, foi realizada uma análise vertical em todos os anos da série projetada, analisando a contribuição de cada classe de custo em função do custo total. Além disso, foram analisadas tendências de crescimento ou redução da contribuição de cada classe de custo em função do valor total da produção.

Por fim, as conclusões obtidas na Análise de Custo foram integradas às conclusões obtidas na Análise de Ciclo de Vida, buscando caracterizar o sistema de produção de tomate de mesa brasileiro através das visões ambiental e econômica, identificando possíveis gargalos e propondo possíveis alternativas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. ACV

5.1.1. Definição e Análise de Inventário de Ciclo de Vida

A tabela 9 apresenta os *inputs* (dados primários) definidos para a utilização na ACV e seus respectivos valores energéticos para a produção de um hectare, conforme os trabalhos de Teixeira *et. al* (2005) e Araujo *et. al* (2006), que são: o uso de óleo diesel para as atividades mecanizadas, calcário, os três macronutrientes utilizados para adubação (N, P₂O₅ e K₂O), o uso de insumos orgânicos, representados pela cama de galinha, a aplicação dos três principais tipos de defensivos agrícolas (herbicida, fungicida e inseticida) e o uso de água destinada a irrigação.

Tabela 9: *Inputs* utilizados na produção de tomate de mesa (em MJ) para a produção de tomate de Mesa em 1 ha.

Materiais	Energia Apontada (MJ/ha)
Diesel	7.562,94
Calcário	1.031,16
N	30.801,38
P2O5	1,05
K2O	4.713,09
Cama de Galinha	78.071,22
Herbicida	792,75
Fungicida	4.830,23
Inseticida	14.559,00

Fonte: Teixeira *et. al* (2005)

Em termos de energia, é possível identificar uma contribuição significativa por parte dos insumos de adubação, em especial a cama de galinha e o nitrogênio, com 78.071,22 MJ/ha e 30.801,30 MJ/ha, respectivamente. Por parte do manejo de pragas, a maior contribuição energética é fornecida pela aplicação de fungicidas, com 4.830,23 MJ/ha, enquanto o uso de combustível apresenta carga energética de 7.562,94 MJ/ha. O uso de água na irrigação não é fornecido em termos de energia, não sendo apresentada na tabela 9.

De acordo com os objetivos, a unidade funcional considerada para a pesquisa foi definida como a produção de 1.000 kg de tomate de mesa. Além disso, as quantidades de todos os *inputs* utilizados foram convertidas para quilogramas com o objetivo de facilitar a entrada destes dados no *software* onde será realizada a Análise de Impacto de Ciclo de Vida. Com isto, a quantidade de energia embutida na produção de tomate de mesa foi inicialmente convertida para a massa utilizada na produção de um hectare de tomate. Após isto, conhecendo a produtividade de um hectare fornecido pelo trabalho base de Teixeira *et. al* (2005) equivalente a 24,7 toneladas por hectare, foram obtidos os valores de massa de cada *input* para a produção de 1.000 kg de tomate de mesa.

Os valores de conversão utilizados para obter a quantidade em massa da utilização dos *inputs* para a realização da AICV juntamente com as fontes de onde foram retirados são apresentados na tabela 10.

Tabela 10: Valores de energia embutidos utilizados para a conversão mássica das entradas do sistema.

Materiais	Conversão (MJ/kg)	Fonte
Diesel	37,81	Brasil (2001)
Calcário	0,17	Adaptado de Doering (1977), Stout (1979) e Pimentel & Hall (1984)
N	59,46	Adaptado de Doering (1977), Stout (1979) e Pimentel & Hall (1984)
P2O5	11,96	Adaptado de Doering (1977), Stout (1979) e Pimentel & Hall (1984)
K2O	5,85	Adaptado de Doering (1977), Stout (1979) e Pimentel & Hall (1984)
Cama de Galinha	12,69	Teixeira <i>et. al</i> (2005)
Herbicida	238,2	Helsel (1992)
Fungicida	92,2	Helsel (1992)
Inseticida	306,96	Serra <i>et. al</i> (1979)

Dentre as entradas consideradas, nota-se a energia embutida elevada dos defensivos agrícolas, sendo seus valores superiores a todos os outros *inputs* que serão considerados na análise. A maior energia embutida é encontrada no inseticida (306,96 MJ/ha), seguido por herbicida (238,2 MJ/kg) e fungicida (92,2 MJ/kg). Dentre as outras entradas consideradas, destaca-se o nitrogênio com o valor de 59,46 MJ/kg, seguido do óleo diesel com 37,81 MJ/kg.

A tabela 11 apresenta os valores do inventário a serem utilizadas na ACV, ou seja, necessários para a produção de 1.000 kg de tomate de mesa.

Tabela 11: *Inputs* utilizados para a produção de 1.000kg de tomate de mesa

Materiais	Unidade	Quantidade
Diesel	Kg/1.000kg de tomate de mesa	8,00
Calcário	Kg/1.000kg de tomate de mesa	242,63
N	Kg/1.000kg de tomate de mesa	20,72
P2O5	Kg/1.000kg de tomate de mesa	0,004
K2O	Kg/1.000kg de tomate de mesa	32,23
Cama de Galinha	Kg/1.000kg de tomate de mesa	240,96
Herbicida	Kg/1.000kg de tomate de mesa	0,13
Fungicida	Kg/1.000kg de tomate de mesa	2,10
Inseticida	Kg/1.000kg de tomate de mesa	1,90
Água	m ³ /1.000kg de tomate de mesa	240,00

Fonte: Elaborada pelo autor

Mesmo com valor de energia utilizada baixo para o calcário, seu valor de conversão também baixo (0,17 MJ/kg) resulta em uma quantidade aplicada de 242,63 quilogramas por tonelada de tomate, valores condizentes com os recomendados por Embrapa (20--). Dentre

os macronutrientes, destaca-se a aplicação de potássio e nitrogênio, com quantidades utilizadas de 32,23 e 20,72 quilogramas por tonelada de tomate, respectivamente. Nota-se também um consumo elevado de matéria orgânica, com cerca de 240,96 kg/tonelada de tomate. Quanto ao diesel, o consumo registrado foi de aproximadamente 8 kg/tonelada de tomate produzida.

Para os *inputs* relacionados ao manejo de pragas, destaca-se o uso de fungicidas com cerca de 2 kg/tonelada de tomate de mesa, seguida pelo uso de inseticida e herbicida (1,9 kg/t de tomate e 0,13 kg/t de tomate, respectivamente). Aqui, vale ressaltar a aplicação deste dentro do *software* SimaPro para realização da AICV. Apesar de haver a disponibilidade de um material associado ao herbicida dentro da biblioteca da Ecoinvent, que relaciona todas as saídas da utilização deste *input*, não há distinção para fungicidas e inseticidas dentro da mesma biblioteca. Portanto, os dois materiais foram inseridos de forma conjunta no *software* dentro da categoria pesticidas, sendo os impactos nas diversas categorias escolhidas mensurados conjuntamente.

Neste momento, a análise de sistemas de produção diferentes apresenta diversos pontos importantes. Comparando o inventário deste trabalho com o apresentado por Zarei *et. al* (2017), por exemplo, a aplicação de matéria orgânica aplicada no sistema de cultivo a céu aberto é similar ao inventário deste trabalho. Porém, uma redução significativa ocorre pela simples mudança de sistema de produção para cultivo protegido, o que pode apresentar grandes impactos na AICV. Aliada a esta questão, o impacto na redução do consumo da adubação química é relevante, apresentando o mesmo comportamento da aplicação de matéria orgânica.

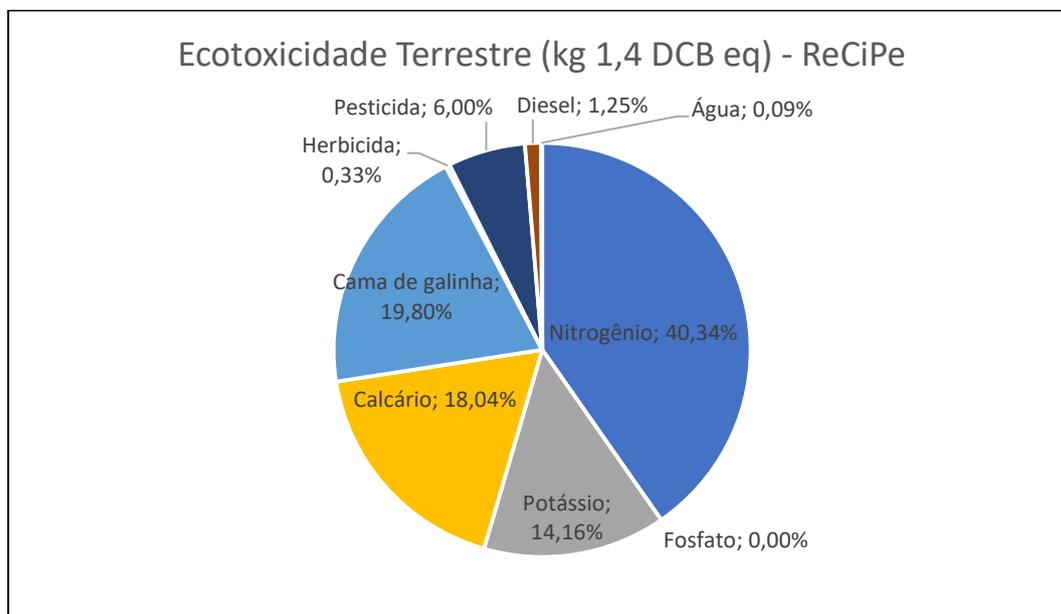
Além destes insumos, o óleo diesel apresenta diferenças significativas entre os sistemas a céu aberto e cultivo protegido, apresentando mais de 100% de diferença entre o inventário deste trabalho e o apresentado por Zarei *et. al* (2017) (cerca de 17 kg/tonelada de tomate produzida). Neste caso, pode-se atribuir tal diferença ao consumo de combustível necessário para a estrutura da estufa e/ou casa de vegetação do cultivo protegido. É notória também a diferença apresentada no consumo dos produtos relacionados ao manejo de pragas, sendo tal disparidade atribuída não exclusivamente a diferença de sistemas produtivos, mas também a diferentes condições climáticas dos ambientes de estudo que afetam a incidência de pragas.

5.1.2. Análise de Impacto de Ciclo de Vida

Iniciando a análise pelas categorias de impacto calculadas pelo método ReCiPe, o

gráfico 5 apresenta os resultados referente a ecotoxicidade terrestre, que evidencia o impacto ambiental causado pela adubação.

Gráfico 5: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Ecotoxicidade terrestre - ReCiPe

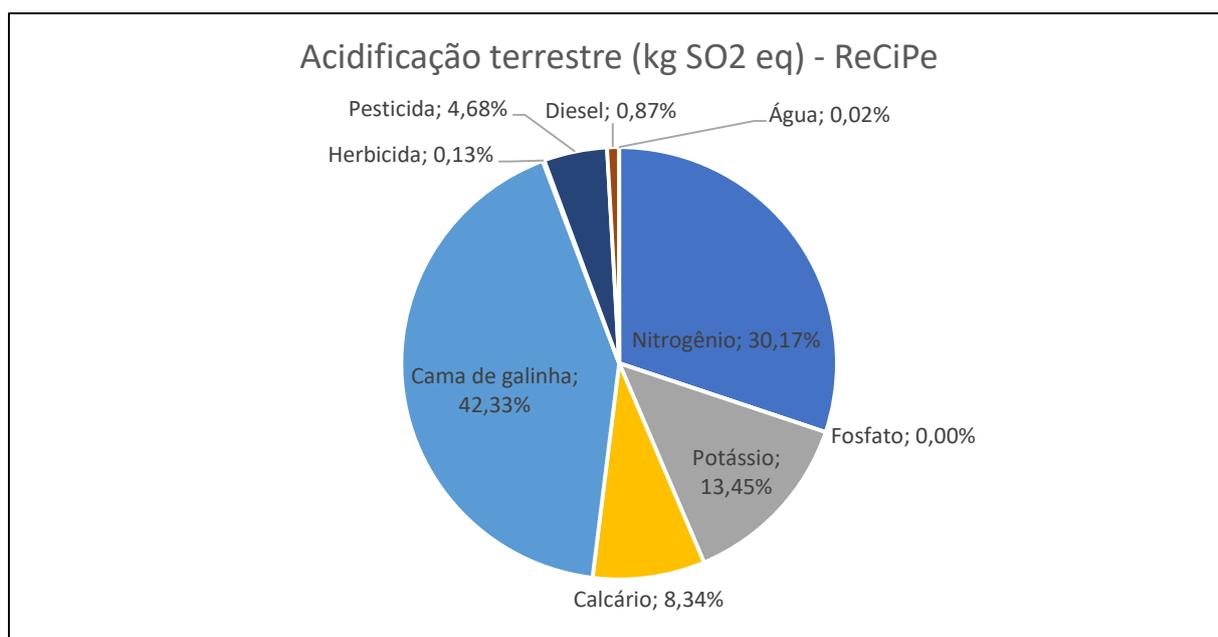


Fonte: Elaborada pelo autor

Em relação a ecotoxicidade terrestre, a fertilização química contribui com mais de 70% do impacto ambiental causado sobre esta categoria, sendo que a etapa de adubação no geral contribuiu para cerca de 92% deste indicador. Dentre os *inputs* destinados a esta etapa da produção de tomate de mesa, destaca-se o nitrogênio, com contribuição de 310,85 kg 1,4-DCB eq, 40,34% do valor total aferido a ecotoxicidade terrestre. A cama de galinha aparece como segundo principal contribuinte para esta categoria, representando 19,8% do valor total de kg 1,4-DCB eq registrado na AICV (152,55 kg 1,4-DCB eq), seguido por calcário e potássio, com representatividades de 18,04% e 14,16%, respectivamente. Dentre os *inputs* relacionados ao manejo de pragas, destaca-se o impacto do uso de pesticidas com 6% do valor total. Todas as outras entradas apresentam valores inferiores a 1,5%. Devido ao fato de o impacto mensurado por esta categoria ser relacionado ao solo, o resultado obtido é plausível, validados com os resultados obtidos por Rosa (2014), onde a mesma categoria apresenta a maior parte de seu impacto proveniente da aplicação de fertilizantes.

Apesar da divisão do impacto ser similar a ecotoxicidade terrestre, o gráfico 6 apresenta os dados referente a acidificação terrestre.

Gráfico 6: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Acidificação Terrestre - ReCiPe

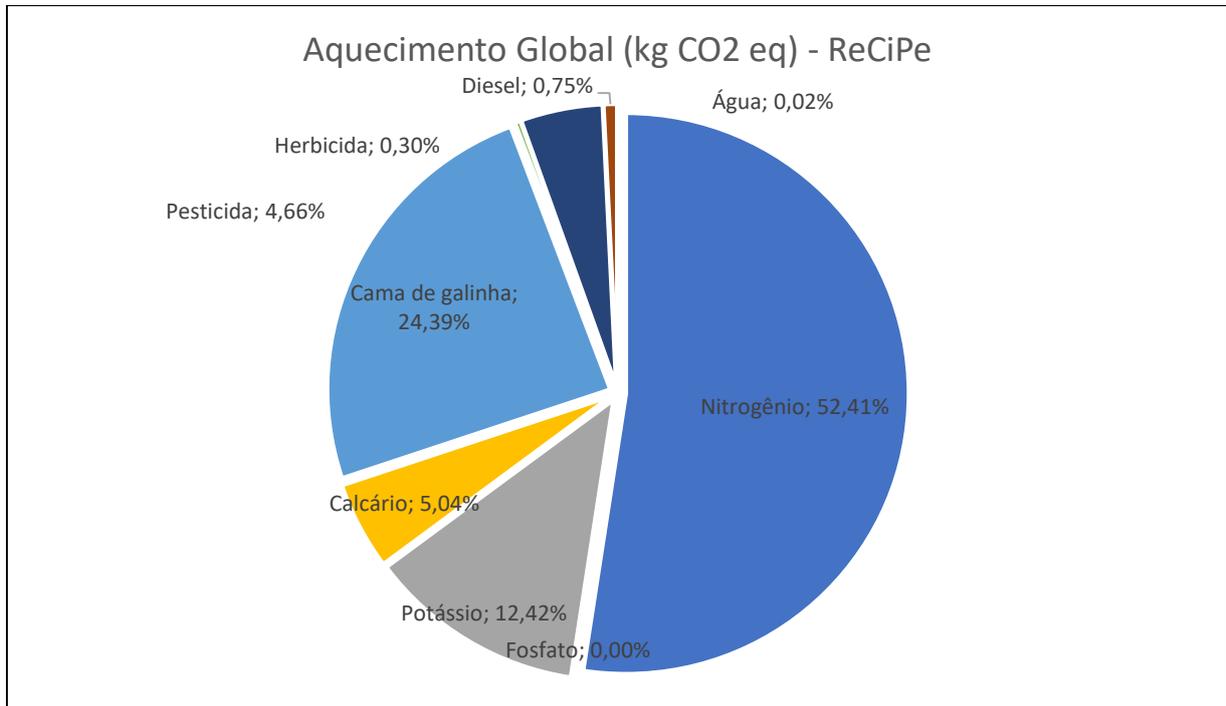


Fonte: Elaborada pelo autor

Os *inputs* relacionados a adubação continuam como os principais causadores de impacto, totalizando 94,28% de toda a quantidade de kg SO₂ eq registrada na AICV. Porém, o maior contribuinte dos *inputs* nesta categoria foi a cama de galinha, com 1,39 kg SO₂ eq, 42,33% da quantia de SO₂ equivalente total resultada sobre esta categoria, invertendo desta vez a posição com o nitrogênio, que impactou a acidificação terrestre em 30,17% (0,99 kg SO₂ eq). Potássio e calcário representaram respectivamente 13,45% e 8,34% do impacto total, enquanto a aplicação de pesticidas apresentou a maior contribuição por parte de todos os outros *inputs* não relacionados à adubação com 4,68% de participação. Todas as outras entradas apresentaram participação menor que 1%. Novamente, o fato de a categoria de impacto ser diretamente relacionado ao solo torna plausível a grande participação por parte dos *inputs* relacionados a adubação.

O gráfico 7 apresenta os resultados obtidos para a categoria de aquecimento global, no qual os inputs relacionados ao manejo de solo e adubação continuam contribuindo com parte relevante do impacto gerado.

Gráfico 7: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Aquecimento Global - ReCiPe

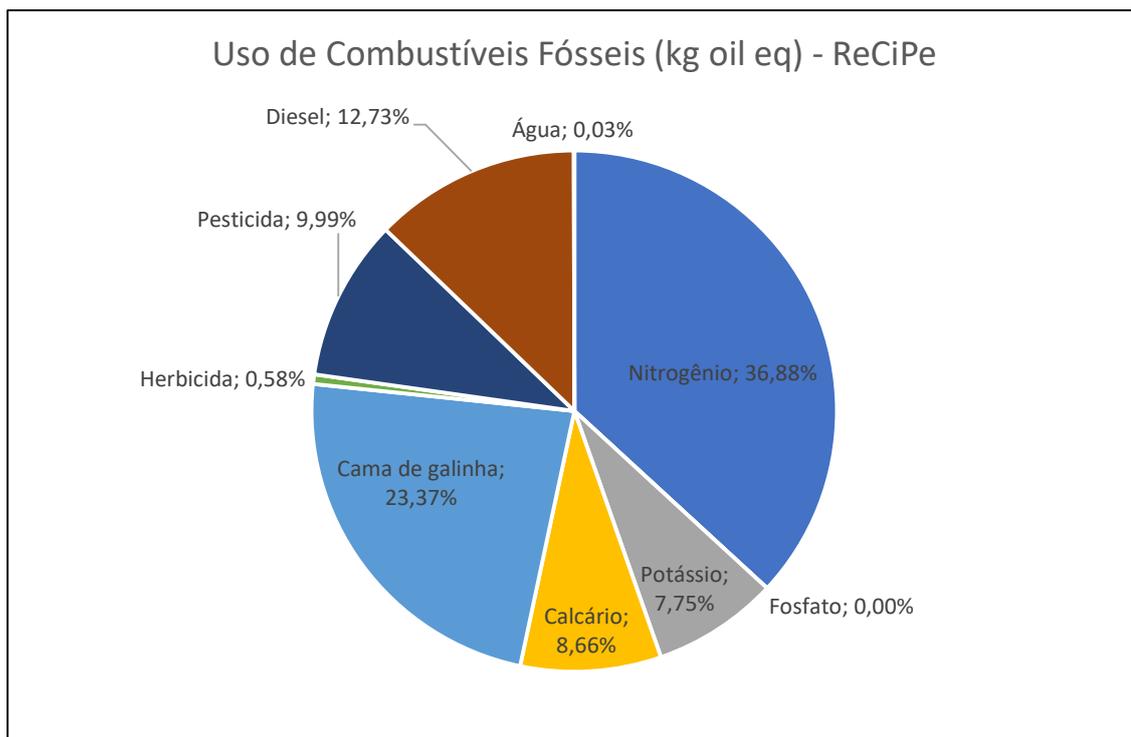


Fonte: Elaborada pelo autor

Neste caso, estes *inputs* totalizam cerca de 94% da categoria de impacto em questão liderada pelo impacto causado pelo uso de nitrogênio, compondo mais da metade de todo o impacto causado sobre esta categoria (52,41%, cerca de 230,52 kg CO₂ eq). A cama de galinha (adubação orgânica) representou 24,39% da quantidade de CO₂ equivalente emitida por todo o ciclo de produção do tomate analisado, contribuindo junto com o nitrogênio para mais de $\frac{3}{4}$ do impacto causado. O potássio apresentou contribuição de 12,42%, enquanto o maior impacto fora dos materiais relacionados a adubação foi causado pelo uso de pesticidas, com cerca de 4,66% da quantidade de CO₂ equivalente registrada no ciclo. Por fim, o último ponto que chama a atenção é o baixo impacto causado pelo consumo de diesel, que não chegou a 1% do impacto total. Apesar do consumo de combustível ser um fator determinante na emissão de CO₂ a atmosfera, a baixa quantidade utilizada devido a demanda restrita de atividades mecanizadas e ausência de estrutura de cultivo protegido torna o seu impacto menos relevante em relação aos outros materiais citados no inventário.

A última categoria de impacto apresentada pelo método ReCiPe é o uso de combustíveis fósseis apresentadas no gráfico 8, destacando-se a evolução do impacto causado pelo uso de diesel.

Gráfico 8: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Uso de Combustíveis Fósseis

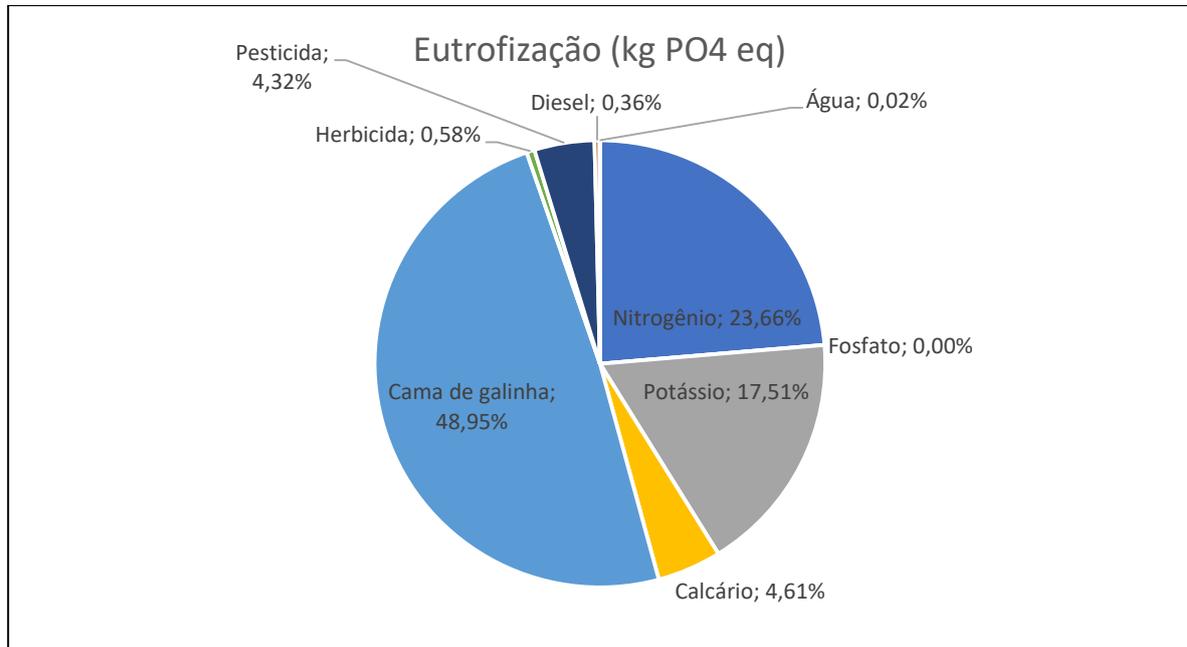


Fonte: Elaborada pelo autor

Apesar de em outras categorias sua contribuição não ter sido relevante, o diesel passa a apresentar grande representatividade nesta categoria de impacto, com mais de 12% de contribuição sobre o impacto total dos *inputs*, com cerca de 9,13 kg de óleo diesel equivalente. Apesar de aumentar sua relevância, o diesel ficou atrás de nitrogênio e cama de galinha em representatividade, que apresentaram contribuições de 36,88% (26,45 kg de óleo equivalente) e 23,37% (16,76 kg de óleo diesel equivalente, respectivamente). Este indicador reforça a necessidade de aplicação de insumos químicos na lavoura de tomate de mesa a céu aberto brasileira e o seu potencial elevado na geração de impactos ambientais, já que estes materiais apresentam contribuição na categoria de uso de combustíveis fósseis superior à do diesel, um combustível fóssil.

Iniciando a análise das categorias calculadas através do método CML 2002, o gráfico 9 apresenta os resultados obtidos para a categoria de eutrofização, a qual, tem grande parcela os materiais de manejo de solo e adubação como principais contribuintes.

Gráfico 9: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Eutrofização



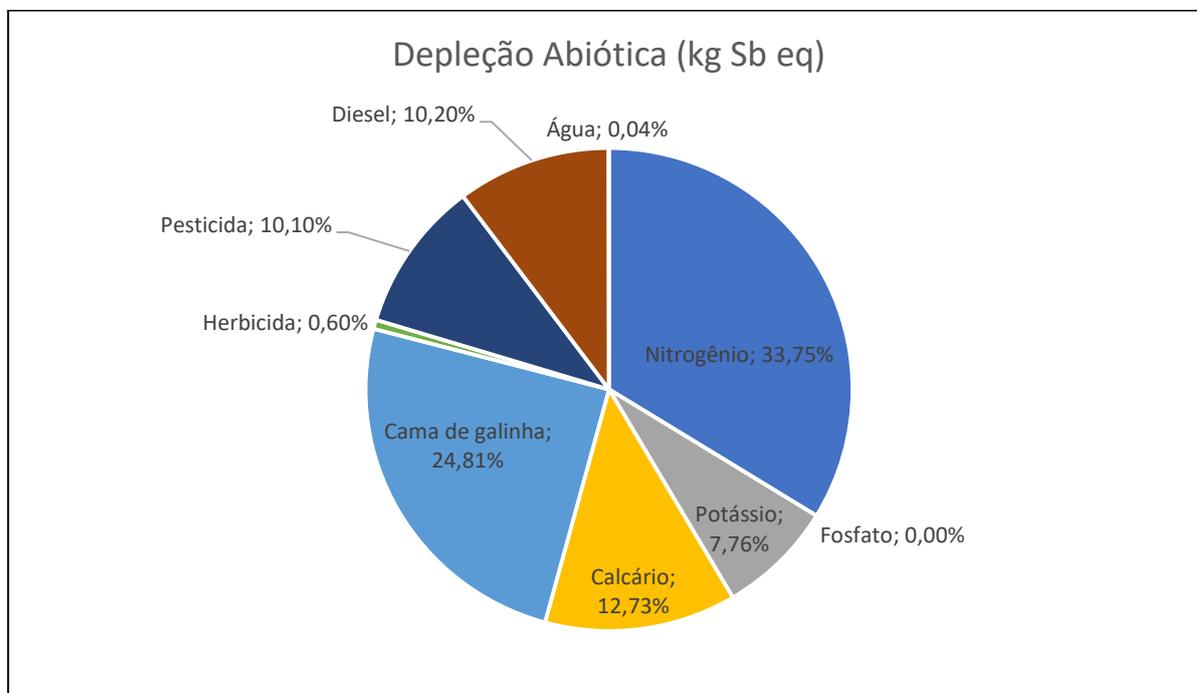
Fonte: Elaborada pelo autor

As entradas relacionadas ao manejo de solo e adubação foram aquelas que representaram cerca de 95% do impacto total, mensurada em kg de PO₄ equivalente. A utilização de cama de galinha apresentou o maior impacto nesta categoria com 48,95% de contribuição (0,57 kg de PO₄ eq), seguido por nitrogênio e potássio com respectivamente 23,66% (0,26 kg PO₄ eq) e 17,51% (0,20 kg PO₄ eq). Das outras entradas consideradas no inventário de ciclo de vida que não fazem referência a nutrição do solo, a de maior contribuição continuou sendo o uso de pesticida, com 4,32% de contribuição sobre a eutrofização (0,05 kg de PO₄ eq). Comparativamente ao trabalho de Rosa (2014), os resultados obtidos são plausíveis, já que a análise realizada para 5 produtores de tomate mostrou que o uso e aplicação de fertilizantes e pesticidas contribuíram para a eutrofização entre 75 e 83%, em um modelo de produção similar comparado ao Brasil, no caso, o cultivo a céu aberto. Porém, o resultado de Zarei *et. al* (2017) apresenta o consumo de diesel como o maior contribuinte para a eutrofização do ciclo, contribuindo com mais de 40% do impacto causado. Esta diferença deve-se aos diferentes sistemas de produção analisados, já que Zarei *et. al* (2017) realizou a ACV para a produção de tomate em cultivo protegido, o que reduz consideravelmente o uso de fertilizantes e pesticidas, conseqüentemente diminuindo o impacto destas entradas dentro do ciclo de vida do tomate de mesa.

O gráfico 10 apresenta os resultados referentes a depleção abiótica, que mostra

relevância maior por parte do uso de diesel e pesticidas comparativamente às categorias avaliadas anteriormente.

Gráfico 10: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Depleção Abiótica



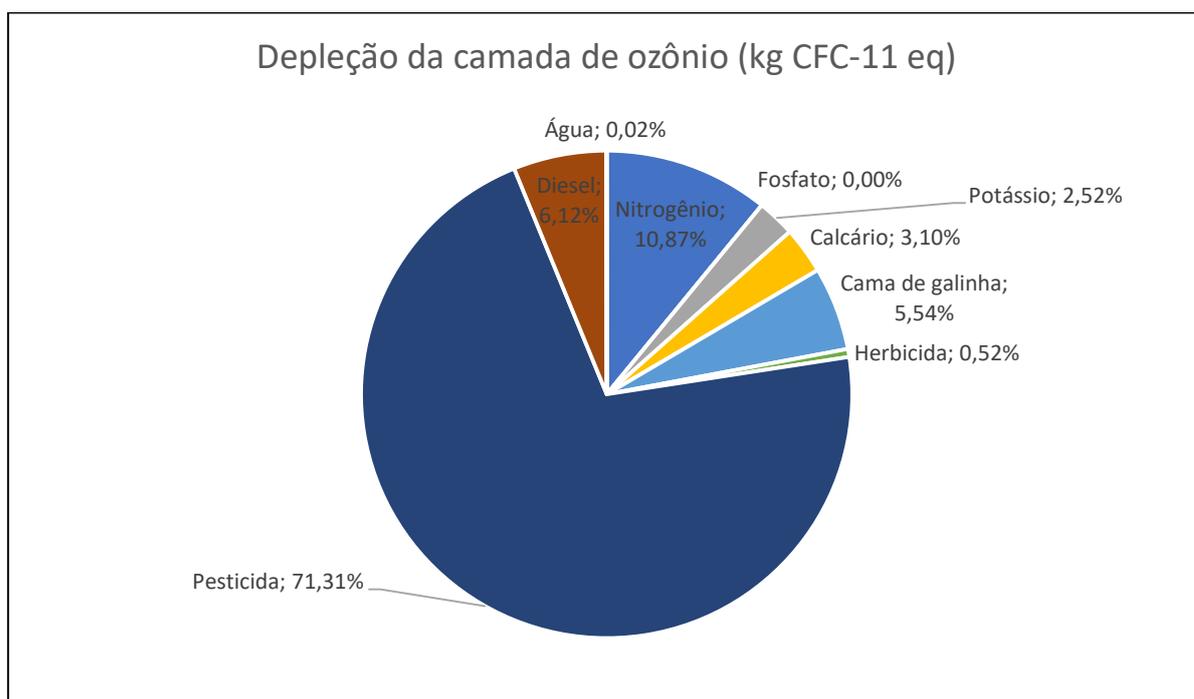
Fonte: Elaborada pelo autor

Apesar do crescimento destas categorias, o maior impacto continua sendo atribuído ao uso de insumos para nutrição do solo. A contribuição devido ao uso de fertilizantes apresentou um número reduzido, sendo de 79,06% do impacto total. Dentro destes materiais, destacam-se com maior impacto o uso de nitrogênio (33,75% e 0,61 kg de SB eq), cama de galinha (24,81% e 0,45 kg de Sb eq), calcário (12,73% e 0,23 kg de Sb eq) e potássio (7,76% e 0,14 kg de Sb eq). Por outro lado, apresentou-se relevante a contribuição por parte do consumo de diesel e a aplicação de pesticidas, apresentando representatividades de 10,20% (0,184 kg de Sb eq) e 10,10% (0,183 kg de Sb eq), respectivamente. Comparativamente a outros trabalhos de ACV realizado para o ciclo de vida do tomate, os resultados do inventário referente a depleção abiótica apresentam diferenças. Em ambos os trabalhos de Rosa (2014) e Zarei *et. al* (2017) a depleção abiótica teve sua maior contribuição proveniente de fontes de energia, mais especificamente o uso de gásóleo, entrada que não foi registrada no inventário da ACV do presente trabalho. No trabalho de Rosa (2014), que apresenta sistema produtivo similar ao analisado neste trabalho, a contribuição do gásóleo para a depleção abiótica variou entre 35 e 41%,

enquanto no cultivo protegido analisado por Zarei *et. al* (2017) o gásóleo apresentou representatividade superior a 70% da depleção abiótica, já que este modelo produtivo necessita de maior uso de fontes de energia, enquanto a redução no uso de insumos químicos (fertilizantes e defensivos) reduzem a depleção abiótica causada por estes.

O gráfico 11 apresenta os resultados obtidos para a depleção da camada de ozônio, que diferem drasticamente das categorias previamente analisadas.

Gráfico 11: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Depleção da camada de ozônio



Fonte: Elaborada pelo autor

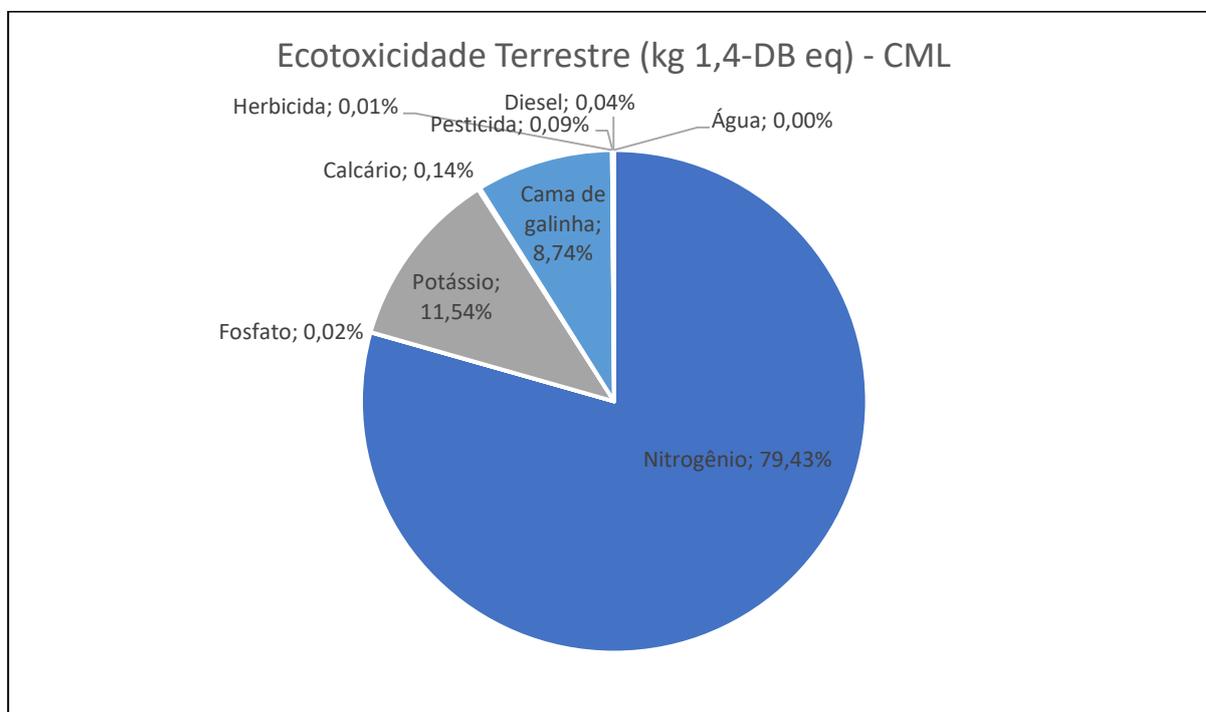
Nesta categoria, a maior contribuição é representada pelo uso de pesticida, com participação de 71,31% do impacto do ciclo de vida considerado ($5,94 \times 10^{-5}$ kg CFC-11 eq). Na sequência, o uso de nitrogênio apresenta contribuição de 10,87% sob a depleção da camada de ozônio ($9,06 \times 10^{-6}$ kg CFC-11 eq), seguido pelo consumo de diesel com contribuição de 6,12% ($5,10 \times 10^{-6}$ kg CFC-11 eq). Em relação ao trabalho de Rosa (2014) o principal fator de impacto na depleção da camada de ozônio foi o uso de gásóleo, com contribuições variadas entre 46 e 63%, além de não apresentar contribuições relevantes por parte do uso de pesticidas. Já Zarei *et. al* (2017) apresentou como principal fator de impacto o uso de diesel, atingindo 87% do impacto causado. Com isso, pode-se observar que o impacto causado pelo uso de materiais voltados para a energia do sistema produtivo, quando em quantidades relevantes, sobressaem-se em relação ao uso de insumos como

fertilizantes e pesticidas. Porém, o sistema produtivo brasileiro, caracterizado pelo uso intensivo destes insumos e uso reduzido de tecnologias consumidoras de recursos energéticos torna o impacto dos materiais relacionados ao manejo do solo consideravelmente relevantes, sendo em todos os casos o principal fator de impacto ambiental no ciclo de vida de produção do tomate de mesa brasileiro.

Por fim, os resultados da AICV para as categorias de impacto de Ecotoxicidade Terrestre, Acidificação e Aquecimento Global são calculados também através da metodologia de cálculo CML 2002. Estas categorias de impacto são comuns a categorias analisadas pelo método ReCiPe e apresentadas nos gráficos 5, 6 e 7. Com isto, é possível avaliar os resultados obtidos para cada categoria de impacto em ambos os métodos de cálculos realizados para esta ACV, além da comparação destes resultados com os obtidos por Rosa (2014) e Zarei *et. al* (2017).

O gráfico 12 apresenta os resultados obtidos para a ecotoxicidade terrestre sob o método CML 20021, no qual os pode-se observar que os materiais referentes a nutrição apresentam representatividade maior do que no método ReCiPe.

Gráfico 12: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Ecotoxicidade Terrestre – CML



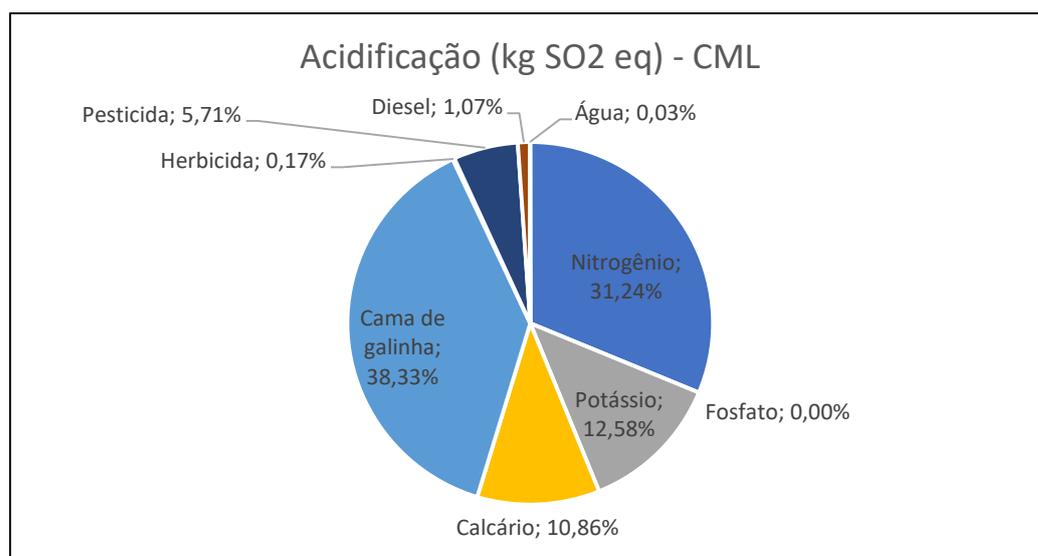
Fonte: Elaborada pelo autor

Na metodologia de cálculo CML 2002, a participação dos materiais relacionados a nutrição do solo contribuiu com 99,86% do impacto causado, cerca de 7% acima do valor

observado pelo método de cálculo ReCiPe. O *input* de maior contribuição para o impacto em ambas as metodologias de cálculo foi o nitrogênio, porém, a representatividade deste sob a metodologia CML 2002 foi próxima de 80%, cerca do dobro do valor obtido pelo método de cálculo ReCiPe. Sendo assim, as contribuições dos outros materiais na metodologia CML 2002 caíram significativamente em relação ao método ReCiPe. A contribuição do potássio foi de 11,54% na metodologia CML 2002, comparada a 14,16% na ReCiPe, enquanto o fator de impacto da cama de galinha foi de 8,74% na metodologia CML, abaixo dos 19,8% registrado na ReCiPe. O calcário, por sua vez, que contribui em mais de 18% para a ecotoxicidade terrestre de acordo com a metodologia ReCiPe apresentou resultados irrelevantes na AICV CML 2002, registrando uma representação de 0,14%. Todas as outras entradas do inventário apresentaram contribuição menor que 0,1%, possuindo baixo impacto em ambas as metodologias. O trabalho de Rosa (2014) apresenta sinergia com a ACV deste trabalho, registrando impactos próximos a 97% para a aplicação de fertilizantes e defensivos sob a ecotoxicidade terrestre. Por outro lado, a maior contribuição para esta categoria no ciclo de vida avaliado por Zarei *et. al* (2017) foi o diesel, com valores próximos a 40% do impacto total. Novamente, é possível perceber o impacto das diferenças dos sistemas produtivos de tomate de mesa, onde o cultivo protegido, que exige maior consumo de fontes de energia como o diesel e o gásóleo fazem com que estes *inputs* tornem-se os mais relevantes para os impactos avaliados no ciclo de vida do tomate.

Em relação à categoria de acidificação terrestre, fica clara a sinergia entre os dois métodos de AICV utilizados neste trabalho, onde o padrão de representatividade do impacto manteve-se assim como a distribuição das contribuições entre os materiais. Os resultados são apresentados no gráfico 13.

Gráfico 13: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Acidificação - CML

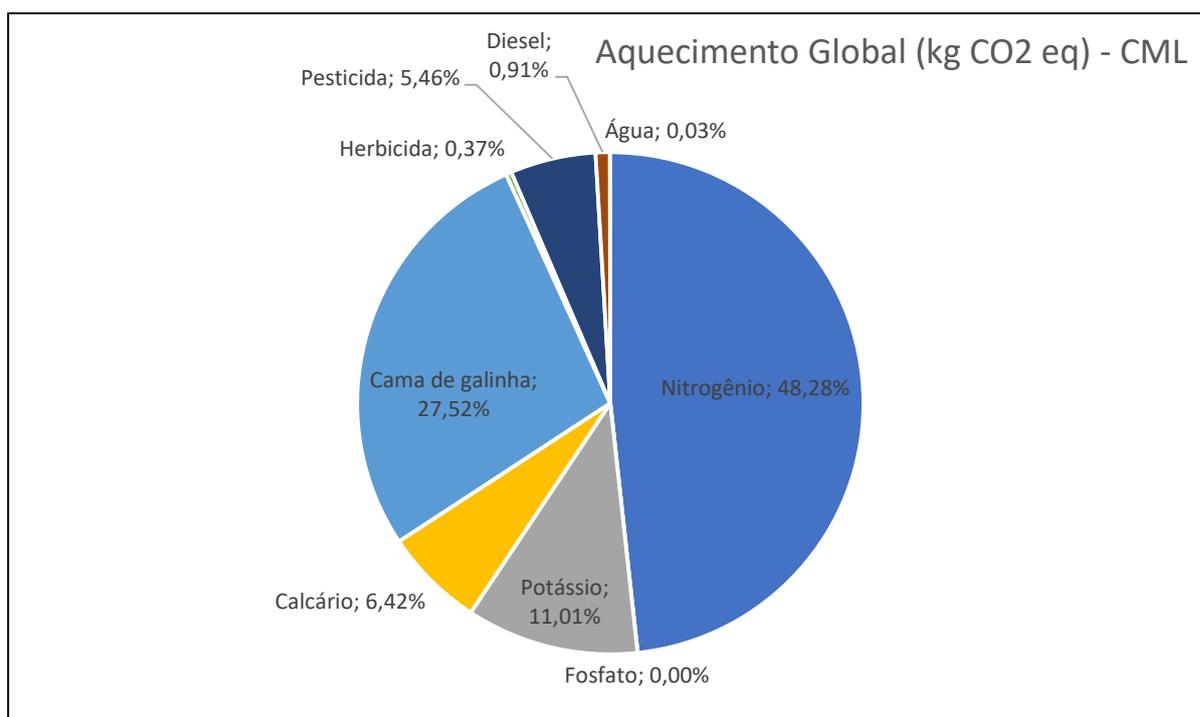


Fonte: Elaborada pelo autor

Assim como no cálculo obtido através da ReCiPe (gráfico 6), a cama de galinha foi o fator de maior impacto para a acidificação terrestre sob a perspectiva do método CML 2002, com 42,33% do impacto registrado em comparação ao valor de 38,33% através do cálculo do ReCiPe. Na sequência, registraram as maiores contribuições nitrogênio, potássio e calcário, que passaram de 30,17%, 13,45% e 8,34% do impacto através da ReCiPe (gráfico 6) para contribuições de 31,24%, 12,58% e 10,86% pelo método CML 2002, respectivamente. Dentre outras contribuições notáveis, vale destacar o uso de pesticida, que apresentou um valor de 5,71% de impacto através do cálculo da CML 2002, acima dos 4,68% registrado pela metodologia ReCiPe. Da mesma maneira que a categoria de ecotoxicidade terrestre, os impactos registrados na acidificação por Rosa (2014) apresentam-se similares ao obtido neste trabalho, com a maior contribuição para a categoria de impacto proveniente da aplicação de fertilizantes e defensivos, enquanto o uso de diesel é o maior gerador de impacto na ACV realizada por Zarei *et. al* (2017) devido a maior aplicação deste combustível para atender as necessidades do modelo de cultivo protegido.

Da mesma forma apresentada para a categoria de acidificação, o aquecimento global apresenta sinergia entre os métodos de AICV utilizados no trabalho, com pequenas variações pontuais. Os resultados são apresentados no gráfico 14.

Gráfico 14: Representatividade do inventário sobre a categoria de impacto Aquecimento Global - CML



Fonte: Elaborada pelo autor

Os materiais relacionados ao manejo de solo continuam apresentando maior impacto com 93,24% de contribuição mantendo os 3 primeiros maiores contribuintes em sua ordem: Nitrogênio (52,41% ReCiPe – 48,28% CML 2002), cama de galinha (24,39% ReCiPe – 27,52% CML 2002) e potássio (12,42% ReCiPe – 11,01% CML 2002). Os pesticidas continuam sendo a maior contribuição fora dos materiais de nutrição do solo, com um valor de 5,46% sob o método CML 2002, 0,8% acima da contribuição apresentada pela metodologia ReCiPe (4,66%). Além disso, o impacto causado pelo consumo de diesel continuou praticamente irrelevante sob o método CML 2002, mantendo-se abaixo de 1% como registrado através da AICV via ReCiPe

Comparando com outros trabalhos, Zarei *et. al* (2017) mantém uma fonte energética como o maior contribuinte para uma categoria de impacto, porém, para o potencial de aquecimento global, o líder é o gás natural com cerca de 30% do impacto total. Da mesma maneira, o consumo de gásóleo é o principal fator de impacto sob o potencial de aquecimento global no trabalho de Rosa (2014), variando entre 35% e 41%.

5.2. Análise de Custos

5.2.1. Análise da Série Histórica de Custo

Além dos impactos ambientais que podem ser causados pelo sistema de produção

brasileiro de tomate, principalmente devido a quantidade de aplicações de defensivos e fertilizantes, outro ponto importante que é levado em conta pelos produtores e afeta a produção de tomate no país são os custos de produção. Como apontado na etapa de materiais e métodos, os custos levantados entre os anos de 2012 e 2019 foram divididas em 7 categorias de custo: Insumos, Sementes, Infraestrutura, Operações, Mão de obra, Irrigação e Outros.

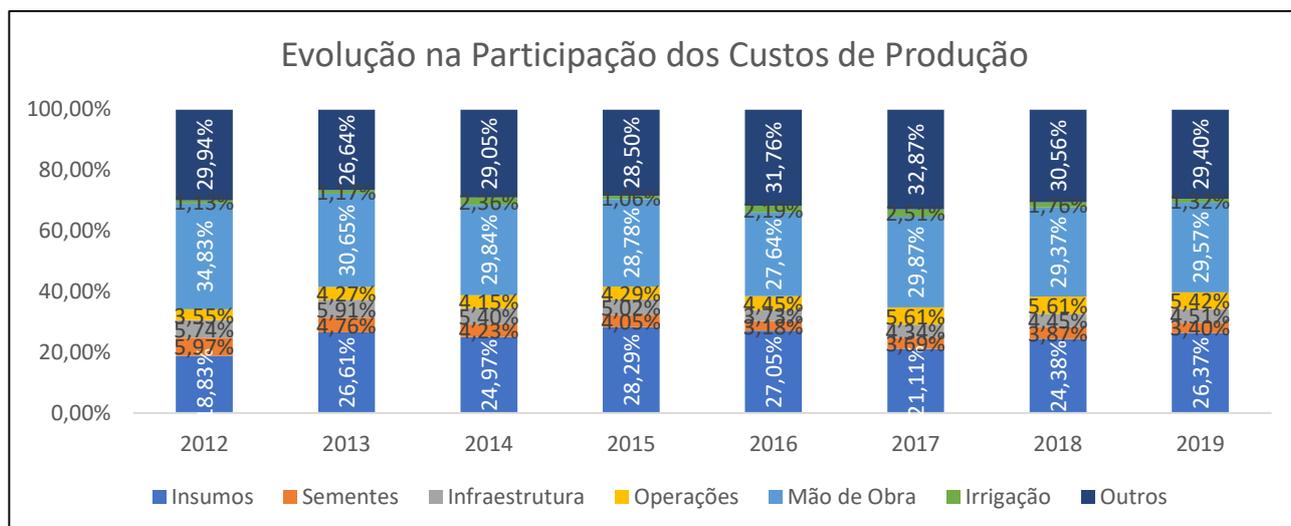
A tabela 12 e o gráfico 15 apresentam, respectivamente, os custos de produção de tomate de mesa por hectare (R\$/ha) e a contribuição de cada uma das classes de custo consideradas no estudo para o custo total de produção por hectare. De forma geral, os custos de produção apresentaram crescimento relevante ao longo dos 8 anos analisados.

Tabela 12: Custos de Produção para o tomate de mesa, em R\$/ha

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Insumos	R\$ 9.359,57	R\$ 15.690,58	R\$ 16.897,76	R\$ 21.516,54	R\$ 28.547,80	R\$ 18.888,47	R\$ 22.690,73	R\$ 27.911,32
Sementes	R\$ 2.970,00	R\$ 2.805,00	R\$ 2.860,00	R\$ 3.080,00	R\$ 3.355,00	R\$ 3.300,00	R\$ 3.600,00	R\$ 3.600,00
Infraestrutura	R\$ 2.854,38	R\$ 3.487,34	R\$ 3.657,30	R\$ 3.817,09	R\$ 3.933,75	R\$ 3.887,77	R\$ 4.138,17	R\$ 4.771,27
Operações	R\$ 1.764,99	R\$ 2.518,78	R\$ 2.807,96	R\$ 3.265,57	R\$ 4.699,79	R\$ 5.021,11	R\$ 5.223,67	R\$ 5.733,80
Mão de Obra	R\$ 17.314,00	R\$ 18.074,10	R\$ 20.197,00	R\$ 21.894,00	R\$ 29.163,52	R\$ 26.724,13	R\$ 27.337,44	R\$ 31.298,40
Irrigação	R\$ 562,00	R\$ 688,00	R\$ 1.598,40	R\$ 810,00	R\$ 2.310,00	R\$ 2.250,00	R\$ 1.633,94	R\$ 1.402,13
Outros	R\$ 14.883,19	R\$ 15.709,34	R\$ 19.657,58	R\$ 21.677,85	R\$ 33.515,48	R\$ 29.410,83	R\$ 28.447,15	R\$ 31.117,40
Total	R\$ 49.708,13	R\$ 58.973,14	R\$ 67.676,00	R\$ 76.061,05	R\$ 105.525,34	R\$ 89.482,31	R\$ 93.071,10	R\$ 105.834,32

Fonte: Adaptado de Deleo (2013), Pagliuca e Deleo (2014), Deleo *et. al* (2015), Deleo *et. al* (2016), Deleo (2017), Deleo *et. al* (2019)

Gráfico 15: Evolução das representatividades do custo de produção.



Fonte: Adaptado de Deleo (2013), Pagliuca e Deleo (2014), Deleo *et. al* (2015), Deleo *et. al* (2016), Deleo (2017), Deleo *et. al* (2019)

Inicialmente, o custo de produção por hectare no ano de 2012 foi de R\$ 49.708,13, enquanto este valor mais que dobrou no ano de 2019, atingindo o valor de R\$ 105.834,32 por hectare. Inicialmente, os valores de custo de produção cresceram até o ano de 2016, onde atingiu o valor por hectare de R\$ 105.525,34. Após isto, o ano de 2017 registou uma queda nestes custos, com valor de R\$ 89.482,31 por hectare, evoluindo novamente nos dois anos seguintes e atingindo o valor supracitado em 2019.

Assim como os grandes impactos registrados na ACV, os insumos (fertilizantes e defensivos) possuem grande impacto nos custos de produção e é o principal motivo de crescimento destes ao longo dos anos. Em 2012, primeiro ano da série histórica, o custo de insumos foi de R\$ 9.359,57/ha, representando 18,83% dos custos totais daquele ano. Da mesma maneira que o custo total, os valores destinados aos insumos cresceram rapidamente ao longo dos anos e atingiram o valor de R\$ 28.547,80 no ano de 2016, onde representou 27,05% dos custos de produção desta safra, um crescimento próximo de 9% em 4 anos. Este rápido crescimento foi seguido de uma diminuição no valor bruto destinado ao uso de insumos em 2017, registrando o valor de R\$ 18.888,47 por hectare, voltando a crescer nos anos seguintes e finalizando a série histórica em R\$ 27.911,32 por hectare em 2019, representando 26,37% dos custos, cerca de 8% acima da representatividade registrada no primeiro ano.

Outras classes de custo com representatividade considerável dentro do sistema produtivo de tomate de mesa são a mão de obra e a classe nomeada como outros. Devido a utilização reduzida de operações mecanizadas na lavoura, o custo de mão de obra no sistema produtivo de tomate brasileiro torna-se elevado, sendo este a maior contribuição na maioria dos anos de análise. Ao longo dos anos, o valor em reais por hectare apresenta crescimento, iniciando o período de análise no valor de R\$ 17.314,00 em 2012 e chegando ao valor de R\$ 31.298,40 por hectare no ano de 2019. Porém, a contribuição da mão de obra para o custo total por hectare que era inicialmente de 34,83% em 2012 passou a ser de 29,57% em 2019, mesmo com o aumento do valor em reais por hectare desta categoria. Quanto aos custos classificados como outros, houve crescimento no valor de R\$/ha de R\$ 14.883,19 em 2012 para R\$ 31.117,40 em 2019. Houve certa oscilação quanto a representatividade destes custos, atingindo seu pico em 2016 com 31,76% do custo total. Porém, no período como um todo, sua participação finalizou estável, passando de 29,94% em 2012 para 29,40% em 2019.

Em relação as outras classes de custo (sementes, infraestrutura, operações e

irrigação), o valor em reais por hectare apresentou crescimento, porém, com contribuições menores quando comparadas as três classes de custo analisadas anteriormente e variações igualmente pequenas. Vale destacar o crescimento na contribuição dos custos de operações mecânicas, que passou de uma de 3,55% em 2012 para 5,42% em 2019, o que demonstra certo crescimento do emprego da mão de obra mecanizada na cultura do tomate, quando analisada juntamente com a queda de representatividade dos custos referentes a mão de obra. A classe de custo sementes apresentou redução (de 5,97% em 2012 para 3,40% em 2019), assim como os custos de infraestrutura (de 5,74% em 2012 para 4,51% em 2019). Por fim, a irrigação apresentou estabilidade em sua representatividade (de 1,13% para 1,32%).

Focando a análise nas três principais categorias de custo para a produção de tomate de mesa (Insumos, Mão de Obra e Outros), percebe-se o impacto das aplicações de fertilizantes e defensivos no custo de produção. Apesar das três classes seguirem uma tendência de crescimento ao longo dos anos em seu valor em reais por hectare, nota-se que o crescimento acelerado do custo com insumos, forçando a participação do custo de mão de obra recuar consideravelmente (próximo de 5%), enquanto os custos classificados como outros, apesar do aumento de cerca de R\$ 16 mil por hectare entre os anos de 2012 e 2019, permaneça com a mesma representatividade no custo total. Este fato evidencia um ponto de alerta em relação ao modelo de produção de tomate de mesa no Brasil, demonstrando que os *inputs* responsáveis pelos maiores impactos ambientais de acordo com a ACV apresentam crescimento no custo de produção nos últimos 7 anos.

O próximo passo da análise é entender a projeção dos custos de produção ao longo dos próximos anos através da taxa anual de crescimento de cada classe de custo com o objetivo de entender o comportamento de cada uma destas classes no futuro em relação a sua representatividade nos custos totais. Para isso, foi aplicado a fórmula do CAGR para encontrar a taxa de crescimento anual de cada uma das categorias de custo. Estes dados são apresentados na tabela 13.

Tabela 13: CAGR por categoria, calculado e R\$/ha

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	CAGR
Insumos	R\$ 9.359,57	R\$15.690,58	R\$16.897,76	R\$21.516,54	R\$ 28.547,80	R\$18.888,47	R\$22.690,73	R\$ 27.911,32	16,89%
Sementes	R\$ 2.970,00	R\$ 2.805,00	R\$ 2.860,00	R\$ 3.080,00	R\$ 3.355,00	R\$ 3.300,00	R\$ 3.600,00	R\$ 3.600,00	2,79%
Infraestrutura	R\$ 2.854,38	R\$ 3.487,34	R\$ 3.657,30	R\$ 3.817,09	R\$ 3.933,75	R\$ 3.887,77	R\$ 4.138,17	R\$ 4.771,27	7,62%
Operações	R\$ 1.764,99	R\$ 2.518,78	R\$ 2.807,96	R\$ 3.265,57	R\$ 4.699,79	R\$ 5.021,11	R\$ 5.223,67	R\$ 5.733,80	18,33%
Mão de Obra	R\$ 17.314,00	R\$18.074,10	R\$20.197,00	R\$21.894,00	R\$ 29.163,52	R\$26.724,13	R\$27.337,44	R\$ 31.298,40	8,83%
Irrigação	R\$ 562,00	R\$ 688,00	R\$ 1.598,40	R\$ 810,00	R\$ 2.310,00	R\$ 2.250,00	R\$ 1.633,94	R\$ 1.402,13	13,95%
Outros	R\$ 14.883,19	R\$15.709,34	R\$19.657,58	R\$21.677,85	R\$ 33.515,48	R\$29.410,83	R\$28.447,15	R\$ 31.117,40	11,11%
Total	R\$ 49.708,13	R\$58.973,14	R\$67.676,00	R\$76.061,05	R\$105.525,34	R\$89.482,31	R\$93.071,10	R\$105.834,32	-

Fonte: Adaptado de Deleo (2013), Pagliuca e Deleo (2014), Deleo *et. al* (2015), Deleo *et. al* (2016), Deleo (2017), Deleo *et. al* (2019) e BCB (2020).

Das 3 categorias de maior representatividade no custo (Insumos, Mão de Obra e Outros), pode-se observar que o maior crescimento foi para a categoria de Insumos, onde o CAGR obtido foi de 16,89% a.a. Além do uso crescente de insumos indicado por CONAB (2020), outro fator que contribui para esta grande variação é o efeito da taxa de câmbio, já que, segundo Dall’Agnol (2020), cerca de 75% dos fertilizantes utilizados no Brasil são importados, sendo assim diretamente atrelados ao valor do dólar. A categoria outros obteve crescimento anual a taxa de 11,11% enquanto a mão de obra apresentou CAGR de 8,83%. Esta diferença de crescimento por parte destas categorias explica que, apesar dos valores em R\$/ha aumentarem ao longo do tempo para a mão de obra, sua participação diminua.

De forma geral, o custo que apresentou maior CAGR foi o custo com operações, indicando possível aumento da atividade mecanizada nas lavouras de tomate de mesa, com o valor de 18,33%. Juntamente com isto, outra tecnologia que pode estar sendo amplamente difundida no sistema produtivo de tomate é a aplicação da irrigação, que apresentou crescimento acelerado de 13,95% ao longo dos últimos 7 anos. Por fim, Infraestrutura e Sementes apresentam crescimento no período também, porém, de forma menos acelerada, registrando CAGR de 7,62% e 2,79%, respectivamente.

5.2.2. Projeção dos Custos de Produção

Com os valores de CAGR definidos, foi realizada a projeção dos custos de produção de tomate de mesa para o intervalo dos próximos 8 anos, entre 2020 e 2027. Este intervalo de tempo foi definido de acordo com a série histórica analisada previamente, que também foi de 8 anos. Como alguns custos de produção apresentam efeito do dólar, o valor de 2019 foi convertido e o CAGR foi aplicado para sua aplicação em USD/ha. Dentro desta análise, as diferentes evoluções dos custos de cada classe baseadas em seus respectivos CAGR apresenta resultados relevantes em relação a estrutura dos custos de produção em geral,

apresentadas na tabela 14.

Tabela 14: Projeção dos Custos de produção de tomate de mesa para os próximos 7 anos (em USD/ha)

Categorias	CAGR	2019	2020p	2021p	2022p	2023p	2024p	2025p	2026p	2027p
Insumos	16,89%	\$ 7.076,74	\$ 8.272,22	\$ 9.669,67	\$ 11.303,18	\$ 13.212,65	\$ 15.444,69	\$ 18.053,79	\$ 21.103,65	\$ 24.668,72
Sementes	2,79%	\$ 912,76	\$ 938,19	\$ 964,33	\$ 991,20	\$ 1.018,82	\$ 1.047,20	\$ 1.076,38	\$ 1.106,37	\$ 1.137,20
Infraestrutura	7,62%	\$ 1.209,72	\$ 1.301,85	\$ 1.400,99	\$ 1.507,68	\$ 1.622,50	\$ 1.746,06	\$ 1.879,03	\$ 2.022,13	\$ 2.176,12
Operações	18,33%	\$ 1.453,77	\$ 1.720,26	\$ 2.035,61	\$ 2.408,77	\$ 2.850,33	\$ 3.372,84	\$ 3.991,13	\$ 4.722,76	\$ 5.588,50
Mão de Obra	8,83%	\$ 7.935,51	\$ 8.635,89	\$ 9.398,08	\$ 10.227,54	\$ 11.130,21	\$ 12.112,54	\$ 13.181,58	\$ 14.344,97	\$ 15.611,03
Irrigação	13,95%	\$ 355,50	\$ 405,10	\$ 461,62	\$ 526,02	\$ 599,42	\$ 683,05	\$ 778,34	\$ 886,94	\$ 1.010,68
Outros	11,11%	\$ 7.889,62	\$ 8.766,26	\$ 9.740,30	\$ 10.822,57	\$ 12.025,10	\$ 13.361,24	\$ 14.845,85	\$ 16.495,41	\$ 18.328,27
Total	-	\$ 26.833,61	\$ 30.039,77	\$ 33.670,60	\$ 37.786,97	\$ 42.459,02	\$ 47.767,62	\$ 53.806,09	\$ 60.682,22	\$ 68.520,53

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como a projeção do CAGR foi positiva para todas as categorias, elas apresentam crescimento entre o início e o fim do período projetado. Porém, a diferença no valor do CAGR observado reflete na variação destes valores e respectivamente, na participação destes sobre o custo total. O custo total, que inicia o período de projeção em USD 30.039,77 por hectare, finaliza 2027 com custo projetado de USD 68.520,53. Este incremento relevante deve-se, principalmente, aos incrementos nas categorias de insumos e outros. O primeiro apresenta crescimento de USD 8.272,22 para USD 24.668,72 por hectare entre 2020 e 2027, enquanto a segunda varia de USD 8.766,26 para USD 18.328,27 por hectare no mesmo período. Mão de obra apresentou crescimento mais tímido no período, variando de USD 8.635,89 para USD 15.611,03 por hectare. Devido à um CAGR alto, o valor destinado a operações mecanizadas projeta aumento próximo a 5 vezes o valor projetado inicial, o que refletirá na distribuição de todas as categorias de custo no futuro. As outras categorias de custo representadas por irrigação, infraestrutura e sementes, apesar de CAGR relevantes, possuem valores em USD/ha menores, impactando de forma mais reduzida a distribuição dos custos.

Com isso, a tabela 15 apresenta a distribuição dos custos por categoria para o período projetado, onde diversas informações podem ser analisadas.

Tabela 15: Representatividade das classes para a projeção dos custos de produção

Categorias	2019	2020p	2021p	2022p	2023p	2024p	2025p	2026p	2027p
Insumos	26,37%	27,54%	28,72%	29,91%	31,12%	32,33%	33,55%	34,78%	36,00%
Sementes	3,40%	3,12%	2,86%	2,62%	2,40%	2,19%	2,00%	1,82%	1,66%
Infraestrutura	4,51%	4,33%	4,16%	3,99%	3,82%	3,66%	3,49%	3,33%	3,18%
Operações	5,42%	5,73%	6,05%	6,37%	6,71%	7,06%	7,42%	7,78%	8,16%
Mão de Obra	29,57%	28,75%	27,91%	27,07%	26,21%	25,36%	24,50%	23,64%	22,78%
Irrigação	1,32%	1,35%	1,37%	1,39%	1,41%	1,43%	1,45%	1,46%	1,48%
Outros	29,40%	29,18%	28,93%	28,64%	28,32%	27,97%	27,59%	27,18%	26,75%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Apesar do CAGR positivo para todas as categorias, as discrepâncias de valor entre elas faz com que algumas categorias aumentem sua parcela de contribuição no custo, enquanto algumas percam mesmo com o aumento no valor em USD/ha. Uma delas é a categoria Outros iniciando o período de projeção com contribuição de 29,18% e finalizando o período com representação de 26,75% dos custos de produção em 2027, tornando-se a 2ª categoria de custo mais relevante para a produção de tomate de mesa. Este comportamento deve-se à CAGR's elevados de outras categorias de custo, especialmente insumos (16,89%) e operações mecanizadas (18,33%), tornando estas categorias mais relevantes em relação ao custo de produção total e impactando a representatividade de todas as outras categorias. No caso da categoria de insumos, a projeção iniciou com a categoria ocupando a 3ª posição em 2020 com 27,54% da representatividade nos custos e obteve a liderança a partir de 2022 quando atingiu 29,91% dos custos, mantendo-a para o restante da projeção e finalizando 2027 com contribuição de 36% dos custos. Em relação às operações, elevando conjuntamente a representatividade elevou-se de 5,73% para 8,16% no mesmo período supracitado.

Outra categoria de custo com grande contribuição que apresentou redução significativa em representatividade foi a mão de obra. O CAGR abaixo de outras categorias relevantes como Insumos e Outros contribuíram para a redução de representatividade da mão de obra de 28,75% em 2020 para 22,78% em 2027, deixando a liderança histórica desde 2012 dentre as categorias de custo consideradas para ocupar a 3ª posição ao final do período de projeção. Por fim, sementes apresentou variações de valores de participação de 3,40% para 1,66% no mesmo período analisado; o custo com infraestrutura reduziu sua participação de 4,33% em 2020 para 3,18% em 2027 e irrigação cresceu na participação nos custos de produção de 1,35% para 1,48%.

Um dos principais motivos para o aumento de custo nos próximos 8 anos é a elevação

do valor destinado ao uso de insumos, analisado em parágrafos anteriores.

Integrando a perspectiva ambiental da ACV e a perspectiva econômica da análise de custos, os dados apresentados mostram que os *inputs* que causam o maior impacto ambiental no sistema de produção de tomate de mesa irão se tornar a categoria de custo mais relevante em 3 anos e representarão mais de 1/3 dos custos de produção em 8 anos. Estratégias para redução da aplicação de insumos podem ser discutidas e avaliadas, porém, pode ser necessário a alteração do modelo produtivo. Simulações de ACV mostram que, sob o modelo de cultivo convencional, a redução até 30% da quantidade aplicada original de insumos não gera alterações relevantes nos resultados das categorias de impacto apresentados anteriormente. Além disso, simulações com reduções maiores que 30% podem não serem efetivas devido ao efeito desconhecido sob a produtividade e qualidade da produção. Com isso, alternativas como o cultivo protegido tornam-se candidatas à análise para a comparação

Del Santo e Patino (2019) mostram que o custo com insumos na produção de tomate em um ambiente de cultivo protegido no México representou cerca de 14,09% do custo total em 2018, com valor em USD/ha próximo da metade do registrado do Brasil no mesmo ano. Além disso, a ACV realizada por Zarei *et. al* (2017) apresenta impacto ambiental reduzido por parte aplicação de fertilizantes e defensivos em todas as categorias de impacto analisadas, porém, a exigência de diferentes *inputs* na parte de infraestrutura faz com que o impacto seja majoritariamente referente a parte estrutural do modelo produtivo. Para uma comparação mais efetiva, faz-se necessário a realização combinada de ACV e comportamento de custo para o modelo do cultivo protegido, fazendo com que a comparação entre os sistemas produtivo seja mais precisa, aumentando a acurácia da tomada de decisão futura.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho, o sistema produtivo brasileiro de tomate, que ocorre majoritariamente com manejo convencional de adubação e pragas e a céu aberto, exposto a risco climáticos, foi caracterizado sob o ponto de vista ambiental utilizando a metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV) e do ponto de vista econômico mediante uma análise de custo utilizando uma região de Santa Catarina modelo na produção de tomate de mesa no Brasil.

A ACV realizada indica que o impacto ambiental da cadeia produtiva de tomate brasileiro tem sua maior contribuição proveniente da aplicação de insumos voltados para nutrição da cultura, ou seja, o uso de nitrogênio, fósforo, potássio e calcário na forma de

fertilizantes químicos, assim como a aplicação de cama de galinha na aplicação de compostos orgânicos. Conjuntamente, estes *inputs* contribuem para mais de 70% do impacto ambiental causado em cinco das sete categorias de impacto analisadas (Acidificação Terrestre, Potencial de Aquecimento Global, Eutrofização, Depleção Abiótica e Ecotoxicidade Terrestre). Dentro destes *inputs*, aqueles que causam maiores danos ao ambiente são o nitrogênio e a cama de galinha, sendo o primeiro líder no impacto causado nas categorias de depleção abiótica, ecotoxicidade terrestre, potencial de aquecimento global e consumo de combustíveis fósseis, em todos tendo como segundo colocado no impacto a cama de galinha. Nas categorias de acidificação terrestre e eutrofização, estes *inputs* invertem a posição, tendo a cama de galinha como líder seguido pela contribuição do nitrogênio.

Assim como no ponto de vista ambiental, a categoria de custo que mais apresentou relevância para a produção de tomate de mesa foi o consumo de insumos (fertilizantes e defensivos), elevando sua contribuição para 36% do custo total, assumindo a liderança dentre as categorias de custo. Estes resultados podem ser explicados pelo CAGR elevado obtido entre 2012 e 2019 (16,89%) aliado a valores de CAGR reduzidos nas classes de custo mais importantes, referente a mão de obra (CAGR = 8,83%) e outros custos (CAGR = 11,11%). As classes de custo de mão de obra e outros custos eram líderes em relação ao custo total de produção no início da série histórica, representando respectivamente 34,83% e 29,94% do custo total em 2012. Porém, devido ao crescimento acelerado dos custos com insumos e CAGR mais baixos, mão de obra e outros fecharam o período de produção com representatividades do custo total de 22,78% e 26,75% respectivamente.

Integrando as análises ambiental e econômica, pode-se concluir que o crescimento dos custos de produção do tomate de mesa para os próximos anos está atrelado diretamente ao crescimento do uso de insumos, que são os principais causadores de impacto ambiental registrado pela ACV na cadeia do tomate de mesa. Além disso, o crescimento deste custo atrelado a grandes perdas registradas em anos anteriores pode colocar em questão a viabilidade econômica da cultura do tomate de mesa aos produtores.

Como solução para esta problemática, deve ser considerada a implementação de novos sistemas produtivos para o tomate de mesa, como por exemplo o cultivo protegido. Diversos trabalhos, como o de Del Santo e Patino (2019) e Luz *et. al* (2007), mostram que este modelo de produção apresenta potencial de redução dos custos referentes a insumos, reduzindo o impacto ambiental destes materiais como comprovado no trabalho de Zarei *et.*

al (2017), onde os insumos utilizados para a adubação e manejo de pragas apresentam impacto ambiental consideravelmente reduzido.

Porém, o uso de infraestrutura para a viabilização deste tipo de manejo faz com que os *inputs* desta categoria tenham impacto ambiental relevante. Para avaliar de forma consistente estes resultados, faz-se necessário a aplicação de uma ACV para o modelo de cultivo protegido no Brasil, possibilitando a comparação entre os sistemas produtivos dentro do país para a tomada de decisão e divulgação como ferramenta de *marketing* como estratégia futura. Além disso, recomenda-se trabalhos realizados em campo com dados coletados *in loco* (primários) e estudos mais aprofundados em viabilidade econômica para confirmação deste resultados.

7. REFERÊNCIAS

ACV Brasil. SimaPro, 2020. Disponível em: <<https://acvbrasil.com.br/software/simapro>>. Acesso em: 12 nov. 2020

ACV Brasil. Ecoinvent, 2020. Disponível em: <<https://acvbrasil.com.br/software/ecoinvent>>. Acesso em: 12 nov. 2020.

ALVARENGA, M. A. R. Tomate: Produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia. 2 ed., Lavras: Embrapa Hortaliças, 2013.

ARAUJO, J. L. P.; CORREIA, R. C.; RAMALHO, P. J. P. Análise dos custos de produção e rentabilidade da cultura do tomateiro na região do Submédio São Francisco. XLVI Congresso Brasileiro de Olericultura, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. Tomate lidera crescimento e lucratividade no setor de hortaliças, 2012. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/releases/284/tomate-lidera-crescimento-e-lucratividade-no-setor-de-hortalicas->>. Acesso em: 02 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISSO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e Estrutura. 21p. Rio de Janeiro, 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISSO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. 46p. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTURA ORGÂNICA. Agricultura Orgânica, 2020. Disponível em: <http://aao.org.br/aao/agricultura-organica.php#:~:text=Agricultura%20Org%C3%A2nica%20%C3%A9%20um%20processo,biodiversidade%20pr%C3%B3pria%20de%20cada%20contexto>>. Acesso em: 01 dez. 2020.

BANCO CENTRAL DO BRASIL, Cotações e Boletins, Brasília, 2020.

BOTEON, M.; DELEO, J. P. B.; MOREIRA, M. M. Tomaticultura em números. Hortifruti Brasil, Piracicaba, v.19, n.201, p. 13-18, jun.2020. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/especial-tomate-impactos-covid-19-nos-curto-e-medio-prazos.aspx>>. Acesso em: 25 out. 2020.

BOJACÁ, C. R.; WYCKHUYS, K. A. G.; SCHREVEENS; E. Life cycle assessment of Colombian greenhouse tomato production based on farmer-level survey data. Journal of Cleaner Production, n. 69, p. 26-33, 2014

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 2001. 200p.

CAMARGO FILHO, W. P.. ET. AL Evolução da produção de tomate no Brasil. Agricultura em São Paulo, São Paulo, v.41, n.1 p. 41-69, 1994. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/ASP4-0194.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2020.

CAMARGO FILHO, W. P. de; CAMARGO, F. P. de. Evolução das cadeias produtivas de tomate industrial e para mesa no Brasil, 1990-2016. Informações Econômicas, São Paulo, v. 47, n.1, p.51-59, jan.-mar. 2017. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/ie/2017/tec4-0117.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2020.

CANELLAS, L. C.; BASSO, F. Histórico. 2001. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/afeira/materias-primas/hortalicas/tomate>>. Acesso em: 31 out. 2020.

CARVALHO, C. R. F. ET. AL. Levantamento dos agrotóxicos e manejo na cultura do tomateiro no município de Cambuci-RJ. *Ciência Agrícola*, Rio Largo, v. 14, n. 1, p. 15-28, 2016.

CHEHEBE, J. R. *Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial ISO 14000*. QualitymarkEd., 1ª Ed. Rio de Janeiro, 1997.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Tomate: Análise dos Indicadores da Produção e Comercialização no Mercado Mundial, Brasileiro e Catarinense*. Compêndio de Estudos Conab / Companhia Nacional de Abastecimento, v. 21, Brasília, 2018.

COLTRO, L. *Avaliação do Ciclo de Vida – ACV. Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão*, p.7-13, Campinas, 2007. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33877403/ACV_como_ferramenta_de_gestao.pdf?1401956322=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DACV_como_ferramenta_de_gestao.pdf&Expires=1606704441&Signature=RbbzgRCqnRoOibLIMB6zS~s91NgISj2r7aAZRjlqoKySCuLcJq5igxCjx2iSM5QISoCMdS071SUAg-2DRNv9Oc4J9WDgKICXU4FZjaFjUscxjyXI3zFVjnncp3NCI-XAsayH1yobcq7svs2kPpBUOXsKRVmepPhFSoiJ2D~Nr4YihlumpkWbV5T-LJpBEnqIOXRkV0MqfQzWgiBtpDtiietaAEqchd-yr8aXLxuQKUDMFr7UVVDOMgsQPLMnm086YHpmYrVUDfXgxTLRJOck~SYSDKVe29zV2g7gBEYaif2lajogcaMW~e-8kB9q4VGZ-nzLLA207odGsJf-575LRCA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=10>. Acesso em: 05 nov. 2020.

ÇETIN, B.; VARDAR, A. An economic analysis of energy requirements na input costs for tomato production in Turkey. *Renewable energy*, v. 33, p.428-433, abr. 2007.

DALL'AGNOL, Amélio. *Fertilizantes: o risco da excessiva dependência*, jun. 2020. Disponível em: <<https://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2020/06/01/fertilizantes-o-risco-da-excessiva-dependencia/#:~:text=de%20fertilizantes%20importados.-,Cerca%20de%2075%25%20do%20que%20consome%20%C3%A9%20importado%2C%20sendo%20o,China%2C%20%C3%8Dndia%20e%20Estados%20Unidos.&text=Segundo>>

%20o%20Minist%C3%A9rio%20do%20Desenvolvimento,brasileiras%20de%20fertilizantes%20cresceram%20105%25.>. Acesso em: 20 nov. 2020.

DEL SANTO, R. A.; PATINO, M. T. O. Avanços e desafios na tecnologia de produção de tomate de mesa: Uma comparação entre Brasil e México. In: XXVII Congresso de Iniciação Científica da UNICAMP, Campinas.

DELEO, J. P. B. Custo de produção de tomate em Caçador (SC) – Grande Escala. Hortifruti Brasil, Piracicaba, v.12, n.124, p. 14-15, jun. 2017.

DELEO, J. P. B.; BOTEON, M. Custo de produção de tomate em Caçador (SC) – Grande Escala. Hortifruti Brasil, Piracicaba, v.16, n.168, p. 14-15, jun. 2013.

DELEO, J. P. B. ET. AL. Custo de produção de tomate em Caçador (SC) – Grande Escala. Hortifruti Brasil, Piracicaba, v.18, n.190, p. 16-17, jun. 2019.

DELEO, J. P. B. ET. AL. Custo de produção de tomate em Mogi Guaçu (SP). Hortifruti Brasil, Piracicaba, v.18, n.190, p. 12-13, jun. 2019.

DELEO, J. P. B. ET. AL. Custo de produção de tomate em Caçador (SC) – pequena escala. Hortifruti Brasil, Piracicaba, v.18, n.190, p. 14-15, jun. 2019.

DELEO, J. P. B.; JUNIOR, J. de S. B.; PARANHOS, G. G. Custo de produção de tomate em Caçador (SC) – Grande Escala. Hortifruti Brasil, Piracicaba, v.15, n.157, p. 18-19, jun. 2016.

DELEO, J. P. B.; TANUS, T. C. T.; BOTEON, M. Custo de produção de tomate em Caçador (SC) – Grande Escala. Hortifruti Brasil, Piracicaba, v.14, n.145, p. 24-25, jun. 2015.

DOERING, O. C. Accounting for tillage equipment and other machinery in agricultural energy analysis. Indiana: Agricultural Experimental Station, Purdue University, National Science Foundation / RA – 770128, 1977.

DOSSA, D.; FUCHS, F. TOMATE: Análise Técnico-Econômica e os Principais Indicadores da Produção nos Mercados Mundial, Brasileiro e Paranaense. Ceasa, Agosto 2017. Disponível em: <http://www.ceasa.pr.gov.br/arquivos/File/BOLETIM/Boletim_Tecnico_Tomate1.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2020.

EMBRAPA. A Cultura do Tomate: Adubação. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/tomate-de-mesa/adubacao#:~:text=Em%20se%20tratando%20o%20tomateiro,entre%2030%20e%2060%20DAT.>>. Acesso em: 01 nov. 2020.

EMBRAPA. A Cultura do Tomate: Características. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/tomate-de-mesa/caracteristicas>>. Acesso em: 01 nov. 2020.

EMBRAPA. A Cultura do Tomate: Cultivares. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalicas/tomate-de-mesa/cultivares2>>. Acesso em: 01 nov. 2020.

FAO. FAOSTAT: Crops. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 29 out. 2020.

FAO. FAOSTAT: Rankings: Commodities By Country. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/commodities_by_country>. Acesso em: 21 jun. 2020.

FAO. FAOSTAT: Rankings: Country by Commodities. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity>. Acesso em: 03 nov. 2020.

FAO. FAOSTAT: Rankings: Country by Commodity Imports. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity_imports>. Acesso em: 03 nov. 2020.

FAO. FAOSTAT: Rankings: Country by Commodity Exports. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity_exports>. Acesso em: 03 nov. 2020.

FAYAD, J. A. ET AL. Crescimento e produção do tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. Horticultura brasileira, Brasília, v. 19, n. 3, p. 232-237, novembro 2001.

FIRA. Panorama Agroalimentario - Tomate Rojo 2016. Cidade do México, 2017

GLOBALTRADE. Turkey emerges as the largest producer of tomatoes in the Middle East, mar. 2020. Disponível em: <<https://www.globaltrademag.com/turkey-emerges-as-the-largest-producer-of-tomatoes-in-the-middle-east/>>. Acesso em: 03 nov. 2020.

HATIRLI, S. A.; OZKAN, B.; FERT, C. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renewable energy, v. 31, p.427-438, mai. 2005.

HELSEL, Z.R. 1992. Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use. In: R.C. Fluck, (ed.), Energy in world agriculture, 6. Elsevier Science Publishing. p.177–210.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <<https://IBGE.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>>. Acesso em: 09 out. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Produção Agrícola Municipal - Série Histórica completa. 1974-2016. Disponível em: <<https://IBGE.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 20 jun. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. O que é Avaliação de Ciclo de Vida, 2020. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/acv/o-que-e-o-acv/>>. Acesso em: 18 jul. 2020.

LIMA, Gabriel. Redução de área plantada e chuvas causam alta recorde do tomate. G1, Goiânia, abr. 2013. Disponível em: < <http://g1.globo.com/goias/noticia/2013/04/maior-produtor-de-tomate-do-pais-goias-nao-escapa-de-alta-recorde.html>>. Acesso em: 01 set. 2020.

LUCIDARME, Martin; VIEIRA, M. L. C. Mapa de uso dos cultivares de tomate no Brasil. 2018. 65f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LUZ, J.M.Q.; SHINZATO, A.V.; SILVA, M.A.D. Comparação dos sistemas de produção de tomate convencional e orgânico em cultivo protegido. Biocience Journal, v.23, n.2, p.7- 15, 2007.

MELO, P.C.T.; VILELA, N.J. Desafios e perspectivas para a cadeia brasileira do tomate para processamento industrial. Horticultura Brasileira, Brasília, v.23, n.1, p.154-157, jan.-mar. 2005.

MUNIZ, V.C.F. Análise da Fundamentação da Avaliação do Ciclo de Vida Consequencial. 2012. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

NUEVO, P. A. S. Aspectos da cadeia agroindustrial do tomate no Brasil. Informações Econômicas, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 31-46, fev. 1994.

PALGIUCA, L. G.; DELEO, J. P. B. Custo de produção do tomate em Caçador (SC) – Grande Escala. Hortifruti Brasil, Piracicaba, v.13, n.134, p. 20-21, mai. 2014.

PALGIUCA, L. G.; DELEO, J. P. B. Custo de produção do tomate em Mogi Guaçu (SP). Hortifruti Brasil, Piracicaba, v.13, n.134, p. 16-17, mai. 2014.

PAREDE, J. T. ET. AL. TOMATE/CEPEA: Preços despencam nas roças. Hortifruti Brasil, out. 2019. Disponível em: < <https://www.hfbrasil.org.br/br/tomate-cepea-precos->

despencam-nas-rocas.aspx>. Acesso em: 31 out. 2020.

PIMENTEL, D.; HALL C. W. Food and energy resources. London: Academic Press. INC., 1984. 268p.

ROSA, D. F. M. Avaliação de Ciclo de Vida da castanha e do tomate em Portugal. 2014. 90f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Gestão do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal.

ROY, P. ET. AL. Life cycle inventory analysis of fresh tomato distribution systems in Japan considering the quality aspect. Journal of Food Engineering, n.86, p.225-233, 2008.

SANTOS, L. P. Agricultura convencional x orgânica: há um sistema intermediário entre elas?, 2016. Disponível em: <<http://diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=33644&secao=Artigos%20Especiais>>. Acesso em: 01 dez. 2020.

SCHMIDT, D. ET. AL. Caracterização fenológica, filocrono e requerimento térmico de tomateiro italiano em dois ciclos de cultivo. Horticult. Bras., v.35, n.1, p. 89-96, jan.-mar. 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/hb/v35n1/1806-9991-hb-35-01-00089.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2020.

SERRA, G. E.; MOREIRA, J. R.; GOLDEMBERG, J.; HEEZEN, A. M. Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas. São Paulo: Secretaria de Tecnologia Industrial, Ministério da Indústria e Comércio, 1979. 86p.

SILVA, B. A. ET. AL. Cultivo Protegido: em busca de mais eficiência produtiva! Hortifruti Brasil, Piracicaba, v. 12, n. 132, p.10, mar. 2014.

STOUT, B. A. Energy for world agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. 286p. FAO Agriculture Series N°. 7

TEIXEIRA, C. A. T. ET. AL. Balanço energético de uma cultura de tomate. Revista Brasileira

de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9, n.3, p.429-432, fev. 2005.

ZAREI, M.J.; KAZEMI, N.; M., A. Life cycle environmental impacts of cucumber and tomato production in open-field and greenhouse. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, v.18, p.249-255, 2017.