Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Doutorado

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA EM CERVEJARIAS ARTESANAIS

por

Daniel de Paula Diniz

Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para obtenção de grau de Doutor.

João Pessoa – Paraíba **julho, 2024**

DANIEL DE PAULA DINIZ

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA EM CERVEJARIAS ARTESANAIS

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Doutor.

Orientadora: Profª PhD Monica Carvalho

João Pessoa – Paraíba **julho, 2024**

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

D585a Diniz, Daniel de Paula.
Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida em cervejarias artesanais / Daniel de Paula Diniz. - João Pessoa, 2024.
127 f. : il.

Orientação: Monica Carvalho.
Tese (Doutorado) - UFPB/CT.

1. Cerveja. 2. Objetivos do desenvolvimento sustentável. 3. Mobilidade elétrica. I. Carvalho, Monica. II. Título.

UFPB/BC CDU 663.4(043)

Elaborado por CHRISTIANE CASTRO LIMA DA SILVA - CRB-15/865

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA EM CERVEJARIAS ARTESANAIS

por

DANIEL DE PAULA DINIZ

Tese aprovada em 23 de julho de 2024

Profa. Dra. Monica Carvalho
Orientadora – UFPB

Prof. Dr. Luiz Moreira Coelho Junior
Examinador Interno – UFPB

Prof. Dr. Raphael Abrahao
Examinador Interno – UFPB

Profa. Dra. Andréa Oliveira Nunes
Examinador Externo – UFRN

Prof. Dr. Marcell Mariano Correa Maceno
Examinador Externo – UFPR

João Pessoa - PB *2024*

“A alegria não chega apenas no encontro do achado, mas faz parte do processo da busca.

E ensinar e aprender não pode se dar fora da procura, fora da boniteza e da alegria”.

Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, Monica Carvalho, que desde o mestrado me acolheu nessa jornada de pesquisa acadêmica, agora, com a finalização do doutorado, tenho mais uma etapa de vida completa, a qual não seria possível sem a sua participação.

A Universidade Federal da Paraíba que por meio do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica possibilitou que esse trabalho fosse realizado, com um agradecimento especial ao corpo docente, técnicos administrativos e pessoal terceirizado desse departamento.

Quero agradecer a minha família, minha mãe Zélia, meu pai Edimundo e minha irmã Carolina a qual foi a principal incentivadora desde início da minha pesquisa no mestrado, o qual resultou esse trabalho de doutorado

Quero agradecer minha companheira Candice Didonet por toda força e incentivo que me deu nessa caminhada, sem sua companhia essa jornada teria sido muito mais dura.

Por fim, quero agradecer ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio da bolsa de doutorado nº 141303/2021-2, sem esse apoio, seria impossível realizar o doutorado.

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA EM CERVEJARIAS ARTESANAIS

RESUMO

A cerveja é a bebida alcoólica mais consumida no mundo e o Brasil é o terceiro maior produtor mundial. Com uma cultura cervejeira cada vez mais forte, o número de cervejarias artesanais vem crescendo no país ano após ano, chegando a mais de 1.700 cervejarias espalhadas em todos os estados da federação. Esse crescimento no número de estabelecimentos cervejeiros, traz consigo potenciais impactos ambientais, econômicos e sociais. Na busca da mitigação desses impactos, a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) é uma poderosa ferramenta para identificação de pontos críticos "*hotspots"* que ocorrem em diferentes etapas dos processos de fabricação da cerveja artesanal. O objetivo desse trabalho foi a aplicação da metodologia da ASCV utilizando como estudo de caso uma cervejaria artesanal instalada no Nordeste brasileiro. A Revisão Sistemática desenvolvida nesse trabalho não encontrou nenhum estudo publicado sobre o tema de ASCV em cervejarias. A ASCV utilizada nesse trabalho utiliza três metodologias que se baseiam no tripé da sustentabilidade (ambiental, econômico e social). A Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental (ACV) identificou que o principal *hotspot* ambiental foi a fase de distribuição da cerveja artesanal para seus pontos de venda dentro e fora da cidade, representando cerca de 83% das emissões totais. Uma proposta de mitigação apresentada foi a utilização de veículos elétricos para distribuição. Essa ação traria grandes benefícios ambientais, por exemplo, no indicador Mudanças Climáticas, o valor passou dos atuais 2,46 kg CO_2 eq/l para 0,65 kg CO_2 eq/l com a adoção da mobilidade elétrica. A Avaliação dos Custos do Ciclo de Vida (CCV) analisou os potenciais impactos econômicos na produção de cerveja artesanal. Aqui, o maior custo atrelado ao ciclo de vida da cerveja foi no custo de gerenciamento, mais precisamente nos impostos pagos pelas cervejarias artesanais. A Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) encontrou que o principal ponto crítico foi a obtenção do malte nacional. Dentro desse processo, a fase da agricultura da cevada foi a mais impactante. Os resultados desse estudo mostram que para cada esfera da sustentabilidade existem diferentes *hotspots* nos processos envolvidos no ciclo de vida da cerveja. A proposição de medidas de mitigação desses impactos é particular em cada esfera, onde a soma dessas ações aumentam o grau de sustentabilidade do ciclo de vida como um todo.

Palavras-chave – Cerveja, Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, Mobilidade Elétrica.

LIFE CYCLE SUSTAINABILITY ASSESSMENT IN CRAFT BREWERIES

ABSTRACT

Beer is the most widely consumed alcoholic drink in the world and Brazil is the world's third largest producer. With an increasingly strong beer culture, the number of craft breweries in the country has been growing year after year, reaching more than 1,700 breweries spread across all the states of the federation. This growth in the number of brewing establishments brings with it potential environmental, economic and social impacts. In the quest to mitigate these impacts, Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) is a powerful tool for identifying critical hotspots that occur at different stages of the craft brewing process. The objective of this work was the application of the ASCV methodology to a case study of a craft brewery in the northeast of Brazil. The Systematic Review carried out in this paper did not find any published studies on the subject of LCSA in breweries. The LCSA used in this work uses three methodologies based on the sustainability tripod (environmental, economic and social). Environmental Life Cycle Assessment (LCA) was identified that the main environmental hotspot was the distribution phase of the craft beer to its points of sale inside and outside the city, accounting for 83% of total emissions. One mitigation proposal put forward was the use of electric vehicles for distribution.This action would bring great environmental benefits, for example, in the Climate Change indicator, the value went from the current 2.46 kg CO2 eq. to 0.65 kg CO2 eq. with the adoption of electric mobility.The Life Cycle Cost Assessment (LCC) analyzed the potential economic impacts of craft beer production. Here, the biggest cost linked to the life cycle of beer was the cost of management, more precisely the taxes paid by craft breweries. The Social Life Cycle Assessment (S-LCA) was found that the main critical point was obtaining national malt. Within this process, the barley farming phase was the most impactful. The results of this study show that for each sphere of sustainability there are different hotspots in the processes involved in the beer life cycle. The proposal of measures to mitigate these impacts is particular to each sphere, where the sum of these actions increases the degree of sustainability of the life cycle as a whole.

Keywords – Beer, Sustainable Development Goals, Electric Mobility.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO..... 16

CAPÍTULO II – OBJETIVOS..... 18
2.1 Objetivo Principal..... 18
2.2 Objetivos Específicos..... 18

CAPÍTULO III – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 19
3.1 Sustentabilidade e o Desenvolvimento Sustentável..... 19
3.2 Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida..... 22
3.2.1 Avaliação do Ciclo de Vida..... 23
3.2.1.1 Objetivo e Escopo..... 24
3.2.1.2 Inventário do Ciclo de Vida..... 25
3.2.1.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida..... 27
3.2.1.4 Interpretação do Ciclo de Vida..... 28
3.2.2 Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental..... 28
3.2.3 Avaliação do Custo do Ciclo de Vida..... 31
3.2.4 Avaliação do Ciclo de Vida Social..... 32
3.2.5 Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida..... 35
3.3 Cerveja Artesanal..... 38
3.3.1 História da Cerveja no Brasil..... 38
3.3.2 Mercado das Cervejas Artesanais..... 39
3.3.3 Ingredientes e Processo Produtivo..... 40

CAPÍTULO IV – REVISÃO SISTEMÁTICA DA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA EM CERVEJARIAS (ARTIGO)..... 46

CAPÍTULO V – REPERCUSSÕES AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL NO NORDESTE BRASILEIRO (ARTIGO)..... 61

CAPÍTULO VI – CUSTOS ECOLÓGICOS EM UMA MICROCERVEJARIA NO NORDESTE BRASILEIRO (ARTIGO)..... 78

CAPÍTULO VII – ACESSANDO AS CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICAS DA PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL NO NORDESTE BRASILEIRO (ARTIGO)..... 91

CAPÍTULO VIII – CONCLUSÕES..... 114

REFERÊNCIAS..... 116

APÊNDICE..... 125

ANEXOS..... 130

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Estrutura iterativa da Avaliação do Ciclo de Vida..... 24
Figura 3.2. Fluxograma dos procedimentos simplificados para análise do inventário do ciclo de vida..... 27
Figura 3.3. Categorias *midpoint* e *endpoint* de potenciais impactos ambientais..... 31
Figura 3.4. Fluxograma básico da produção de cerveja artesanal..... 43

ARTIGO: **REVISÃO SISTEMÁTICA DA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA EM CERVEJARIAS**

Figura 4.1. Fluxograma Prisma de identificação de estudos por meio de banco de dados e registros..... 53
Figura 4.2. Quantidade de publicações por ano..... 55
Figura 4.3. Distribuição geográfica dos estudos publicados..... 55

ARTIGO: **REPERCUSSÕES AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL NO NORDESTE BRASILEIRO**

Figura 5.1. Estágios do Ciclo de Vida da produção da cerveja artesanal puro malte..... 66
Figura 5.2. Impactos ambientais atuais da cervejaria distribuídos por processos e materiais……..……. 71

ARTIGO: **CUSTOS ECOLÓGICOS EM UMA MICROCERVEJARIA NO NORDESTE BRASILEIRO**

Figura 6.1. Processos e materiais considerados nos estudos de impactos ambientais e econômicos..... 82
Figura 6.2. Potencial de Aquecimento Global atual da cervejaria distribuído por processos e materiais..... 85

ARTIGO: **ACESSANDO AS CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICAS DA PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL NO NORDESTE BRASILEIRO.**

Figura 7.1. Indicadores ambientais (mudanças climáticas, esgotamento abiótico e esgotamento abiótico – combustíveis fósseis) agrupados por porcentagem dos diferentes processos da fabricação e distribuição de 1 litro de cerveja artesanal..... 97

Figura 7.2. Indicadores ambientais (destruição da camada de ozônio, radiação ionizante e formação fotoquímica do ozônio) agrupados por porcentagem dos diferentes processos da fabricação e distribuição de 1 litro de cerveja artesanal..... 97
Figura 7.3. Indicadores ambientais (toxicidade humana com efeitos cancerígenos e não cancerígenos, ecotoxicidade de água doce) agrupados por porcentagem dos diferentes processos da fabricação e distribuição de 1 litro de cerveja artesanal..... 98
Figura 7.4. Indicadores ambientais (acidificação, eutrofização terrestre, de água doce e marinha) agrupados por porcentagem dos diferentes processos da fabricação e distribuição de 1 litro de cerveja artesanal..... 98
Figura 7.5. Custos relativos a fabricação da cerveja artesanal..... 101
Figura 7.6. Contribuição percentual dos processos da fabricação de cerveja artesanal em cinco categorias de impactos sociais..... 103
Figura 7.7. Subcategorias referentes aos Direitos Trabalhistas e Trabalho Digno..... 105
Figura 7.8. Subcategorias referentes a categoria Saúde e Segurança..... 106
Figura 7.9. Subcategorias referentes a categoria Sociedade..... 107
Figura 7.10. Subcategorias referentes a categoria Sistema Legal..... 108
Figura 7.11. Subcategorias referentes a categoria Comunidade..... 109

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030..... 21
Tabela 3.2. Categorias de impacto ambiental e seus efeitos..... 27
Tabela 3.3. Categorias de impactos ambientais do ciclo de vida..... 29
Tabela 3.4. Partes interessadas e suas respectivas subcategorias da ACV-S..... 35
Tabela 3.5. Principais características das ACV ambiental, CCV econômico e ACV-S socialmente..... 38

ARTIGO: **REPERCUSSÕES AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL NO NORDESTE BRASILEIRO**

Tabela 5.1. Categorias de impactos do ciclo de vida, métodos utilizados e unidades..... 65
Tabela 5.2. Informações sobre as embalagens utilizadas pela microcervejaria..... 67
Tabela 5.3. Mix energético – Subsistema Nordeste do Brasil..... 68
Tabela 5.4. Quantificação dos impactos ambientais associados a fabricação de 1 litro de cerveja embalada em diferentes formatos..... 70
Tabela 5.5. Impactos ambientais da fabricação de 1 litro de cerveja em diferentes embalagens..... 72
Tabela 5.6. Comparativo dos impactos associados a distribuição de cerveja no modelo atual e na opção do uso de veículo elétrico..... 73

ARTIGO: **CUSTOS ECOLÓGICOS EM UMA MICROCERVEJARIA NO NORDESTE BRASILEIRO**

Tabela 6.1. Valores dos custos ambientais de diferentes categorias de impactos..... 84
Tabela 6.2. Valores dos parâmetros usados para o cálculo do Custo do Ciclo de Vida..... 84
Tabela 6.3. Custos do ciclo de vida da produção de cerveja total e por litro..... 84
Tabela 6.4. Resultados dos impactos ambientais da ACV por litro de cerveja embalada em diversos formatos..... 85
Tabela 6.5. Quantificação dos custos ecológicos com modelo de distribuição atual..... 86
Tabela 6.6. Quantificação dos custos ecológicos com a adoção da distribuição com veículo elétrico..... 86
Tabela 6.7. Quantificação dos custos ecológicos em diferentes tipos de embalagem..... 87
Tabela 6.8. Quantificação dos lucros/prejuízos com a internalização dos *ecocosts* pela microcervejaria..... 87
Tabela 6.9. Quantificação dos lucros/prejuízos com a internalização dos *ecocosts* pela

microcervejaria quando adotada a mobilidade elétrica para distribuição local..... 88

ARTIGO: **ACESSANDO AS CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICAS DA PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL NO NORDESTE BRASILEIRO.**

Tabela 7.1. Quantidades dos insumos utilizados anualmente pela microcervejaria e adotados no estudo...……..... 95

Tabela 7.2. Comparação dos valores das emissões referentes a 1 litro de cerveja artesanal embalada em diferentes formatos..……..... 99

Tabela 7.3. Custos referentes a produção anual de 180.000 litros de cerveja artesanal embalada em diferentes formatos..... 100

Tabela 7.4. *Ecocosts* referentes a fabricação de 1 litro de cerveja artesanal embalada em diferentes formatos..... 101

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

PCV – Pensamento do Ciclo de Vida

ASCV – Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

CCV – Avaliação do Custo do Ciclo de Vida

ACV-S – Avaliação do Ciclo de Vida Social

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

ISO – *International Organization for Standardization*

ONU – Nações Unidas

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

AICV – Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

ICV – Inventário do Ciclo de Vida

GEE – Gases do Efeito Estufa

UNEP – *United Nations Environment Programme*

MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a sociedade vem assimilando a ideia de que devemos utilizar os recursos naturais de uma forma sustentável para o planeta. Baseado nos princípios da sustentabilidade, neste momento surge uma nova forma de pensar dentro das esferas individuais, regionais, nacionais e até mesmos globais. Nas questões dos impactos humanos na sociedade, as dimensões sociais e econômicas possuem a mesma importância que a dimensão ambiental. Assim, as metodologias e ferramentas da área ambiental, de quantificação de impactos, estão em constante evolução e incorporando em suas bases as questões sociais e econômicas.

O Pensamento do Ciclo de Vida (PCV) propõe uma forma de pensamento que agrega os sistemas e preserva suas inter-relações, compreendendo o todo do sistema produtivo e identificando os pontos críticos "*hotspots"* em seus subsistemas, processos e fluxos (TAOUMI *et al.*, 2024). O PCV é uma abordagem sistêmica que serve para entendermos como diferentes escolhas influenciam o que acontece em cada uma das fases do ciclo de vida. O PCV parte de uma visão holística de uma atividade industrial: partindo desde a aquisição da matéria-prima, passando pelas etapas de fabricação, distribuição, uso e chegando em sua disposição final. A partir do PCV, várias metodologias de quantificação de impactos em diferentes áreas foram criadas (TAOUMI *et al.*, 2024).

Dentro das metodologias da área ambiental, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) trata das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ou serviço ao longo do seu ciclo de vida (TAOUMI *et al.*, 2024). A ACV tem como objetivo principal quantificar e qualificar todas etapas envolvidas, desde a aquisição de matéria-prima, como a extração de recursos naturais do solo, até a disposição final após o uso. A busca pelo maior número de informações sobre os processos envolvidos é de suma importância em um estudo de ACV, auxiliando a organização em sua futura tomada de decisão. A ACV não está preocupada apenas com as questões dos impactos ambientais gerados durante as etapas de fabricação de certo produto, mas também com as opções de matéria-prima, técnicas de manufatura e até com a fonte de energia utilizada, podendo quantificar, por exemplo, os benefícios de uma matéria-prima alternativa, técnicas mais modernas de manufatura ou a utilização de energia renovável em contrapartida com a energia elétrica convencional.

Ao se pensar em Desenvolvimento Sustentável, a metodologia da ACV, que foi planejada para avaliar os aspectos ambientais, é adaptada para avaliar também os aspectos econômicos e sociais dentro do ciclo de vida de produtos e serviços. Daí surgem duas novas metodologias denominadas: Custo do Ciclo de Vida (CCV) (LIU *et al.,* 2023) e a Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) (LINDKVIST *et al.,* 2023), preenchendo assim os três pilares do Desenvolvimento Sustentável: Ambiental (ACV), Econômico (CCV) e Social (ACV-S).

Quando as três metodologias são agregadas, a ambiental (ACV), a econômica (CCV) e a social (ACV-S) surge uma nova metodologia, denominada de Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV). Dentro dessa nova metodologia é necessário o levantamento de informações a respeito dos aspectos ambientais, econômicos e sociais envolvidos no ciclo de vida do produto, só assim é possível realizar uma análise criteriosa no estudo de ASCV (KLOEPFFER, 2008).

Sendo o Brasil o terceiro maior produtor de cerveja do mundo, ficando atrás apenas de China e Estados Unidos (STATISTA, 2023), a quantificação dos impactos ambientais, econômicos e sociais nesse ramo industrial se torna pertinente. O mercado brasileiro é dominado por dois gigantes do mercado cervejeiro mundial, a Ambev e a Heineken. O Grupo Petrópolis, único grupo 100% nacional está na terceira colocação no mercado de cervejas no Brasil. Como essas cervejarias possuem uma grande eficiência de escala, por exemplo, possuem condições de manter suas próprias estações de tratamento de resíduos, é importante analisar o grau de sustentabilidade das milhares de cervejarias de menor porte (que variam enormemente de escala entre si) instaladas no país. Vem sendo observado no mercado brasileiro um grande avanço no número de cervejarias artesanais, com cada estado da federação já possuindo pelo menos uma microcervejaria (MAPA, 2024). Como a produção da cerveja é uma grande consumidora de recursos naturais e energéticos (energias térmica e elétrica), é importante que os produtores adotem os conceitos de Desenvolvimento Sustentável em seus estabelecimentos.

Assim, o presente estudo busca oferecer um olhar sob a abordagem da ASCV no intuito de analisar a sustentabilidade da produção de cerveja artesanal, utilizando como estudo de caso uma microcervejaria instalada na região Nordeste do Brasil. Esse estudo busca não só analisar os impactos ambientais e socioeconômicos, como também propor medidas de mitigação para tais impactos. Esse trabalho teve o intuito de utilizar os dados obtidos em cada uma das avaliações de ciclo de vidas aplicadas (ambiental, econômica e social) realizando reflexões sobre as relações e influências de cada uma destas dimensões. Desta maneira, o resultado alcançado visa uma avaliação agregada de sustentabilidade para a cerveja artesanal brasileira, que a cada ano incorpora mais estabelecimentos produtores.

Este trabalho está baseado em um amplo inventário dos processos relacionados à produção de cerveja artesanal, desde a fase agrícola passando pela fase industrial, distribuição e descarte final. Dados da produção da cevada no Brasil e na Europa para posterior produção de malte foram contemplados, assim como o cultivo e processamento do lúpulo, que também é importado da Europa. Os custos da operação da microcervejaria (matéria-prima, água, energia, distribuição, descarte final e gerenciamento) foram levados em conta. Aqui também foram inseridos os Custos Ecológicos, ou *ecocosts*, que são os custos em valores monetários das emissões ambientais da produção da cerveja artesanal. O inventário foi produzido a partir de visitas técnicas com entrevistas

com os responsáveis de cada setor da cervejaria, e também através de banco de dados específicos, sendo utilizado um banco de dados para os impactos ambientais e outro para os impactos sociais. A partir desses dados, este trabalho buscou demonstrar quais processos e atividades mais influenciaram nos impactos ambientais, econômicos e sociais do ciclo de vida da cerveja artesanal. Buscou-se destacar os pontos críticos, ou "*hotspots"*, nas três dimensões avaliadas (ambiental, econômica e social) em cada etapa aqui contemplada (fase agrícola, industrial, transportes, descarte) que demandam melhorias para uma maior sustentabilidade da produção da cerveja.

Este trabalho buscou apresentar como os principais processos e atividades se integram na busca da sustentabilidade da cerveja artesanal. Conclusões baseadas nas quantificações e avaliações dos principais impactos (ambientais, econômicos e sociais) auxiliarão nas futuras tomadas de decisão de como planejar não só a melhor forma de participação dos atores envolvidos, como também, uma maneira mais sustentável para produção da cerveja artesanal, buscando a mitigação dos impactos existentes em sua cadeia produtiva.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Analisar a sustentabilidade da produção de cerveja artesanal com o emprego da Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV), utilizando como estudo de caso uma microcervejaria instalada no Nordeste brasileiro.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma revisão sistemática a respeito da Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida em Cervejarias;
- Realizar um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental (ACV) da produção e distribuição de cerveja artesanal no Nordeste brasileiro;
- Realizar um estudo agregando o Custo do Ciclo de Vida (CCV) com a ACV ambiental da produção e distribuição de cerveja artesanal no Nordeste brasileiro;
- Realizar um estudo de Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV), agregando a Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) com o CCV (econômico) e a ACV (ambiental) da produção e distribuição de cerveja artesanal no Nordeste brasileiro.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Com o intuito de facilitar o entendimento do desenvolvimento desse trabalho, é necessário explicar todos os assuntos relacionados ao tema abordado. Com esse objetivo, esta revisão de conteúdo englobará ideias e conceitos que dizem respeito ao estudo da verificação da sustentabilidade da cerveja artesanal brasileira com a utilização da ASCV e seus componentes ambientais, econômicos e sociais.

Primeiramente vai ser proposta uma discussão a respeito da sustentabilidade, contextualizando itens como: conceito, requisitos e formas de medição através de indicadores. A seguir, buscará discutir como essa abordagem da sustentabilidade se adéqua à metodologia normalizada da ACV ambiental. Serão abordados os conceitos da ACV ambiental, do CCV econômico e da ACV-S social. Após será discutida a forma de ASCV utilizada nesse estudo, sendo esse um novo olhar baseado no tripé da sustentabilidade, analisando o ciclo de vida da cerveja artesanal para além da dimensão ambiental, englobando também a econômica e a social.

Também será evidenciada a história da cerveja no Brasil, assim como o movimento das cervejarias artesanais com uma explanação das principais etapas de sua fabricação.

3.1 SUSTENTABILIDADE E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A sustentabilidade é um conceito muito abrangente que tem como ideal atender às necessidades do tempo presente sem comprometer a capacidade das próximas gerações de atenderem suas próprias necessidades (KLOEPFFER, 2008). O conceito de sustentabilidade envolve uma abordagem integrada, considerando fatores ambientais, econômicos e sociais. De acordo com Kloepffer (2008), os requisitos da sustentabilidade deverão ser atingidos através do estabelecimento destes em todos os níveis da sociedade, incluindo as esferas nacional, regional e global.

A ideia de sustentabilidade não se concentra apenas na questão da preservação dos recursos naturais, contempla também questões como a pobreza no mundo e as limitações que o estágio atual da tecnologia e das organizações sociais impõe ao meio ambiente, impedindo esse de atender às necessidades futuras da humanidade (SOUZA, 2000). Essa ideia foi levantada pela primeira vez em 1987 pela *World Comission on Environment and Development* (WCED) que é a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. A WCED publicou o trabalho intitulado: *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum), que também é conhecido como “Relatório Brundlant” em homenagem à primeira-ministra da Noruega Gro Harlem Brundlant, que chefiou a comissão WCED

na época (SUSTAINABLE DEVELOPMENT COMISSION, 2011). Neste encontro, realizado em outubro de 1987, teve como resultado a concepção do conceito de Desenvolvimento Sustentável:

> "O desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades, significa possibilitar que as pessoas, agora e no futuro, atinjam um nível satisfatório de desenvolvimento social e econômico e de realização humana e cultural, fazendo, ao mesmo tempo, um uso razoável dos recursos da terra e preservando as espécies e os habitats naturais." (SUSTAINABLE DEVELOPMENT COMISSION, 2011)

Observando o conceito apresentado, a sustentabilidade se baseia na utilização dos recursos naturais de uma maneira responsável. Os recursos naturais, nas dimensões ecológica, social, econômica, geográfica e cultural, devem ser ofertados de forma equânime para as atuais e futuras gerações da humanidade. Esse ideal teve seus princípios anunciados pela primeira vez em 1972 na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente em Estocolmo, onde foi levantada a questão da necessidade de um "Ecodesenvolvimento". Este conceito acabou não se fortalecendo, pois levantou a questão de que a contemplação das cinco dimensões (ecológica, social, econômica, geográfica e cultural), acompanhado da globalização, implicaria num desenvolvimento que respondesse não só as variáveis endógenas, como também as variáveis exógenas (MEDRANO, 2007).

Cinco anos após a concepção do "Relatório Brundlant", durante a Conferência Mundial de Meio Ambiente ocorrida no Rio de Janeiro, a Eco-92, o conceito de desenvolvimento sustentável foi modificado para:

> "É o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades" (SUSTAINABLE DEVELOPMENT COMISSION, 2011).

Com um sentido mais amplo, este segundo conceito visa buscar uma promoção da harmonia entre os seres humanos e entre a humanidade e a natureza, trazendo assim um desenvolvimento sustentável para todos. Essa concepção foi alicerçada nas três dimensões: ambiental, econômica e social, sendo que o embasamento nestas três foi bem mais aceito por todas partes envolvidas e pelos governos participantes da construção desta nova forma de pensar o desenvolvimento sustentável (SUSTAINABLE DEVELOPMENT COMISSION, 2011).

Os três pilares da sustentabilidade estão interconectados complementando um ao outro. O pilar ambiental busca a preservação e restauração dos ecossistemas e o uso responsável dos recursos naturais, evitando a superexploração e a degradação ambiental. Busca também a redução da poluição e o combate às mudanças climáticas, mitigando as emissões dos gases do efeito estufa (GEE) (TRAVERSO *et al.*, 2012).

O pilar econômico busca um crescimento econômico sustentável, promovendo um crescimento que seja inclusivo, equitativo e respeitoso aos limites naturais com a criação de empregos e inovações tecnológicas que promovem práticas sustentáveis. Também busca o incentivo ao desenvolvimento econômico local, reduzindo as disparidades regionais e promovendo oportunidades econômicas para todos (TRAVERSO *et al.*, 2012).

O pilar social busca a melhoria da qualidade de vida, com a garantia de acesso a educação, saúde, moradia digna e saneamento básico. Também busca a equidade e justiça social, com a redução das desigualdades, a garantia dos direitos humanos e o fortalecimento das comunidades, promovendo a inclusão de todos grupos sociais nos processos de tomada de decisões (UNEP, 2011).

O Desenvolvimento Sustentável é uma abordagem holística que busca construir um futuro equilibrado e equitativo para as pessoas e para o planeta, buscando garantir que o crescimento econômico não venha as custas do meio ambiente ou do bem-estar social. Em 2015, as Nações Unidas (ONU) adotaram a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, incluindo 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) com um total de 169 metas associadas a eles. Esses objetivos abordam uma ampla gama de questões como a erradicação da pobreza, saúde e bem-estar, educação de qualidade, igualdade de gênero, água limpa e saneamento, energia acessível e limpa, trabalho decente e crescimento econômico a fim de proteger o planeta e garantir que todas as pessoas desfrutem de paz e prosperidade até 2030. Na Tabela 3.1 está uma descrição de cada um dos 17 ODS (ONU, 2024).

Tabela 3.1. Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030.

ODS	Objetivo
1. Erradicação da Pobreza	Erradicar a pobreza em todas as suas formas e em todos lugares.
2. Fome Zero e Agricultura Sustentável	Erradicar a fome, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável.
3.Saúde e Bem-Estar	Garantir o acesso à saúde de qualidade e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.
4. Educação de Qualidade	Garantir o acesso à educação inclusiva, de qualidade e equitativa, promovendo oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.
5. Igualdade de Gênero	Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas.
6. Água Potável e Saneamento	Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos.
7. Energia Limpa e Acessível	Garantir o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas para todos.
8. Trabalho Decente e Crescimento Econômico	Promover o crescimento econômico inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o

	trabalho digno para todos.
9. Indústria, Inovação e Infraestrutura	Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e fomentar a inovação.
10. Redução das Desigualdades	Reduzir as desigualdades no interior dos países e entre países.
11. Cidades e Comunidades Sustentáveis	Tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.
12. Consumo e Produção Responsáveis	Garantir padrões de consumo e produção sustentáveis.
13. Ação Contra a Mudança Global do Clima	Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos.
14. Vida na Água	Conservar e usar de forma sustentável os oceanos, mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.
15. Vida Terrestre	Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade.
16. Paz, Justiça e Instituições Eficazes	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas a todos os níveis.
17. Parcerias e Meios de Implementação	Reforçar os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável são interligados e projetados para serem um plano abrangente com o intuito de melhorar a vida das pessoas e proteger o planeta, mas que exige esforços coordenados e colaborativos nos níveis local, nacional e global (ONU, 2024).

O presente trabalho busca alinhamento com três ODS, sendo eles: ODS 7 – Energia limpa e Acessível, ODS 9 – Indústria, Inovação e Infraestrutura, ODS 12 – Consumo e produção responsáveis e ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima.

3.2 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA (ASCV)

A ASCV é uma metodologia que busca verificar o nível de sustentabilidade de um produto, serviço ou processo dentro do seu ciclo de vida. Esta metodologia deriva da Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental (ACV), onde, para que a questão do Desenvolvimento Sustentável seja alcançada, a ACV foi repensada englobando os aspectos econômicos e sociais (UNEP, 2011). Desta forma, se baseando nos princípios da sustentabilidade, houve a incorporação das metodologias denominadas: Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (CCV) e a Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S). Assim,

a ASCV acabou sendo denominada como a soma da ACV ambiental, o CCV econômico e a ACV-S social (UNEP, 2011).

Para uma melhor compreensão do que se trata a ASCV, será realizada uma contextualização de cada uma das metodologias integrantes (ACV, CCV e ACV-S) separadamente. Primeiramente será realizada uma análise da ACV baseada nas normas ABNT NBR ISO 14040:2014 e ABNT NBR ISO 14044:2014 (últimas versões atualizadas) que definem os princípios, estrutura, requisitos e orientações da Avaliação do Ciclo de Vida.

3.2.1 Avaliação do Ciclo de Vida

A Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental (ACV) é considerada uma metodologia estado da arte para quantificação de cargas ambientais. A ACV pode quantificar os potenciais impactos ambientais associados a diferentes processos, produtos e serviços. Os primeiros estudos envolvendo ACV foram realizados na década de 1960-1970, com abordagens relacionadas aos impactos ambientais de produtos. Historicamente considera-se como primeira ACV a desenvolvida pela Coca-Cola, para identificar qual embalagem (lata ou vidro) possuía emissões mais baixas e utilizaria menos recursos em sua fabricação (KAUFMAN, 2012). A quantificação da pegada de carbono é um exemplo da aplicação da metodologia da ACV, focando especificamente em emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE), agrupando suas emissões em termos de uma métrica comum, o CO_2-eq (dióxido de carbono equivalente). Após a quantificação da pegada de carbono, é possível adotar medidas administrativas e governamentais para o controle dessas emissões. De acordo com Carvalho *et al*. (2016), preocupações com as mudanças climáticas e efeitos adversos estão começando a influenciar positivamente os brasileiros, levando a um maior interesse nas emissões de GEE associadas a produtos, processos e serviços. O cálculo dessas emissões vem ficando progressivamente mais disseminado no ambiente acadêmico, porém, as ações e políticas para mitigação e redução ainda são incipientes (CARVALHO, DELGADO, 2017).

A ACV é uma técnica de gestão ambiental internacionalmente aceita e normatizada, possuindo seus princípios e estrutura definidos através das normas ABNT NBR ISO 14040:2014 e seus requisitos e orientações pela norma ABNT NBR ISO 14044:2014 (ABNT NBR ISO 14040, 2014a; ABNT NBR ISO 14044, 2014b). De acordo com essas normas, a ACV trata da compilação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ou serviço ao longo do seu ciclo de vida. O termo “ciclo de vida” é definido como: estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição ou geração da matéria-prima a partir de recursos naturais até sua disposição final. Um estudo de ACV trabalha como uma ferramenta de subsídio na identificação de oportunidades para a melhoria do desempenho ambiental

nas diversas etapas do ciclo de vida. A ACV também auxilia os tomadores de decisão com informações necessárias, tanto em nível de projeto como no de planejamento estratégico, a respeito de processos e produtos da organização. Por fim, a ACV disponibiliza uma variedade de indicadores de desempenho ambiental relevantes, auxiliando em questões de marketing (selos de responsabilidade ambiental) e no esclarecimento de informações de cunho ambiental.

Em termos de estrutura, a ACV é composta por quatro fases iterativas: definição do objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impactos e a fase de interpretação. A Figura 3.1 apresenta um esquema com a interação dessas fases. Para um melhor entendimento, será discutida cada uma dessas fases:

3.2.1.1 Objetivo e Escopo

A definição do objetivo e do escopo é o primeiro passo para a condução de um estudo de ACV. Aqui, o propósito do estudo e sua amplitude serão definidos, envolvendo decisões importantes sobre as fronteiras do sistema e a unidade funcional utilizadas (ABNT NBR ISO 14040, 2014a). O processo para estabelecer estas definições pode ser bastante complexo, devendo partir de uma clara definição do sistema de produto ou serviço. A escolha da unidade funcional varia muito de acordo com o propósito do estudo, por exemplo, no ciclo de vida de uma tinta, a unidade funcional deve ser a unidade de área pintada acabada, e não o volume ou massa de tinta, pois os rendimentos e/ou diluições podem ser diferentes. Uma vez definida a unidade funcional, deve-se definir o fluxo de referência da mesma. Assim, a construção do fluxograma de processo e seus respectivos processos elementares se tornará mais fácil. O fluxo de referência é entendido como a medida das saídas de processos em um dado sistema de produto, requeridas para realizar a função expressa pela unidade funcional (ABNT NBR ISO 14040, 2014a).

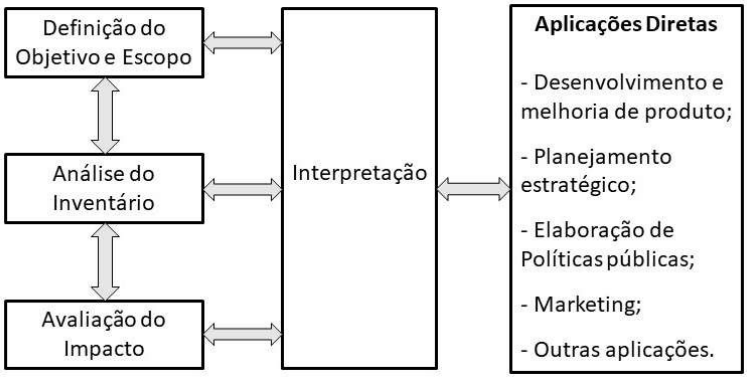


Figura 3.1. Estrutura iterativa da Avaliação do Ciclo de Vida (ABNT NBR 14040, 2014a)

Com a unidade funcional e o fluxo de referência definidos, o próximo passo é a definição das fronteiras e limites do estudo, as simplificações adotadas, os modelos matemáticos e outros

aspectos cruciais para o desenvolvimento pleno do estudo (ABNT NBR 14040, 2014a). A fronteira do sistema irá definir quais processos elementares serão incluídos na ACV. Aqui é importante tornar tal fronteira consistente com o objetivo do estudo definido na etapa anterior, portanto, os critérios utilizados em sua determinação deverão ser identificados e explicados. Na definição do escopo também será determinado qual o método de avaliação dos impactos que será utilizado. A definição do escopo deve garantir que a extensão, profundidade e largura do mesmo sejam compatíveis com o objetivo do estudo (CHEHEBE, 2002). A largura do estudo é a determinação de quantos e quais subsistemas serão considerados. A extensão do estudo trata da onde o estudo será iniciado e onde será o seu final no ciclo de vida avaliado. A profundidade trata do nível de detalhamento que será dado ao estudo de ACV (CHEHEBE, 2002).

Nesta fase também são definidos os procedimentos de alocação, requisitos dos dados e as hipóteses de limitações. A ACV é uma técnica iterativa, uma vez definido o objetivo do trabalho, são derivadas as definições de escopo inicial que estipulam os requisitos das próximas fases. No entanto, como existe uma maior disponibilidade de informações nas fases subsequentes, as definições do escopo inicial podem ser refinadas e, por vezes, também revisadas.

Nos estágios iniciais da definição do escopo, uma decisão importante deve ser tomada com relação aos princípios de modelagem do inventário de ciclo de vida e às abordagens metodológicas que devem ser aplicadas na modelagem do sistema: modelagem atribucional ou consequencial.

O modelo de ciclo de vida atribucional representa a cadeia de abastecimento real ou prevista, específica ou média, e também sua cadeia de valor de uso e fim de vida. O sistema existente ou previsto é incorporado a uma tecnosfera estática (ZAMAGNI, 2012).

O modelo consequencial de ciclo de vida representa a cadeia de abastecimento genérica, como é esperada teoricamente em consequência da decisão analisada. O sistema interage com os mercados e são representadas as alterações que uma demanda adicional pelo sistema analisado pode produzir em uma tecnosfera dinâmica que está reagindo a essa demanda adicional (ZAMAGNI, 2012).

3.2.1.2 Inventário do Ciclo de Vida

A fase da Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) refere-se à coleta de dados e ao estabelecimento dos procedimentos de cálculo, facilitando o agrupamento em categorias ambientais normalmente utilizáveis e comparáveis. Nessa fase é considerado que tudo que entra deve ser igual a tudo que sai do sistema estudado, tanto em termos de energia quanto de massa, ou seja, desde a extração das matérias-primas até o descarte final do produto.

Essa é uma das fases mais trabalhosas da ACV, em função da dificuldade e até impossibilidade da obtenção de dados relevantes para o estudo. Também existe a questão da baixa

qualidade dos dados disponíveis e a posterior necessidade de estimativas. A busca de credibilidade e qualidade de dados primários pode se tornar um procedimento árduo e que demanda o investimento de muito tempo. Assim, a utilização de dados secundários se torna uma alternativa aceitável, desde que os mesmos mantenham a qualidade e credibilidade do estudo. Sonnemann (2003) coloca que a coleta de dados pode ser construída de diversas formas, podendo ser divididas em quatro categorias: base de dados eletrônica (quando os dados são retirados dos *softwares* de ACV, da internet e sites específicos de ACV), dados de literatura (artigos, periódicos, publicações acadêmicas e estudos de ACV), dados não declarados (provindos de empresas, laboratórios, autoridades) e dados de medições e/ou simulações (dados calculados e estimados onde as fontes são inexistentes).

A Análise do Inventário pode ser dividida em quatro etapas: fluxograma do ciclo de vida, coleta e armazenamento de dados, aplicação de procedimentos de alocação e emissão da tabela de inventário (SALABERRY, 2009). Deve-se considerar a necessidade de uma estratégia cuidadosa na preparação e coleta de dados, um refinamento dos limites do sistema, a determinação dos procedimentos de cálculo e os procedimentos de alocação. Normalmente, um processo industrial gera mais de uma saída, ou seja, gera mais de um produto ou subprodutos. Quando o processo a ser estudado possuir múltiplos produtos pode ser considerada a necessidade de procedimentos de alocação (ABNT NBR ISO 14044, 2014b). A alocação também pode ser aplicada em situações onde ocorre reúso ou reciclagem do produto. Assim, a alocação prevê uma divisão dos impactos ambientais gerados pelos diferentes produtos de maneira a refletir as relações físicas subjacentes entre eles. Quando a relação física não puder ser estabelecida, ou não puder ser usada como base para alocação, convém que as entradas sejam alocadas entre os produtos de maneira que reflita outras relações entre eles. Uma forma de alocação dos dados de entrada e saída entre coprodutos pode ser proporcional pelo seu valor econômico final. Outro caso é quando uma saída é parcialmente coproduto e resíduo, neste caso, deverá ser realizada a identificação da proporção entre eles, e a alocação será realizada apenas para os coprodutos. Por conta de sua complexidade, a alocação deve ser evitada sempre que possível. (ABNT NBR ISO 14044, 2014b)

Os principais resultados dessa fase serão utilizados como dados de entrada para a fase de avaliação de impactos ambientais. A Figura 3.2 descreve o procedimento simplificado para análise de inventário em forma de fluxograma (ISO 14044, 2014).

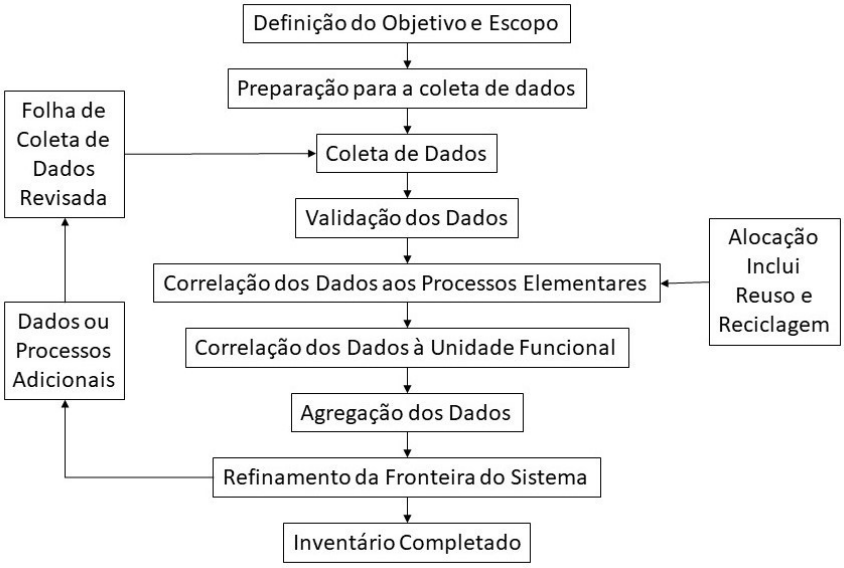


Figura 3.2. Fluxograma dos procedimentos simplificados para análise do inventário do ciclo de vida (ISO 14044, 2014).

3.2.1.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A AICV é a etapa onde se qualifica e posteriormente se quantifica os potenciais impactos ambientais avaliados. Nessa fase, os resultados do inventário são convertidos para um grupo selecionado de impactos. A quantificação deve estar em uma grandeza quantitativa equivalente a unidade funcional determinada anteriormente. Assim, a AICV trata de uma abordagem relativa baseada em uma unidade funcional. Assim, o critério de decisão das categorias de impacto a serem selecionadas para um determinado estudo de ACV deve estar embasado nos impactos que mais contribuem no sistema do estudo, sendo que esse critério deve ser justificado e consistente com o objetivo e escopo da ACV. Uma vez definidas as categorias de impacto, seus indicadores devem ser correlacionados aos resultados do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) descrevendo os mecanismos e modelos utilizados. Por fim, se as categorias de impacto, indicadores ou modelos de caracterização existentes não forem suficientes para satisfazer o objetivo e escopo adotados, novos itens devem ser definidos.

As categorias de impacto são utilizadas para agrupar os efeitos dos impactos ambientais em áreas específicas de preocupação, alguns exemplos são destacados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Categorias de impacto ambiental e seus efeitos.

Área Específica	Efeitos
Mudança Climática	Impacto causado pelas emissões de gases do efeito estufa (GEE).
Acidificação	Efeitos resultantes da liberação de substâncias que causam chuva ácida.
Eutrofização	Consequência da liberação excessiva de nutrientes que

	levam ao crescimento excessivo de algas, diminuindo a concentração de oxigênio nos corpos d'água.
Depleção de Recursos	Uso dos recursos naturais não renováveis.
Toxicidade Humana e Ecotoxicidade	Efeitos de substâncias tóxicas na saúde humana e no meio ambiente

A AICV pode ser realizada em duas etapas principais. Na primeira etapa, é realizada a classificação, onde os dados do inventário são selecionados e atribuídos a categorias de impacto específicas. Na etapa seguinte, é realizada a caracterização, onde os dados do inventário são multiplicados por fatores de equivalência para cada categoria de impacto, como por exemplo 1 kg de N_2O é equivalente à emissão de 296 kg de CO_2 e 1 kg de metano é equivalente a 23 kg de CO_2. Então, todos os parâmetros incluídos na categoria de impacto são somados e é obtido o resultado da categoria de impacto (COLTRO, 2007).

Dependendo do objetivo e escopo, a AICV pode também utilizar informações de elementos como normalização, agrupamento, ponderação e análise da qualidade dos dados (UNEP, 2011). Como esses elementos podem utilizar informações externas, se utilizados, devem ser explicados e reportados. O objetivo da normalização é entender a magnitude relativa de cada resultado dos indicadores do sistema de produto estudado. Pode ser útil na verificação de inconsistências, na comunicação de informações sobre a significância relativa dos resultados dos indicadores e na preparação de procedimentos adicionais a respeito dos demais elementos opcionais (UNEP,2011). O agrupamento trata da reunião das categorias de impacto em conjuntos podendo envolver agregação e hierarquização. Ele serve para agrupar as categorias de impacto em uma base nominal e classificar as mesmas de acordo com uma dada hierarquia (UNEP, 2011). A ponderação é a utilização de fatores numéricos baseados na escolha de valores, oferecendo uma alternativa de conversão dos resultados de indicadores de diferentes categorias de impacto nos processos de escolha e decisão (UNEP, 2011). Por fim, a análise da qualidade dos dados tem como objetivo auxiliar na melhor compreensão dos resultados, identificando aqueles dados que possuem a maior contribuição para o resultado do indicador, determinando como as incertezas e pressupostos dos dados se propagam nos cálculos e como mudanças nos dados e nas escolhas metodológicas podem afetar os resultados finais de um ICV (UNEP, 2011).

3.2.1.4 Interpretação do Ciclo de Vida

A última das quatro etapas iterativas da ACV, a interpretação do ciclo de vida, é onde as constatações do ICV e da AICV são consideradas em conjunto (ABNT NBR ISO 14044, 2014b). Aqui se faz a verificação da consistência do estudo com o objetivo e escopo definidos na primeira etapa. Essa fase visa alcançar conclusões e recomendações do estudo de ACV. Essa fase busca também explicar limitações do estudo, provendo recomendações caso as mesmas se tornem

necessárias de serem providas (ABNT NBR ISO 14044, 2014b). Desta forma, essa fase contempla além da identificação dos impactos significativos, como também a avaliação do estudo em relação a sua integridade, sensibilidade e consistência. A interpretação do ciclo de vida resulta em conclusões e recomendações de melhorias buscando a redução dos impactos negativos e promove um aprendizado sobre possíveis impactos positivos existentes (ABNT NBR ISO 14044, 2014b).

Assim, as conclusões de um estudo de ACV visam indicar por meio da identificação, avaliação e seleção as opções para melhorias ambientais, a identificação de pontos críticos do ciclo de vida que precisam ser melhorados através da análise do inventário e a indicação das estimativas dos ganhos ambientais que podem decorrer das ações de melhorias sugeridas, como o aumento da eficiência energética, um melhor aproveitamento dos resíduos, implantação de tratamento de efluentes, etc.

3.2.2 Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental

A ACV ambiental está padronizada no Brasil através das normas atualizadas ABNT NBR ISO 14040:2014 e ABNT NBR ISO 14044:2014. Como as fases de definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação já foram discutidas nos itens anteriores, aqui será realizada uma discussão apenas sobre o AICV em relação aos aspectos ambientais.

Os impactos ambientais são classificados em um número determinado de categorias ambientalmente relevantes, e, a fim de se atingir uma aceitação internacional, devem ser científica e tecnicamente válidas, sendo baseadas em um mecanismo ambiental específico e identificável.

Dependendo do método de avaliação de impacto escolhido, um exemplo das categorias de impacto ambiental que são utilizadas estão descritas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Categorias de impactos ambientais do ciclo de vida.

Categoria de Impacto	Dados de Inventário	Fator de Caracterização	Descrição do Fator de Caracterização
Aquecimento Global	CO_2, NO_2, CH_4, CFC, HCFC, CH_3Br	Potencial de Aquecimento Global	Converte os dados em equivalentes de CO_2
Depleção da Camada de Ozônio	CFC, HCFC, CH_3Br e Halogênios	Potencial de depleçao da camada de ozônio	Converte os dados em equivalentes de CFC-11
Formação de Oxidantes Fotoquímicos	HC não metanos	Potencial de criação de oxidantes fotoquímicos	Converte os dados em equivalentes de C_2H_6
Acidificação	SO_X, NO_X, HCL, HF, NH_4	Potencial de acidificação	Converte os dados em equivalentes de H^+
Eutrofização	PO_4, NO, NO_2, NH_4, nitratos	Potencial de eutrofização	Converte os dados em equivalentes de PO_4
Toxicidade Humana	Químicos tóxicos com registro de concentração letal (humanos)	Potencial de toxicidade humana	Converte os dados de LC_{50} (toxicidade aguda) em equivalentes de

			massa de químicos tóxicos
Ecotoxicidade	Químicos tóxicos com registro de concentração letal (seres vivos)	Potencial de ecotoxicidade	Converte os dados de LC_{50} (toxicidade aguda) em equivalentes de massa de químicos tóxicos
Utilização do Solo	Quantidade de área utilizada	Potencial de ocupação ou transformação do solo	Converte os dados em perda da biodiversidade ou do suporte de vida relacionado à situação de referência
Depleção de Recursos Bióticos	Quantidade de bens renováveis utilizados	Potencial de depleção biótica	Converte os dados em equivalentes de elefante africano
Depleção de Recursos Abióticos	Quantidade de bens não renováveis utilizados	Potencial de depleção abiótica	Converte os dados em equivalentes de antimônio

A forma de apresentação dos resultados dos impactos ambientais pode ser expressa de diferentes formas, sendo dois métodos os mais utilizados: o método clássico de avaliação dos impactos, conhecido como *midpoints*, e o método orientado ao dano, conhecido como *endpoint*. A diferença entre o impacto (*midpoint*) e o dano (*endpont*) é a distância entre o processo unitário e seu efeito (JOLLIET, 2004). Assim, em uma escala contínua, o processo, com suas entradas e saídas é o início, o ponto intermediário é o impacto ambiental e o ponto final será o dano que se tratará do efeito no homem e no ambiente. As relações entre as categorias *midpoint* e *endpoint* são demonstradas na Figura 3.3.

As setas simbolizam os caminhos de impactos relevantes conhecidos ou possíveis de existir. Os caminhos de impactos incertos entre os pontos médios e as áreas de proteção que não são modelados quantitativamente estão representados por linhas tracejadas.

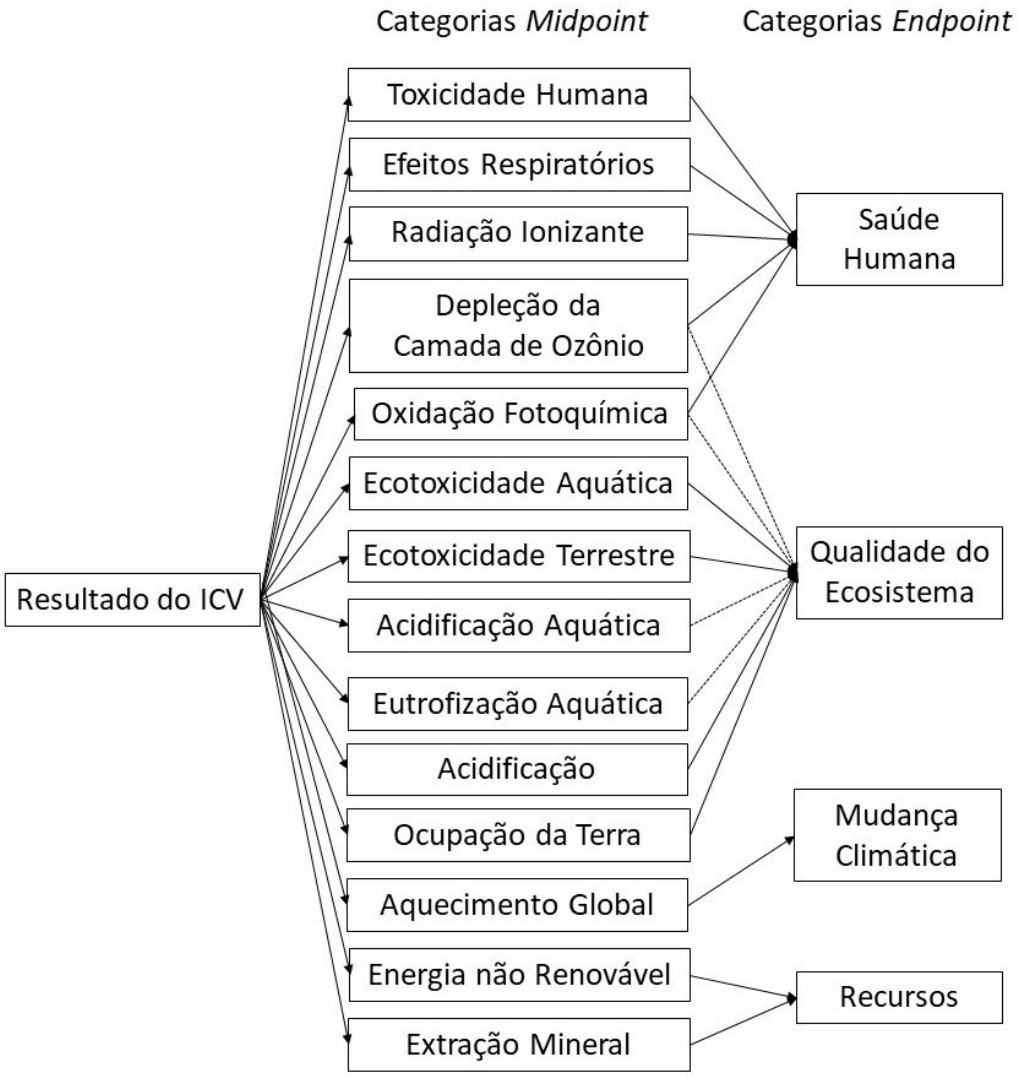


Figura 3.3. Categorias *midpoint* e *endpoint* de potenciais impactos ambientais (HAUSCHILD, 2013).

A ACV ambiental se tornou uma metodologia importante, pois trata com clareza questões ambientais complexas, gerando resultados que permitem a tomada de decisões em bases objetivas. Assim, a ACV se torna uma ferramenta útil para subsidiar o entendimento e gerenciamento de temas complexos como o gerenciamento e preservação de recursos naturais, a identificação de pontos críticos em determinados processos envolvidos no ciclo de vida e na definição de parâmetros para atribuição de rótulos ambientais.

3.2.3 Avaliação do Custo do Ciclo de Vida

A Avaliação do custo de ciclo de vida surgiu em Washington, EUA, no ano 1965, com a *Logistics Management Institute* produzindo um relatório para a Secretaria de Defesa americana

sobre os custos durante a vida útil na aquisição de equipamentos. Ficou demonstrado que os custos de operação e manutenção estavam participando com uma parcela significativa sobre o custo total do sistema e dos equipamentos (DENTON, 1994).

A utilização deste tipo de análise auxilia na verificação dos custos existentes em cada etapa do ciclo de vida de algum produto ou serviço, auxiliando no entendimento dos gastos com aquisição, operação, manutenção, transporte e descarte final de materiais. Além disso, também se consegue verificar quais tipos de produtos terão um maior impacto sobre o ambiente. Um exemplo pode ser o da embalagem de algum produto. Em um primeiro momento a embalagem escolhida pode ter uma facilidade na etapa de reciclagem, porém essa mesma embalagem apresenta um maior custo com energia, industrialização e transporte. Assim, se demonstra a importância da análise completa do ciclo de vida, com a inclusão dos custos. Este conceito começou a ser utilizado na ecologia, participando da avaliação do ciclo de vida ambiental dos produtos e nos custos que se originaram nos tratamentos e beneficiamentos com o intuito de mitigar os impactos ambientais do mesmo (DENTON, 1994).

A Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (CCV) pode ser realizada de diversas maneiras, avaliando diferentes processos durante o ciclo de vida de um determinado produto. A Equação 3.1 mostra uma forma geral para estimar o CCV em termos monetários:

$$CCV = C_{MP} + C_{PR} + C_{EM} + C_{TR} + C_{RE} \quad (3.1)$$

onde:
CCV é o custo do ciclo de vida;
C_{MP} é o custo com as matérias primas
C_{PR} é o custo da produção/fabricação/manufatura
C_{EM} é o custo com as embalagens
C_{TR} é o custo com os transportes
C_{RE} é o custo com o gerenciamento dos resíduos

Além disso, existe a possibilidade de ser incluídos os custos referentes aos impactos ambientais gerados, os chamados Custos Ecológicos ou *ecocosts*. Os *ecocosts* poderiam ser vistos como uma “penalidade legal” sobre as emissões industriais que serviriam para abater os custos com o tratamento contra a degradação do solo, água e do ar (TUDELFT, 2024).

Os custos ecológicos são uma medida para exprimir a quantidade de carga ambiental de um produto com base na prevenção dessa carga. São os custos que devem ser introduzidos com o intuito de reduzir a poluição ambiental e o esgotamento de materiais para um nível que esteja de

acordo com a capacidade de carga da Terra. Por exemplo, para mitigar a emissão de 1000 kg de CO_2, deve ser investido 133 euros em parques eólicos ou em outro sistema de redução de CO_2 nesse valor (TUDELFT, 2024). Também podem ser efetuados cálculos semelhantes para diversos impactos ambientais, como a acidificação, eutrofização, ecotoxicidade, formação de oxidantes fotoquímicos, material particulado, toxicidade humana com efeitos cancerígenos e não cancerígenos. Os custos ecológicos são custos "virtuais", pois ainda não são integrados nos custos reais das cadeias de produção. A relevância comercial dos *ecocosts* reside no fato de constituírem um risco financeiro de um não cumprimento de futuras regulamentações governamentais. A utilização prática dos custos ecológicos consiste em comparar a sustentabilidade de diferentes produtos e/ou serviços com a mesma funcionalidade, atribuindo um valor financeiro às emissões geradas durante seu ciclo de vida.

3.2.4 Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S)

A Avaliação do Ciclo de Vida Social é a metodologia de avaliação dos potenciais impactos sociais envolvidos ao longo do ciclo de vida de um determinado produto, desde a extração e processamento da matéria-prima, manufatura, distribuição, uso, reuso, manutenção, reciclagem e disposição final (UNEP, 2009), ou seja, é analisado todos os impactos sociais do berço ao túmulo. A ACV-S apresenta as mesmas fases de uma ACV ambiental, com as duas dividindo um eixo metodológico comum com suas quatro fases iterativas (definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação). De acordo com a UNEP (2020) ambos estudos de ACV se assemelham nos seguintes detalhes: possuem uma grande necessidade de dados confiáveis, funcionam em processos iterativos entre as fases, requisitam revisões por pares, fornecem informações úteis para os tomadores de decisões, não possuem a proposta de demonstrar se um produto deve ou não ser produzido e realizam uma avaliação dos pontos críticos "*hotspots"* que desempenham o mesmo papel. Por conta dessas similaridades, a ACV-S possibilita o direcionamento de sua metodologia se baseando na norma NBR ISO 14044:2014 (ABNT ISO 14044, 2014).

A ACV-S busca auxiliar nas futuras tomadas de decisão e instigar um diálogo a respeito do objeto de estudo (produto ou serviço) com relação aos aspectos sociais envolvidos em seu ciclo de vida. Então, os resultados alcançados com o estudo da ACV-S procuram apresentar um cenário de desempenho que as organizações possuem com relação à busca de bem-estar entre as partes interessadas (RAMIREZ, 2014).

Atualmente, o maior desafio encontrado é o alinhamento entre a ACV-S com a ACV ambiental e o CCV econômico. A ACV-S é a mais recente metodologia e que está em fase de

discussão e de definição sobre quais são os melhores indicadores de impactos sociais a serem utilizados (UNEP, 2020; HABERLAND, 2014; UGAYA, 2014). Sugestões de como alinhar uma ACV-S com a ACV ambiental são exploradas por Dreyer (2010), onde se levanta a hipótese de se pensar a parte ambiental por processo e a parte social pensada pelos trabalhadores envolvidos em um grupo de processos determinado. Também é realizada uma discussão por Ugaya (2014) sobre a dificuldade de se relacionar os processos a uma unidade funcional em uma ACV social.

Um marco de referência no que se refere ao tema Responsabilidade Social, ocorreu em 2010, com a publicação da norma ABNT NBR ISO 26.000:2010 (ABNT ISO 26.000, 2010). Esta norma trata da definição dos princípios da responsabilidade social, tratando dos temas como responsabilidade, transparência, comportamento ético, respeito aos interesses das partes interessadas, respeito às legislações vigentes, respeito às normas de conduta internacional e respeito aos direitos humanos. A norma dá ênfase a importância do reconhecimento da responsabilidade social entrosada à identificação e engajamento das partes interessadas, sendo elas a sociedade, comunidade local, empregados, fornecedores e clientes/consumidores. A norma traz como tema centrais em seu texto a responsabilidade social relacionada aos direitos humanos, práticas trabalhistas, práticas leais de operação, questões referentes aos consumidores e o envolvimento e desenvolvimento das comunidades locais.

A ACV-S busca a identificação dos pontos críticos "*hotspots"* sociais e os tipos de alternativas para as categorias de impactos sociais (UNEP, 2020). A busca pelos pontos críticos sociais é uma técnica de rastreio utilizada na ACV-S que tem como foco a localização em uma unidade de processo, potenciais riscos ou oportunidades em relação a um tema social de interesse. Assim, utilizando essa técnica na ACV-S se acaba agregando valor à avaliação da responsabilidade social, pois, a localização desses *hotspots,* fornece uma análise compreensiva e direcionada dos impactos sociais de um determinado produto. Com isso, se procura uma restrição a análise aos locais e setores que apresentam um maior risco relacionado a potenciais impactos sociais.

Uma particularidade da ACV-S é que essa avaliação pode utilizar tanto dados qualitativos como dados quantitativos para a mensuração dos potenciais impactos sociais. Além disso, esses dados geram resultados que podem ser agregados dentro de um determinado tema, por exemplo: remuneração e horas trabalhadas dentro da subcategoria salário justo. Também podem gerar resultados que apresentem uma relação causal dentro de determinado critério como o número de horas trabalhadas sendo relacionado com a causa-efeito da capacidade desses trabalhadores terem acesso à acomodação, assistência a saúde e educação (UNEP, 2020).

As diretrizes para a Avaliação do Ciclo de Vida Social foram lançadas em 2009 pela *United Nations Environment Programme* (UNEP) e atualizadas em 2020, apresentando seis partes interessadas para a aplicação da ACV-S, sendo elas os Trabalhadores, Comunidade Local,

Consumidores, Sociedade, Atores da Cadeia de Valor e Crianças (UNEP, 2020). Os impactos ou aspectos sociais mais relevantes para cada uma das partes interessadas estão representadas em 40 subcategorias. A Tabela 3.4 apresenta as partes interessadas com suas respectivas subcategorias.

Tabela 3.4. Partes interessadas e suas respectivas subcategorias da ACV-S.

Parte Interessada	Subcategoria
Trabalhadores	Liberdade de Associação e Negociação Coletiva
	Trabalho Infantil
	Salário Justo
	Horas de Trabalho
	Trabalho Forçado
	Oportunidades Iguais e Discriminição
	Saúde e Segurança
	Benefício Social e Previdência
	Relacionamento empregatício
	Assédio sexual
	Pequenos proprietários, inclusive agricultores
Consumidores	Saúde e Segurança
	Mecanismo de Retorno
	Privacidade
	Transparência
	Responsabilidade Fim de Vida
Comunidade Local	Acesso a Recursos Materiais
	Acesso a Recursos Imateriais
	Deslocalização e Migração
	Patrimônio Cultural
	Condições de Vida Segura e Saudável
	Respeito aos Direitos Indígenas
	Engajamento Comunitário
	Trabalho Local
	Condições de Segurança
Sociedade	Compromisso Público para Questões de Sustentabilidade
	Contribuição para o Desenvolvimento Econômico
	Prevenção de Conflitos Armados
	Desenvolvimento Tecnológico
	Corrupção
	Tratamento ético dos animais
	Alívio da pobreza
Cadeia de Valores	Competição Justa
	Promoção da Responsabilidade Social
	Relacionamento com Fornecedores
	Respeito da Propriedade Intelectual
	Distribuição de riqueza
Crianças	Educação oferecida na comunidade local
	Questões de saúde para crianças como consumidores
	Preocupações das crianças com relação às práticas de marketing

Devido à heterogeneidade que os dados se apresentam e por poderem gerar distintos resultados em termos de impactos sociais, a UNEP (2020) apresenta um modelo de caracterização

que classifica as categorias de impactos sociais nos Tipo 1 e Tipo 2. O modelo de categoria de impacto social do Tipo 1 trabalha com dados predominantemente semiquantitativos que apresentam relativa importância de cada contexto unitário sobre todo o sistema de produto e que acabam resultando em um desempenho social. O segundo modelo, a categoria de impacto do Tipo 2, trabalha com dados predominantemente quantitativos, mas com a importância que estes dados façam uso de uma relação de causa-efeito baseados em uma unidade funcional com resultados em potenciais impactos sociais.

Para a realização de estudos de ACV-S é fundamental ter acesso a bases de dados abrangentes e confiáveis, que forneçam informações detalhadas sobre os potenciais impactos sociais de produtos e processos ao longo se seu ciclo de vida. Nesse estudo foi utilizada a base de dados *Social Hotspots Database* (SHDB, 2024). Essa base de dados foi desenvolvida pela NewEarth B, uma subsidiária da NewEarth, uma organização sem fins lucrativos localizada nos Estados Unidos. Essa base de dados mapeia os pontos críticos *hotspots* sociais em diferentes cadeias de suprimentos, abrangendo vários indicadores sociais como justiça econômica, direitos trabalhistas e impactos sobre comunidades locais. Essa base de dados foi utilizada através do *software* SimaPro (PRÉ SUSTAINABILITY, 2024), que é uma ferramenta amplamente utilizada em estudos de ACV ambiental mas que também oferece módulos para análises de impactos sociais sendo compatível com diversas bases de dados, incluindo a base de dados social SHDB.

3.2.5 Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV)

A Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida é a metodologia em que todos os potenciais impactos ambientais, econômicos e sociais de um produto são analisados no decorrer do seu ciclo de vida afim de auxiliar na tomada de decisão na busca de produtos e serviços mais sustentáveis. Essa ferramenta está alicerçada no tripé da sustentabilidade (ambiental, econômico e social) trazendo uma abordagem holística dessas três dimensões em uma Avaliação do Ciclo de Vida única.

A possibilidade de se combinar a ACV ambiental, o CCV econômico e a ACV-S social em busca de um cenário de sustentabilidade de ciclo de vida, possibilita a viabilização de uma ASCV. Neste contexto, foram idealizadas duas formas de se realizar uma ASCV (KLOPFFER, 2008). A primeira delas, e que é utilizada nesse estudo, é a apresentação da ASCV em uma fórmula conceitual, sendo ela o somatório das três ACV's separadas e consistentes, conforme a Equação 3.2.

$$\text{ASCV} = \text{ACV ambiental} + \text{CCV econômico} + \text{ACV-S social} \tag{3.2}$$

A segunda opção seria a criação de uma “nova” ACV, onde seriam incluídas as categorias de impacto econômico (CCV) e social (ACV-S) como categorias adicionais no inventário de ciclo de vida de uma ACV ambiental.

Com relação a primeira opção, algumas premissas necessárias foram citadas por Klopffer (2008) sobre a forma de se realizar tal abordagem. Primeiramente existe a demanda das mesmas fronteiras do sistema para as três ACV’s, sendo sugerido que os métodos sejam padronizados ou harmonizados através de um guia ou manual, conforme proposto pela UNEP/SETAC *Life Cycle Initiative* (UNEP, 2011). Também é sugerido que não seja realizada nenhuma forma de ponderação entre os três componentes da ACV. A maior vantagem verificada desta opção é a transparência dos resultados, pois os mesmos acabam sendo analisados de forma separada, sem gerar qualquer juízo de valor devido a prováveis compensações que possam a vir ocorrer entre os componentes analisados quando os mesmos são avaliados de forma conjunta.

No que diz respeito a segunda opção, a criação de uma “nova” ACV, Kloepffer (2008) levanta algumas premissas com o intuito de viabilizar esta abordagem. Esta opção determina a criação de apenas um Inventário do Ciclo de Vida (ICV) para os aspectos ambientais, econômicos e sociais, sendo esse modelo definido na primeira etapa da ACV, a de objetivo e escopo. Dessa forma, o CCV econômico e a ACV-S social devem se adequar ao objetivo e escopo ambiental, incluindo sua unidade funcional. Nessa abordagem surge uma incompatibilidade com a norma ABNT NBR ISO 14040 (2014) pois ela diz que “A ACV tipicamente não enfoca os aspectos econômicos e sociais de um produto, mas a abordagem de ciclo de vida e as metodologias descritas nesta Norma podem ser aplicados a esses outros aspectos”. Baseado nesse trecho, Kloepffer (2008) conclui que uma padronização de forma separada das ACV’s ambiental, econômica e social seria a consequência lógica.

Baseada na demanda da construção de um guia detalhado esclarecendo como devem ser os procedimentos para a realização do CCV econômico e da ACV-S social, a UNEP/SETAC representada pela *Life Cycle Initiative* criou um manual intitulado: “Em Direção a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida: Fazendo escolhas informadas sobre produtos” (UNEP, 2011). Neste manual está a possibilidade de se realizar uma ASCV baseada na segunda opção, a da “nova” ACV como descrito: A definição da Unidade Funcional deve descrever tanto a utilidade técnica como a utilidade social do produto a ser analisado, o sistema de fronteiras deve incluir todos os processos que sejam relevantes para, pelo menos, uma das dimensões (ambiental, econômica e social), e, no caso de exclusão de algum processo, o mesmo deverá ser justificado. Com relação ao ICV, deve-se buscar a consistência entre as três abordagens, sendo que os dados devem ser coletados para a unidade de processo, considerando tanto os dados quantitativos como os qualitativos. Deverá ser consideradas todas as categorias de AICV que são relevantes nas três

dimensões (ambiental, econômico e social), geográfica, temporal e em outros fatores que poderão ser identificados e analisados. Enfim, os resultados da fase de interpretação serão analisados de forma combinada, buscando a verificação de possíveis correlações existentes entre os ganhos econômicos e os possíveis prejuízos ambientais e sociais.

Portanto, a realização de um estudo de ASCV pode seguir ambas abordagens discutidas anteriormente, devendo ter o cuidado necessário de se respeitar as premissas de cada caso. Então, o tomador de decisão que utilizar qualquer dessas metodologias deve ter em mente a questão da busca de uma Avaliação do Ciclo de Vida consistente, levando em conta aspectos relevantes que dizem respeito as dimensões ambiental, econômica e social.

Em relação aos resultados da ASCV, Traverso (2012) coloca que a obtenção dos resultados da ASCV são frequentemente desagregados e a simples comparação não se torna uma tarefa fácil. Como exemplo, o autor coloca a comparação em termos de desempenho sustentável entre dois produtos diferentes. Enquanto um produto apresenta um bom desempenho ambiental, traz consigo impactos sociais e econômicos negativos, e o segundo produto, possui um fraco desempenho ambiental, mas traz impactos sociais e econômicos positivos. Assim, a compreensão dos resultados, transparência e reprodutibilidade da ASCV são aspectos significativos no apoio aos tomadores de decisão. Então, a etapa de interpretação fica ainda mais complicada ao nível de indicadores, pois para cada produto, os indicadores apresentam desempenhos diferentes. Portanto, a compreensão dos resultados sem se perder as informações dos desempenhos dos indicadores individuais se faz uma necessidade.

Um aspecto importante a ser levado em conta diz respeito ao nível de desenvolvimento de cada uma das três técnicas. Enquanto os resultados da ACV ambiental são apresentados através de indicadores de impacto (*midpoint*) ou indicadores de dano (*endpoint*), os resultados das outras duas técnicas, CCV e ACV-S, são apresentados por meio de indicadores ao nível do inventário (TRAVERSO, 2012). A UNEP (2011) realizou uma caracterização dos três componentes da ASCV com destaque de alguns pontos importantes, conforme é apresentado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5. Principais características das ACV ambiental, CCV econômico e ACV-S social (UNEP, 2011)

Tipo de ACV	Características
Ambiental	Normalizada através das normas ABNT NBR ISO 14040:2014 e 14044:2014; Possui suas categorias de impactos bem definidas, considerando os impactos (*midpoints*) e dos danos (*endpoints*); Possui um extenso banco de dados (inventários) e vários estudos publicados, com as fases de objetivo, escopo e interpretação bem desenvolvidos.
Econômico	Trata-se da mais antiga técnica entre os componentes da ASCV; Pode ser realizado com os custos internos e externos gerados no ciclo de vida de um produto; Prevê a verificação dos custos e benefícios resultantes das externalidades.

Social	É o componente mais recente de estudos de ASCV; As formas de qualificação e quantificação dos impactos sociais ainda estão em discussão; Surgiu da necessidade da verificação do pilar social dentro da ASCV; Envolve tópicos como os direitos humanos, práticas trabalhistas, práticas leais de operação, questões dos consumidores, envolvimento e desenvolvimento da comunidade.

Estas diferentes características, premissas e níveis de desenvolvimento, que cada uma das três técnicas (ambiental, econômica e social) possuem, combinado com a necessidade da obtenção de dados consistentes, onde não se perca a transparência da obtenção de dados agregados, são alguns motivos que acabam dificultando a realização de estudos de ASCV.

Portanto, como se está procurando um método único e padronizado para integrar os diferentes métodos baseados no ciclo de vida, a realização de estudos de caso de ASCV torna-se fundamental na busca de um avanço no entendimento das práticas e conhecimentos a cerca dessa metodologia, contribuindo assim, para uma aceleração do desenvolvimento dessa abordagem em sustentabilidade.

3.3 CERVEJA ARTESANAL

3.3.1 História da cerveja no Brasil

As primeiras cervejas chegaram no país no ano de 1654 com a Companhia das Índias Orientais através dos holandeses, que trouxeram algumas amostras da bebida, insumos, receitas e equipamentos necessários para sua fabricação com o intuito de se montar a primeira cervejaria brasileira (INSTITUTO DA CERVEJA, 2024). Pouco tempo depois os holandeses deixaram o país e levaram consigo a cerveja. Apenas em 1808 a Família Real portuguesa trouxe de volta a bebida ao país, com Dom João VI abrindo os portos para importações da bebida, que tinha como principal origem a Inglaterra. De 1814 até 1870, as Ales inglesas dominaram o mercado de cervejas importadas no país pois detinham seu monopólio. A partir da segunda metade do século, com uma maior abertura nas importações e por influência da grande imigração alemã, a cerveja germânica começou a ganhar a preferência do consumidor brasileiro. Um dos motivos para esse acontecimento é que ela chegava ao país em garrafas, diferente das cervejas inglesas que só eram importadas em barris. Outro fato é que a cerveja alemã era o oposto da inglesa, sendo mais clara, límpida, se conservava melhor e acabou agradando mais ao paladar do brasileiro. Aqui se iniciou o hábito de se consumir cerveja em garrafa de vidro. (OPABIER, 2024).

Por volta de 1830, os imigrantes já estavam iniciando produções artesanais de cerveja para consumo próprio. Não existem registros de quais estilos eram produzidos, mas se sabe que eram

muito utilizados insumos como milho, trigo e arroz, pois a cevada e lúpulo eram bem difíceis de serem importados. Essa produção se iniciou apenas para consumo próprio, poucos anos mais tarde as famílias começaram a utilizar mão de obra escrava e empregar alguns trabalhadores para aumentar a produção e vender no comércio local. Essa cerveja era vendida em barris, sendo que os próprios comerciantes engarrafavam a bebida para venda (OPABIER, 2024).

A partir do ano 1850 começaram a surgir as primeiras cervejarias brasileiras, pequenas, porém estruturadas. Em 1853 é fundada a Cervejaria Bohemia, considerada a primeira cervejaria imperial do Brasil. Em 1888 é fundada a Cervejaria Brahma que possuía uma produção diária de 12.000 litros de cerveja e 32 funcionários, e, em 1889 é fundada a Antárctica, que inicialmente era uma fábrica de gelo e produtos alimentícios. No início de século XX, a produção nacional sofreu um declínio, pois grande parte da matéria-prima cervejeira era importada da Europa que estava passando por um período de grandes guerras (MORADO, 2009).

Em 1967 a cerveja europeia Skol Pilsen chega ao país para ser fabricada e vendida sob licença, trazendo grandes inovações ao mercado cervejeiro. Em 1971 a Skol lançou a primeira cerveja embalada em lata, que era fabricada com folha de flanders (folha laminada de aço com baixo teor de carbono revestido em ambos lados com estanho). Em 1979 foi lançada a primeira lata de alumínio, também pela Skol. Em 1997 essa lata foi aperfeiçoada com a boca redonda, proporcionando uma maior abertura da lata (OPABIER, 2024).

Em 1999 acontece a primeira fusão entre cervejarias brasileiras, entre a Companhia Antárctica Paulista e a Companhia Cervejeira Brahma, surgindo a Companhia de Bebidas das Américas (AmBev). Em 2004 a AmBev se fundiu com a gigante belga Interbrew, formando a InBev, tornando-se a maior produtora de cerveja no mundo (OPABIER, 2024).

3.3.2 Mercado das Cervejas Artesanais

Grande parte das grandes cervejarias brasileiras conquistaram seus consumidores pelo rótulo, e, apesar de existirem diversas marcas no mercado, algumas cervejas parecem ter o mesmo sabor, tornando difícil para os consumidores distingui-las. Contrário a esse movimento está a cerveja artesanal, com diversos estilos que trazem diferentes sabores e receitas mais elaboradas, com a inclusão de frutas, ervas e diversos outros adjuntos em sua composição. Durante seu processo produtivo, o mestre cervejeiro é responsável pelo controle de todas etapas produtivas, desde a seleção dos insumos e matérias-primas até as fases finais de acabamento (fermentação e maturação). Assim, essa mão de obra especializada traz uma grande proximidade ente produto e produtor.

De acordo com o Anuário da Cerveja 2024 (MAPA, 2024), o Brasil alcançou no final do ano 2023, um número de 1847 estabelecimentos cervejeiros registrados. O número de estabelecimentos apresentou um crescimento de 6,8% em relação ao ano anterior, ou seja, 118 novas cervejarias

registradas. Considerando todo período estudado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) que engloba desde o ano 2000 até o atual, o crescimento relativo do setor está acumulado em 4517%. Já existem pelo menos 2 cervejarias em cada uma das 27 unidades da Federação brasileiras, sendo que a liderança como o estado com maior número de cervejarias registradas é São Paulo, com 410 empreendimentos. As regiões Sul e Sudeste acumulam um percentual de 85,9% de todas cervejarias nacionais. Nesse último ano a região Nordeste apresentou um crescimento de apenas 1,7% no número de cervejarias registradas, passando de 120 estabelecimentos em 2022 para 122 em 2023.

Além do registro das cervejarias, também existem o registro dos produtos que as cervejarias comercializarão. O Brasil possui 45.648 registros de produtos em cervejarias, sendo que em 2023 houve um aumento de 6,6% em relação ao total de produtos registrados em 2022, representando 2.817 produtos a mais. Com isso, verifica-se uma considerável variedade de cervejas para o mercado de consumo nacional (MAPA, 2024).

3.3.3. Ingredientes e Processo Produtivo

A cerveja artesanal preza pela sua qualidade e variedade de estilos e sabores, e isso se deve aos ingredientes selecionados pelos mestres cervejeiros. O processo produtivo da cerveja artesanal se inicia com a cuidadosa seleção das matérias-primas básicas de sua composição, sendo elas a água, malte, lúpulo e a levedura.

A água é o principal componente da cerveja, pois representa cerca de 90-95% do produto final. Seus componentes minerais (cálcio, cloreto e sulfato) têm a capacidade de alterar a cor, sabor, aroma e aparência final da cerveja. É possível observar que alguns estilos de cerveja são produzidos em certas regiões específicas. Também se observa uma grande densidade de cervejarias nesses locais, sendo isso atribuído a qualidade da água disponível no local. Com a evolução da tecnologia atual de tratamento de água, é possível adequar a composição da água às características desejadas em qualquer lugar do mundo, mas, como já mencionado, sendo a água o principal ingrediente da cerveja, os custos atrelados ao tratamento da água cervejeira poderia inviabilizar sua produção (MORADO, 2009).

O segundo ingrediente para a fabricação de uma cerveja de alta qualidade é o malte. O malte é o resultado da germinação controlada das sementes de cereais. Qualquer cereal pode ser maltado, sendo os mais utilizados a cevada, trigo, milho, arroz e o sorgo. O malte tem uma importância fundamental na cerveja, pois ele confere sabor, aroma e cores característicos. A cerveja produzida apenas com malte de cevada recebe a denominação “puro malte”. A cevada é a mais utilizada por ser rica em amido, e possuir um alto teor de proteínas em quantidade suficiente para fornecer os aminoácidos necessários para o crescimento da levedura e possuir substâncias nitrogenadas que desenvolvem um papel importante na formação da espuma (MORADO, 2009). O processo de

maltagem segue algumas etapas, sendo a primeira a seleção de grãos com qualidade cervejeira, que irão ter uma grande germinação. O processo seguinte consiste em umedecer a cevada em água, para que o processo de germinação dê início, com a ativação do metabolismo da semente, essa germinação é realizada em condições de umidade e calor controladas. No ponto de maior concentração de açúcar do grão, a germinação é interrompida e se incia a secagem e posterior torrefação, sendo que o grau de torra irá definir cor, aroma e sabor do malte (MORADO, 2009).

A China, por ser a maior fabricante de cerveja do mundo, também é a maior produtora de malte. Com a necessidade de fornecimento para sua enorme indústria cervejeira, o país possui um vasto número de maltarias, assim como uma significativa produção de cevada. A indústria do malte no Brasil produz principalmente o malte tipo Pilsen, devido à grande demanda por este tipo de malte pelas cervejarias tradicionais. A maior maltaria da América Latina é brasileira e está localizada no município de Guarapuava-PR atendendo aproximadamente 30% da demanda do mercado brasileiro de cerveja (AGRÁRIA, 2024).

O terceiro ingrediente, o lúpulo, é responsável pelas substâncias que conferem amargor e aroma à cerveja. Ele também tem um papel crucial na conservação pois apresenta substâncias que inibem a proliferação de bactérias na cerveja, sendo conhecido como um “conservante natural”. Além disso ele também possui um poder antioxidante, atuando contra radicais livres (BARTHHASS, 2022). A presença dos compostos amargos do lúpulo também auxilia na estabilidade da espuma, pois eles possuem propriedades tensoativas. O lúpulo também contém polifenóis e óleos essenciais, os quais influenciam no paladar e corpo da cerveja, dando uma sensação de preenchimento de boca (BARTHHASS, 2022).

O próximo ingrediente é a levedura, que nada mais é que um fungo que fermenta os açúcares do malte, produzindo álcool e dióxido de carbono. Dois principais tipos de levedura são utilizadas na indústria cervejeira: as do tipo Ale (alta fermentação) que resultam, por exemplo, em cerveja do estilo IPA (Indian Pale Ale) e as Lager (baixa fermentação) que resultam na Pilsen, que é o estilo mais consumido no Brasil (MORADO, 2009).

Além desses quatro ingredientes principais, existem os adjuntos cervejeiros. Eles são ingredientes adicionais (não essenciais) que são utilizados para adicionar sabor, aroma e textura à cerveja. Aqui estão inclusos frutas, especiarias, mel e ervas, entregando um leque de possibilidades ao mestre cervejeiro na produção de cerveja artesanal, criando perfis de sabores únicos e inovadores (AGRÁRIA, 2024).

A elaboração da cerveja pode ser dividida em oito etapas essenciais: moagem do grão, mosturação, clarificação, fervura, resfriamento, fermentação, maturação e envase. O fluxo das etapas estão demonstrados na Figura 3.4. Os tipos de malte escolhidos pelo mestre cervejeiro para a

produção de sua receita dará a cerveja aroma, sabor e cor característicos de cada estilo. Com e escolha e pesagem realizadas, se parte para o primeiro processo que é a moagem (MORADO, 2009).

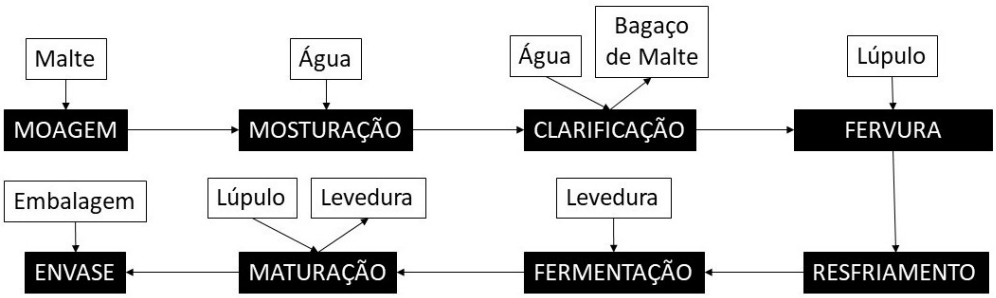


Figura 3.4. Fluxograma básico da produção de cerveja artesanal (adaptado de MORADO, 2009).

A moagem tem como objetivo moer os grãos de malte de uma forma controlada para a liberação dos açúcares (ainda em forma de amido) contidos em seu interior (endosperma). Para uma boa eficiência no processo cervejeiro, a moagem tem papel fundamental, pois não é indicado uma moagem muito fina, pois as cascas devem estar íntegras para não prejudicar a etapa de filtragem. Também não é recomendado moer grosseiramente, pois aí acontece uma grande perda de rendimento, pois quanto maior o grão ficar no final da moagem, menos ele é aproveitado no processo. O amido liberado pelo malte serão quebrados pelas enzimas em forma de açúcares para serem consumidos pelas leveduras na etapa de fermentação (AGRÁRIA, 2024).

Na próxima etapa, a mosturação, tem como objetivos a promoção da hidrólise enzimática das moléculas de amido para a formação de açúcares fermentáveis e a dissolução das substâncias do malte (cor, aroma, sabor), com a adição de água em temperatura e pH controlados, formando o que é chamado de mosto cervejeiro. Por depender de atividades enzimáticas, o controle dos parâmetros (temperatura e pH) nessa etapa é muito importante. As enzimas atuantes nessa fase são as amilases α e β, que quebram as moléculas de amido, mais complexas, em substâncias mais simples e solúveis em água para servirem de nutrientes para as leveduras (MORADO, 2009). A relação entre a temperatura e a atividade enzimática são interligadas. Aumentando a temperatura, aumenta a atividade enzimática até se obter a temperatura ótima, de maior atividade enzimática. Subindo mais a temperatura, além da ótima, inicia-se o processo de desnaturação das enzimas, processo esse irreversível. A faixa de temperatura ótima para a amilase α é de 70º a 75ºC e da amilase β de 60º a 65ºC. No caso do pH, a relação com as enzimas é reversível, possibilitando correções, e as faixas ótimas de trabalho é entre 5,6 a 5,8 para a amilase α e de 5,4 a 5,6 para a amilase β (MORADO, 2009).

A verificação da eficiência do processo de mosturação, onde é necessária a quebra das moléculas de amido, é realizada pelo teste do iodo. Para a realização desse teste é retirado algumas

gotas do mosto e colocado para reagir com uma solução de iodo. Se houver reação, que é visivelmente identificada pela cor azulada, o processo ainda está em andamento. Conforme as reações enzimáticas vão ocorrendo, a reação do iodo em contato com o mosto vão diminuindo até cessar. A partir desse momento, quando o processo enzimático chega ao fim, é realizado um aumento de temperatura (normalmente em torno de 78ºC) para a inativação das enzimas e diminuição da viscosidade do mosto, o que vai proporcionar um melhor rendimento nos processos futuros (OPABIER, 2024).

No processo de clarificação, o bagaço do malte (malte moído adicionado na etapa anterior) é separado do mosto primário (mosto mais concentrado, gerado durante o processo de mostura) por meio de um leito filtrante. O mosto secundário (ou extrato da lavagem) é extraído durante o processo de lavagem do bagaço do malte já separado, representando um mosto menos concentrado. A lavagem é realizada com água em uma temperatura em torno de 70ºC e tem como objetivo a extração de todos açúcares que ainda restaram no bagaço de malte (MORADO, 2009).

Na etapa seguinte, o mosto líquido é fervido durante 60-75 minutos a 100ºC (tempo varia dependendo da receita) para se obter sua estabilização. Nesse ponto é adicionado o lúpulo que confere o amargor da cerveja, e, no final da fervura, são adicionados os lúpulos aromáticos. A etapa de fervura também tem as funções de esterilizar o mosto, eliminar aromas indesejados e a determinação do sabor final da cerveja, pois nessa fase, além de serem adicionados os lúpulos de amargor e aromáticos, também podem ser adicionados os adjuntos (caramelo, mel, ervas, especiarias, frutas, etc) que proporcionarão as características organolépticas típicas de cada cerveja artesanal. Logo após a fervura é realizado o procedimento de medição de densidade do mosto, chamado de OG (*Original Gravity*) identificando a quantidade de açúcares dissolvidos que estão no mosto. Esse procedimento é realizado com um densímetro com o mosto a 20ºC e possibilita a avaliação do rendimento dos processos anteriores. Se o resultado encontrado for o ideal já está na hora de interromper essa fase e passar para a próxima. Se a concentração não está satisfatória, aumenta-se o tempo de fervura para que por meio da evaporação ocorra um aumento da densidade. Se o mosto já está muito concentrado, pode-se realizar uma diluição até o ponto da receita (INSTITUTO DA CERVEJA, 2024).

Na próxima etapa, é necessário resfriar o mosto até a temperatura ótima de inoculação da levedura que é entre 6º a 12ºC, variando de acordo com a levedura utilizada. O resfriamento deve ser o mais rápido possível, para que não se percam as substâncias voláteis e não ocorra alteração da cor da cerveja. Esse procedimento é realizado por meio de trocadores de calor e é uma etapa que requer muito cuidado pelo alto risco de contaminação, pois o mosto estará em uma temperatura e concentração de açúcares ótimos para micro-organismos indesejáveis. Após, é realizada a aeração

do mosto com ar estéril (cerca de 8-10mg de O_2/L) para prover oxigênio para a levedura que será adicionada na próxima etapa (INSTITUTO DA CERVEJA, 2024).

Com o mosto frio, são adicionadas as leveduras para dar início a próxima etapa, de fermentação. As leveduras se multiplicarão consumindo os açúcares e oxigênio contidos no mosto, liberando o álcool, dióxido de carbono (CO_2) e compostos de sabor. Aqui é necessário um controle preciso da temperatura, para sempre estar na temperatura ideal de trabalho das leveduras, uma elevação na temperatura pode causar mortalidade e uma diminuição causa uma dormência. A fermentação ocorre em 3 fases. A primeira fase, chamada de fase *lag*, geralmente dura as primeiras 15 horas do processo, as leveduras começam a captação de oxigênio, minerais e aminoácidos do mosto para a construção de proteínas. A segunda fase, a exponencial, ocorre durante até quatro dias. Nesse período de tempo as leveduras consomem os açúcares e produzem o álcool, o CO_2 e os compostos de sabor e o número de células aumenta rapidamente. A terceira fase, chamada de estacionária, é a fase de amadurecimento da cerveja e dura de 3 a 10 dias. Aqui as leveduras já produziram a maior parte dos compostos de sabor e aroma e seu crescimento desacelera. Para verificar se o processo de fermentação chegou ao fim, é necessário calcular novamente a densidade do mosto, agora o processo é chamado de FG (*final gravity*). Essa verificação é realizada durante três dias, quando é notado que a densidade está estável, quer dizer que a fermentação chegou ao seu fim. Com o fim da fermentação, a temperatura do tanque é colocada próxima a 0ºC para que as leveduras se sedimentem (MORADO, 2009).

A próxima etapa é a da maturação. Essa etapa dura entre 6 a 30 dias (dependendo da receita cervejeira). Aqui ocorre uma maior sedimentação das leveduras, fazendo que a cerveja se clarifique. Com o passar do tempo vão ocorrendo transformações que melhoram o aroma e paladar, sendo aqui realizado o refinamento e acabamento da cerveja (MORADO, 2009). Após a maturação, pode ser realizado, no próprio tanque de maturação, a carbonatação da cerveja. Esse processo auxilia na formação da espuma e dá frescor para a cerveja. Ele é realizado por contrapressão, normalmente utilizando o CO_2 capturado durante o processo de fermentação.

A etapa final da fabricação da cerveja é seu envase. Para seu armazenamento a cerveja é comumente envasada em latas de alumínio, garrafas de vidro, barris de aço inox e *growlers* de vidro ou PET (Politereftalato de etileno). Se a cerveja não passa pelo processo de pasteurização, ela é chamada de chope e necessita de resfriamento para seu armazenamento. Se for pasteurizada, aumenta-se o tempo de vida de prateleira e o chope se transforma em cerveja, não necessitando de refrigeração para seu armazenamento (INSTITUTO DA CERVEJA, 2024).

Como visto, a produção da cerveja, dentro da cervejaria, requer muitos processos que demandam uma grande quantidade de energia térmica e elétrica. Além disso, como resultado dos

processos, é gerado uma quantidade considerável de resíduos sólidos, que é o malte após sua separação do mosto. Com isso, a identificação dos pontos críticos nos processos é fundamental para se alcançar a sustentabilidade na indústria cervejeira artesanal.

A seguir, os próximos 4 capítulos serão apresentados em forma de artigos acadêmicos, sendo que o primeiro tratará de uma Revisão Sistemática sobre o assunto abordado, sendo o mesmo já publicado em um Congresso Internacional, com sua versão publicada em inglês disponível nos anexos. O segundo artigo, trata da ACV ambiental da produção de cerveja artesanal. Aqui foi realizado um estudo detalhado sobre os potenciais impactos da produção de cerveja artesanal no Nordeste brasileiro. Esse artigo foi publicado em periódico quali Capes A2 e sua versão em inglês publicada está disponível nos anexos. O terceiro artigo trata da ACV ambiental acompanhado do CCV econômico. Aqui se buscou demonstrar todos os custos monetários da produção da cerveja, e amparado com a ACV ambiental, foram calculados os custos ecológicos, *ecocosts*, atribuindo um valor monetário às emissões encontradas através do estudo de ACV. O quarto artigo trata da ASCV em si, com os estudos da ACV ambiental, CCV econômico e a ACV-S social sendo aplicadas de maneira conjunta no ciclo de vida da produção de cerveja artesanal. O terceiro e quarto artigos foram submetidos para publicação em periódicos.

4. ARTIGO – REVISÃO SISTEMÁTICA DA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA EM CERVEJARIAS

REVISÃO SISTEMÁTICA DA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA EM CERVEJARIAS

Resumo

A cerveja é a bebida alcoólica mais consumida no mundo. Buscando tornar a produção da cerveja mais sustentável, diversos autores realizaram estudos de distintas categorias de impactos associados a sua produção. Diversas metodologias estão sendo utilizadas para esse fim, no âmbito ambiental, se destaca a Avaliação do Ciclo de Vida (LCA). No econômico a Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (LCC) e no social, a Avaliação Social do Ciclo de Vida (S-LCA). Abrangendo esses três pilares da sustentabilidade, existe a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (LCSA). Nesse estudo foi realizada uma revisão sistemática da literatura (RSL) afim de identificar e selecionar trabalhos relevantes no que diz respeito a aplicação da LCSA no mercado cervejeiro internacional. Foram selecionados estudos em duas bases de dados, *Web of Science* (WoS) e *Scopus*. Foram selecionados estudos sem data inicial de publicação até estudos publicados no ano de 2022. A comparação final dos resultados encontrados pelos diversos autores é complexa, pois cada um se utilizou de ferramentas específicas, como diferentes *softwares* e bases de dados. Apesar de não ser encontrado estudos de LCSA e de S-LCA em cervejarias, já existe estudo abrangendo LCC e um número considerável de estudos de LCA no ramo cervejeiro.

Palavras-chave: LCSA; LCA; LCC; S-LCA; Cerveja

1. INTRODUÇÃO

O mercado cervejeiro mundial está em constante crescimento, com uma Taxa de Crescimento Anual Composta prevista para o período de 2022-2027, de 5,2% (MORDOR INTELLIGENCE, 2023). A produção global de cerveja alcançou o patamar de 1.82 bilhões de hectolitros em 2020 (BARTHHASS, 2022). O mercado mundial de cervejas artesanais também está em crescimento, de acordo com a Brewers Association (2022), nos Estados Unidos, houve uma expansão na produção entre 2020 e 2021 de 8% no volume produzido, atingindo 124.000 hL de cerveja artesanal em 2021. O mercado brasileiro de cerveja artesanal também acompanha essa tendência de crescimento, e, apesar da pandemia global de Covid-19, ao final do ano de 2020 o Brasil chegou a um total de 1.383 cervejarias artesanais registradas no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2022). Com todo esse volume de produção são inevitáveis certos impactos ambientais, econômicos e sociais. Atualmente existe uma grande necessidade de avaliar a sustentabilidade de produtos e serviços, com várias ferramentas sendo desenvolvidas para esse fim (FINKBEINER, 2010).

O desenvolvimento da Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (mais conhecida pela sua abreviação LCSA, do inglês *Life Cycle Sustainability Assessment*), se deu a partir da necessidade de incorporar os três pilares do desenvolvimento sustentável: Impactos Ambientais, Econômicos e Sociais, em uma formulação única, mas mantendo a perspectiva do ciclo de vida. A LCSA possui duas formulações: A primeira, formalizada por Kloepffer (2008) denomina a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida como um método que combina a LCA (Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental, do inglês *Life Cycle Assessment*) com a Avaliação do Custo do Ciclo de Vida Ambiental (En-LCC, do inglês *Life Cycle Costing*)) e com a Avaliação dos Impactos Sociais do Ciclo de Vida (S-LCA, do inglês *Social Life Cycle Assessment*). Nesta formulação, a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida pode ser vista como a soma desses três métodos: LCSA = LCA + En-LCC + S-LCA.

Na segunda formulação, a LCSA atua como uma estrutura, e não como um modelo, tendo sua definição semelhante à primeira formulação, mas com um escopo mais amplo (GUINEE, 2011). De acordo com a formulação de Guineé (2011), a LCSA amplia o escopo do nível do produto para assuntos relacionados a um setor industrial ou toda uma economia. Essa formulação amplia o escopo da atual LCA para além das interdependências predominantemente tecnológicas para abranger as econômicas e sociais, possibilitando assim sua combinação com diversos métodos, como Análise de Fluxo e Materiais, Custo-Análise de Benefícios entre outros (FAUZI, 2019).

A LCA busca quantificar os potenciais impactos ambientais de produtos e serviços baseando-se nos fluxos materiais e de energias. O primeiro estudo de ACV é atribuído ao *Midwest Research Institute*, que, em 1969, conduziu um estudo para a *Coca-Cola Company* comparando diversos tipos de embalagem (BAUMAN, 2004). A LCA é internacionalmente validada e consolidada, sendo padronizada pela *International Organization for Standardization* (ISO) em suas normas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006) que no Brasil foram traduzidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A LCA possui quatro etapas inter-relacionadas (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b):

i) Definição do objeto e escopo, onde se definem as fronteiras da análise e o objetivo do estudo, além da unidade funcional;

ii) Construção do inventário, que é um levantamento quantificado de dados de todas as entradas (materiais, energia e recursos) e saídas (produtos, subprodutos, emissões) associadas a unidade funcional;

iii) Identificação e avaliação em termos de impactos potenciais ao meio ambiente que podem ser associados aos dados levantados no inventário (em outras palavras, esta etapa aplica um método de avaliação de impacto ambiental para expressar os resultados);

iv) Interpretação dos resultados, onde os resultados obtidos nas fases de Análise de Inventário e de Avaliação de Impacto são combinados e interpretados de acordo com os objetivos definidos previamente no estudo.

A LCA também possui dois tipos de modelagem: A atribucional e a consequencial. Na modelagem atribucional o foco está na avaliação dos impactos ambientais produzidos pelos processos diretamente utilizados no sistema de produto avaliado (ZAMAGNI, 2012). Na modelagem consequencial, a avaliação visa modelar as consequências das mudanças de fluxos físicos causados por uma demanda crescente ou decrescente nos processos do sistema do produto (EARLES, 2011; CURRAN, 2013). O modelo atribucional busca responder à pergunta: "Qual o impacto ambiental que pode ser atribuído ao produto X? " O modelo consequencial responde a outra pergunta: "Quais são as consequências ambientais de consumir o produto X? " (BJORN, 2018).

A LCC é uma técnica de avaliação econômica que visa quantificar todos os custos e fluxos de caixa que surgem durante todo o ciclo de vida de um produto, serviço ou projeto (AMMAR *et al.*, 2013). Ela é universalmente aceita como método de escolha para avaliação econômica na LCSA. Historicamente, a LCC tem sido utilizada apenas para refletir os custos internos incorridos por um único ator do mercado, embora também possa ser usada para avaliar mais de um ator na cadeia de valor. Com a necessidade de levar em conta todas as perspectivas e considerar os custos juntamente com outras dimensões da sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de um produto, estão sendo desenvolvidos métodos de LCC mais inclusivos (CIROTH, 2008). Ciroth (2008) identificou três tipos diferentes de LCC. O primeiro é o LCC convencional (LCC), que é uma avaliação puramente econômica que incorpora apenas os custos e benefícios internos, de um ou mais atores do mercado no ciclo de vida do produto. O segundo é o LCC Ambiental (En-LCC), que é a avaliação de todos custos internos e externos associados ao ciclo de vida do produto, com inclusão complementar de externalidades monetizadas. O terceiro tipo de LCC é o LCC Social (S-LCC) o qual contabiliza todos os custos privados e externos relevantes para toda sociedade, tanto no tempo presente como no futuro, monetizando todas as externalidades, incluindo impactos ambientais e sociais.

A S-LCA avalia os impactos socioeconômicos reais e potenciais, positivos e negativos, de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. O S-LCA possui um antecessor que é conhecido como Avaliação do Impacto Social (AIS), o qual visava avaliar os impactos sociais de atividades e produtos (FREUDENBURG, 1986). O S-LCA é relativamente recente, tendo suas primeiras diretrizes sendo publicadas pelo UNEP/SETAC em 2009 (BENOÎT, 2009), com o intuito de fornecer orientações às partes interessadas envolvidas nas avaliações dos impactos sociais ao longo da vida útil de produtos e serviços. Assim como a ACV, o S-LCA possui quatro fases inter-relacionadas: Definição do objetivo e escopo, análise de inventário social do ciclo de vida,

avaliação de impactos sociais do ciclo de vida e interpretação. Uma diferença perceptível em relação à ACV ambiental é o alto nível de sensibilidade a diferentes localizações geográficas para cada estágio (BENOÎT, 2009). Na fase de definição de objetivo e escopo, um papel relevante é desempenhado pelas partes interessadas, sendo elas: trabalhadores, comunidade local, atores da cadeia de valor, consumidor, sociedade e crianças (UNEP, 2020).

Neste contexto, o objetivo desde estudo é fornecer uma revisão sistemática do estado atual de desenvolvimento da Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida em Cervejarias. Como objetivo secundário, está verificar a existência de lacuna na pesquisa envolvendo a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida. Para esses objetivos, foi escolhido o mercado cervejeiro pelo seu alto impacto ambiental, econômico e social. Por ser uma das bebidas mais consumidas no mundo, sua produção traz distintos impactos nos locais de produção das matérias primas (como nos cultivos de cevada e do lúpulo) fabricação da cerveja e materiais auxiliares (como nas embalagens e produtos de limpeza) nas etapas de transporte (desde as matérias primas até a distribuição do produto aos pontos de venda). Uma avaliação dos impactos além dos ambientais, englobando os econômicos e sociais nos traz um panorama mais amplo de como um produto influi na sociedade.

2 METODOLOGIA

Seguindo as diretrizes propostas por Pulin e Stewart (2006), são definidas três etapas:

i) Planejamento da revisão: aqui são definidas as questões da pesquisa e desenvolvimento de um protocolo de revisão;

ii) Condução da revisão: incluindo a busca de dados, seleção de dados relevantes de acordo com o que foi definido nos critérios de inclusão e exclusão, avaliação da qualidade dos dados, extração e síntese dos dados, e

iii) Relatórios e divulgação dos dados.

2.1 Planejamento da revisão

Nessa etapa foram definidas as questões da pesquisa e o desenvolvimento do protocolo de revisão que está disponível no material suplementar. As questões de pesquisa abordadas nessa revisão são as seguintes:

- Quais são as principais características da literatura sobre Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida em Cervejarias?
- Quais são as ferramentas e abordagens utilizadas nessa literatura?
- Quais são os agrupamentos de artigos apresentados pela literatura referida?
- Quais são as oportunidades de pesquisa para esta literatura?

2.2 Condução da revisão

A pesquisa bibliográfica foi realizada buscando artigos relevantes nas bases de dados *Web of Science* e da *Scopus*. O protocolo de revisão considerou termos de busca no título, resumo e palavras-chave. Cinco grandes grupos de expressões de busca foram usados.

O primeiro grupo consistiu na busca pela Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida, utilizando os termos de busca "Life Cycle Sustainability Assessment" ou "Life Cycle Sustainability Analysis" ou sua sigla "LCSA".

O segundo grupo buscou pela Avaliação do Ciclo de Vida, com os termos de busca "life cycle assessment" ou "life cycle analysis" ou sua sigla "LCA".

O terceiro grupo buscou pela Avaliação Social usando "social life cycle assessment" ou "social life cycle analysis" ou as siglas "SLCA" ou "S-LCA".

O quarto grupo buscou pelo Custo de Vida utilizando "life cycle costing" ou sua sigla "LCC".

O último grupo liga os outros quatro com as cervejarias, utilizando os termos de busca "beer" or "brewing" or "brewer*". Essa revisão sistemática consiste em uma pesquisa bibliográfica de estudos relevantes publicados em periódicos revisados por pares até dezembro de 2022. Um ano inicial não foi definido para considerar a perspectiva histórica do desenvolvimento dos estudos.

A seleção dos artigos para revisão foi baseada na definição dos critérios de inclusão e exclusão. Os critérios de inclusão consistiram em artigos publicados em periódicos revisados por pares que abordassem simultaneamente pelo menos um dos três pilares da sustentabilidade (ambiental, econômica e social) em uma perspectiva de ciclo de vida da cerveja ou uma cervejaria. Como foram utilizadas duas bases de dados distintas, foi necessário excluir as duplicatas. Os critérios de exclusão consistiram em artigos não escritos em inglês e a literatura cinza (livros, capítulos de livros, artigos de conferências, editoriais, erratas, notas e cartas). A literatura cinza foi excluída para garantir a qualidade dos artigos selecionados, pois tais publicações geralmente não são revisadas por pares e podem representar resultados preliminares de pesquisas, o que pode refletir em alta variabilidade de sua qualidade (ADAMS *et al.*, 2017). Em seguida, os demais artigos foram avaliados de forma independente pelos autores para exclusão de artigos não relacionados a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida ou que não abordassem simultaneamente um dos três pilares da sustentabilidade com cerveja ou cervejarias. Esse processo visou dar maior confiabilidade na inclusão dos artigos.

A extração de dados foi realizada qualitativamente para todos artigos selecionados para essa revisão. A síntese dos dados consistiu na classificação dos artigos selecionados em: revisão, desenvolvimento metodológico, abordagem mistas e estudos de caso, com a posterior extração de seus dados qualitativos. Os artigos que se enquadram nessas classificações, foram posteriormente discutidos de acordo com as abordagens propostas.

2.3 Relatórios e divulgação dos dados

Os resultados da revisão são apresentados na seção 3. Os resultados encontrados a partir dos critérios de inclusão e exclusão são apresentados. Após, todos artigos selecionados são analisados descritivamente de acordo com sua categoria e com as questões de pesquisa definidas nessa revisão.

3 RESULTADOS

A primeira pesquisa foi realizada utilizando a *string* de busca: (TITLE-ABS-KEY (("Life Cycle Sustainability Assessment" OR "Life Cycle Sustainability Analysis" OR "LCSA")) AND TITLE-ABS-KEY (("beer" OR "brewing" OR "brewery"))). Essa pesquisa, na base de dados da *Web of Science*, resultou em um artigo que não está no escopo da pesquisa, pois trata de uma pesquisa relacionada a uma biorefinaria à base de algas. Essa mesma *string* foi utilizada na base de dados da *Scopus* resultando em nenhum artigo encontrado.

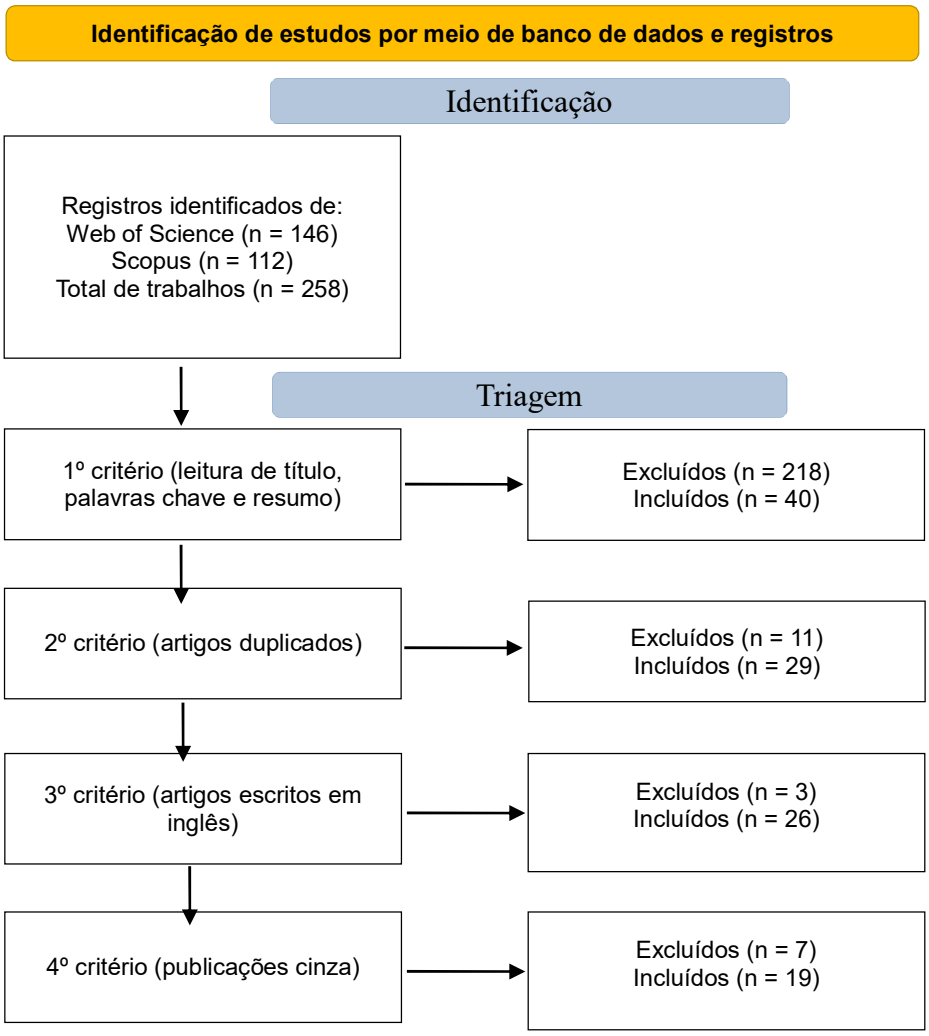
Como a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida pode ser vista como a soma dos três métodos, LCSA = LCA + LCC + S-LCA, as próximas pesquisas foram realizadas utilizando uma combinação das *strings* correspondentes com cada método. Para a Avaliação do Ciclo de Vida, foi utilizada a *string*: ("life cycle assessment" or "life cycle analysis" or "LCA"). Para a Avaliação do Custo de Vida foi utilizada a *string*: ("life cycle costing" or "LCC"). E finalmente, para a Avaliação Social do Ciclo de Vida a seguinte *string* foi utilizada: ("social life cycle assessment" or "social life cycle analysis" or "SLCA" or "S-LCA").

Iniciando com artigos que propõem um estudo dos impactos sociais da produção e/ou consumo de cerveja, foram utilizados em ambas bases de dados, *Web of Science* e *Scopus*, a *string* de busca: (TITLE-ABS-KEY((“social life cycle assessment” OR “social life cycle analysis” OR “SLCA” OR “S-LCA”)) AND TITLE-ABS-KEY ((“beer” OR “brewing” OR “brewer*”))). Em ambas bases de dados não foram encontrados nenhum artigo científico relacionando cerveja e seus respectivos impactos sociais.

A próxima pesquisa relacionou a Avaliação de Custo de Vida (LCC) com a cerveja e/ou cervejarias. Foi utilizada a seguinte *string* de pesquisa nas bases de dados: (TITLE-ABS-KEY ((“life cycle costing” OR “LCC”)) AND TITLE-ABS-KEY ((“beer” OR “brewing” OR “brewer*”))). Em ambas bases de dados, *Web of Science* e *Scopus*, a pesquisa retornou sete trabalhos. Como foi um número pequeno de trabalhos publicados, apenas com a leitura do título já foi possível fazer a seleção de apenas um artigo que está relacionado com a aplicação dos conceitos de Avaliação de Custo de Vida em uma cervejaria. Como a pesquisa foi realizada em duas bases de dados distintas, o mesmo artigo foi encontrado em ambas.

A última pesquisa relacionou a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) com a cerveja e/ou cervejarias. A *string* utilizada foi (TITLE-ABS-KEY ((“life cycle assessment” OR “life cycle analysis” OR “LCA”)) AND TITLE-ABS-KEY ((“beer” OR “brewing” OR “brewer*”))). Na base de dados *Web or Science* foram inicialmente encontrados 146 trabalhos e na *Scopus* 112, totalizando 258 publicações. Com um número considerável de trabalhos, essa pesquisa passou pelas próximas etapas de classificação dessa revisão sistemática.

O primeiro critério de inclusão/exclusão de artigos, foi a leitura dos títulos, palavras-chave e resumo, para identificar trabalhos relacionados ao tema dessa revisão sistemática. Nessa etapa foram excluídos 218 trabalhos que não estavam no escopo desta revisão e incluídos 40. Como as mesmas *strings* de busca foram utilizadas em ambas bases de dados, o próximo critério foi a exclusão de artigos duplicados, aqui, 11 artigos foram excluídos do estudo. Após, para o critério artigos escritos em inglês, somente 3 artigos foram excluídos. Para o próximo critério, data de publicação, todos artigos encontrados se encontram até a data limite de publicação de dezembro de 2022. Para o critério de “publicação cinza” (artigos de conferência, livros, capítulos de livro) foram excluídos um total de 7 publicações. No final, 19 artigos publicados em periódicos foram incluídos para essa revisão sistemática. A Figura 4.1 sintetiza os processos de identificação e triagem.



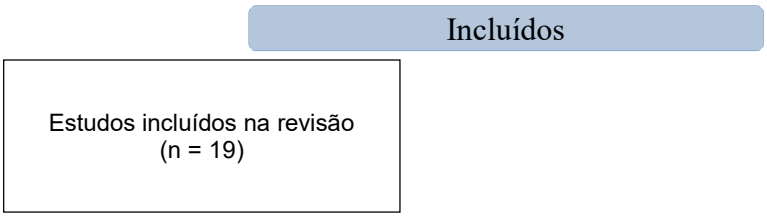


Figura 4.1 – Fluxograma Prisma de identificação de estudos por meio de banco de dados e registros

Como o primeiro conjunto de *strings* de busca, relacionando a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (LCSA) com cervejarias ou a cerveja não retornou nenhum trabalho publicado, a análise desta revisão sistemática será realizada com os três pilares da sustentabilidade (econômico, social e ambiental) individualmente aplicados em estudo de caso com cervejarias.

Iniciando com o pilar social, a Avaliação Social do Ciclo de Vida (S-LCA) aplicado às cervejarias ou com a cerveja, não foram encontrados trabalhos publicados em periódicos em nenhuma das bases de dados pesquisadas.

A próxima pesquisa relacionou o pilar econômico, a Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (LCC) com cervejarias, e aí sim, foi encontrado um trabalho que abrange os pilares econômicos e ambientais da produção de cerveja. O trabalho de Amienyo & Azapagic (2016), intitulado "*Life cycle environmental impacts and costs of beer production and consumption in the UK"* realizou um estudo de caso com o mercado de produção e consumo de cerveja no Reino Unido. Os impactos ambientais da ACV foram estimados seguindo as diretrizes da ISO 14040/44, e para os econômicos, LCC, utiliza-se uma metodologia congruente com a abordagem da ACV. Os dados primários para o estudo foram obtidos com um fabricante de cerveja e os dados secundários através dos bancos de dados CCaLC, Ecoinvent e do *software* GaBi 4.3, o qual também foi utilizado para a modelagem da ACV, utilizando o método CML 2001. Foram comparados três formas de embalagem: garrafa de vidro de 0,33 l, latas de alumínio e latas de aço de 0,44 l utilizando duas unidades funcionais: 1 litro de cerveja e o consumo anual de 4,5 bilhões de litros. Os autores concluíram que os maiores impactos ambientais foram da embalagem de vidro, pelo seu alto consumo energético para fabricação e suas respectivas emissões de CO_2-eq. Para essa questão os autores sinalizam que reduzir o peso da garrafa e aumentar a porcentagem de vidro reciclado na fabricação de novas garrafas gera um grande impacto positivo, a cada inclusão de 10% de vidro reciclado, o GWP se reduz em 3%, chegando em uma redução de cerca de 16.700 toneladas de CO_2-eq anualmente. Na avaliação do custo do ciclo de vida, foi encontrado que a produção da matéria-prima da cerveja corresponde com 67% dos custos, não importando qual tipo de embalagem a cerveja é armazenada. A redução de consumo de cerveja no Reino Unido é apontada pelos autores como forma de reduzir

o custo do ciclo de vida. Uma redução no consumo *per capita* em 10% equivale a reduzir a demanda energética em torno de 5.000 TJ/ano e o custo do ciclo de vida em 55 milhões de libras. Como a redução de consumo de álcool é uma questão complexa, não existe uma solução simples para a redução dos impactos ambientais e econômicos que o consumo de cerveja traz para o Reino Unido.

Tratando apenas do pilar ambiental da produção e consumo de cerveja, após a seleção de trabalhos relevantes e que estão dentro dos parâmetros fixados nessa revisão sistemática, foram selecionados 19 artigos para discussão. Como descrito no protocolo dessa revisão sistemática, não foi definida uma data inicial para pesquisa para poder contemplar o maior número de trabalhos publicados. Para data final ficou estabelecida como o ano de 2022. A Figura 4.2 representa a quantidade de publicações no decorrer dos anos, abrangendo o período de 2001 a 2022.

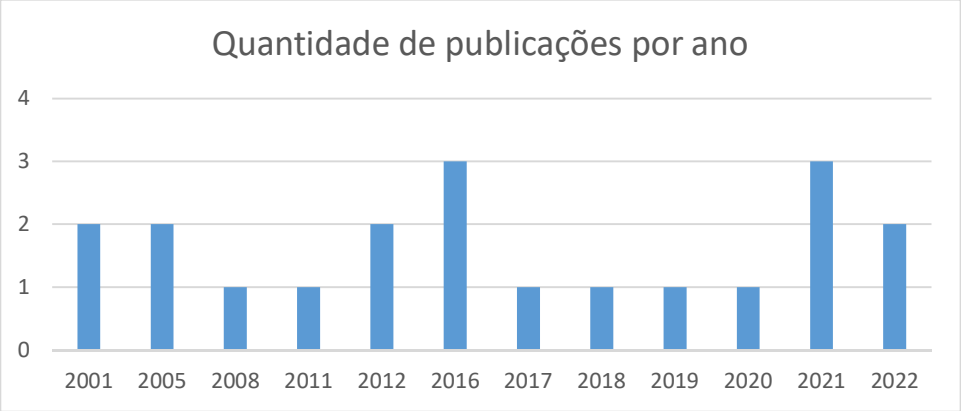


Figura 4.2 - Quantidade de publicações por ano.

Em relação à distribuição geográfica dos estudos publicados, 18 foram realizados na Europa, e somente dois nas Américas. A Figura 4.3 mostra a distribuição entre os países dos trabalhos publicados.

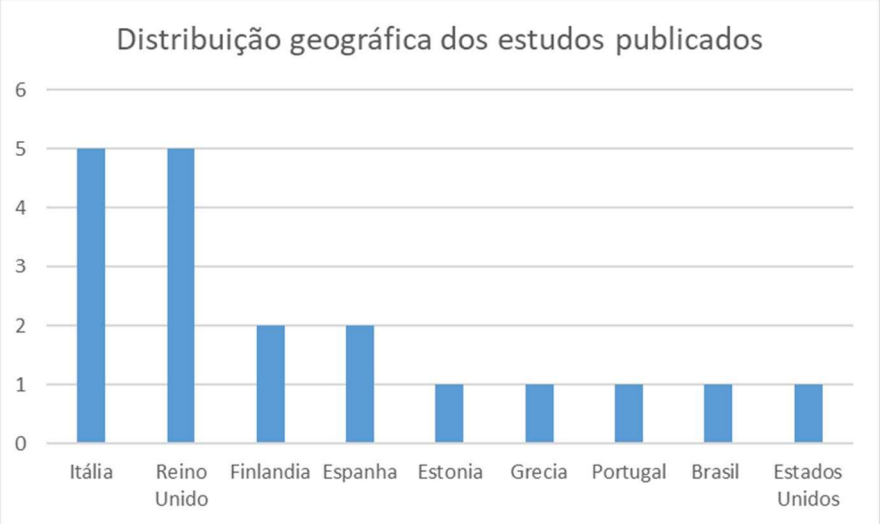


Figura 4.3 - Distribuição geográfica dos estudos publicados.

Para os estudos de impactos ambientais, a maioria dos autores delimitou as fronteiras do sistema englobando a produção da matéria prima cervejeira, produção da cerveja, fabricação de embalagens e distribuição. Apesar dos autores utilizarem diferentes *softwares* (Simapro, GaBi, OpenLCA) e distintas bases de dados (Ecoinvent, CcaLC) os resultados convergem para valores próximos quando os mesmos processos são avaliados.

Talve (2001), na Estônia, realizou o primeiro trabalho encontrado nessa revisão sistemática a respeito de Avaliação de Ciclo de Vida em Cervejarias. Como na época não havia um *software* específico para estudos de ACV em produtos, o autor adaptou a ferramenta KCL-ECO, que foi desenvolvida para estudos de ACV em produtos florestais e madeireiros. O objetivo do estudo foi a quantificação dos impactos ambientais de diferentes estágios da produção da cerveja para avaliar uma possível instalação de uma nova planta cervejeira. A produção agrícola foi a que mais contribuiu com os impactos ambientais, cerca de 80% das emissões.

Mata *et al.* (2001), Koroneos *et al.*(2003), Hospido *et al.*(2005), Cordella *et al.*(2008), Pasqualino *et al.*(2010), Cimini *et al.*(2015),(2017),(2018), De Marco *et al.*(2016), Amienyo *et al.*(2016) e Morgan *et al.*(2021),(2022) analisaram a produção da cerveja "do berço ao portão" e mesmo em distintas regiões geográficas, encontraram que o maior impacto ambiental está na embalagem utilizada na cervejaria, sendo que a garrafa de vidro possui as maiores emissões atmosféricas. Foi demonstrado nos estudos que uma substituição, mesmo que parcial, do material virgem por vidro reciclado na fabricação das garrafas já resultam em uma grande diminuição de seus impactos associados. Também chegaram à conclusão que a inserção de uma porcentagem de garrafas retornáveis traz benefícios para o setor. A utilização de barris de PET no lugar dos tradicionais de aço inoxidável, trazem benefícios principalmente na etapa de distribuição, diminuindo as emissões dos veículos de carga. É consenso entre eles que a embalagem mais sustentável, independentemente do país estudado é a lata de alumínio.

Diniz *et al.* (2020) e Salazar *et al.*(2021) analisaram os impactos ambientais das inclusões de energias renováveis nos processos de fabricação de cerveja nas cervejarias de seus países. Os dois autores encontraram benefícios ambientais na inclusão do aquecimento solar de água para uso nos processos cervejeiros, mas Salazar *et al.* (2021) apontaram que esse benefício ambiental não se traduz em benefício econômico para a cervejaria. Por conta do porte da cervejaria estudada pelo autor, a instalação do sistema de aquecimento solar só seria viável com um incremento em sua produção anual. Tratando apenas de impactos ambientais, ficou demonstrado nesses dois estudos que a inserção, mesmo que parcial, de energia solar fotovoltaica e aquecimento solar de água nos processos cervejeiros, traz reduções nas emissões associadas aos processos produtivos da cervejaria.

Saget *et al.* (2022) consideram em seu estudo que a cervejaria é uma parte de uma cadeia de valor multifuncional entre cerveja e ração animal, onde os coprodutos obtidos durante as etapas de descascamento, maltagem e mosturação da cervejaria são usados como ração rica em proteínas para animais criados no Reino Unido. Ele analisou os benefícios da inclusão parcial de grãos de leguminosas na produção da cerveja para fornecimento de coprodutos mais nutritivos para ração animal.

Com dois trabalhos publicados nesse período, Mattilla *et al*. (2011),(2012) realizaram duas análises distintas do mercado cervejeiro. O primeiro trabalho, intitulado "*Land use indicators in life cycle assessment"*, os autores analisam nove indicadores de uso da terra usando como estudo de caso uma cervejaria localizada na Finlândia. Foi encontrado que a maioria dos impactos na terra foram causados na fase de cultivo das matérias primas, mas também houve impactos significativos em toda cadeia de suprimentos da cervejaria. O segundo trabalho, intitulado "*Uncertainty in environmentally conscious decision making: beer or wine?"* teve o propósito de utilizar a Avaliação do Ciclo de Vida como suporte para uma tomada de decisão sustentável. Beber vinho ou cerveja em um restaurante, qual gera mais impactos ambientais? Os resultados indicaram que a cerveja possui em média uma pegada de carbono superior ao vinho, no entanto, a diferença não foi significativa e, dentro da faixa de incerteza, também foi possível a conclusão oposta.

Garcia-Garcia (2019) realizou um estudo de ACV com o propósito de avaliar os impactos ambientais da valorização dos resíduos que uma cervejaria produz. Foi avaliada a valorização da palha da cevada. A palha da cevada é um dos maiores resíduos que a indústria cervejeira produz, pois a partir da cevada que é produzido o malte, um dos principais ingredientes da cerveja. Os impactos ambientais da extração supercrítica com CO_2 da cera da palha de cevada foi comparada com os impactos ambientais dos tratamentos atuais para esse resíduo. Apesar dessa cera ser um produto de alto valor agregado (é semelhante à cera de carnaúba) o método estudado, a extração supercrítica com CO_2, é um processo de uso intensivo de energia, com isso, de alto impacto ambiental. Os autores sugerem que a utilização de fontes alternativas de energia para utilização nesse processo já iria diminuir as emissões tornando o processo de valorização desse resíduo viável.

Apesar de não mencionado pelos autores, todos trabalhos selecionados estão alinhados com o 12º Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS12) criado pela Organização das Nações Unidas (ONU) com o objetivo de cumprir os acordos firmados na Agenda 2030. A ODS 12 tem como princípio assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis. A produção sustentável é vista como aquela que envolve a utilização de menos recursos naturais (como a água) em sua fabricação, garante emprego decente em todo ciclo de vida do produto e utiliza materiais que são facilmente reaproveitados ou reciclados (no caso das embalagens). O consumo sustentável acontece quando a escolha de compra ou aquisição de algum produto realizada pela sociedade é consciente,

responsável e com a compreensão que essa ação terá consequências ambientais, econômicas e sociais.

4 CONCLUSÃO

Esta revisão sistemática demonstrou a lacuna existente no que se refere à Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida. A pesquisa inicial focou na Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida em Cervejarias mas não foi encontrado nenhum trabalho publicado em revistas indexadas. Como a LCSA pode ser vista como a soma dos três pilares da sustentabilidade (econômico, social e ambiental), o próximo passo foi abranger cada pilar de forma individual ou combinada.

Iniciando com o pilar social, a Avaliação Social do Ciclo de Vida, S-LCA, não foi encontrado nenhum trabalho quantificando impactos sociais em cervejarias ou com a cerveja nas bases de dados pesquisadas. Como a S-LCA é considerada uma metodologia recente, seus primeiros guias datam de 2009. Portanto ainda não existem muitos trabalhos publicados sobre os impactos sociais de produtos e serviços, evidenciando uma lacuna importante a ser preenchida, pois os impactos sociais afetam diretamente a qualidade de vida da população.

Para a Avaliação do Custo do Ciclo de Vida, LCC, apenas um trabalho foi encontrado com a combinação de impactos econômicos e ambientais de uma cervejaria no Reino Unido. No pilar ambiental, pesquisando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no mercado cervejeiro, um número considerável de trabalhos foi encontrado e analisado. Os autores utilizaram diferentes indicadores de impactos ambientais e diferentes métodos e *softwares* para estimá-los, o que, apesar de valores próximos, dificulta comparações cruzadas. Os trabalhos analisados contemplaram tanto grandes cervejarias como cervejarias artesanais e de pequeno porte. Os resultados variaram bastante, por razão das fronteiras dos sistemas analisados, posicionamento geográfico e porte das cervejarias.

Finalmente, conclui-se que existe uma importante lacuna a ser preenchida nessa linha de pesquisa em que se quantifica de maneira ampla a sustentabilidade de produtos e serviços. Levar em conta aspectos sociais e econômicos além dos ambientais é importante para quantificar a sustentabilidade de um produto ou serviço.

6 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura: NBR ISO 14040, Rio de Janeiro, versão corrigida 2014a, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental -Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: NBR ISO 14044, Rio de Janeiro, ABNT – versão corrigida 2014b, 2009.

ADAMS, R.J., SMART, P., HUFF, A.S., 2017. Shades of grey: guidelines for working with the grey literature in systematic reviews for management and organizational studies. Int. J. Manag. Rev. 19 (4), 432–454.

AMIENYO, D.; AZAPAGIC, A. Life cycle environmental impacts and costs of beer production and consumption in the UK. International Journal LCA, 2016.

AMMAR, M., ZAYED, T., MOSELHI, O., 2013. Fuzzy-based life-cycle cost model for decision making under subjectivity. J. Constr. Eng. Manag. 139, 556–563.

BARTHHASS, 2022. The Industry Report of the Year. 2022 Disponível em: https://www.barthhaas.com/en/campaign/barthhaas-report-2022 Acesso 15 ago 2022.

BAUMAN, H.; TILLMAN, A.-M. The Hitch Hiker's Guide to LCA: An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Applications, 1st ed.; 2004.

BENOÎT, C.; MAZIJN, B. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products—Social and Socio-Economic LCA Guidelines Complementing Environmental LCA and Life Cycle Costing, Contributing to the Full Assessment of Goods and Services within the Context of Sustainable Development; United Nations Environment Programme: Paris, France, 2009; ISBN 9789280730210.

BJORN, A.; OWSIANIAK, M.; LAURENT, A.; OLSEN, S.I.; CORONA, A.; HAUSHILD, M.Z. Scope Definition. In: Life Cycle Assessment: Theory and Practice. 2018

BREWERS ASSOCIATION, 2022. Promoting Independent Craft Brewers. Disponível em: www.brewersassociation.org Acesso em 15 ago 2022.

CIMINI, A.; MORESI, M. Carbon footprint of a pale lager packed in diferente formats: assessment and sensivity analysis based on transparente data. Journal of Cleaner Production, 2016.

CIMINI, A.; MORESI, M. Effect of brewery size on the main process parameters and cradle-to-grave carbono footprint of lager beer. Journal of Industrial Ecology, 2017.

CIMINI, A.; MORESI, M. Mitigation measures to minimize the cradle-to-grave beer carbono footprint as relates to the brewery size and primary packaging materials. Journal of Food Engineering, 2018.

CIROTH, A.; VERGHESE, K.; TRESCHER, C. A Survey of Current Life Cycle Costing Studies. In Environmental Life Cycle Costing; Hunkeler, D., Lichtenvort, K., Rebitzer, G., Eds.; SETAC: Jacksonville, FL, USA, 2008; p. 234; ISBN 978-1-58488-661-7.

CORDELLA, M.; TUGNOLI, A.; SPADONI, G.; SANTARELLI, F.; ZANGRANDO, T. LCA of na Italian lager beer. International Journal LCA, 2008.

CURRAN, M.A. Life Cycle Assessment: a review of the metodology and its application to sustentability. Curr. Opin. Chem. Eng. 2013, 2, 273-277

DE MARCO, I.; MIRANDA, S.; RIEMMA, S.; IANNONE, R. Life cycle assessment of ale and lager beers production. Chemical Engineering Transactions, 2016.

DINIZ, D.P.; CARVALHO, M.; ABRAHÃO, R. Greenhouse gas accounting for the energy transition in a brewery. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2020.

EARLES, J.M.; HALOG, A. A Consequential life cycle assessment: a review. International Journal Life Cycle Assessment, 2011, 16, 445-453

FINKBEINER, M., SCHAU, E.M., LEHMANN, A., TRAVERSO, M., 2010. Towards life cycle sustainability assessment. Sustainability 2 (10), 3309–3322.

FREUDENBURG, W.R. Social impact assessment. Annu. Rev. Sociol. 1986, 12, 451–478.

GARCIA-GARCIA, G.; RAHIMIFARD, S.; Life-cycle environmental of barley straw valorisation. Resources, Conservation & Recycling, 2019.

GUINEE, J.B.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; ZAMAGNI, A.; MASONI, P.; BUONAMICI, R.; EKVALL, T.; RYDBERG, T. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. Environ. Sci. Technol. 2011, 45, 90–96

HOSPIDO, A.; MOREIRA, M.T.; FEIJOO, G. Environmental analysis of beer production. International Journal Agricultural Resources Governance and Ecology, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, ISO 14040:2006: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, Genebra, ISO 2006a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, ISO 14044:2006: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, Genebra, ISO 2006b.

KLOEPFFER, W., 2008. Life cycle sustainability assessment of products (with comments by Helias A. Udo de Haes, p. 95). Int. J. Life Cycle Assess. 13 (2), 89–94. https://doi.org/10.1065/lca2008.02.376

KORONEOS, C.; ROUMBAS, G.; GABARI, Z.; PAPAGIANNIDOU, E. MOUSSIOPOULOS, N. Life cycle assessment of beer production in Greece. 2003.

MAPA, 2022. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br Acesso em 10 jun 2022.

MATA, T.M.; COSTA, C.A.V. Life cycle assessment of different reuse percentages for glass beer bottles. International Journal LCA, 2001.

MATTILA, T.; HELIN, T.; ANTIKAINEN, R. Land use indicators in life cycle assessment. International Journal Life Cycle Assessment, 2012.

MATTILA, T; LESKINEN, P.; SOIMAKALLIO, S.; SIRONEN, S. Uncertainty in environmentally conscious decision making: beer or wine? International Journal LCA, 2012.

MORDOR INTELLIGENCE (2023) Mercado de cerveja – Crescimento, tendências e previsões (2023-2028). Disponível em: https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/beer-market acesso em 15/05/2023.

MORGAN, D.R.; STYLES, D.; LANE, E.T. Packaging choice and coordinated distribution logistics to reduce the environmental footprint of small-sacale beer value chains. Journal of Environmental Management, 2022.

MORGAN, D.R.; STYLES, D.; LANE, E.T. Thisrty work: Assessing the environmental footprint of craft beer. Sustainable Production and Consumption, 2020.

PASQUALINO, J.; MENESES, M.; CASTELLS, F. The carbon footprint and energy consumption of beverage packaging selection and disposal. Journal of Food Engineering, 2011.

PULLIN, A.S., STEWART, G.B., 2006. Guidelines for systematic review in conservation and environmental management. Conserv. Biol. 20 (6), 1647–1656. https://doi.org/10.1111/ j.1523-1739.2006.00485.x

FAUZI, R. T., LAVOIE, P., SORELLI, L., HEIDARI, M. D., AMOR, B., 2019. Exploring the current challenges and opportunities of life cycle sustainability assessment. Sustainability, 11(3), 636.

SAGET, S.; COSTA, M.P.; BLACK, K.; IANNETA, P.P.M.; RECKLING, M.; STYLES, D.; WILLIANS, M. Environmental impacts of Scottish faba bean-based beer in na integrated beer and animal feed value chain. Sustainable Production and Consumption, 2022.

SALAZAR, T.M.B.; HUANG, J.I.; MARTIN-GONZALES, M.F.S.; CAI, H. Economic and environmenal performance of instantâneos water heating system of craft beer production. Food and Bioproducts Processing, 2021.

TALVE, S. Life cycle assessment of a basic lager beer. International Journal LCA, 2001.

UNEP, 2020. In: BENOÎT NORRIS, C., TRAVERSO, M., NEUGEBAUER, S., EKENER, E., SCHAUBROECK, T., GARRIDO, RUSSO, BERGER, VALDIVIA, LEHMANN, A., FINKBEINER, ARCESE, G. (Eds.), Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2020. United Nations Environment Programme (UNEP).

ZAMAGNI, A.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; MASONI, P.; RAGGI, A. Lights and shadows in consequential LCA. International Journal Life Cycle Assessment, 2012, 17, 904-918

5. ARTIGO – REPERCUSSÕES AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL NO NORDESTE BRASILEIRO.

REPERCUSSÕES AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL NO NORDESTE BRASILEIRO

RESUMO

A cerveja é a bebida alcoólica mais consumida no mundo e o mercado cervejeiro artesanal está em crescimento. Este trabalho traz a quantificação de impactos ambientais associados a produção de cerveja artesanal em uma cidade no Nordeste brasileiro. Foi utilizada a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida e selecionados 16 indicadores ambientais calculados por meio de dois métodos de avaliação de impacto ambiental, o IPCC 2021 GWP 100a e o ILCD 2011 Midpoint. Foi encontrado que a cerveja em barril de aço inox ou latas de alumínio são as melhores opções de embalagens. O principal *hotspot* encontrado foi a distribuição da cerveja para os pontos de venda. Foi realizada simulação de outro cenário, levando em conta a distribuição com veículos elétricos. A distribuição com veículos elétricos foi em média 3 vezes menos nociva ao meio ambiente. A adoção da mobilidade elétrica e o aumento do consumo de produtos locais se mostra muito benéfica como estratégia para mitigação de impactos ambientais.

Palavras-chave: ACV, Sustentabilidade, Mobilidade Elétrica, ODS 12.

INTRODUÇÃO

A cerveja é a terceira bebida mais popular do mundo, atrás apenas da água e do café (CARDINES, 2023). Sua produção alcançou a marca de 1.89 bilhões de hectolitros em 2022, sendo que os cinco principais países produtores, China, EUA, Brasil, México e Alemanha, produziram cerca de 49% desse total (BARTHHASS, 2022).

Apesar de o mercado ser dominado pelas grandes companhias cervejeiras, o mercado de cervejarias artesanais está em crescimento. No caso do mercado brasileiro, em 2022 o número de fábricas artesanais cresceu 11,6% em relação a 2021. Foram registrados 180 novos estabelecimentos nesse ano, superando o número de 166 registros de 2021. Até o fim do ano de 2022, 1729 cervejarias estão devidamente registradas no Brasil (MAPA, 2023).

Como as grandes companhias possuem uma eficiência de escala, como, por exemplo, conseguem tratar seus resíduos sólidos e/ou líquidos na própria fábrica, o cenário é bem diferente para pequenos produtores, que precisam encontrar soluções para questões ambientais. Como estão operando em pequena escala, as microcervejarias não conseguem alterar processos de seus fornecedores, então precisam focar em seus processos internos a fim de encontrar soluções sustentáveis economicamente viáveis.

Pelo Brasil ser um país de dimensões continentais, a produção artesanal de cerveja na região Nordeste difere muito da produção nas regiões Sul/Sudeste, onde se concentram os principais fabricantes, importadores e distribuidores de matéria-prima cervejeira.

Dependendo do estilo a ser produzido, o processo de fabricação de cerveja pode combinar uma grande variedade de ingredientes, mas os principais são apenas quatro: água, malte, lúpulo e levedura. A legislação brasileira (BRASIL, 2009) define cerveja como sendo a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto cervejeiro oriundo do malte de cevada e água potável, por ação da levedura, com adição de lúpulo.

A produção de cerveja possui uma intensiva utilização de energia, tanto térmica como elétrica, pois muitos dos processos de fabricação demandam alto consumo de energia e um elevado tempo de execução (TALVE, 2001). Esse intensivo uso de energia, somado com as etapas de transporte ao longo de toda cadeia de suprimentos, traz consigo significativos impactos ambientais que devem ser quantificados com o intuito de minimizá-los. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma poderosa ferramenta para esse fim, pois consegue quantificar os impactos ambientais em diversas categorias, desde a obtenção da matéria prima até a cadeia reversa.

No Brasil ainda existe uma lacuna de estudos relacionando ACV com cervejarias, porém, diversos estudos de ACV em cervejarias ao redor do mundo foram publicados, incluindo Austrália (NARAYANASWAMY *et al*., 2004), Grécia (KORONEOS *et al*., 2005), Itália (CORDELLA *et al*., 2008) Espanha (HOSPIDO *et al*., 2005), Japão (TAKAMOTO *et al*., 2004), País de Gales (MORGAN *et al*., 2021). Devido as suas regiões demográficas, objetivos dos estudos, fronteiras dos sistemas adotadas e diversos outros fatores, a comparação dos resultados encontrados nos trabalhos é bastante complexa e não pode ser feita diretamente.

O objetivo deste estudo é contribuir para estreitar a lacuna no que se refere à realidade brasileira de produção artesanal de cerveja. Este estudo apresenta novos dados, partindo de como uma microcervejaria instalada na região Nordeste do país obtém seus ingredientes e insumos, como é o gerenciamento de processos locais, embalagem e distribuição de sua produção. Também se apresentam dados sobre os co-produtos e resíduos gerados em suas atividades. Todos esses dados foram compilados para calcular 16 indicadores ambientais associados à produção da cerveja artesanal.

MATERIAIS E MÉTODOS

O objeto de estudo é uma cervejaria artesanal instalada no estado da Paraíba, com produção de aproximadamente 180.000 litros/ano de cerveja. Essa microcervejaria produz principalmente cerveja artesanal do tipo *Lager*, que representa 70% de sua produção anual, seguido pelo estilo *Imperial Pale Ale* (IPA) com 11% da produção. Diversos outros estilos são produzidos em menor escala, incluídos receitas sazonais, representando os demais 19% da produção anual. A localização geográfica dessa cervejaria traz consigo muitos desafios, pois, sendo o Brasil um país de dimensões continentais, a distância entre os fornecedores de insumos e a cervejaria em estudo é bastante considerável.

A unidade funcional adotada foi a produção de 1 litro de cerveja, embalada em uma das formas adotadas pela empresa, sendo elas: lata de alumínio de 330 mL, garrafa de vidro de 500 mL, growler de PET de 1 litro e barril de aço inoxidável de 30 litros e sua posterior distribuição para os pontos de venda ou cliente final, como a venda em loja na própria cervejaria ou entrega de barril em eventos.

Para a quantificação dos impactos ambientais utiliza-se a ACV, que possui quatro etapas iterativas (ABNT, 2014a; ABNT 2014b): i) definição do objetivo, onde se define as razões para a realização do estudo, seu público-alvo, sendo uma etapa decisiva para todas outras etapas da ACV; e definição do escopo, onde é definida a fronteira do sistema a ser estudado, as categorias de impacto que serão incluídas e métodos a serem aplicados; ii) construção do inventário, que é o levantamento quantificado de dados de todas as entradas (materiais, energia e recursos) e saídas (produtos, subprodutos, emissões) relevantes ao processo de fabricação do produto; iii) avaliação de impactos, onde se realiza a identificação e avaliação em termos de impactos potenciais ao meio ambiente que podem ser associados aos dados levantados na etapa anterior, ou seja, analisando os dados do inventário, e finalmente, iv) interpretação dos resultados, onde se produz o relatório final do estudo de acordo com o público-alvo que foi definido na primeira etapa. As aplicações diretas desse relatório podem incluir mudanças no planejamento estratégico da empresa, desenvolvimento e melhoria nos produtos e em seus processos de fabricação, formulação de políticas públicas, marketing entre outras aplicações.

Para a quantificação dos impactos ambientais foi utilizado o *software* Simapro v.9.4.0.3 (PRÉ SUSTAINABILITY, 2023), base de dados Ecoinvent v3.8 (ECOINVENT, 2023) e dados recolhidos por meio de visitas e entrevistas com os sócios e funcionários responsáveis pela cervejaria. Alguns parâmetros utilizados da base de dados Ecoinvent foram ajustados para a realidade brasileira. O método de avaliação de impacto ambiental empregado foi o ILCD 2011 Midpoint, que quantifica 16 categorias de impactos (EUROPEAN COMISSION, 2012). Os indicadores foram selecionados em uma tentativa de tornar mais fácil a comparação de resultados

entre outros estudos do tema e também por eles serem utilizados para a quantificação da Pegada Ambiental de Produtos Europeus (SALA *et al.*, 2018) e estão descritos na Tabela 5.1.

Tabela 5.1. Categorias de impactos do ciclo de vida, métodos utilizados e unidades.

Categoria de Impacto	**Método**	**Unidade**
Mudança Climática	IPCC 2013 GWP 100a	kg CO_2 eq
Destruição da Camada de Ozônio	ILCD 2011 Midpoint	kg CFC-11
Toxicidade Humana – Câncer	ILCD 2011 Midpoint	CTUh
Toxicidade Humana – Efeitos não Cancerígenos	ILCD 2011 Midpoint	CTUh
Material Particulado	ILCD 2011 Midpoint	kg PM2.5 eq
Radiação Ionizante	ILCD 2011 Midpoint	kg U235 eq.
Radiação Ionizante E (provisório)	ILCD 2011 Midpoint	CTUe.
Formação Fotoquímica de Ozônio	ILCD 2011 Midpoint	kg NMVOC
Acidificação	ILCD 2011 Midpoint	mol H+ eq.
Eutrofização Terrestre	ILCD 2011 Midpoint	mol N eq.
Eutrofização Água Doce	ILCD 2011 Midpoint	kg P eq.
Eutrofização Marinha	ILCD 2011 Midpoint	kg N eq.
Ecotoxicidade Água Doce	ILCD 2011 Midpoint	CTU eq.
Uso da Terra	ILCD 2011 Midpoint	kg C deficit
Esgotamento de Recursos Hídricos	ILCD 2011 Midpoint	m3 water eq
Esgotamento de Recursos Minerais, Fósseis e Renováveis	ILCD 2011 Midpoint	kg Sb eq

A cadeia de valor da cerveja artesanal pode ser dividida em diversos estágios, iniciando com os cultivos da cevada e do lúpulo. Em seguida vem a primeira etapa de transporte para o processamento da cevada e do lúpulo, no caso da cevada o processamento é a malteação e para o lúpulo é a secagem e peletização.

Após o processamento vem a segunda etapa de transporte, enviando as matérias primas processadas para a cervejaria. Na cervejaria ocorrem vários processos para a fabricação da cerveja com seu posterior envase. Com a cerveja pronta e embalada segue para a terceira etapa de transporte, que será realizada para os pontos de venda ou eventos que a cervejaria seja fornecedora. Para finalizar os processos acontece os tratamentos com os resíduos gerados durante a fabricação da cerveja. A Figura 5.1 ilustra os processos descritos.

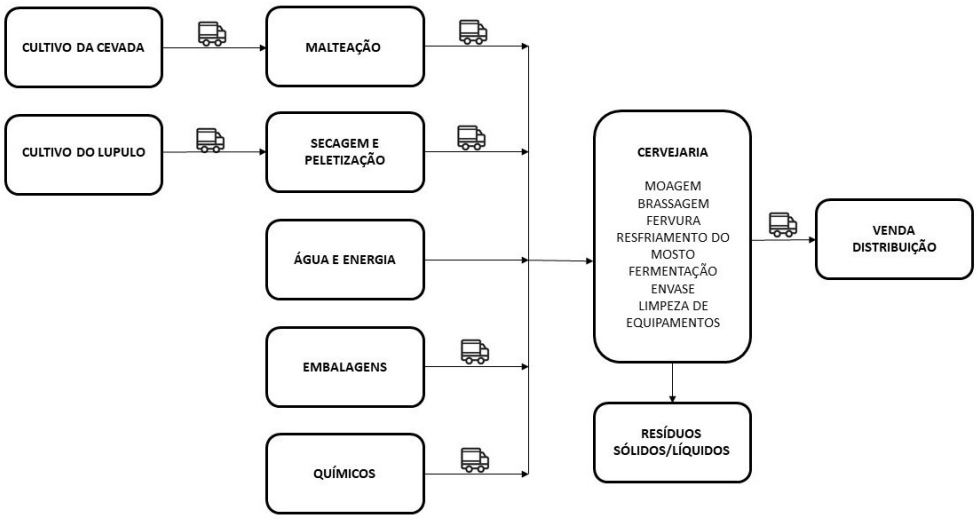


Figura 5.1. Estágios do Ciclo de Vida da produção de cerveja artesanal puro malte (elaborado pelo autor).

Para o estudo de ACV foram considerados os seguintes processos: Cultivo da cevada, transporte da cevada para malteria, a malteação da cevada e seu transporte para a cervejaria. Cultivo do lúpulo, transporte para beneficiamento, secagem e peletização do lúpulo e transporte para cervejaria. O transporte das embalagens e dos produtos químicos para a cervejaria também foi incluído. Para a cervejaria, foram consideradas a água e energia utilizadas no processo produtivo. Os resíduos sólidos e líquidos também foram contabilizados. O último processo que faz parte do estudo foi o transporte para distribuição nos pontos de venda.

Para o cultivo da cevada, foram considerados dois cenários: Cevada cultivada no Brasil, para o malte nacional e a cevada cultivada na Europa, para o malte importado. No caso da cevada nacional, foi considerado o montante de 52.830 kg/ano e para a cevada europeia foram considerados 7.550 kg/ano, segundo informações da empresa.

Para a malteação, a cervejaria artesanal utilizada nesse estudo de caso consome cerca de 42.000 kg de malte nacional e 6.000 kg de maltes importados por ano. Para o malte nacional considerou-se o cultivo da cevada e posterior processamento com a utilização de água, calor e eletricidade. Também foram considerados os transportes dos locais de cultivo até a malteria e da malteria para a cervejaria. Para o malte internacional, os mesmos processos foram utilizados considerando o cenário europeu e foi incluído o transporte de navio da Europa para o Brasil.

Para o lúpulo, considerou-se o cenário europeu para o cultivo de 240 kg/ano. Para a secagem e peletização, considerou-se a energia térmica e elétrica utilizada nesses processos e o transporte da unidade de beneficiamento até a cervejaria estudada.

A produção da microcervejaria é embalada de quatro diferentes maneiras: barril de aço inox de 30 litros, latas de alumínio de 330 ml, garrafas de vidro de 500 ml e growler de PET (Polietileno tereftalato) de 1 litro. Toda operação de envase é realizada na própria cervejaria, sem necessidade de terceirização desse processo. As considerações sobre as embalagens são descritas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Informações sobre as embalagens utilizadas pela microcervejaria.

Embalagem	Quantidade anual	Peso Unitário	Distância Percorrida	Reutilização	Reciclagem	Aterro
Barril de aço inox	10	12 kg	25 km	120x	100%	0%
Lata de alumínio	14.784	0,015 kg	2.800 km	não	100%	0%
Garrafas de vidro	4.224	0,36 kg	2.800 km	não	25%	75%
Growler de PET	3.000	0,031 kg	25 km	10x	20%	80%

Para o barril de aço inox foi considerada a realização de uma compra de 10 barris por ano, para substituição de barris defeituosos, que são enviados para reciclagem. A microcervejaria já possui um estoque para suas operações e os mesmos são reutilizados cerca de 120 vezes (MORGAN *et al.*, 2020). Como o distribuidor dos barris e dos growlers é na mesma cidade da cervejaria, foi considerada uma distância de 25 km para cada compra. Para os growlers de PET, segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2023) 23% do plástico produzido em 2020 foi reciclado. Nesse estudo foi considerado que 20% dos growlers são reciclados após 10 usos, e 80% deles são enviados para aterros sanitários. Para as latas de alumínio foi considerado que a distância percorrida do fornecedor até a cervejaria é de 2.800 km. Segundo a Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio (ABRALATAS, 2023) 100% das latas de alumínio de bebidas foram recicladas em 2022. Essa foi a primeira vez que o país igualou a quantidade fabricada de latas com a quantidade reciclada. Para as garrafas de vidro foi considerado que a distância percorrida do fornecedor à cervejaria também é de 2.800km. De acordo com a Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (ABIVIDRO, 2023) apenas 25% do vidro no Brasil é reciclado e o restante enviado para aterros sanitários.

Para os produtos químicos, Ácidos Peraceltico, Ácido Nítrico, Cloro e Quaternário de Amônia, são realizadas 4 compras anuais em um mesmo distribuidor, sendo que cada compra tem um somatório de 500 kg e percorre 2.800 km entre o distribuidor e a microcervejaria.

Na cervejaria, o processo de fabricação da cerveja consome cerca de 1.524 m^3 de água por ano. Esse valor foi obtido em consulta às faturas mensais da concessionária de água, referentes ao ano de 2022.

Para o consumo de energia elétrica, os valor anual considerado foi de 27.601 kWh obtido em consulta às faturas elétricas da empresa. Para a contabilização dos impactos provenientes da rede elétrica, é necessária a decomposição do mix consumido. Devido à localização da fábrica,

considera-se o mix energético do sub-sistema Nordeste, mostrado na Tabela 5.3. São também consumidos 184.714 kWh/ano gerados por um sistema fotovoltaico instalado na própria fábrica.

Tabela 5.3. Mix energético – Subsistema Nordeste do Brasil

Fonte de Energia	Porcentagem
Hidroelétrica	27%
Eólica	17%
Usina Termoelétrica – Carvão Mineral	9%
Usina Termoelétrica – Gás Natural	16%
Usina Termoelétrica – Óleo	12%
Usina Termoelétrica – Bagaço de Cana	6%
Importação de outras regiões do país	13%

Em relação a co-produtos e resíduos, a microcervejaria produz cerca de 1.000 m^3 de água residual que será tratada pela concessionária local e cerca de 42.000 kg grãos de malte (utilizados para a fabricação da cerveja). Os grãos de malte são separados após a etapa de filtração e doados para criadores de animais da região. Considerou-se que 1 kg deste co-produto pode substituir 0,47 kg de cevada e 0,51 kg de soja como ração animal (FEEDIPEDIA, 2020).

Para a distribuição consideraram-se dois tipos de veículos: um veículo comercial leve movido a gasolina e um caminhão pequeno movido a diesel, associados a distâncias rodoviárias de 10.000 km e 6.240 km, respectivamente. A distribuição do veículo comercial leve atende principalmente ao mercado local, dentro do município, enquanto o caminhão pequeno atinge a distribuição em outras cidades da região.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente são apresentados os resultados do panorama atual da cervejaria (Tabela 4), sem a distinção da embalagem, sendo a unidade funcional a fabricação de 1 litro de cerveja. Após, esses resultados são comparados com estudos de outros autores que realizaram estudos similares em outras regiões geográficas, abrangendo cervejarias de diferentes portes e softwares e bases de dados distintas.

De acordo com a Tabela 5.4, a etapa de distribuição da cerveja dentro da cidade de produção foi a que gerou os maiores impactos em todas categorias selecionadas. Os valores encontrados ficaram próximos dos registrados por Morgan (MORGAN *et al.,* 2020) em seu estudo comparativo entre sete microcervejarias no País de Gales, principalmente em uma delas, com capacidade de produção próxima da microcervejaria brasileira.

Na categoria de “Mudança Climática” a microcervejaria brasileira registrou 2,39 kg CO_2 eq. e a Galês 1,90 kg CO_2 eq. Esses valores são bem superiores aos resultados de Amienyo (Amienyo *et al.*, 2016) que encontrou um valor estimado de 0,84 kg CO_2 eq. para cerveja embalada em garrafas de vidro. Ele também encontrou os valores de 0,57 e 0,51 kg CO_2 eq. para cervejas embaladas em latas de alumínio e aço respectivamente. Esses valores ficaram próximos dos valores encontrados por Cimini (CIMINI *et al.*, 2015) que encontrou os valores de 0,57, 0,67, 0,74, 0,69 e 0,25 kg CO_2 eq para cervejas embaladas em garrafas de 660 ml, garrafas de 330 ml embaladas ou não em caixas de papelão, latas de alumínio de 330 ml e barris de aço de 30 litros. A diferença nos valores nesses quatro estudos evidencia que o tamanho das cervejarias estudadas tem grande influência no resultado final, pois cervejarias de grande porte conseguem ter uma maior eficiência tanto na fabricação da cerveja como também em sua distribuição.

Tabela 5.4. Quantificação dos impactos ambientais associados a fabricação de 1 litro de cerveja embalada em diferentes formatos.

Categoria de Impacto	Unidade	Total	Matéria Prima	Água	Transporte Matéria Prima	Distribuição João Pessoa	Distribuição Campina Grande	Fabricação Embalagens	Energia	Resíduos Sólidos	Água residual	Reciclagens	Aterro
Mudança Climática	kg CO_2 eq	2,39E+00	2,39E-01	5,60E-03	2,17E-01	**2,05E+00**	5,01E-02	1,07E-01	1,28E-01	-3,06E-01	3,04E-03	-1,17E-01	1,30E-02
Destruição Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	3,87E-07	3,05E-08	4,74E-10	1,47E-08	**3,26E-07**	3,02E-09	1,20E-08	1,17E-08	-8,05E-09	1,90E-10	-4,05E-09	8,00E-11
Toxicidade Humana - câncer	CTUh	2,56E-07	2,38E-08	7,13E-09	1,32E-08	**2,05E-07**	4,24E-09	2,86E-08	1,42E-08	-1,30E-08	1,63E-09	-2,93E-08	5,81E-10
Toxicidade Humana – não cancerígeno	CTUh	1,05E-06	9,10E-08	5,61E-09	3,67E-08	**7,26E-07**	1,09E-08	3,76E-08	8,47E-08	3,31E-08	1,66E-08	-3,04E-08	3,84E-08
Material Particulado	kg PM2.5 eq	1,57E-03	1,24E-04	5,45E-06	1,28E-04	**1,29E-03**	3,09E-05	1,32E-04	1,16E-04	-1,30E-04	5,96E-06	-1,33E-04	5,95E-07
Radiação Ionizante HH	kBq U235 eq	2,09E-01	7,92E-03	4,19E-04	1,76E-02	**1,66E-01**	3,97E-03	9,13E-03	8,83E-03	-3,75E-03	1,88E-04	-1,90E-03	6,23E-05
Radiação Ionizante E (provisório)	CTUe	1,15E-06	3,71E-08	1,54E-09	1,12E-07	**9,27E-07**	2,46E-08	3,25E-08	3,53E-08	-1,68E-08	7,53E-10	-8,97E-09	2,92E-10
Formação Fotoquímica de Ozônio	kg NMVOC eq	1,40E-02	7,84E-04	2,09E-05	1,26E-03	**1,17E-02**	2,64E-04	4,32E-04	4,61E-04	-5,79E-04	1,37E-05	-3,71E-04	8,89E-06
Acidificação	molc H+ eq	1,53E-02	2,21E-03	4,66E-05	1,12E-03	**1,16E-02**	2,57E-04	7,87E-04	1,15E-03	-1,14E-03	3,31E-05	-7,99E-04	4,92E-06
Eutrofização Terrestre	molc N eq	5,00E-02	8,62E-03	7,79E-05	4,51E-03	**3,83E-02**	9,84E-04	1,44E-03	1,72E-03	-4,40E-03	9,39E-05	-1,40E-03	1,23E-05
Eutrofização Água Doce	kg P eq	2,77E-04	4,60E-05	2,56E-06	1,68E-05	**3,12E-04**	5,18E-06	5,50E-05	5,60E-05	-1,88E-04	6,12E-06	-3,49E-05	4,38E-07
Eutrofização Marinha	kg N eq	4,94E-03	2,93E-03	7,37E-06	4,07E-04	**3,49E-03**	8,91E-05	1,48E-04	1,69E-04	-2,32E-03	1,15E-04	-1,32E-04	4,56E-05
Ecotoxicidade Água Doce	CTUe	6,00E+01	2,81E+00	3,08E-01	1,45E+00	**4,19E+01**	4,55E-01	2,00E+00	1,14E+01	-1,86E+00	1,05E-01	-1,43E+00	2,86E+00
Uso do solo	kg C deficit	8,59E+00	5,62E+00	2,27E-02	6,77E-01	**6,15E+00**	1,23E-01	2,36E-01	4,19E-01	-4,57E+00	2,62E-02	-1,17E-01	4,29E-03
Esgotamento recursos hídricos	m^3 water eq	3,81E-02	5,79E-02	-7,46E-05	8,65E-05	**5,33E-04**	7,47E-06	4,48E-04	1,08E-03	-2,10E-02	-8,05E-04	-3,62E-05	3,36E-07
Esgotamento Recursos minerais, fósseis, renováveis	kg Sb eq	6,35E-05	4,09E-06	4,58E-07	2,29E-06	**5,66E-05**	7,63E-07	5,06E-06	2,14E-05	-2,65E-05	8,53E-08	-7,22E-07	1,06E-08

Nesse estudo foi encontrado que a distribuição para os pontos de venda dentro da cidade foi o responsável por cerca de 83% dos impactos associados à produção e venda da cerveja (Figura 5.2). As contribuições dos diferentes processos estudados diferem por diversos motivos que vão desde a capacidade de produção como a localização geográfica da cervejaria. Por exemplo, em um dos primeiros estudos de ACV em cervejarias, realizado por Talve (TALVE, 2001), a produção agrícola contribui com quase 80% dos impactos ambientais e o transporte com apenas 8% em uma cervejaria de grande porte instalada na Europa. Por outro lado, Koroneos (KORONEOS *et al.*, 2005) incluiu a fabricação das garrafas na fronteira do sistema estudado e encontrou que cerca de 94% de todas emissões relacionadas a fabricação da cerveja na verdade estavam relacionadas com a fabricação das garrafas de vidro.

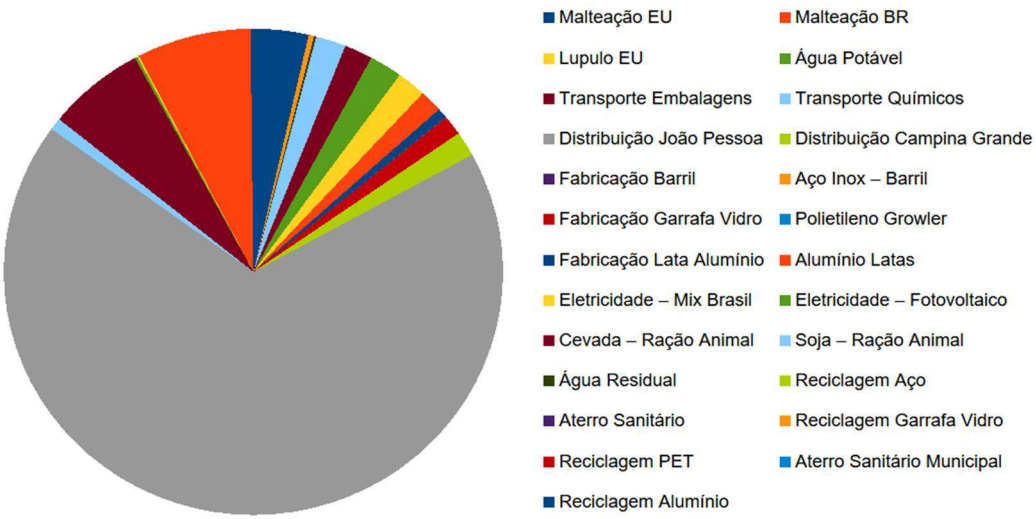


Figura 5.2. Impactos ambientais atuais da cervejaria distribuídos por processos e materiais. (Elaborado pelo Autor, 2024)

Os resultados também foram tabelados separando os quatro tipos de embalagens utilizadas pela cervejaria (Tabela 5.5), sendo elas o barril de aço inox, growler de PET, garrafa de vidro e latas de alumínio, respeitando a porcentagem de vendas de cada uma.

Quando foi realizada a análise das categorias de impacto sobre as diferentes embalagens, de acordo com a Tabela 5.5, a cerveja embalada em barril de aço inox foi a que apresentou os menores valores em nove categorias de impactos. Isso se dá pela grande reutilização que esse modelo de embalagem possui, podendo chegar a 120 ciclos de reuso (MORGAN *et al.*, 2020). Após sua vida útil, a cervejaria entrega todos barris para reciclagem, pois se trata de um material de alto valor agregado. As latas de alumínio tiveram os menores impactos registrados em sete categorias selecionadas, incluindo o menor valor na categoria de Mudança Climática. O bom desempenho das latas de alumínio se deu pelo Brasil ser líder mundial em reciclagem de alumínio, principalmente de

latas de bebidas (ABRALATAS, 2023). Em 2022 o Brasil alcançou a marca histórica da reciclagem de 100% das latas fabricadas no período, com um montante de cerca de 390 mil toneladas de latas recicladas (ABRALATAS, 2023).

Tabela 5.5. Impactos ambientais da fabricação de 1 litro de cerveja em diferentes embalagens.

Categoria de impacto	Unidade	Barril	Latas	Growler	Garrafa
Mudança Climática	kg CO_2 eq	2,16E+00	**1,95E+00**	2,20E+00	3,25E+00
Destruição da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	**3,64E-07**	4,03E-07	3,77E-07	4,35E-07
Toxicidade Humana – Câncer	CTUh	2,42E-07	**1,66E-07**	2,45E-07	3,68E-07
Toxicidade Humana – Efeitos não Cancerígenos	CTUh	**9,65E-07**	9,98E-07	9,75E-07	1,44E-06
Material Particulado	kg PM2.5 eq	1,44E-03	**1,15E-03**	1,46E-03	2,21E-03
Radiação Ionizante	kBq U235 eq	**1,83E-01**	2,43E-01	1,86E-01	2,62E-01
Radiação Ionizante E (provisório)	CTUe	**1,01E-06**	1,23E-06	1,02E-06	1,46E-06
Formação Fotoquímica de Ozônio	kg NMVOC eq	**1,26E-02**	1,30E-02	1,28E-02	1,78E-02
Acidificação	molc H+ eq	1,41E-02	**1,24E-02**	1,43E-02	2,00E-02
Eutrofização Terrestre	molc N eq	4,53E-02	**4,46E-02**	4,60E-02	6,43E-02
Eutrofização Água Doce	kg P eq	2,38E-04	**2,00E-04**	2,42E-04	4,93E-04
Eutrofização Marinha	kg N eq	4,46E-03	**4,42E-03**	4,52E-03	6,54E-03
Ecotoxicidade Água Doce	CTUe	**5,50E+01**	5,77E+01	5,55E+01	8,43E+01
Uso da Terra	kg C deficit	**7,78E+00**	8,44E+00	7,87E+00	1,04E+01
Esgotamento de Recursos Hídricos	m^3 water eq	**3,77E-02**	3,90E-02	3,77E-02	3,95E-02
Esgotamento de Recursos Minerais, Fósseis e Renováveis	kg Sb eq	**5,66E-05**	8,77E-05	5,76E-05	7,83E-05

Em terceiro lugar está o Growler de PET (Polietileno Tereftalato), com valores de impactos próximos das latas e do barril, isso se dá pela sua taxa de reutilização, de acordo com a microcervejaria estudada, o consumidor reutiliza seu growler em média 10 vezes. Outro ponto a favor é que o distribuidor do growler é na mesma cidade que a cervejaria, diminuindo os impactos referentes a etapa de transporte das embalagens.

As garrafas de vidro obtiveram os maiores valores em todas categorias de impacto estudadas. Vários fatores contribuem para isso: as garrafas são de uso único e sua porcentagem de reciclagem não é alta como a das latas, apenas 25% do vidro é reciclado no Brasil (ABIVIDRO, 2023). Essa também é a embalagem mais vendida nos pontos de venda e em outras cidades, sendo responsáveis por uma maior parcela na etapa de distribuição, principalmente dentro da cidade onde o envio é realizado com um veículo comercial leve movido a gasolina.

Além do incentivo ao uso de embalagens menos impactantes, uma possibilidade para a diminuição dos impactos gerados pela microcervejaria seria a adoção da distribuição com veículos elétricos. Uma opção para a possibilidade de redução dos impactos associados foi mostrado e discutido na Tabela 5.6.

Particularmente no Brasil a utilização de veículos elétricos é benéfica, pois a matriz energética brasileira é composta principalmente por fontes renováveis de energia e a cervejaria estudada possui instalada em seu galpão energia solar fotovoltaica, a qual também poderia ser utilizada para recarregar o veículo de entregas. A Tabela 6 mostra a grande diferença quando adotada a mobilidade elétrica, onde os valores chegam ser em média três vezes menores do que os atuais.

Tabela 5.6. Comparativo dos impactos associados a distribuição de cerveja no modelo atual e na opção do uso de veículo elétrico.

Categoria de impacto	Unidade	Gasolina	Elétrico
Mudança Climática	kg CO_2 eq	2,46E+00	**6,50E-01**
Destruição da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	4,05E-07	**9,10E-08**
Toxicidade Humana – Câncer	CTUh	2,73E-07	**1,13E-07**
Toxicidade Humana – Efeitos não Cancerígenos	CTUh	1,03E-06	**4,59E-07**
Material Particulado	kg PM2.5 eq	1,65E-03	**6,29E-04**
Radiação Ionizante	kBq U235 eq	2,07E-01	**7,26E-02**
Radiação Ionizante E (provisório)	CTUe	1,14E-06	**3,26E-07**
Formação Fotoquímica de Ozônio	kg NMVOC eq	1,42E-02	**3,77E-03**
Acidificação	molc H+ eq	1,58E-02	**5,79E-03**
Eutrofização Terrestre	molc N eq	5,09E-02	**1,53E-02**
Eutrofização Água Doce	kg P eq	2,93E-04	**1,23E-04**
Eutrofização Marinha	kg N eq	4,98E-03	**1,77E-03**
Ecotoxicidade Água Doce	CTUe	5,78E+01	**3,25E+01**
Uso da Terra	kg C deficit	8,65E+00	**2,90E+00**
Esgotamento de Recursos Hídricos	m^3 water eq	3,80E-02	**3,69E-02**
Esgotamento de Recursos Minerais, Fósseis e Renováveis	kg Sb eq	6,23E-05	**3,41E-05**

Como a distribuição para os pontos de venda é um ponto crítico em que a própria cervejaria pode atuar, a adoção da mobilidade elétrica se mostra uma alternativa viável ambientalmente. Mantendo a mesma quilometragem e rotas de entrega, em um ano o veículo elétrico emite cerca de 117 t CO_2 eq contra 443 t CO_2 eq do veículo a gasolina, totalizando 326 t CO_2 eq a menos emitidos para atmosfera.

As microcervejarias possuem diversos desafios por produzirem cerveja em pequena escala, pelo baixo volume de compras comparado as grandes cervejarias, não conseguem ter controle sobre processos de seus fornecedores, diminuindo assim as opções de mitigação dos impactos ambientais associados. Dentro das opções para a diminuição dos impactos ambientais de suas atividades estão os incentivos da venda de cerveja em embalagens que podem ser reutilizadas, como os barris e os growlers. Propor que o cliente tenha seu próprio growler (de vidro ou PET) e que realize a compra na loja própria da cervejaria é uma maneira de incentivar o consumo local e diminuir a necessidade de distribuição.

Outra opção viável que a microcervejaria tem controle é sobre a sua distribuição para os pontos de venda. A utilização de veículos elétricos é bastante viável ambientalmente pois as emissões associadas a esse modal de transporte, quando comparado aos veículos comerciais leves a gasolina, chega a ser em média três vezes menores. Com essa ação a microcervejaria consegue ficar no patamar de emissões de cervejarias de médio e grande porte. Quando considerado o somatório de emissões anuais os valores encontrados demonstram uma grande diminuição dos gases do efeito estufa.

Essas ações trazem muitos benefícios ambientais e alinham a microcervejaria aos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável principalmente na ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis e ODS 13 – Ação contra a Mudança Global do Clima. Essas ações possuem um grande potencial em se tratando de um mercado que está em crescimento, com novas microcervejarias sendo instaladas em todo o país.

CONCLUSÃO

Este estudo é o primeiro a detalhar o processo produtivo de uma microcervejaria instalada no Nordeste brasileiro, com contabilização de impactos ambientais.

Verificou-se que a etapa de distribuição da cerveja dentro da cidade de produção foi a que gerou os maiores impactos ambientais, contribuindo com 83% dos impactos totais. Quando a análise de sensibilidade considerou a utilização de veículos elétricos os impactos foram, em geral, três vezes menores que o cenário de referência (tradicionais motores a combustão interna que consomem gasolina).

A comparação direta de resultados com estudos existentes é prejudicada devido aos diferentes portes das cervejarias estudadas, assim como dos processos e análises ambientais realizadas. Comparando os valores encontrados com outros trabalhos publicados, observou-se que o tamanho das cervejarias estudadas tem grande influência no resultado final, pois cervejarias de grande porte conseguem ter uma maior eficiência tanto na fabricação da cerveja como também em sua distribuição. Quando a comparação foi possível, os valores dos impactos se mostraram muito próximos, e os *hotspots* similares, com a distribuição para os pontos de venda e a etapa de cultivo (agricultura) sendo as duas fases com maiores emissões.

Ao analisar os resultados considerando as embalagens utilizadas, identificou-se que a cerveja embalada em barril de aço inox foi a que apresentou os menores impactos em nove categorias, sendo que um dos motivos desse desempenho positivo é devido à sua grande reutilização, com cada barril sendo reutilizado cerca de 120 vezes. As latas de alumínio obtiveram os menores impactos em 7 das categorias estudadas, aqui vale ressaltar a grande taxa de reciclagem

de latas de alumínio no Brasil, que, no ano de 2022 conseguiu reciclar 100% das latas fabricadas no período. Apesar desse dado ser positivo no ponto de vista ambiental, ele demonstra uma questão social importante, pois a grande parte das latas recicladas são recolhidas por pessoas que estão em uma situação social fragilizada, com a coleta de latas de alumínio sendo sua principal fonte de renda.

Os *growlers* de PET se mostraram uma boa opção de embalagem, principalmente por sua reutilização e por possuir uma boa taxa de reciclagem quando são devidamente descartados. As garrafas de vidro obtiveram os maiores impactos em todas as categorias – ressalta-se que as garrafas são de uso único e sua porcentagem de reciclagem é de apenas 25%.

Na questão do resíduo líquido, por ser uma cervejaria de pequeno porte, não é justificável o investimento em uma estação de tratamento de efluentes, sendo que todo resíduo líquido é enviado para tratamento pela companhia de água e esgoto municipal. Para o resíduo sólido, que é formado quase em sua totalidade de malte recolhido após a etapa de filtração, o mesmo é recolhido por criadores locais, os quais retiram esse material da cervejaria e utilizam como ração animal, pois se trata de um alimento rico em nutrientes, evitando assim a compra de rações industrializadas, conseguindo evitar as emissões e impactos relacionados a sua produção.

Sugestões para futuros trabalhos incluem uma avaliação mais ampla das emissões da cadeia de suprimentos nacional, como por exemplo do malte cultivado no Sul e do lúpulo cultivado no Sudeste Brasileiro. Também é uma sugestão a inclusão dos impactos econômicos e sociais da produção da cerveja artesanal, conseguindo assim atingir os três pilares da sustentabilidade, sendo eles o ambiental, econômico e social.

Pelo Brasil ser um país de dimensões continentais, sugestões para trabalhos futuros incluem as quantificações dos impactos ambientais de cervejarias artesanais instaladas em outras regiões, pois cada uma possui suas particularidades, como acesso à matéria-prima, mix energético entre outros fatores.

REFERÊNCIAS

OLIVER, G.; COLICCHIO, T., 2011. The Oxford companion to beer. Oxford University Press.

BARTHHASS, 2023. The Industry Report of the Year 2022-2023. Disponível em: https://www.barthhaas.com/en/campaign/barthhaas-report-2022. Acesso 26/09/23.

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária, 2023. Anuário da Cerveja 2022. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/publicacoes/anuario-da-cerveja-2022/ . Acesso em 26/09/23.

BRASIL, 2009. Decreto n. 6871, de 04 de junho de 2009. Regulamenta a Lei n. 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm Acesso em: 26/09/23.

TALVE, S., 2001. Life cycle assessment of a basic lager beer. The International Journal of Life Cycle Assessment.

NARAYANASWAMY, V.; BERKEL, R.; ALTHAM, J.; MCGREGOR, M., 2004. Application of life cycle assessment to enhance eco-efficiency of grains supply chains. Curtin University of Technology, Perth

KORONEOS, C.; ROUMBAS, G.; GABARI, Z.; PAPAGIANNIDOU, E.; MOUSSIOPOULOS, N., 2005. Life cycle assessment of beer production in Greece. Journal of Clean Production.

CORDELLA, M.; TUGNOLI, A.; SPADONI, G.; SANTARELLI, F.; ZANGRANDO, T., 2008. LCA of an Italian lager beer. International Journal of Life Cycle Assessment.

HOSPIDO, A.; MOREIRA, M.T.; FEIJOO, G., 2005. Environmental analysis of beer production. International Journal Agriculture Resource Governance Ecology.

TAKAMOTO, Y.; MITANI, Y.; TAKASHIO, M.; ITOI, K.; MUROYAMA, K., 2004. Life cycle inventory analysis of a beer production process. Tech Q Master Brewer Association American.

MORGAN, D.R.; STYLES, D.; LANE, E.T., 2021. Thirsty work: Assessing the environmental footprint of craft beer. Sustainable Production and Consumption.

ABLIPAST, 2023. 4ª Pesquisa anual de índice de reciclagem no Brasil. Disponível em: https://www.abiplast.org.br/ Acesso em 07/02/24.

ABRALATAS, 2023. 2 Relatório Consolidado de Práticas ESG – Setor da Lata de Alumínio para Bebidas Ed. 2023. Disponível em: https://abralatas.org.br/ Acesso em 07/02/24.

ABIVIDRO, 2023. O ciclo do vidro. Disponível em: https://abividro.org.br/ Acesso em 07/02/24.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a. NBR ISO 14040/2014 - Gestão ambiental –avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014b. NBR ISO 14044/2014 - Avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT.

SALA, S.; DE LAURENTIIS, V.; ZAMPORI, L.; DIACONU, E.; FAZIO, S.; BIGANZIOLI, F., 2018. Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods: version 2, from ILCD to EF 3.0. Publications Office. Available from: doi/10.2760/002447

EUROPEAN COMMISSION – Joint Research Center – Institute of Environment and Sustainability. (2011). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Recommendations for life cycle impact assessment in the european context - based on existing environmental impact assessment models and factors (1st ed.). Luxembourg: Publications Office of the European Union, Luxembourg. doi: 10.278/33030

PRÉ SUSTAINABILITY, 2023. Simapro Software. Disponivel em: https://simapro.com/ acesso em 04/10/23

EVOINVENT, 2023. Ecoinvent Database. Disponivel em: https://ecoinvent.org/ acesso em 04/10/23

EMBRAPA, 2012. A Cevada no Brasil. Documentos online 139. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do139_4.htm#:~:text=No Paraná%2C a produção se,próximo a 2.600 kg%2Fha. Acesso em 26/09/23.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2023. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Brasileira. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html Acesso em 26/09/23.

RAJANIEMI, M.; MIKKOLA, H.; AHOKAS, J., 2011. Greenhouse gas emissions from oats, barley, wheat and rye production. Agronomy. Research.

CARVALHO, L.G., 2007. Produção de cerveja. Dossiê Técnico. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.sbrt.ibict.br/dossietecnico/downloadsDT/NTc. Acesso em: 26/09/23.

BRASIL, 1997. Decreto n. 2.314, de 4 de setembro de 1997. Regulamenta a lei n 8.918 de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 5 set. 1997.

AGRARIA MALTES, 2023. Cevada e Maltes Cervejeiros. Disponível em: https://www.agraria.com.br/extranet_2016/uploads/AgromalteArquivo/mod_1_mp_3_cevada_e_malte_1601583678707.pdf Acesso em 26/09/23.

BOCQUET, L.; SAHPAZ, S.; HILBERT, J. L.; RAMBAUD, C.; RIVIERE. C.; Humulus lupulus L., a very popular beer ingredientand medicinal plant: overview of its phytochemistry,its bioactivity, and its biotechnology. Phytochem Rev. 2018. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11101-018-9584-y. Acesso em 26/09/23.

STATISTA, 2023. Share of hop production worldwide. Disponível em: https://www.statista.com/statistics/757917/share-of-hop-production-worldwide-by-major-producer/ Acesso em 05/10/23

PAVLOVIC, M., 2012. Production character of the EU hop industry. Bulgarian Journal of Agricultural Science.

SILVA, C.T.D., 2019. Caracterizações químicas dos primeiros cultivares de lúpulo (Humulus lupulus L.) produzidos no Brasil. 2019. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal do Espirito Santo, Centro de Ciências Exatas, Naturais e de Saúde, Alegre.

BRASIL, 2022. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Lúpulo no Brasil : perspectivas e realidades / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo. Alexander Creuz, Stéfano Gomes Kretzer. – Brasília : MAPA/SAF 2022. 175p. ISBN 978-65-86803-89-1

NEVE, R.A., 1991. Hops; Chapman & Hal: London, UK. ISBN 9789401053754.

ANTT - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, 2023. Anuário estatístico de transportes terrestres. Vários anos. Disponível em: www.antt.gov.br. Acesso em: 16 out 2023.

AGRARIA-a, 2023. Moagem do malte. Disponivel em: https://www.agraria.com.br/extranet_2016/uploads/AgromalteArquivo/palestra_3___moagem_de_malte_1596198622627.pdf Acesso em 16/10/23.

KLØVERPRIS, J.H., SPILLANE, D., 2009. Comparative LCA of malt-based beer and 100% barley beer. Brewing Beverage Industry International.

AGRARIA-b, 2023. Guia Prático de Fabricação de Cerveja. Disponível em: https://www.agraria.com.br/extranet_2016/uploads/AgromalteArquivo/guia_pratico_producao_de_cervejas___caseiros_1596195102533.pdf Acesso em 16/10/23.

KERBY, C., VRIESEKOOP, F., 2017. An Overview of the Utilisation of Brewery ByProducts as Generated by British Craft Breweries. MDPI 3 (24), 12. https://www. mdpi.com/2306-5710/3/2/24/pdf

CAVALCANTI, I.L.R.; DE MOURA, I.A.A.; DA CRUZ, A.D.; SILVA, M.C.D.; LOPES, R.M.B.P.. 2020. Caracterização química do resíduo da biomassa da algaroba para fins de estudos energéticos/Chemical characterization of algaroba biomass waste for energy studies. Brazilian Journal of Development.

SIPPERLY, E.; EDINGER, K.; ZIEGLER, N.; ROBERTS, E., 2014. Comparative Cradle to Gate Life Cycle Assessment of 100% Barley-based Singha Lager Beer in Thailand. Bangkok, Thailand.

PETTIGREW, L.; BLOMENHOFER, V.; HUBERT, S.; GROß, F.; DELGADO, A., 2015. Optimisation of water usage in a brewery clean-in-place system using reference nets. Journal of Cleaner Production.

CHEN, L.; CHEN, R.; YIN, H.; SUI, J.; LIN, H., 2012. Cleaning in place with onsitegenerated electrolysed oxidizing water for water-saving disinfection in breweries. Journal of the Institute of Brewing.

FILLAUDEAU, L.; BLANPAIN-AVET, P.; DAUFIN, G., 2006. Water, wastewater and waste management in brewing industries. Journal of Cleaner Production.

KANAGACHANDRAN, K.; JAYARATNE, R., 2006. Utilization potential of brewery waste water sludge as an organic fertilizer. Journal of the Institute of Brewing.

FEEDIPEDIA, 2020. Brewers Grains. Disponível em: https://www.feedipedia.org/node/74. Acesso em 16/10/23.

CARDINES, P. H. F. 2023. Cervejas orgânicas: Cenário mundial de produção e consumo: Organic beers: Global scenario of production and consumption. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, *6*(3), 2213-2213.

6. ARTIGO – CUSTOS ECOLÓGICOS EM UMA MICROCERVEJARIA NO NORDESTE BRASILEIRO.

CUSTOS ECOLÓGICOS EM UMA MICROCERVEJARIA NO NORDESTE BRASILEIRO

RESUMO
A cerveja é uma das bebidas mais consumidas no mundo, com o Brasil sendo um ator importante nesse segmento, sendo o terceiro maior produtor mundial. Nos últimos anos o número de cervejarias artesanais no Brasil vem crescendo, sendo importante quantificar e qualificar seu grau de sustentabilidade. Este trabalho, o primeiro realizado no Brasil, traz a quantificação dos impactos ambientais e econômicos de uma microcervejaria instalada no Nordeste brasileiro. Foi utilizada a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida com oito indicadores ambientais, abrangendo as mudanças climáticas, danos aos sistemas ecológicos e à saúde humana. Foi realizada a Avaliação dos Custos do Ciclo de Vida por meio dos Custos Ecológicos, alocando um valor monetário aos impactos ambientais. Após as análises foi constatado que o processo que apresentou os maiores impactos ambientais foi a distribuição local da cerveja com a emissão de 2,56 kg CO_2-eq por litro de cerveja fabricada e distribuída. Na avaliação dos custos do ciclo de vida, a cerveja embalada em barril apresentou o menor custo, de R$8,52 e a lata de alumínio o maior, com R$9,60 por litro de cerveja embalada. Os custos ecológicos tiveram um valor médio de R$6,56 por litro de cerveja artesanal. Como essa distribuição é realizada com um veículo comercial leve movido a gasolina, uma alternativa de mitigação dos impactos nessa fase do ciclo de vida é a adoção da distribuição com veículo elétrico. A adoção da mobilidade elétrica apresentou em média uma redução de 63% nos valores dos impactos ambientais e econômicos.

Palavras-chave: ACV; LCC; *ecocosts;* Mobilidade Elétrica

INTRODUÇÃO

O consumo global de cerveja segue uma tendência de alta e o Brasil é um dos maiores fabricantes, com uma produção de 14,74 bilhões de litros em 2022 (BARTHHASS, 2023). Essa quantidade coloca o Brasil na terceira posição mundial, atrás da China com 36,04 bilhões de litros, e dos Estados Unidos com 19,41 bilhões de litros fabricados (BARTHHASS, 2023). Esse volume de produção traz consigo impactos ambientais e econômicos que devem ser quantificados para que haja soluções para suas mitigações, minimizando danos e efeitos negativos.

No caso do Brasil, o mercado cervejeiro nacional segue um crescimento nos últimos 20 anos e com uma alta de 11,6% em relação aos anos 2021/2022, com uma marca de 1.729 cervejarias registradas no país no final de 2022 (BRASIL, 2023). Esse crescimento é impulsionado pelas cervejarias artesanais, principalmente pelas nanocervejarias, que possuem uma capacidade de produção de até 60.000 litros anuais, e pelas microcervejarias, que produzem até 600.000 litros por ano (BRASIL, 2023).

Todo esse volume de produção e tendência de crescimento mostra que é importante a quantificação dos impactos ambientais e econômicos relacionados a esse ramo industrial.

Para isso, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma poderosa ferramenta para quantificação dos impactos ambientais associados a produção de bens de consumo. Ela leva em conta todo ciclo de vida do produto, desde a extração da matéria-prima até seu destino final, atribuindo os impactos em cada fase, facilitando assim a tomada de decisões para a mitigação desses impactos (GUINEE, 2001; GUINEE, 2002). Já a Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (CCV) possui uma abordagem econômica e estima os custos monetários nas diferentes etapas do ciclo de vida do produto (AMIENYO *et al.,* 2016), com a função de demostrar os custos associados desde a aquisição da matéria-prima até o gerenciamento de resíduos envolvidos em todo ciclo de vida do produto. Os custos ecológicos são uma medida para expressar a quantidade de carga ambiental de um produto com base na prevenção dessa carga. São os custos que devem ser incorridos para reduzir a poluição ambiental e o esgotamento de materiais: por exemplo, para compensar a emissão de 1.000 kg CO_2, seria necessário o investimento de €116 em parques eólicos *offshore* (ou em outro sistema de redução de CO_2 a esse valor) (VOGTLÄNDER *et al.*, 2023).

As empresas já poderiam começar a internalizar os custos ambientais do ciclo de vida de seus produtos, i.e., os custos dos danos causados pelas emissões da fabricação de um produto devem ser transferidos para os custos internos do fabricante. Atualmente existe uma mentalidade de que a "poluição é de graça" e os custos de fabricação não cobrem os danos ambientais causados pela produção. As empresas devem prevenir e mitigar os custos relacionados com a poluição por meio do uso da melhor tecnologia disponível, utilizando alternativas menos agressivas ao meio ambiente em seus processos ao longo do ciclo de vida de seus produtos.

Ainda que existam estudos sobre impactos ambientais em cervejarias, apenas um estudo relaciona os impactos ambientais e econômicos em cervejarias. Esse estudo foi publicado por Amienyo *et al.* (2016), que estudou dois cenários no Reino Unido. O primeiro cenário estimou os impactos ambientais e custos a nível do consumidor, com o objetivo de fornecer informações a respeito do consumo da cerveja pela população. Nessa primeira parte, a unidade funcional adotada foi a produção e consumo de 1 litro de cerveja em casa. O segundo cenário considerou os impactos ambientais e custos do consumo anual de cerveja em todo Reino Unido. Essa parte teve como objetivo informar o setor cervejeiro e os formuladores de políticas públicas sobre os impactos ambientais e a contribuição da cerveja para a economia. Nessa análise a unidade funcional foi a de produção e consumo anual de cerveja no Reino Unido. Os resultados encontrados sugerem que a produção das matérias-primas como principal ponto crítico, seguido pela produção das embalagens. Amienyo *et al.* (2016) concluem que a cerveja embalada em latas de aço possui os menores impactos ambientais, quando comparadas com latas de alumínio e garrafas de vidro. O custo do

ciclo de vida das latas de aço também ficou abaixo dos custos das outras embalagens, mas nesse quesito a garrafa de vidro ficou com um custo abaixo do custo da lata de alumínio.

Considerando que não existem estudos brasileiros que relacionem impactos ambientais e econômicos em cervejarias, os objetivos desse estudo são: i) quantificação de impactos ambientais por meio da Avaliação do Ciclo de Vida para uma microcervejaria; ii) estimativa dos valores dos Custos do Ciclo de Vida para a mesma microcervejaria; e iii) quantificação dos custos ecológicos (*ecocosts)* para a mesma microcervejaria, atribuindo um valor financeiro ao impacto ambiental da produção de cerveja.

MATERIAL E MÉTODOS

Os impactos ambientais da produção de um litro de cerveja foram estimados utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), de acordo com as normas NBR 14040 e 14044 (ABNT, 2014a; ABNT 2014b). A ACV desenvolvida é do tipo atribucional, com expansão da fronteira para considerar o uso de resíduo de malte como ração animal por fazendeiros locais.

Foi utilizado o *software* Simapro v.9 (PRÉ SUSTAINABILITY, 2023) com a base de dados da Ecoinvent versão 3.8 (ECOINVENT, 2023). Para a categoria Mudança Climática foi utilizado o método do IPCC 2021 GWP100a (IPCC, 2021), que quantifica as emissões de gases de efeito estufa em termos de CO_2-eq. Para a categoria Sistemas Ecológicos, foi utilizado o Environmental Footprint EF 3.0 (EUROPEAN COMISSION, 2024) para encontrar os valores de Acidificação (mol H+ eq.) e Eutrofização (kg P eq). Foi também usado o UseTox 2 (USETOX, 2024) para a Ecotoxicidade, representada em CTUe (Unidade tóxica comparativa para impactos de toxicidade humana). Na categoria Saúde Humana, foi utilizado o método do ReciPe 2011 Midpoint (RIVM,2024) para a Formação de Oxidantes Fotoquímicos (em termos de NOx eq.) e para o Material Particulado (em termos de PM 2.5 eq.), e o UseTox 2 (USETOX, 2024) para Toxicidade Humana, com efeitos cancerígenos e não cancerígenos, expressos em CTUe (Unidade tóxica comparativa para impactos de ecotoxicidade aquática).

Dados foram obtidos *in loco* em uma microcervejaria instalada no Nordeste brasileiro, com uma capacidade de produção anual de 180.000 litros de cerveja puro malte de diferentes estilos. A porcentagem da venda em cada embalagem foi a seguinte: 60% barril de aço inox (50 litros), 15% growler de PET (1 litro), 15% garrafas de vidro (0,50 litro) e 10% latas de alumínio (0,35 litro).

De acordo com a Figura 6.1, os seguintes processos da fabricação da cerveja (DINIZ *et al.*, 2024) foram considerados: cultivo da cevada e transporte desta para a fábrica de malte. Foram considerados no processo de malteação as energias térmicas, elétricas e a água utilizada. Após,

foram considerados os transportes dos maltes para a cervejaria, tanto do malte nacional quanto do malte importado. Para o lúpulo foi considerado seu cultivo e transporte para unidade beneficiadora, onde o lúpulo passa pelos processos de secagem e peletização. Após foi considerado o transporte para a cervejaria.

Dentro da cervejaria foram contabilizados os consumos de energia térmica, elétrica e o uso da água utilizados nos seguintes processos: moagem do malte, brassagem, fervura e resfriamento do mosto, fermentação, envase nas distintas embalagens e a final limpeza dos equipamentos.

Para os resíduos sólidos, considerou-se que o resíduo da filtragem é utilizado por fazendeiros locais para alimentação animal (substituindo a compra de cevada e soja), onde o próprio retira esses produtos da cervejaria. Os resíduos líquidos são tratados pela empresa local de água e esgoto.

Para as embalagens e produtos químicos foram considerados os transportes desses produtos desde os distribuidores até a cervejaria. Para finalizar, foram contabilizadas as distribuições locais e regionais da cerveja para os pontos de venda.

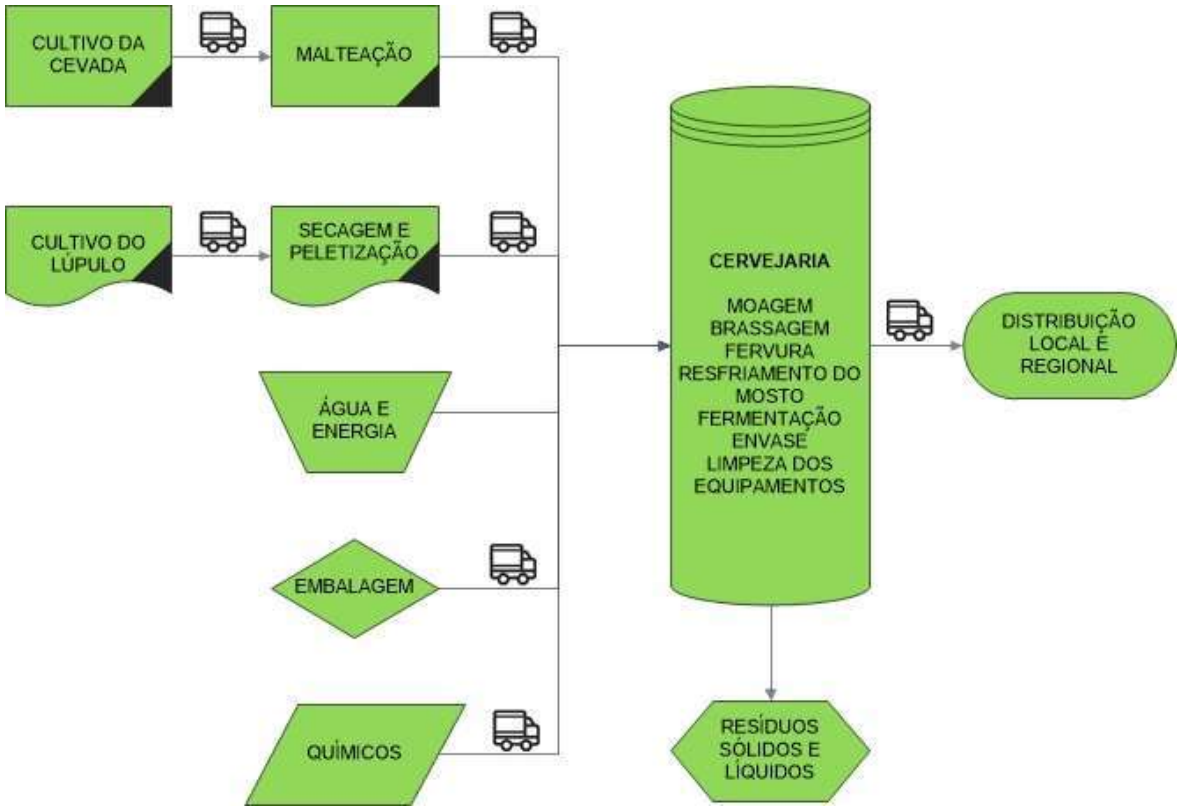


Figura 6.1. Processos e materiais considerados nos estudos de impactos ambientais e econômicos. (Autor, 2024)

O cálculo do custo do ciclo de vida (CCV) foi utilizado para avaliar o custo total do produto ao longo de todo o seu ciclo de vida, que, no caso da cerveja, envolve a aquisição de matérias-primas, fabricação da cerveja, embalagem, distribuição e gestão de resíduos. No caso da cervejaria

estudada, o custo do gerenciamento de resíduo líquido está vinculado ao custo da água utilizada pela fábrica e os resíduos sólidos estão associados aos impostos ou não geram custos, como no caso do resíduo de malte, onde uma pessoa vai na fábrica recolher esse tipo de resíduo para uso como ração animal. Então o CCV foi adaptado, seguindo Amienyo *et al.* (2016), com a substituição dos custos do gerenciamento de resíduos pelos custos de gerenciamento da cervejaria, como mostrado na Equação 6.1.

$$CCV_{CERVEJA} = C_{MP} + C_{PR} + C_{EM} + C_{TR} + C_{GE} \quad (6.1)$$

onde:

$CCV_{CERVEJA}$ = Custo do ciclo de vida da produção de 1 litro de cerveja;
C_{MP} = Custos da matéria-prima;
C_{PR} = Custos com a produção (água, energia, químicos);
C_{EM} = Custos com as embalagens;
C_{TR} = Custos com os transportes (combustível, manutenção);
C_{GE} = Custos com o gerenciamento da cervejaria (pessoal, impostos e marketing).

Para os custos da matéria-prima (C_{MP}) foram contabilizados os valores da compra anual dos maltes nacionais e importados, lúpulo e da levedura. Para os custos de produção (C_{PR}) foram contabilizados os custos com os produtos químicos, água, energia elétrica e térmica. Para os custos das embalagens (C_{EM}) foi considerado a compra de cada tipo de embalagem, sendo elas: barril de aço inox, garrafas de vidro, growler de PET (politereftalato de etileno) e latas de alumínio. Para os custos com transporte (C_{TR}) foram contabilizados os custos com combustíveis e manutenção veicular. Para os custos de gerenciamento (C_{GE}) foram contabilizados os custos com marketing, salários e impostos estaduais e federais.

Os valores dos parâmetros foram obtidos por meio de visitas técnicas na cervejaria, com os dados sendo determinados através de seu departamento contábil. Todos os valores são referentes ao ano de 2022.

Também foram estimados os valores dos Custos Ecológicos das Emissões (*eco-costs*). Para os custos ecológicos das emissões foram utilizados os valores descritos na Tabela 6.1 (TUDELFT, 2023).

Tabela 6.1. Valores dos custos ambientais de diferentes categorias de impacto (TUDelft, 2023).

Midpoint	Categoria	*Ecocosts* (2022) *	Base de Dados
Mudança Climática	Aquecimento Global	0,116 €/kg CO_2-eq	IPCC 2021, GWP100a
Sistemas Ecológicos	Acidificação	8,75 €/kg SO_2 -eq (= 6,68 €/mol H+ eq.)	EF 3.0
Sistemas Ecológicos	Eutrofização	4,70 €/kg PO_4-eq (= 14,40 €/kg P-eq)	EF 3.0
Sistemas Ecológicos	Ecotoxicidade	0,00289 €/CTUe	UseTox 2
Saúde Humana	Formação de oxidantes fotoquímicos	5,35 €/kg NOx-eq	ReciPe 2016 Midpoint
Saúde Humana	Material particulado	35,00 €/kg PM2.5-eq	ReciPe 2016 Midpoint
Saúde Humana	Toxicidade humana (efeitos cancerígenos)	920.000,00 €/CTUh	UseTox 2
Saúde Humana	Toxicidade humana (efeitos não cancerígenos)	216.000,00 €/CTUh	UseTox 2

* 1€ = R$5,36 (31/12/2023 - BCB, 2023).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos dados coletados na cervejaria foi possível encontrar os valores dos parâmetros dos custos para cada tipo de embalagem, esses valores estão expressos na Tabela 6.2.

Tabela 6.2. Valores dos parâmetros usados para cálculo do Custo do Ciclo de Vida.

	C_{MP}	C_{PR}	C_{EM}	C_{TR}	C_{GE}
Embalagem	**R$**	**R$**	**R$**	**R$**	**R$**
BARRIL	272.640,00	133.440,00	4.500,00	38.160,00	471.600,00
GARRAFA	68.160,00	33.360,00	11.320,32	9.540,00	117.900,00
GROWLER	68.160,00	33.360,00	3.300,00	9.540,00	117.900,00
LATA	45.440,00	22.240,00	20.106,24	6.360,00	78.600,00

Inserindo os valores dos parâmetros de custos na Equação 6.1, obtiveram-se os custos do ciclo de vida da produção de cerveja ($CCV_{CERVEJA}$) para cada tipo de embalagem (Tabela 6.3).

Tabela 6.3. Custos do ciclo de vida da produção de cerveja total e por litro.

	CCV Total/Ano	**CCV Total/Litro**
Embalagem	**R$/ano**	**R$/L**
BARRIL	920.340,00	8,52
GARRAFA	240.280,32	8,90
GROWLER	232.260,00	8,60
LATA	172.746,24	9,60

Analisando-se a Tabela 6.3, observa-se que a cerveja embalada no barril de aço inox foi a que apresentou o menor custo do ciclo de vida quando se observa o custo por litro fabricado (R$8,52/L). Uma razão para que isso aconteça é a grande reutilização dessa embalagem, podendo chegar a 120 ciclos antes do barril ser descartado para reciclagem. As latas de alumínio apresentaram o maior CCV (R$9,60/L) pelo fato de necessitarem de um número maior de embalagens, para cada litro de cerveja são necessárias quase 3 latas de 350 ml. O alto custo das embalagens fica evidente no valor do C_{EM} para as latas de alumínio (R$ 20.106,24 que corresponde a quase o dobro do segundo valor mais alto, para garrafas).

Para a quantificação dos impactos ambientais através da ACV, com a utilização dos diferentes métodos descritos, a Tabela 6.4 mostra os resultados dos oito indicadores calculados.

Tabela 6.4. Resultados dos impactos ambientais da ACV por litro de cerveja embalada em diversos formatos.

Categoria de Impacto	Métodos	Valor do Impacto por Litro de Cerveja
Aquecimento Global	IPCC 2021, GWP100a	2,56 kg CO_2-eq
Acidificação	EF 3.0	0,0153 mol H+ eq
Eutrofização	EF 3.0	0,000275 kg P eq
Formação de oxidantes fotoquímicos	UseTox 2	0,0111 kg NOx eq
Material particulado	ReciPe 2016 Midpoint	0,00388 kg PM2.5 eq
Ecotoxicidade	ReciPe 2016 Midpoint	0,592 CTUe
Toxicidade humana (efeitos cancerígenos)	UseTox 2	$2{,}47 \times 10^{-7}$ CTUh
Toxicidade humana (efeitos não cancerígenos)	UseTox 2	$1{,}05 \times 10^{-6}$ CTUh

Analisando os resultados da ACV, foi encontrado que a etapa de distribuição da cerveja foi a mais impactante em todas as oito categorias estudadas. Usando como exemplo os valores encontrados na categoria de impacto Aquecimento Global, com os valores sendo expressos em kg CO_2-eq, de acordo com a Figura 6.2, a área em púrpura demonstra que cerca de 80% das emissões são associadas ao modal atual de distribuição, com a utilização de um veículo leve movido a gasolina.

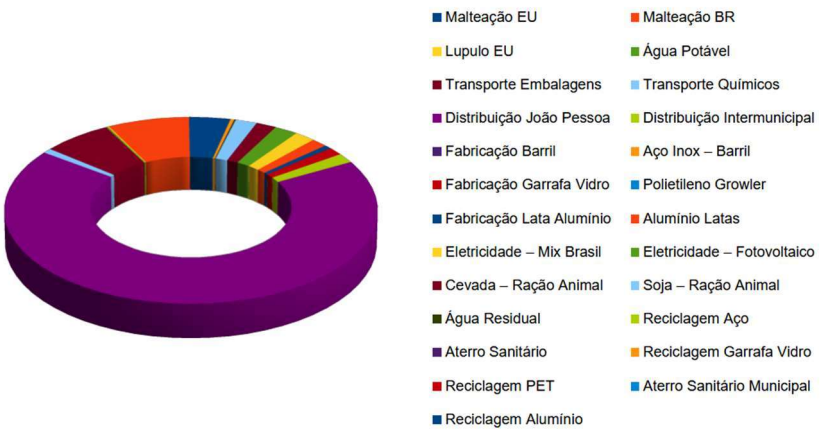


Figura 6.2. Potencial de Aquecimento Global atual da cervejaria distribuído por processos e materiais.

Para o cálculo dos custos ecológicos, foi levado em conta as quantificações dos impactos ambientais através da ACV. Os valores dos ônus ambientais foram convertidos em valores monetários e foram incorporados aos custos internos da cervejaria para uma melhor análise. São apresentados os valores dos impactos ambientais do modelo atual de operação na Tabela 6.5.

Tabela 6.5. Quantificação dos custos ecológicos com modelo de distribuição atual.

Categoria de Impacto	Valor do Impacto por Litro	Valor Monetário	Valor Custo Ecológico por Litro	Valor do Custo Ecológico por ano
Aquecimento Global (kg CO_2-eq)	2,56	R$ 0,62	R$ 1,59	R$ 286.507,01
Acidificação (mol H+ eq)	0,0153	R$ 35,80	R$ 0,55	R$ 98.606,42
Eutrofização (kg P eq)	0,000275	R$ 77,18	R$ 0,02	R$ 3.820,61
Formação de oxidantes fotoquímicos (kg NOx eq)	0,0111	R$ 28,68	R$ 0,32	R$ 57.201,74
Material particulado (kg PM2.5 eq)	0,00388	R$ 187,60	R$ 0,73	R$ 130.918,54
Ecotoxicidade (CTUe)	0,592	R$ 0,02	R$ 0,92	R$ 165.093,59
Toxicidade humana (efeitos cancerígenos) (CTUh)	$2,47x10^{-7}$	R$ 4.931.200,00	R$ 1,22	R$ 219.241,15
Toxicidade humana (efeitos não cancerígenos) (CTUh)	$1,05x10^{-6}$	R$ 1.157.760,00	R$ 1,22	R$ 218.816,64
			R$ 6,56	**R$ 1.180.205,69**

Partindo da análise de Diniz e Carvalho (2024), que considera a utilização de um veículo elétrico para fazer as entregas, a Tabela 6.6 mostra que os resultados são positivos. O custo ecológico da produção e distribuição da cerveja diminui em 60%, passando de cerca de R$ 1,2 milhão de reais para menos de R$ 500.000,00 reais anuais.

Tabela 6.6. Quantificação dos custos ecológicos com a adoção da distribuição com veículo elétrico.

Categoria de Impacto	Valor do Impacto	Valor Monetário	Total Custo Ecológico por Litro	Total do Custo Ecológico por Ano
Aquecimento Global (kg CO_2 eq)	0,744	R$ 0,62	R$ 0,46	R$ 83.033,45
Acidificação (mol H+ eq)	0,00527	R$ 35,80	R$ 0,19	R$ 33.949,08
Eutrofização (kg P eq)	$1,05 x10^{-4}$	R$ 77,18	R$ 0,01	R$ 1.462,30
Formação de oxidantes fotoquímicos (kg NOx eq)	0,00269	R$ 26,68	R$ 0,07	R$ 12.931,30
Material particulado (kg PM2.5 eq)	0,00128	R$ 187,60	R$ 0,24	R$ 43.071,20
Ecotoxicidade (CTUe)	33,4	R$ 0,02	R$ 0,67	R$ 120.109,62
Toxicidade humana (cancerígenos) (CTUh)	$8,95 x10^{-8}$	R$ 4.931.200,00	R$ 0,44	R$ 79.417,65
Toxicidade humana (efeitos não cancerígenos) (CTUh)	$4,83 x10^{-7}$	R$ 1.157.760,00	R$ 0,56	R$ 100.688,62
			R$ 2,64	**R$ 474.663,23**

Analisando as diferentes embalagens, comparando o modal atual de distribuição com a adoção de veículos elétricos, o maior impacto nos *ecocosts* foi no caso da cerveja embalada em

latas de alumínio. Houve uma redução de cerca de 75% no valor dos impactos ambientais quando adotada a mobilidade elétrica: o valor passou de R$5,45 para R$1,38 por litro de cerveja embalada. A menor redução foi no caso das garrafas de vidro, onde a redução foi de cerca de 45%, com o valor passando de R$8,90 para R$4,83 por litro. Todos os valores estão descritos na Tabela 6.7.

Tabela 6.7. Quantificação dos custos ecológicos em diferentes tipos de embalagem. Valores expressos em Reais (R$). (A) modelo atual da cervejaria, (E) modelo com adoção de distribuição com veículo elétrico.

Categoria de Impacto	Garrafa (A) R$	Garrafa (E) R$	Growler (A) R$	Growler (E) R$	Barril (A) R$	Barril (E) R$	Latas (A) R$	Latas (E) R$
Aquecimento Global (kg CO_2-eq)	2,08	0,95	1,48	0,35	1,46	0,33	1,32	0,19
Acidificação (mol H+ eq)	0,71	0,36	0,51	0,15	0,51	0,15	0,44	0,08
Eutrofização (kg P eq)	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00
Formação de oxidantes fotoquímicos (kg NOx eq)	0,41	0,16	0,29	0,05	0,29	0,04	0,28	0,04
Material particulado (kg PM2.5 eq)	0,97	0,48	0,68	0,19	0,67	0,18	0,59	0,10
Ecotoxicidade (CTUe)	1,28	0,88	0,85	0,45	0,84	0,44	0,88	0,48
Toxicidade humana (cancerígenos) (CTUh)	1,73	0,96	1,17	0,39	0,16	0,38	0,77	-0,01
Toxicidade humana (efeitos não cancerígenos) (CTUh)	1,67	1,02	1,13	0,47	0,12	0,46	1,15	0,50
TOTAL	**8,90**	**4,83**	**6,13**	**2,07**	**6,06**	**1,99**	**5,45**	**1,38**

A internalização dos custos ecológicos exclusivamente pela microcervejaria, traria um impacto significativo em suas receitas. Isso é mostrado Tabela 6.8, trazendo uma diminuição drástica na margem de lucro atual (coluna 6) e até resultando em prejuízo, como no caso da venda de cerveja em barril de aço inox. Esse prejuízo de cerca de R$0,42 por litro de cerveja, corresponde a um prejuízo anual de cerca de R$ 45.000,00, pois essa embalagem corresponde a cerca de 60% das vendas da microcervejaria.

Tabela 6.8. Quantificação dos lucros/prejuízos com a internalização dos *ecocost* pela microcervejaria.

	Custo Atual (CCV)	*ecocost* Atual	Custo Total (CCV+*ecocost)*	Preço Médio Venda	Venda – CCV	Venda – Custo Total
BARRIL	R$ 8,52	R$ 8,90	R$ 17,42	R$ 17,00	R$ 8,48	-R$ 0,42
GARRAFA	R$ 8,90	R$ 6,13	R$ 15,03	R$ 18,60	R$ 9,70	R$ 3,57
GROWLER	R$ 8,60	R$ 6,06	R$ 14,66	R$ 22,00	R$ 13,40	R$ 7,34
LATA	R$ 9,60	R$ 5,45	R$ 15,05	R$ 19,00	R$ 9,40	R$ 3,95

Caso houvesse uma regulamentação que obrigasse as empresas a internalizar os custos ambientais em seus produtos, seria imperativo que a microcervejaria adotasse a distribuição local

com veículos elétricos, pois assim ela sofreria apenas uma diminuição em sua margem de lucro mas não operaria com prejuízo. A Tabela 6.9 compara o lucro atual com o lucro com a internalização dos *ecocost* após a adoção da mobilidade elétrica.

Tabela 6.9. Quantificação dos lucros/prejuízos com a internalização dos *ecocost* pela microcervejaria quando adotada a mobilidade elétrica para distribuição local.

	Custo Atual (CCV)	***ecocost* Elétrico**	**Custo Total** (CCV+*ecocost)*	**Preço Médio Venda**	**Venda - CCV**	**Venda – Custo Total**
BARRIL	R$ 8,52	R$ 4,83	R$ 13,35	R$ 17,00	R$ 8,48	R$ 3,65
GARRAFA	R$ 8,90	R$ 2,07	R$ 10,97	R$ 18,60	R$ 9,70	R$ 7,63
GROWLER	R$ 8,60	R$ 1,99	R$ 10,59	R$ 22,00	R$ 13,40	R$ 11,41
LATA	R$ 9,60	R$ 1,38	R$ 10,98	R$ 19,00	R$ 9,40	R$ 8,02

Com a adoção da mobilidade elétrica, no caso da cerveja vendida em barris, ela partiria de um prejuízo (internalizando os *ecocosts* atuais) de cerca de R$ 45.000,00 para um lucro anual de cerca de R$ 394.200,00.

Esses resultados demonstram que a adoção da mobilidade elétrica para entregas locais são ambientalmente e economicamente viáveis para a microcervejaria.

CONCLUSÃO

Partindo dos impactos ambientais, para todos os indicadores estudados, a etapa de distribuição local de cerveja foi a mais impactante dentro de todos processos envolvidos nesse estudo, representando cerca de 80% dos impactos associados a fabricação e distribuição de 1 litro de cerveja artesanal embalada em diferentes formatos. Por exemplo, no indicador Mudanças Climáticas, a cervejaria alcançou um valor de 2,56 kg CO_2 eq por litro de cerveja fabricada e distribuída. Com a identificação desse *hotspot*, é possível propor a adoção de um veículo elétrico para a função de distribuição local. Além dos benefícios ambientais, como a cervejaria já conta com painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica, o veículo poderia ser abastecido na própria fábrica, trazendo também benefícios econômicos para a empresa.

Quando analisados os custos do ciclo de vida, a cerveja embalada em barris de aço inox (50 litros) foi a que apresentou os menores custos (R$8,52/L) e a cerveja embalada em latas de alumínio (0,35 L) o maior custo (R$9,60/L). Isso se deu a maior capacidade dos barris e sua grande reutilização, cerca de 120 ciclo de uso, enquanto a lata de alumínio é de uso único e são necessárias quase 3 latas para embalar 1 litro de cerveja.

Para os custos ecológicos, foi encontrado um valor médio de R$6,56 por litro de cerveja fabricada e distribuída. Isso implica que se a cervejaria, mantendo seu modelo de negócio, teria que desembolsar cerca de R$1,2 milhão de reais por ano para compensar os impactos ambientais

associados ao ciclo de vida da produção de sua cerveja. Com a opção de ser adotada a mobilidade elétrica para distribuição local, combinado a redução das cargas das emissões, o valor dos custos ecológicos cairiam para menos de R$500 mil reais anuais.

Quando analisamos a incorporação dos *ecocost* no valor final da venda sobre as diferentes embalagens, a cerveja embalada em growler de PET de 1 litro obteve o melhor resultado econômico, com um lucro de R$7,34 sem a adoção da mobilidade elétrica e de R$11,41 com a mobilidade elétrica por litro de cerveja vendido. Nessa análise, o barril de aço inox acabou ficando com o pior resultado, gerando prejuízo no modelo atual de R$-0,42 por litro e um lucro de R$ 3,65 por litro de cerveja se adotada a distribuição com veículo elétrico.

Uma vez adotado um valor monetário para as emissões ambientais, fica visível que a poluição promovida pelo ciclo de vida da fabricação dos produtos possui um alto custo. O presente estudo demonstrou a viabilidade ambiental e econômica da adoção da distribuição com veículo elétrico, mas outras ações também poderiam ser tomadas, como o incentivo ao uso de embalagens menos nocivas ao meio ambiente.

Finalmente, verificou-se que a internalização dos *ecocost* apresenta um grande impacto nas finanças das empresas. No caso aqui apresentado, a microcervejaria assumiu todos os encargos das emissões, sendo que alguns poderiam ser de responsabilidade de seus fornecedores.

Sugestões para futuros trabalhos incluem as definições de valores para os custos ecológicos para a realidade brasileira.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a. NBR ISO 14040/2014 - Gestão ambiental –avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014b. NBR ISO 14044/2014 - Avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT.

AMIENYO, D.; AZAPAGIC, A. (2016). Life cycle environmental impacts and costs of beer production and consumption in the UK. The International Journal of Life Cycle Assessment, 21, 492-509.

BARTHHASS, 2023. BarthHass Report 2022-2023. Disponível em: https://www.barthhaas.com/resources/barthhaas-report Acesso em 15/02/24.

BCB – Banco Central do Brasil, 2023. Histórico de Cotações Moedas Estrangeiras. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/historicocotacoes Acesso em 28/02/2024.

BRASIL, 2023. Ministério da Agricultura e Pecuária. Anuário da Cerveja 2022 / Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: MAPA/SDA, 2023.

ECOINVENT, 2023. Ecoinvent Database. Disponivel em: https://ecoinvent.org/ acesso em 04/10/23

EUROPEAN COMISSION, 2024 – Environmental Footprint EF3.0. Disponível em: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html Acesso em: 20/03/2024.

GUINÉE, J. B. (Ed). Life Cycle Assessment: An operational guide to the ISO Standards; LCA in Perspective; Guide; Operational Annex to Guide. Centre for Environmental Science, Leiden University, The Netherlands, 2001.

GUINÉE, J. B. Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change -. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Available at: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf . Access in: 19/03/2024.

PRÉ SUSTAINABILITY, 2023. Simapro Software. Disponivel em: https://simapro.com/ acesso em 04/10/23

RIVM, 2024. LCIA: the ReCiPe model. Disponível em: https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe Acesso em: 20/03/2024.

TUDELFT, 2023. The midpoint characterization tables and the multipliers in the model of the eco-costs for emissions. Disponível em: https://www.ecocostsvalue.com/ecocosts/eco-costs-concept/ Acesso em 22/02/24.

USETOX, 2024. Official USEtox 2.13 model and factors. Disponível em: https://usetox.org/ acesso em 20/03/2024.

VOGTLÄNDER, J.G.; MESTRE, A.; van der HELM, R.; SCHEEPENS, A.; WEVER, R. 2023. Eco-efficient Value Creation, sustainable strategies for the circular economy. Delft University of Technology.

7. ARTIGO – ACESSANDO AS CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICAS DA PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL NO NORDESTE BRASILEIRO.

ACESSANDO AS CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS, SOCIAIS E ECONÔMICAS DA PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL NO NORDESTE BRASILEIRO

RESUMO

O movimento das cervejarias artesanais no Brasil vem ganhando cada vez mais força com o número de estabelecimentos aumentando ano a ano. Como a fabricação da cerveja envolve muitos processos com intensivo uso de energia e recursos, desde o cultivo da cevada para obtenção do malte até o descarte da embalagem, acessar o grau de sustentabilidade desse ramo industrial é essencial. O conceito de sustentabilidade é apoiado em três pilares fundamentais, que são o ambiental, o econômico e o social. O pensamento do ciclo de vida traz uma visão holística a respeito de produtos e serviços, analisando todos os processos envolvidos no seu ciclo de vida. A Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida utiliza três metodologias: 1) Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental, que é internacionalmente aceita e normatizada e quantifica os potenciais impactos ambientais; 2) Avaliação do Custo do Ciclo de Vida, que analisa os impactos econômicos nas fases de obtenção de matéria prima, manufatura, manutenção, uso e descarte de produtos, e 3) Avaliação do Ciclo de Vida Social, que analisa os potenciais impactos sociais que são atribuídos a fabricação de determinados produtos. A etapa de maior impacto ambiental da produção da cerveja artesanal é a fase de distribuição local, com a emissão de 2,55 kg CO_2-eq/l. O maior impacto econômico está nos custos de gerenciamento, nos impostos pagos pela cervejaria, que chegam a cerca de 50% dos custos de fabricação. No aspecto social, o maior impacto foi na fase de obtenção do malte, mais precisamente na fase agrícola do cultivo da cevada. Os resultados demonstraram que os trabalhadores rurais estão expostos principalmente nos indicadores de saúde e segurança do trabalho.

Palavras-chave: Microcervejaria, ASCV, ACV, CCV, ACV-S

ABSTRACT

The craft brewing movement in Brazil is gaining momentum. The number of breweries is increasing year by year. Brewing beer involves many processes with intensive use of energy and resources, from growing the barley to obtaining the malt to disposing of the packaging, so access to the industry's level of sustainability is essential. The concept of sustainability is based on three fundamental pillars: environment, economics, and social. Life cycle thinking takes a holistic view of products and services, analyzing all the processes involved in their life cycle. The Life Cycle Sustainability Assessment uses three methodologies: 1) Environmental Life Cycle Assessment, which is internationally accepted and standardized and quantifies potential environmental impacts; 2) Life Cycle Cost Assessment, which analyzes the economic impacts in the phases of obtaining raw materials, manufacturing, maintenance, use and disposal of products, and 3) Social Life Cycle Assessment, which evaluates the potential social impacts that are attributed to the manufacture of products. The results of this study indicate that the most significant environmental impact during craft beer production occurs in the local distribution phase, with emissions of 2.55 kg CO2 eq/l. The most relevant economic impact is associated with management costs, the taxes paid by the brewery, which amount to around 50% of manufacturing costs. In social terms, the greatest impact occurs in the malting phase, more precisely in the agricultural phase of barley cultivation. The results showed that rural workers are mainly exposed to occupational health and safety indicators.

Keywords: Microbrewery, LCSA, LCA, LCC, S-LCA

1. INTRODUÇÃO

A história das cervejarias artesanais brasileiras se inicia nos anos 90, com a instalação da Cervejaria Dado Bier, em 1995 no Rio Grande do Sul, e da Cervejaria Colorado em 1996 em Ribeirão Preto, São Paulo (OPABIER, 2024). Inspiradas nos movimentos de cervejarias artesanais que estava ocorrendo nos Estados Unidos, por volta do ano 2000 as cervejarias artesanais brasileiras ganharam ainda mais força, com a cultura cervejeira sendo espalhada pelo país, novas microcervejarias foram instaladas em todas regiões do Brasil. Com o intuito de criar cervejas diferenciadas, introduziram em suas receitas produtos nacionais, como frutas locais e regionais, incorporando em seu portfólio diferentes estilos de cerveja, fugindo do Pilsen, estilo com o maior volume fabricado pelas grandes cervejarias (OPABIER, 2024).

Em relação a produção total de cerveja, o Brasil ocupa a terceira posição mundial (ano de referência 2023), ficando atrás apenas de China e Estados Unidos (BARTHHASS, 2023). Em questão das cervejarias artesanais, já existem no país mais de 1.729 cervejarias registradas, onde se destacam as nanocervejarias, com capacidade de produção de até 60.000 litros/ano e as microcervejarias, com capacidade de produção de até 600.000 litros/ano (BRASIL, 2023).

Com esse elevado volume de produção e atual tendência de crescimento do mercado, se torna imprescindível acessar o grau de sustentabilidade desse ramo industrial, com a quantificação dos impactos ambientais, econômicos e sociais de toda cadeia de produção da cerveja no Brasil.

Para avaliar a sustentabilidade de produtos, processos e tecnologias, várias ferramentas têm sido desenvolvidas (FINKBEINER *et al.*, 2010). Integrando os três pilares da sustentabilidade (ambiental, econômico e social) em uma perspectiva de ciclo de vida, surgiu a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV). Existem diversos trabalhos publicados com a aplicação da ASCV em diferentes áreas e cenários, sendo que o primeiro a utilizar a terminologia foi o estudo de Zhou *et al.* (2007) pesquisando a sustentabilidade de diferentes combustíveis.

A ASCV teve seu primeiro esquema conceitual proposto por Klöpffer (2008), consistindo em duas abordagens distintas. A primeira abordagem define a ASCV como a soma das seguintes partes: a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como fator ambiental, o Custo do Ciclo de Vida (CCV) como fator econômico e a Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) como fator social. Essa primeira abordagem não possui nenhuma ponderação formal entre elas, e é apresentada como: ASCV = ACV + CCV + ACV-S. A segunda abordagem seria a ASCV como uma nova avaliação construída sobre o mesmo inventário, implicando assim na inclusão do CCV e ACV-S como categorias de impacto adicionais na Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) (KLÖPFFER, 2008).

Em relação ao fator ambiental, a ACV ambiental é internacionalmente aceita e normatizada pela *International Organization for Standardization* (ISSO), sendo que no Brasil seus princípios e estrutura são definidos pela norma ABNT NBR ISO 14040:2014 (ABNT, 2014a) e seus requisitos e orientações apela norma ABNT NBR ISO 14044:2014 (ABNT, 2014b). A ACV parte de uma visão holística, compilando e avaliando as entradas, saídas e potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida. Como a ACV já está bem estruturada, ela possui seus impactos ambientais bem definidos, onde considera as questões dos impactos (*midpoints*) e os danos (*endpoints*).

A Avaliação dos Custos do Ciclo de Vida (CCV) possui uma abordagem econômica e estima os impactos dos custos monetários nas diferentes etapas do ciclo de vida de um produto ou serviço (AMIENYO *et al.*, 2016). O CCV demonstra os custos associados desde a aquisição da matéria-prima até o gerenciamento dos resíduos envolvidos em todo ciclo de vida do produto. Aqui também se pode incluir os custos ecológicos (*ecocosts*) decorrentes das etapas do ciclo de vida. Os *ecocosts* monetizam as cargas ambientais (encontradas através do estudo de ACV) envolvidas em diferentes estágios do ciclo de vida, colocando um valor financeiro na compensação das emissões geradas. Usando como exemplo, a compensação de 1 tonelada de dióxido de carbono (CO_2) emitidos para atmosfera, seriam necessários o investimento de 116 € em algum sistema de redução de CO_2, como os parques eólicos *offshore* (VOGTLÄNDER *et al*., 2023).

A Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) trata da avaliação dos impactos sociais atrelados ao longo do ciclo de vida de um determinado produto, englobando desde a extração e processamento de matérias-primas, manufatura, distribuição, uso, manutenção, reciclagem e disposição final (UNEP, 2009). A ACV-S apresenta as mesmas fases da ACV ambiental (definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação do impacto e interpretação). As diretrizes para a ACV-S foram definidas em 2009 pela UNEP (*United Nations Environment Programme*) e apresentam cinco partes interessadas na aplicação da ACV-S: Trabalhadores, Comunidade Local, Consumidores, Sociedade e Atores da Cadeia de Valor. Os impactos ou aspectos sociais mais relevantes para cada parte interessada estão representadas em 30 subcategorias (UNEP, 2009).

O objetivo desse estudo é acessar o grau de sustentabilidade de 1 litro de cerveja artesanal fabricada em uma microcervejaria instalada no Nordeste do Brasil. De acordo com a bibliografia pesquisada, esse estudo é o primeiro a quantificar os impactos dos três pilares da sustentabilidade (ambiental, econômico e social) da produção de cerveja. Para alcançar este objetivo, este estudo quantifica os impactos sociais por meio da ACV-S social, baseando-se em resultados obtidos a priori em Diniz & Carvalho (2024), que quantificaram impactos ambientais por meio da ACV ambiental, e de Diniz *et al.* (2024), que estimaram os custos atrelados aos processos por meio do CCV econômico e dos *ecocosts*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados primários utilizados nesse estudo foram obtidos *in loco* em uma microcervejaria que produz cerca de 180.000 litros anuais de cerveja artesanal puro malte, de diferentes estilos e embaladas no próprio local em diferentes embalagens. A microcervejaria está instalada em uma cidade no Nordeste brasileiro. Foram realizadas diversas visitas técnicas e entrevistas com os colaboradores para levantamento dos dados de compras dos insumos, operação da cervejaria e destino dos resíduos (DINIZ & CARVALHO, 2024; DINIZ *et al.*, 2024).

A unidade funcional escolhida para as quantificações dos impactos ambientais e econômicos foi a fabricação de 1 litro de cerveja artesanal puro malte embalada em uma das três embalagens selecionadas no estudo, sendo elas barril de aço inox, latas de alumínio e *growler* de PET (Polietileno tereftalato) (DINIZ & CARVALHO, 2024; DINIZ *et al.*, 2024). Para a quantificação dos impactos sociais, a unidade funcional é relacionada com valores monetários, aqui se adotou o valor referente a 1 litro de cerveja artesanal puro malte embalada em barril, latas ou *growler*.

Nesse estudo foi adotado a primeira abordagem de Klöpffer (2008), com a ASCV sendo obtida por meio das somas individuais das ACV ambiental, CCV econômico e da ACV-S social. Para isso, primeiramente serão adotadas as mesmas fronteiras do sistema para os três estudos, com os métodos de avaliação sendo padronizados (KLÖPFFER, 2008). Também não será realizada nenhuma forma de ponderação entre os três resultados, para que os resultados ambientais, econômicos e sociais sejam analisados de forma independente, evitando assim qualquer compensação entre os componentes que poderiam ocorrer quando os mesmos são avaliados de maneira conjunta (KLÖPFFER, 2008).

Para harmonizar os resultados das três avaliações (ambiental, econômica e social) foram definidas as mesmas fronteiras do sistema de produção de cerveja artesanal, englobando os seguintes processos:

- Matéria Prima: Cultivo e processamento dos maltes nacional e importado e do lúpulo importado;

- Embalagens: Fabricação e transporte das latas de alumínio, *growlers* de PET e barris de aço inox. Não serão contabilizadas as garrafas de vidro, devido a lacuna de informações dos impactos sociais desse tipo de embalagem. Como a cerveja embalada em garrafas de vidro correspondem a 15% das vendas, esse percentual será dissolvido entre as outras três embalagens.

- Processamento: Energia elétrica e água potável;

- Distribuição: Distribuição local e regional;

- Resíduos: Tratamento de resíduos líquidos e sólidos.

As quantidades dos insumos estão descritos na Tabela 7.1.

Tabela 7.1. Quantidades dos insumos utilizados anualmente pela microcervejaria e adotados no estudo.

Insumo	Quantidade (Anual)
Malte Nacional	42000 kg
Malte Importado	6000 kg
Lúpulo	240 kg
Água Potável	1524000 kg
Eletricidade	212315 kWh
Transporte Insumos	9819 kg
Distribuição Local	200000 kg
Distribuição Regional	30000 kg
Barril Aço Inox	520 kg
Latas de Alumínio	1000 kg
Growler de PET	400kg
Resíduo Sólido	42000 kg

Para o cálculo dos impactos ambientais, foi utilizada a ACV do tipo atribucional, de acordo com as normas ABNT NBR ISO 14040:2014 e 14044:2014 (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b). A ACV é estruturada em 4 etapas: Definição do Objetivo e Escopo, Análise do Inventário, Avaliação de Impactos e a etapa de Interpretação. Todas as etapas são iterativas, conversando entre si a fim de se conseguir alcançar o objetivo do estudo.

A etapa de definição de objetivo e escopo deve partir da decisão de qual é o sistema de produto ou serviço a ser estudado, definindo aqui a unidade funcional a ser utilizada. Após, é definido o fluxo de referência, o qual facilitará a construção do fluxograma de processo e seus respectivos processos elementares. Nessa etapa também se definem as fronteiras e limites do sistema bem como o método de avaliação a ser utilizado. A definição do escopo deve garantir que a largura, extensão e profundidade do estudo estejam de acordo com o seu objetivo final. A largura se refere a quantos e quais subsistemas serão considerados, a extensão trata de onde o estudo será iniciado e onde ele acaba dentro de seu ciclo de vida, e a profundidade trata do nível de detalhamento a ser adotado no estudo (CHEHEBE, 2002).

A análise do inventário é a etapa da coleta de dados, sendo imprescindível a busca da credibilidade e qualidade dos mesmos. As principais fontes dos dados são as bases de dados, por exemplo a *Ecoinvent* (ECOINVENT, 2024), dados da literatura (artigos e periódicos), dados não declarados (provindos de empresas, laboratórios) e as medições ou simulações (calculados ou estimados).

A Avaliação de Impactos (AICV) é a etapa onde se qualifica e se quantifica os potenciais impactos avaliados equivalentes a unidade funcional determinada. Aqui serão convertidos os resultados do inventário para um grupo selecionado de impactos ambientais. As categorias de impactos ambientais a serem selecionadas devem estar embasadas nos impactos que mais contribuem no sistema em estudo (HELLWEG *et al.*, 2024).

A fase de interpretação do ciclo de vida compreende os seguintes elementos: identificação dos problemas mais relevantes (baseado no inventário e na avaliação de impactos), avaliação (verificando a consistência, completeza e análise de sensibilidade), conclusões, recomendações e divulgação (BOUCHERY *et al.,* 2016).

Nesse estudo foi utilizado o *software* Simapro v.9.4.0.3 (PRÉ SUSTAINABILITY, 2024) com a base de dados da Ecoinvent v.3.8 (ECOINVENT, 2024). Sempre que necessário, os dados da base de dados foram ajustados para a realidade brasileira, como no caso do consumo de eletricidade. Os métodos de avaliação empregados foram o IPCC 2021 GWP 100a (IPCC, 2021), que quantifica as emissões de gases de efeito estufa em termos de CO_2-eq em um horizonte de 100 anos, o CML-IA baseline V3.08/EU25, e o ILCD 2011 Midpoint+ (EUROPEAN COMISSION, 2012), quantificando ao todo 13 categorias de impacto. Esses métodos foram selecionados por serem os recomendados pela *European Product Environmental Footprint* (Pegada Ambiental de Produtos Europeus) (FAZIO *et al.,* 2018), por ter os indicadores que serão convertidos em valores monetários na etapa do CCV, gerando os *ecocosts,* e por facilitar a comparação dos resultados com estudos similares publicados recentemente (MORGAN *et al.*, 2021).

Para o cálculo do Custo do Ciclo de Vida (CCV), foi utilizado o *software* LibreOffice Calc (LIBREOFFICE, 2024) para a confecção de planilhas de custos dos diferentes processos envolvidos na fabricação da cerveja artesanal. Os custos calculados são referentes aos insumos e processos descritos na tabela 1. A partir dos resultados das emissões encontradas na ACV, no CCV também foram calculados e incluídos os *ecocosts*, permitindo assim uma estimativa do impacto econômico das emissões na microcervejaria. Os valores para o cálculo dos *ecocosts* foram retirados da *Sustainability Impact Metrics* (TUDELFT, 2024).

Para a Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S), também foi utilizado o *software* Simapro v.9.4.0.3 (PRÉ SUSTAINABILITY, 2024). Foi importada a base de dados social da *Social Hotspot Database* (SHDB, 2024). Essa base de dados inclui 160 indicadores que abrangem 30 subcategorias de impactos sociais dentro de seis categorias principais de impactos sociais e cinco grupos de partes interessadas: Trabalhadores, Comunidade Local, Consumidores, Sociedade e Atores da Cadeia de Valor (SHDB, 2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Impactos Ambientais

De acordo com as Figuras 7.1, 7.2, 7.3 e 7.4, quando os processos são agrupados, percebe-se que a etapa da distribuição da cerveja foi a mais impactante na microcervejaria brasileira.

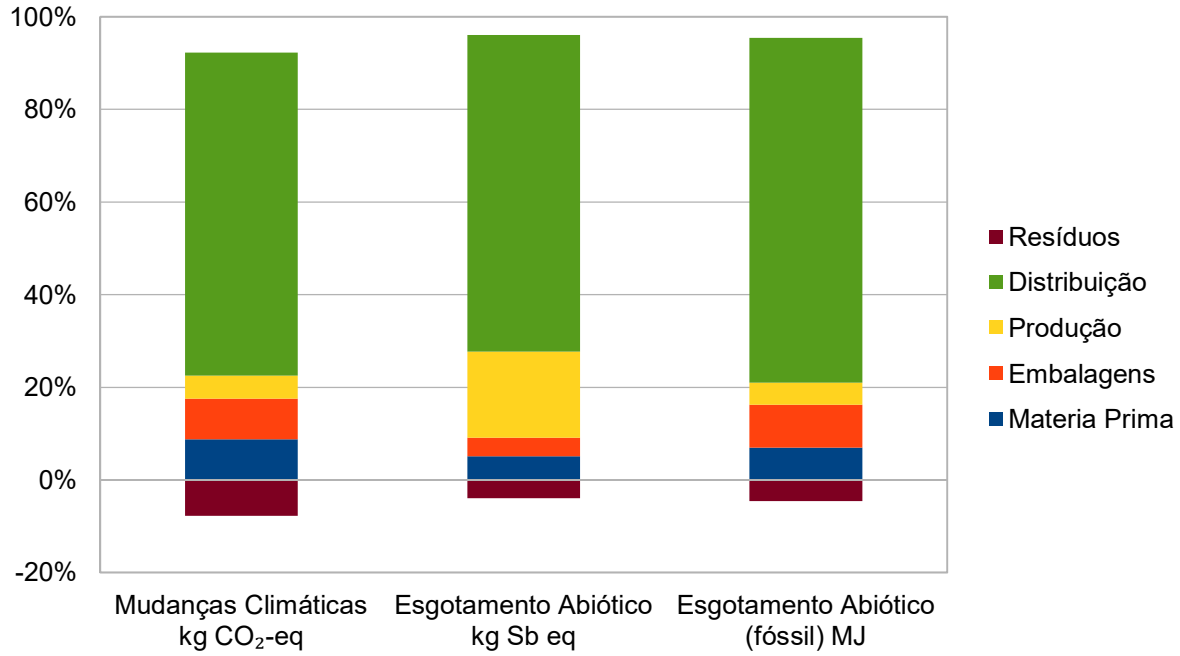


Figura 7.1. Indicadores ambientais (mudanças climáticas, esgotamento abiótico e esgotamento abiótico – combustíveis fósseis) agrupados por porcentagem dos diferentes processos da fabricação e distribuição de 1 litro de cerveja artesanal.

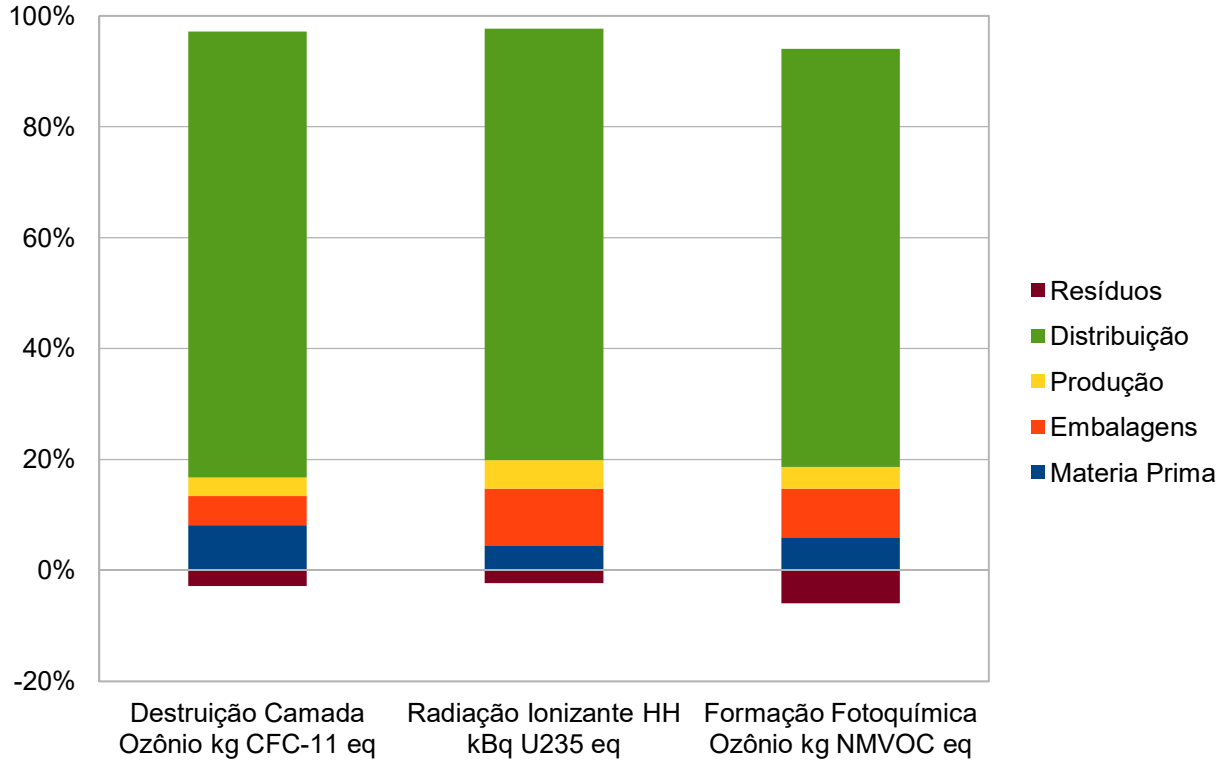


Figura 7.2. Indicadores ambientais (destruição da camada de ozônio, radiação ionizante e formação fotoquímica do ozônio) agrupados por porcentagem dos diferentes processos da fabricação e distribuição de 1 litro de cerveja artesanal.

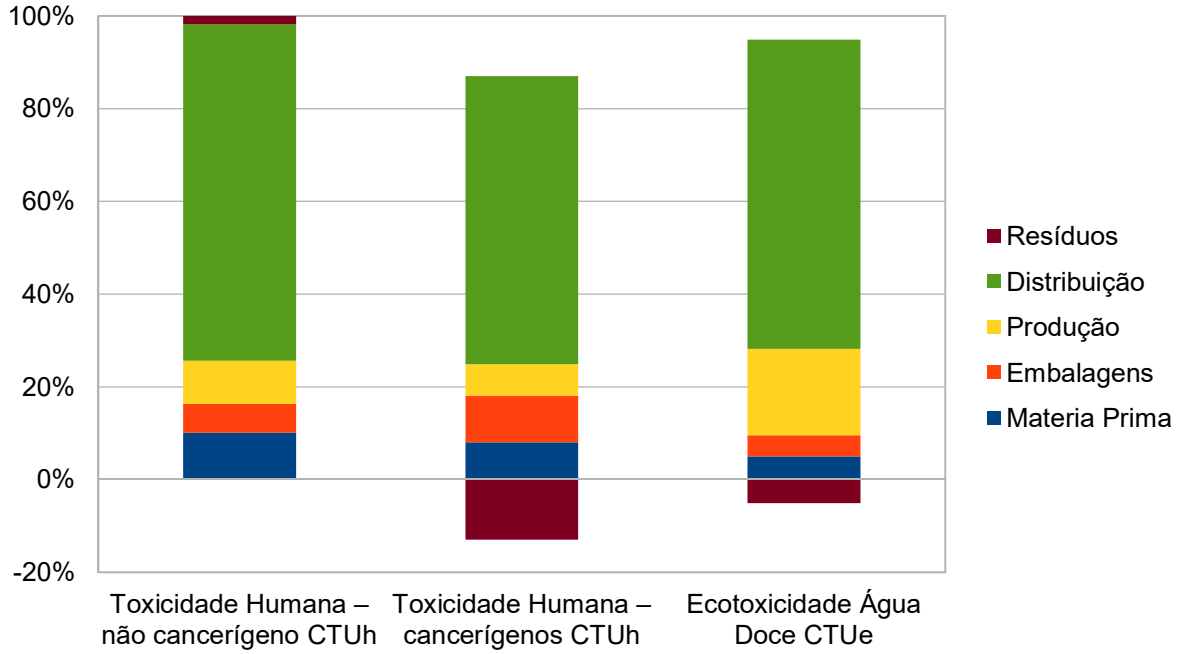


Figura 7.3. Indicadores ambientais (toxicidade humana com efeitos cancerígenos e não cancerígenos, ecotoxicidade de água doce) agrupados por porcentagem dos diferentes processos da fabricação e distribuição de 1 litro de cerveja artesanal.

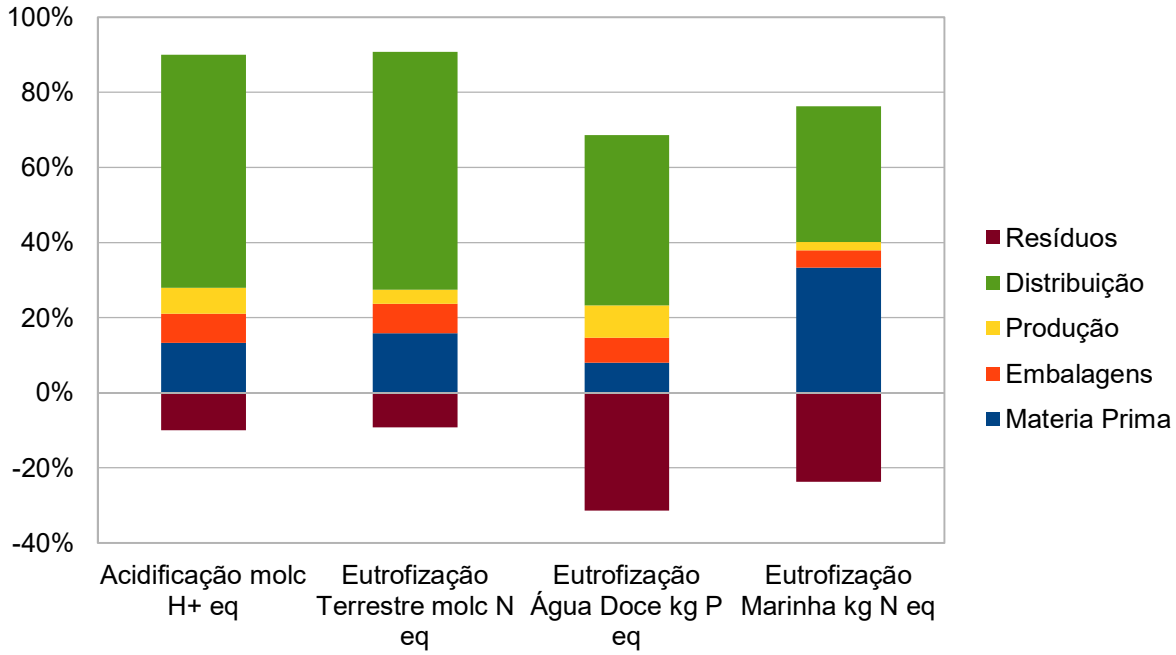


Figura 7.4. Indicadores ambientais (acidificação, eutrofização terrestre, de água doce e marinha) agrupados por porcentagem dos diferentes processos da fabricação e distribuição de 1 litro de cerveja artesanal.

A grande porcentagem dos impactos da distribuição se dá principalmente pelo uso de um veículo comercial leve movido a gasolina para distribuição local pela cidade. Outro veículo que faz as distribuições regionais é um caminhão pequeno movido a diesel. A produção da cerveja já não é tanto impactante pois mais da metade da energia elétrica que abastece a cervejaria provém de energia solar fotovoltaica. A matéria-prima tem uma porcentagem mais alta no indicador "Eutrofização Marinha", que é contabilizado por quilos de Nitrogênio equivalente, pelo grande uso de fertilizantes nitrogenados para a cultura da cevada. Os resíduos aparecem com uma baixa porcentagem pois todos os resíduos sólidos da produção, que seria o malte recolhido após a etapa de filtragem, são enviados para criadores da região para uso como ração animal. Esse resíduo possui uma alta taxa proteica, conseguindo evitar a compra de ração industrializada por esses criadores. As embalagens também possuem baixo impacto, uma vez que os barris de aço inoxidável são reutilizados em média 120 vezes. Os *growlers* de PET possuem uma reutilização média de dez vezes, e as latas de alumínio possuem uma alta taxa de reciclagem no Brasil, onde no ano de 2022, o país alcançou a marca de 100% das latas de alumínio fabricadas sendo recicladas, em um montante de cerca de 390 mil toneladas (ABRALATAS, 2023).

Quando comparados com os resultados encontrados por Morgan *et al.* (2021) em uma microcervejaria de porte similar, a microcervejaria brasileira possui um impacto ligeiramente maior do que a Galês na maioria dos indicadores. Apenas nos indicadores "Toxicidade Humana – Efeitos Cancerígenos", "Radiação Ionizante" e "Eutrofização da Água Doce" que a cervejaria brasileira obteve menores valores de impacto. Na Tabela 7.2 estão descritas as 13 categorias de impacto encontradas com seus respectivos valores, tanto no caso brasileiro como os valores encontrados por Morgan *et al.* (2021) em seu trabalho realizado no País de Gales.

Tabela 7.2. Comparação dos valores das emissões referentes a 1 litro de cerveja artesanal embalada em diferentes formatos.

Categoria de impacto	Unidade	Brasil	País de Gales
Mudanças Climáticas	kg CO_2-eq	**2,55**	1,9
Esgotamento abiótico	kg Sb eq	**$3{,}89\times10^{-5}$**	$6{,}7\times10^{-6}$
Esgotamento abiótico (combustíveis fósseis)	MJ	**36**	30
Destruição da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	**$3{,}86\times10^{-7}$**	$3{,}5\times10^{-7}$
Toxicidade Humana – Efeitos não Cancerígenos	CTUh	**$1{,}02\times10^{-6}$**	$8{,}4\times10^{-7}$
Toxicidade Humana – Câncer	CTUh	$2{,}49\times10^{-7}$	**$3{,}0\times10^{-7}$**
Radiação Ionizante	kBq U235 eq	$2{,}09\times10^{-1}$	**$3{,}6\times10^{-1}$**
Formação Fotoquímica de Ozônio	kg NMVOC eq	**$1{,}40\times10^{-2}$**	$9{,}8\times10^{-3}$
Acidificação	molc H+ eq	**$1{,}53\times10^{-2}$**	$1{,}3\times10^{-2}$
Eutrofização Terrestre	molc N eq	**$5{,}06\times10^{-2}$**	$4{,}0\times10^{-2}$
Eutrofização Água Doce	kg P eq	$2{,}60\times10^{-4}$	**$5{,}2\times10^{-4}$**
Eutrofização Marinha	kg N eq	**$5{,}20\times10^{-3}$**	$5{,}1\times10^{-3}$
Ecotoxicidade Água Doce	CTUe	**5,71**	2,5

3.2 Impactos Econômicos

Para os impactos econômicos, foram contabilizados os custos das matérias primas (CMP), custos de produção (CPR), custos das embalagens (CEM), custos dos transportes (CTR) e os custos do gerenciamento (CGE). No CMP estão os custos com os maltes, lúpulos e leveduras, no CPR estão os custos dos produtos químicos e de limpeza, das energias elétrica e térmica e da água. No CEM estão os custos das embalagens, sendo elas os barris de aço inox, latas de alumínio e *growlers* de PET. No CTR estão os custos com combustível e manutenção da frota. No CGE estão os custos com salários, impostos federais e estaduais e custos com marketing.

Os dados para esses cálculos foram recolhidos na própria cervejaria através de visitas técnicas com entrevistas com o setor responsável. Todos os valores são referentes ao ano de 2023 e estão descritos na Tabela 7.3.

Tabela 7.3. Custos referentes a produção anual de 180.000 litros de cerveja artesanal embalada em diferentes formatos.

	CMP	CPR	CEM	CTR	CGE	TOTAL/ANO	TOTAL/LITRO
BARRIL	R$ 295.360,00	R$ 144.560,00	R$ 5.400,00	R$ 41.340,00	R$ 510.990,00	R$ 997.560,00	R$ 8,53
GROWLER	R$ 90.880,00	R$ 44.480,00	R$ 4.950,00	R$ 12.720,00	R$ 157.200,00	R$ 310.230,00	R$ 8,62
LATA	R$ 68.160,00	R$ 33.360,00	R$ 24.480,00	R$ 9.540,00	R$ 117.900,00	R$ 253.440,00	R$ 9,39
TOTAL	R$ 454.400,00	R$ 222.400,00	R$ 34.830,00	R$ 63.600,00	R$ 786.000,00	R$ 1.561.230,00	R$ 8,67

Na Figura 7.5 consegue-se visualizar como os custos com o gerenciamento (CGE) ocupam cerca de 50% de todos os custos da cervejaria. Um dos motivos é a grande carga tributária (impostos federais e estaduais) que são inseridos nas cervejas artesanais. No Brasil, os seguintes impostos são cobrados pela cerveja (BEERBUSINESS, 2022): Imposto sobre Produto Industrializado (IPI), Imposto sobre circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), Substituição Tributária do ICMS (ICMS ST), Programa de Integração Social (PIS), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), Fundo de Combate à Pobreza (FCP), Contribuição Patronal Previdenciária (CPP), o Imposto de Renda (IR) e a Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL). Também existe o fato de que os governos federal e estadual não fazem distinção do porte da cervejaria, ou seja, os tributos cobrados de uma microcervejaria artesanal são os mesmos cobrados por cervejarias de grande porte.

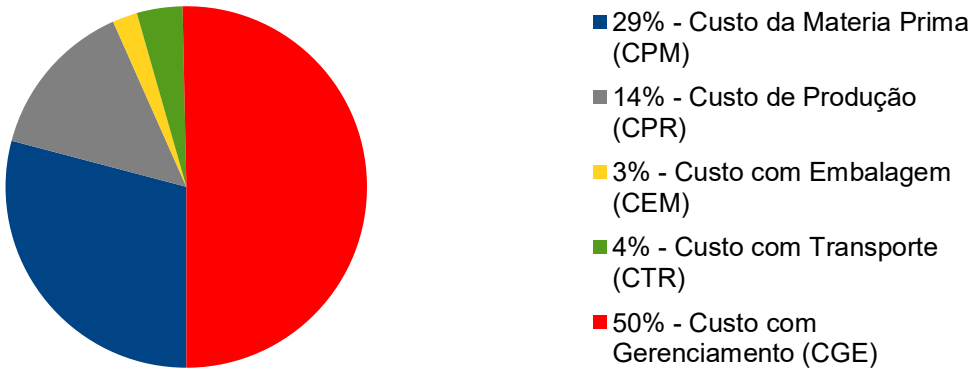


Figura 7.5. Custos relativos à fabricação da cerveja artesanal

Em seguida foram calculados os custos ecológicos "*ecocosts*", que atribuem um valor financeiro às emissões ambientais encontradas na ACV. Atualmente não existe regulamentação cobrando das empresas os *ecocosts* referentes às emissões da fabricação de seus produtos. Uma forma de compensar pelas emissões de suas atividades é o investimento em formas de mitigação dessas emissões, por exemplo, a compensação de 1 t CO_2 poderia ocorrer com o investimento de 116 € em usinas eólicas (TUDELFT, 2024).

Para a microcervejaria estudada, os *ecocosts* foram calculados a partir das emissões encontradas utilizando a ACV, e inseridos nos custos da cervejaria para se determinar o impacto econômico dessas emissões, esses valores estão descritos na Tabela 7.4.

Tabela 7.4. *Ecocosts* referentes a fabricação de 1 litro de cerveja artesanal embalada em diferentes formatos.

Categoria de impacto	Unidade	Quantidade	Valores Equivalentes	*ecocosts*	*ecocosts*
Mudança Climática	kg CO2-eq	2,55	0.133 €/kg CO2 eq	0,340 €	R$ 1,86
Toxicidade Humana - Cancerígenos	CTUh	$2{,}49\text{x}10^{-7}$	920000 €/CTUh	0,229 €	R$ 1,26
Toxicidade Humana – não cancerígenos	CTUh	$1{,}02\text{x}10^{-6}$	216000 €/CTUh.	0,219 €	R$ 1,20
Formação fotoquímica do ozônio	kg NMVOC eq	$1{,}40\text{x}10^{-2}$	20.0 €/kg kg NMVOC eq	0,280 €	R$ 1,53
Acidificação	molc H+ eq	$1{,}53\text{x}10^{-2}$	7.65 € mol H+ eq	0,117 €	R$ 0,64
Eutrofização Água Doce	kg P eq	$2{,}60\text{x}10^{-4}$	16.46 €/kg P eq	0,004 €	R$ 0,02
Ecotoxicidade Água Doce	CTUe	5,71	$2.89\text{x}10^{-3}$ €/CTUe	0,165 €	R$ 0,90
Material Particulado	kg PM2.5 eq	$1{,}55\text{x}10^{-3}$	40.1 €/kg PM2.5 eq	0,062 €	R$ 0,34
			TOTAL	**1,42 €**	**R$ 7,76**

Com um custo médio da produção da cerveja de R$8,85, o incremento de R$7,76 referentes aos custos ambientais totaliza um custo final de R$16,61 por litro de cerveja. Com um valor médio de venda de R$19,15, a operação da microcervejaria obteria um lucro de R$2,54 por litro de cerveja vendido. Considerando que toda cerveja produzida no ano seja vendida nesse valor médio, a produção de 180.000 litros traria a cervejaria um lucro anual de R$457.200,00.

Se não consideramos os *ecocosts* (modelo atual), com um custo médio de R$8,85 por litro de cerveja e com a venda média por R$19,15, o lucro fica na casa dos R$10,30 por litro de cerveja vendido. Também considerando a venda de toda produção, 180.000 litros, o lucro anual fica em torno de R$1.854.000,00. A inclusão dos custos ambientais possui um grande impacto nas operações da cervejaria, custando cerca de R$1.396.800,00 por ano.

É importante mencionar que neste estudo foram inseridos os custos ambientais da maioria dos processos referentes a produção da cerveja, e nem todos esses custos deveriam ser absorvidos diretamente pela microcervejaria. Por exemplo, nas etapas de obtenção do malte, a própria fabricante deveria ser responsabilizada, dissolvendo os *ecocosts* em toda sua produção.

3.3 Impactos Sociais

Para os impactos sociais, foi definida a mesma fronteira do sistema e selecionados os mesmos processos de fabricação da cerveja na análise ambiental, sendo eles: a obtenção dos maltes nacional e importado, o lúpulo, os materiais das embalagens, a água potável e a energia para o processamento dentro da cervejaria, as distribuições locais e regionais e o gerenciamento dos resíduos.

Analisando todos esses processos, foi encontrado que a etapa com o maior impacto social foi o da obtenção do malte brasileiro (parcela azul na Figura 7.6). Dentro dos processos para a obtenção do malte nacional estão: a etapa de cultivo da cevada, energia elétrica e água para produção do malte e o transporte do malte para a cervejaria. De acordo com a figura 7.6, o malte nacional contribui com cerca de 50% de todo impacto social na fabricação da cerveja artesanal nas cinco categorias relacionadas.

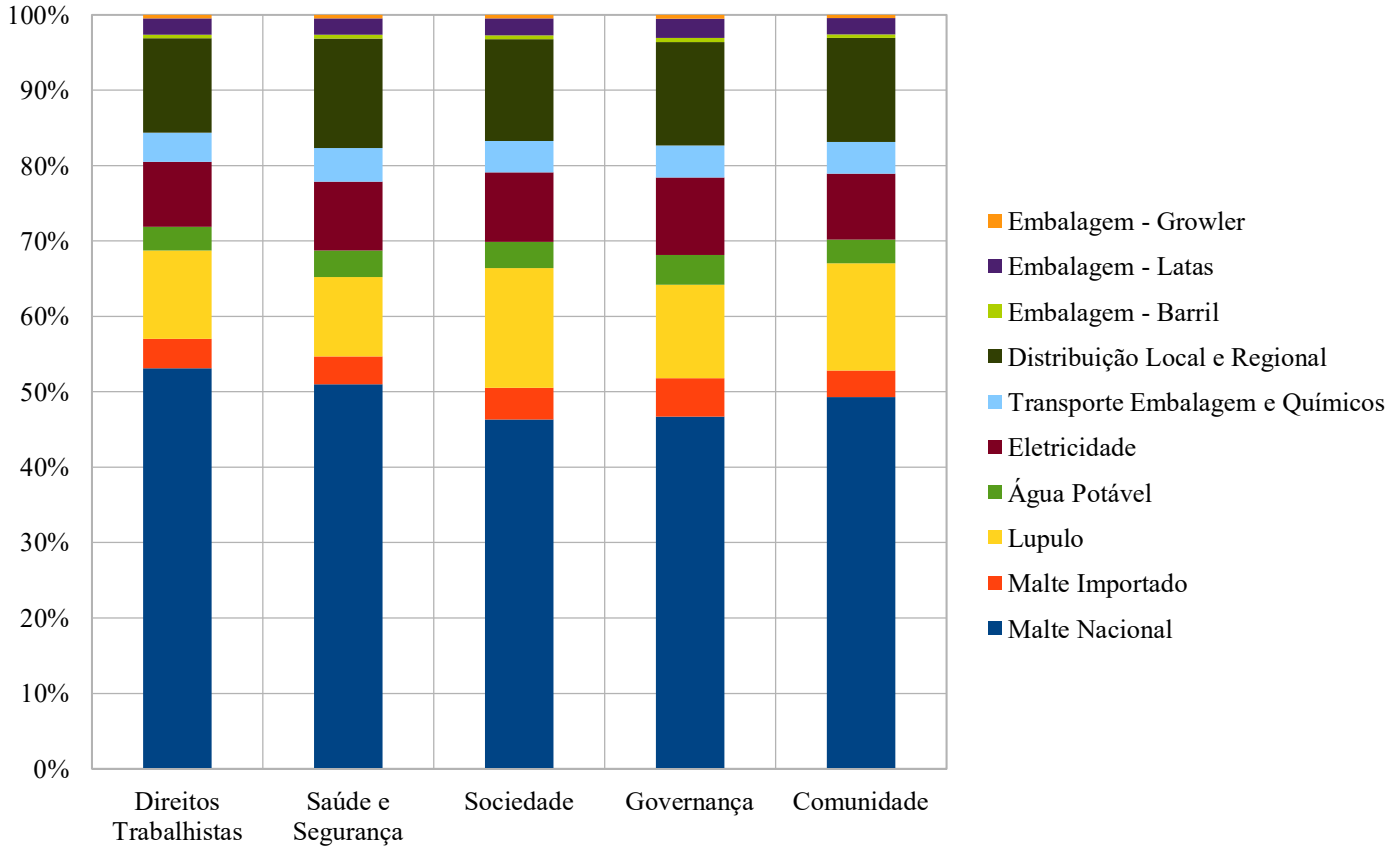


Figura 7.6. Contribuição percentual dos processos da fabricação de cerveja artesanal em cinco categorias de impactos sociais

Na categoria Direitos Trabalhistas e Trabalho Digno (primeira barra da esquerda), que engloba questões de benefícios sociais, leis trabalhistas, discriminação e desemprego, o malte nacional contribuiu com 53% dos impactos sociais totais. Na categoria Saúde e Segurança (segunda barra a partir da esquerda), com as questões dos riscos laborais e acidentes de trabalho, a maior parcela dos impactos também se deu pelo malte nacional, 51%, com a etapa de transporte (distribuição) representando 14,5%. Na categoria Sociedade (barra central), com os temas dos direitos indígenas, igualdade de gênero, zonas de conflito, questões de saúde humana com doenças transmissíveis e não transmissíveis, pobreza e desigualdade e o estado da sustentabilidade ambiental, o malte nacional é responsável por 46,3% dos impactos sociais, seguido pelo lúpulo europeu com 15,9% dos impactos sociais totais. Na categoria Governança, com o sistema jurídico, corrupção, democracia e liberdade de expressão, o malte nacional aparece com 46,7% e a etapa de distribuição, está com 13,7% dos impactos sociais. Na última categoria, Comunidade, com os temas acesso a uma fonte melhorada de água potável e saneamento, crianças fora da escola, acesso a serviços de saúde, pequenos agricultores versus explorações comerciais, acesso a eletricidade e os direitos de propriedade, 49,3% dos impactos sociais estão atrelados ao malte nacional e 14,2% atrelados ao lúpulo importado da Europa.

Quando analisados os impactos sociais em suas subcategorias, as Figuras 7.7-7.11 ilustram como a etapa da obtenção do malte nacional também é a mais impactante na maioria das subcategorias. Na Figura 7.7 estão os resultados referentes à categoria dos Direitos Trabalhistas e Trabalho Digno. Aqui estão englobadas as subcategorias:

- Avaliação Salarial, que monitora se o salário do setor está abaixo do salário digno, abaixo do salário livre de suor, abaixo do salário mínimo do país ou abaixo do salário de referência do setor;
- Trabalhadores na pobreza, que monitora a porcentagem da população empregada vivendo abaixo da linha de pobreza internacional ($1,9 USD);
- Trabalho infantil, como risco de trabalho infantil no país, risco das crianças perderem a infância, riscos relacionados com os direitos das crianças no ambiente de trabalho, risco global de trabalho infantil no país e o risco geral de trabalho infantil no setor;
- Trabalho forçado, que avalia o risco de tráfico de pessoas, risco de trabalho forçado (índice global de escravidão), risco global de trabalho forçado no país e risco global nacional de trabalho forçado no setor;
- Tempo de trabalho excessivo, com o risco de se trabalhar >48 horas semanais, falta de marco regulatório para jornada de trabalho e sua implementação e o risco geral de tempo de trabalho excessivo;
- Liberdade de associação, com o risco de falta de associação e direitos de negociação coletiva e direito de greve, cobertura de negociação coletiva e o risco global relacionado com a liberdade de associação, negociação coletiva e direito de greve;
- Trabalho de migrantes, que avalia a taxa de migração, a porcentagem de imigrantes na população, as remessas de trabalhadores e compensações pagas por imigrante, a ratificação de convenções internacionais ou criação de políticas para imigrantes, risco baseado em evidências para trabalhadores migrantes e os riscos gerais dos trabalhadores migrantes;
- Benefícios sociais, se existem férias anuais remuneradas para os trabalhadores, licença médica (pagamento, início, duração), outros tipos de licença (infantil, adulto, educacional e saúde), licença maternidade e paternidade (pagamento e duração) e a proporção da população coberta por programas de assistência social;
- Leis trabalhistas, que monitora o último ano em que o salário mínimo foi atualizado, o número de leis trabalhistas no país, ratificação das convenções da OIT (Organização Internacional do Trabalho), número de leis trabalhistas por setor, ratificação de convenções por setor e os riscos gerais das leis e convenções trabalhistas;

- Discriminação, que avalia a discriminação no local de trabalho (qualitativa);
- Desemprego, que avalia o nível de desemprego, o emprego vulnerável, os programas de desemprego em vigor e o risco geral de desemprego.

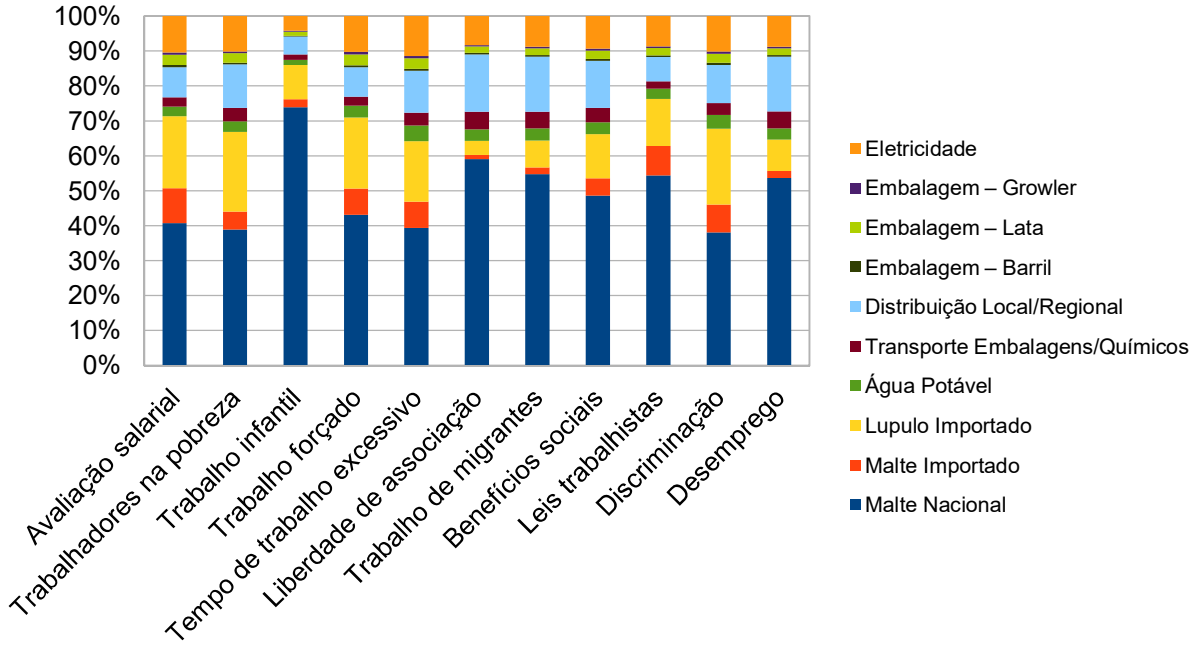


Figura 7.7. Subcategorias referentes aos Direitos Trabalhistas e Trabalho Digno.

O malte nacional teve seu maior impacto social na subcategoria Trabalho Infantil, evidenciando as desigualdades no contexto social, cultural e econômico do espaço rural brasileiro. Principalmente os pequenos agricultores, por não disporem de condições financeiras para contratar trabalhadores, se sentem obrigados a utilizar mão de obra infanto juvenil familiar no campo. Também é possível evidenciar um alto impacto social do malte nacional nas subcategorias Liberdade de Associação, Leis Trabalhistas e Desemprego.

Na Figura 7.8 estão os resultados relacionados com a categoria Saúde e Segurança, que engloba as subcategorias:

- Perigos tóxicos e operacionais, que avalia os riscos relacionados ao ruído operacional, riscos relacionados com câncer, asma, pneumonia, doenças infecciosas ocupacionais e os riscos gerais de perigos tóxicos e ocupacionais;
- Acidentes e mortes, que avalia os riscos relacionados a lesões por acidente de trânsito, riscos relacionados com envenenamentos, com quedas no trabalho, queimaduras, afogamentos, lesões por forças mecânicas e os riscos de lesões não intencionais relacionadas ao trabalho.

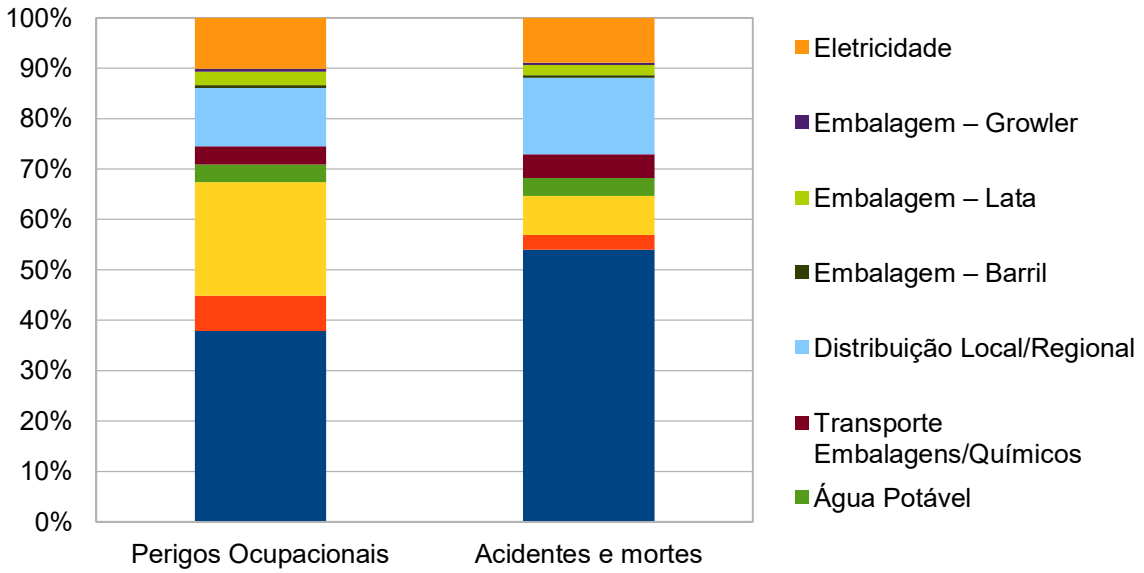


Figura 7.8. Subcategorias referentes a categoria Saúde e Segurança

Na subcategoria de perigos ocupacionais, o malte nacional (azul) e o lúpulo importado (amarelo) possuem um grau de impacto social próximo, impacto esse relacionado com atividades agropecuárias (uso de agrotóxicos). Já na subcategoria Acidentes e Mortes, o malte nacional possui o maior impacto, mas a distribuição local e regional (azul claro) se destaca, já que dentro dessa subcategoria está o indicador social dos riscos relacionados com lesões por acidentes de trânsito.

Na Figura 7.9 estão os resultados referentes a categoria Sociedade, onde fazem parte as subcategorias:

- Direitos Indígenas, com o risco geral da violação dos direitos indígenas no país, porcentagem da população indígena no país, as convenções de ratificação para proteger os direitos indígenas, número de leis que protegem os direitos indígenas e os riscos globais do setor nacional relacionado com a violação dos direitos indígenas;
- Equidade de gênero, avaliando as instituições sociais e os índices de gênero, o índice global de disparidade de gênero (Fórum Econômico Mundial), índice de desigualdade de gênero, índice mulher, negócio e direito e os riscos gerais de igualdade de gênero;
- Zonas de alto conflito, que avalia os índices de alto conflito (Instituto Heidelberg), índice de fragilidade estadual (Centro de Paz Sistêmica), pessoas sob ameaça (grupo de direitos das minorias), índice global de paz e os riscos gerais de alto conflito;
- Doenças não transmissíveis, avaliando a expectativa de vida ao nascer (anos), taxa de mortalidade de crianças com menos de cinco anos, taxas de mortalidades padronizadas por idade para doenças não transmissíveis, por lesões e por doenças cardiovasculares, proporção de desnutridos na população, taxa de mortalidade

atribuída à poluição atmosférica doméstica e ambiental, população afetada por desastres naturais e os riscos gerais de doenças não transmissíveis e outros riscos para a saúde;

- Doenças transmissíveis, com as taxas de casos de HIV, tuberculose, malária, dengue e as taxas de mortalidades padronizadas por idade por doenças transmissíveis;
- Pobreza e desigualdade, com a medição da desigualdade utilizando o coeficiente de Gini, população vivendo abaixo da linha de pobreza (definição do Banco Mundial), percentagem da população que vive abaixo do limiar de pobreza relevante (definição da OCDE), índice de desenvolvimento humano (IDH) e o risco geral de pobreza e desigualdade.
- Estado da sustentabilidade, que avalia o índice de desempenho ambiental.

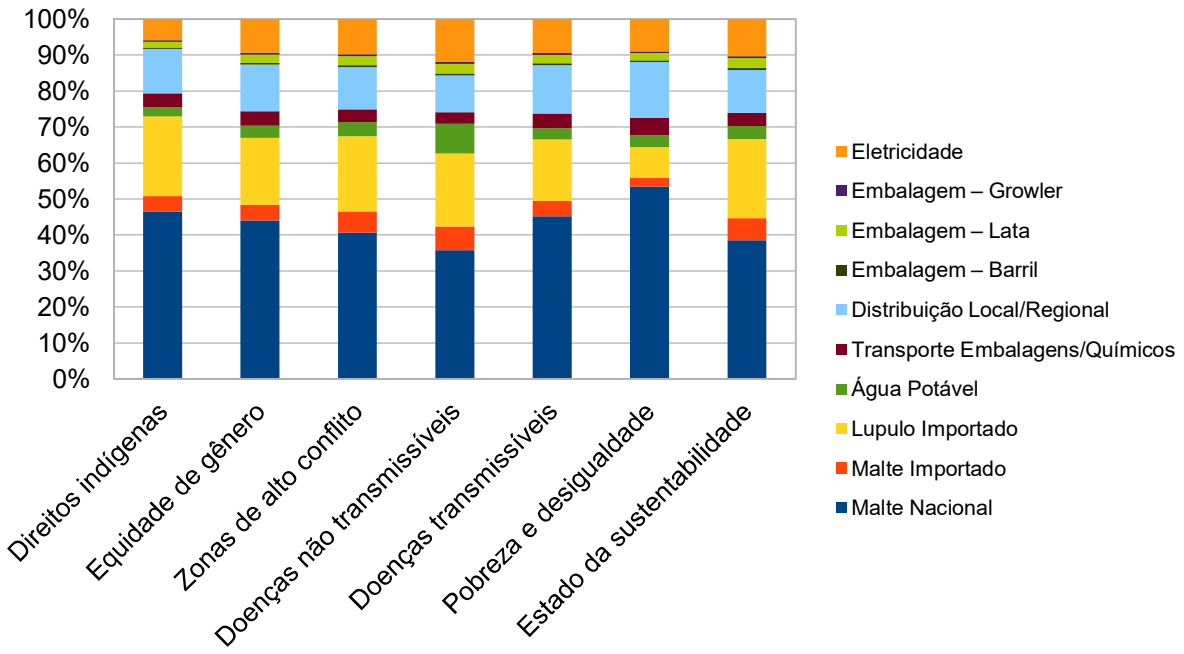


Figura 7.9. Subcategorias referentes a categoria Sociedade.

Nos resultados apresentados na Figura 7.6 fica exposto que maior impacto social relacionado a categoria sociedade é do malte nacional na subcategoria Pobreza e Desigualdade, evidenciando um problema social que o meio rural brasileiro vem sofrendo, onde não há uma divisão das terras cultiváveis (predominando grandes áreas de monocultura) e os movimentos de luta pela terra sendo criminalizados, mantendo assim, os trabalhadores rurais em situação de pobreza e desigualdade social.

Na Figura 7.10 estão os resultados referentes a categoria Governança, onde fazem parte as subcategorias:

- Sistema Legal, com o indicador de estado de direito de governança mundial (Banco Mundial), indicador estado de direito – judiciário independente, índice do estado de direito (Projeto Justiça Mundial), estado de direito (Indicadores de Integridade Africanos) e a fragilidade geral do risco do sistema jurídico;
- Corrupção, com o indicador mundial de corrupção na governança (Banco Mundial), índice de percepção de corrupção (Transparência Internacional), índice de percepção de corrupção – tendência de 3 anos 2017-2020 (Transparência Internacional) e o risco geral de corrupção;
- Democracia e liberdade de expressão, com o índice de democracia (*Economist Intelligence Unit's*), liberdade de expressão, índices globais do estado da democracia e os riscos gerais relacionados à democracia e à liberdade de expressão.

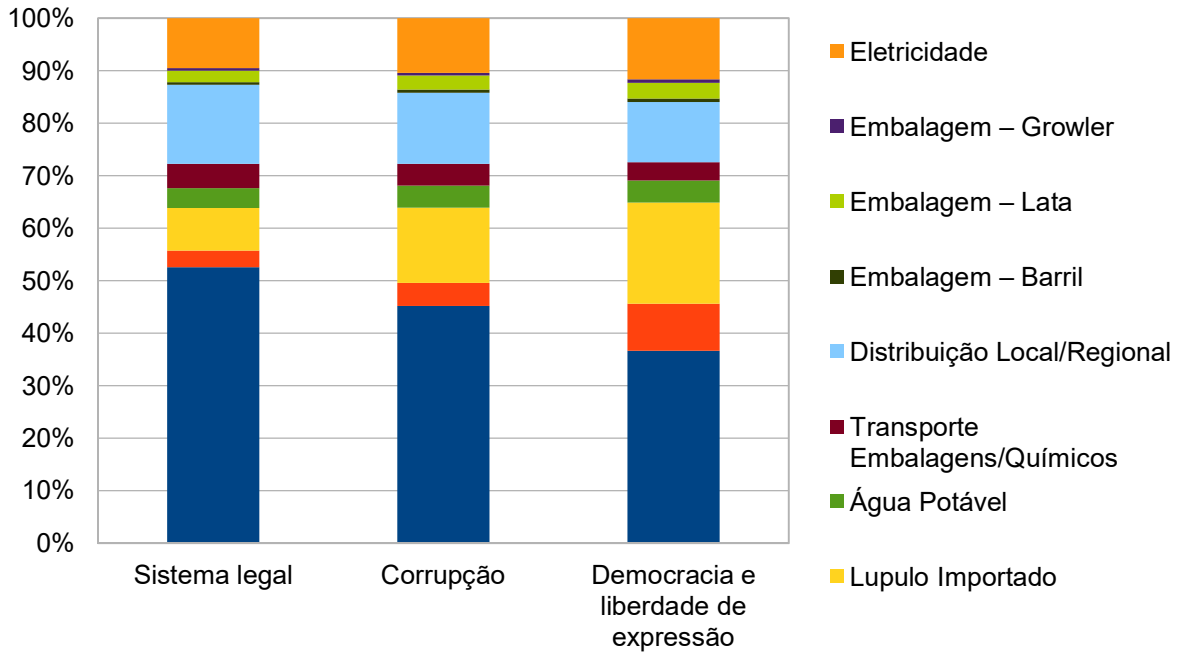


Figura 7.10. Subcategorias referentes a categoria Sistema Legal.

A Figura 7.10 mostra uma predominância dos impactos sociais referentes ao malte nacional, sendo que na subcategoria "Democracia e liberdade de expressão" o lúpulo importado (europeu) obteve uma porcentagem mais próxima do malte nacional. Na Figura 7.11 estão os resultados referentes a categoria Comunidade, onde fazem parte as subcategorias:

- Acesso à água potável, com os índices de acesso a fontes melhoradas de água potável para o meio rural, urbano e total;
- Acesso ao saneamento, com os índices de acesso a fontes melhoradas de saneamento para o meio rural, urbano e total;

- Criança fora da escola, com os índices de crianças fora da escola primária (meninos, meninas e total);
- Acesso a leito hospitalar, com os índices de leitos hospitalares, número de enfermeiras e parteiras e o risco geral relacionado ao acesso ao sistema de saúde;
- Pequenos Produtores vs Fazendas Comerciais, que analisa a porcentagem de explorações agrícolas familiares no país, a porcentagem de explorações agrícolas de propriedade comercial no país, porcentagem de pequenas e grandes propriedades rurais no país e os riscos gerais relacionados aos pequenos agricultores;
- Acesso à eletricidade, com o índice acesso à eletricidade;
- Direitos de propriedade, com o índice direitos de propriedade (percepções do cidadão).

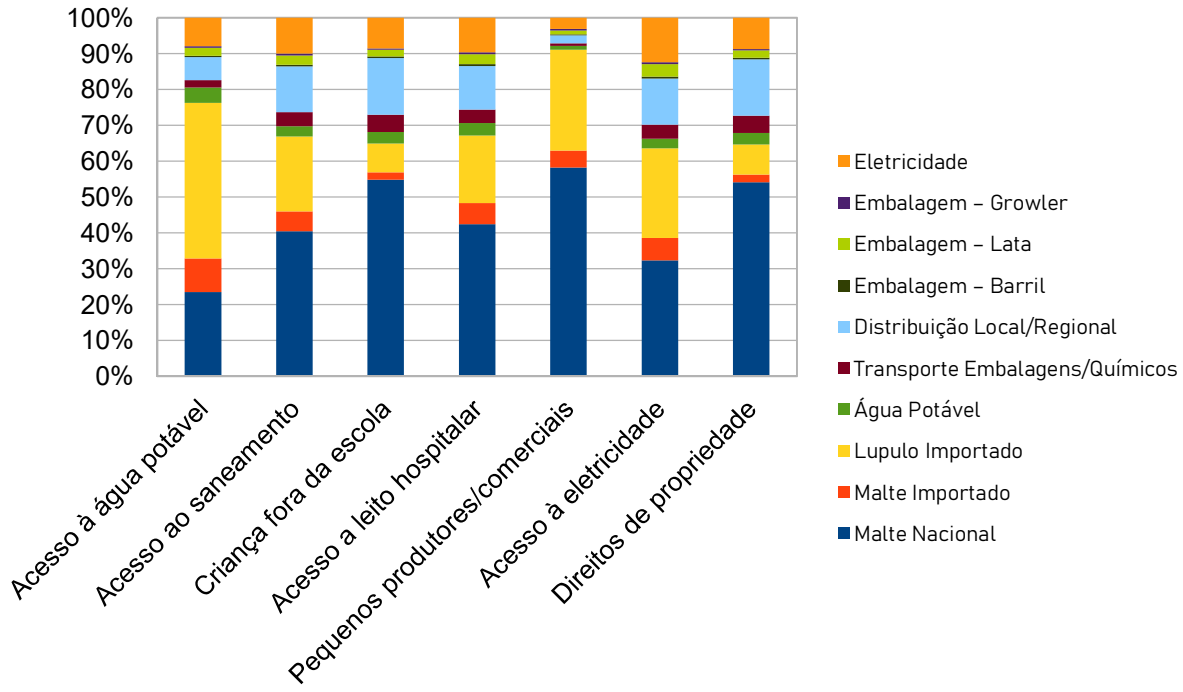


Figura 7.11. Subcategorias referentes a categoria Comunidade.

A Figura 7.11 mostra que o lúpulo importado (amarelo) teve um grande impacto social na subcategoria "Acesso à água potável", pois cerca de um quarto de toda água captada na União Europeia é utilizada na agricultura, sobretudo na irrigação, deixando várias regiões com escassez de água potável, trazendo consigo altos impactos sociais. O malte nacional obteve grandes impactos sociais nas subcategorias "Criança fora da escola", "Pequenos produtores vs fazendas comerciais" e "Direitos de propriedade".

Os resultados das três avaliações mostraram que em cada esfera houve um processo diferente que foi mais impactante. Na questão ambiental, a distribuição da cerveja, local e regional, foi a que resultou nas maiores emissões, devido ao uso de veículos comerciais leves movidos a

gasolina ou diesel. Na questão econômica, os custos com gerenciamento, onde estão inclusos os impostos estaduais e federais, foi o mais impactante. Cerca de 50% dos custos da fabricação e venda de 1 litro de cerveja artesanal está atrelada aos impostos. Se os custos ambientais "*ecocosts*" também fossem absorvidos pela cervejaria, os custos totais chegariam a 86,7% do valor de atual de venda. Na esfera social, os maiores impactos estão na fase agrícola, mais precisamente na etapa de obtenção do malte nacional. Como o malte é dependente do cultivo da cevada, os impactos sociais no meio rural brasileiro ainda são muito altos quando comparados por exemplo com o malte europeu.

Como a ACV-S é a metodologia mais recente da Avaliação do Ciclo de Vida, poucos estudos de caso de ACV-S em produtos utilizando a base de dados da *Social Hotspot Database* (SHDB) foram encontrados. E nenhum estudo foi encontrado no setor de bebidas nem associado à cervejarias, dificultando assim a comparação dos resultados encontrados nesse trabalho com outros autores.

4. CONCLUSÕES

Este é o primeiro estudo brasileiro a realizar a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida da cerveja artesanal produzida em uma microcervejaria no Nordeste brasileiro. Para tanto, realiza-se a soma dos impactos ambiental, econômico e social.

Do ponto de vista ambiental, o principal *hotspot* foi a etapa da distribuição local da cerveja. Esse resultado se assemelha ao encontrado em estudos similares realizados em outros países. A utilização de veículo leve movido gasolina é apontado como o principal agente das emissões quando o ciclo de vida é analisado. As emissões de gases do efeito estufa (GEE) alcançaram a marca de 2,55 kg CO_2-eq, e uma forma de mitigação dessa etapa é a utilização de meios alternativos de distribuição, como a utilização de veículos elétricos.

Do ponto de vista econômico, o principal *hotspot* foram os custos com gerenciamento da microcervejaria. Principalmente pelos altos encargos, impostos estaduais e federais, que são aplicados a micro e pequenos produtores da mesma forma que são aplicados as grandes cervejarias. Esses encargos correspondem a cerca de 50% do custo da fabricação da cerveja. Também foram estimados os custos ambientais *"ecocosts"* para entender qual seria o impacto financeiro se as emissões provenientes do ciclo de vida da cerveja fossem incorporados pela cervejaria. Observou-se que esta incorporação de ecocosts diminuiria o lucro anual da cervejaria. A quantificação dos *ecocosts* se mostra importante para desmistificar a ideia de que a poluição "é de graça", estimulando as empresas a realizarem projetos de mitigação das emissões, pois elas estariam diretamente agregadas aos custos do seus produtos.

Do ponto de vista social, o principal *hotspot* foi a etapa de obtenção do malte nacional. A fase de cultivo da cevada, uma fase que é agrícola, foi a mais impactante socialmente quando se comparado com os outros processos. Quando comparado com o malte europeu, os valores dos impactos foram no mínimo duas vezes maiores. O alto uso de agrotóxicos no Brasil é um dos fatores que aumentam o risco dos trabalhadores no campo, principalmente nas grandes lavouras de monocultura, como a da cevada, onde existe um grande uso de defensivos agrícolas tóxicos. Maneiras para diminuir esses impactos sociais incluem uma maior fiscalização e banimento no uso de agrotóxicos que trazem risco para os trabalhadores rurais e para os consumidores.

Esse estudo evidencia a importância de se acessar, além das emissões ambientais, os impactos econômicos e sociais na Avaliação do Ciclo de Vida de produtos. Pois somente mitigar os impactos ambientais, com a adoção da mobilidade elétrica por exemplo, torna a produção da cerveja artesanal mais sustentável ambientalmente, mas não mitiga os impactos econômicos (altos impostos) nem sociais (obtenção do malte). Com a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida se tornam claros quais processos são os pontos críticos no ciclo de vida nas três esferas da sustentabilidade.

Sugestões para futuros trabalhos incluem estudos de ASCV em cervejarias em outras regiões do país. Também pode ser sugerido um estudo de ASCV do lúpulo nacional, produto esse que está cada vez mais ganhando atenção do mercado cervejeiro. Outra sugestão pode ser um estudo econômico sobre o sistema de compensação de emissões (*ecocosts*) levando em conta o mercado brasileiro. Por fim, na questão social, estudos que aprimorem os indicadores sociais para a realidade brasileira são interessantes.

5. REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a. NBR ISO 14040/2014 - Gestão ambiental –avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014b. NBR ISO 14044/2014 - Avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT.

ABRALATAS, 2023. 2 Relatório Consolidado de Práticas ESG – Setor da Lata de Alumínio para Bebidas Ed. 2023. Disponível em: https://abralatas.org.br/ Acesso em 07/02/24.

AMIENYO, D.,AZAPAGIC, A., 2016. Life cycle environmental impacts and costs of beer production and consumption in the UK.The International Journal of Life Cycle Assessment,21, 492-509.

BARTHHASS, 2023. BarthHass Report 2022-2023. Disponível em: https://www.barthhaas.com/resources/barthhaas-report Acesso em 15/02/24.

BEERBUSINESS, 2022. O peso da carga tributária no valor final da cerveja. Disponível em: https://beerbusiness.com.br/2022/06/21/o-peso-da-carga-tributaria-no-valor-final-da-cerveja/ Acesso em 06/05/24.

BOUCHERY, Y., CORBETT, C. J., FRANSOO, J. C., & TAN, T., 2016. Sustainable supply chains: A research-based textbook on operations and strategy (Vol. 4). Springer.

BRASIL, 2023. Ministério da Agricultura e Pecuária. Anuário da Cerveja 2022 / Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: MAPA/SDA, 2023.

CHEHEBE, J.R.B. Análise do Ciclo de Vida de Produtos – Ferramenta Gerencial da ISO 14000. 1. ed., Ed. Qualitymark, CNI, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

DINIZ, D.P.; CARVALHO, M. Environmental Repercussions of Craft Beer Production in Northeast Brazil. Sustainability, v. 16, n. 11, p. 4566, 2024.

DINIZ, D.P.; GUILLÉN-LAMBEA, S.; ABRAHAO, R.; PESSOA, A.K.P.; PERUCHI, A.S.S.; CARVALHO, M. Ecological costs of a microbrewery in the Brazilian northeast. RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental. Vol. 18 No. 10 (2024). Online.

ECOINVENT, 2024. Ecoinvent Database. Disponivel em: https://ecoinvent.org/ acesso em 09/04/24

EUROPEAN COMISSION, 2024 – Environmental Footprint EF3.0. Disponível em: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html Acesso em: 20/03/2024.

FAZIO, S., CASTELLANI, V., SALA, S., SCHAU, E. M., SECCHI, M., ZAMPORI, L., DIACONU, E. (2018). Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment method. In Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods.

FERREIRA, V. R. Análise de Ciclo de Vida de Produtos. Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Viseu, 2004

FINKBEINER, M., SCHAU, E.M., LEHMANN, A., TRAVERSO, M., 2010. Towards life cycle sustainability assessment. Sustainability 2 (10), 3309–3322.

HELLWEG, S., BENETTO, E., HUIJBREGTS, M. A., VERONES, F., & WOOD, R., 2023. Life-cycle assessment to guide solutions for the triple planetary crisis. Nature Reviews Earth & Environment,*4* (7), 471-486.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE -. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Available at: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf . Access in: 19/03/2024.

KLÖPFFER, W., 2008. Life cycle sustainability assessment of products (with comments by Helias A. Udo de Haes, p. 95). Int. J. Life Cycle Assess. 13 (2), 89–94.

LIBREOFFICE, 2024 LibreOffice Calc. Disponível em: https://www.libreoffice.org/discover/libreoffice/ Acesso em 06/05/24.

MORGAN, D. R., STYLES, D.,LANE, E. T. (2021). Thirsty work: Assessing the environmental footprint of craft beer. Sustainable Production and Consumption, 27, 242-253.

OPA BIER, 2024. História da Cerveja no Brasil – Parte 1 – A Chegada do Holandês. Disponível em: https://opabier.com.br/blog-opa-bier-abc-da-cerveja/historia-da-cerveja-no-brasil-parte-1-a-chegada-do-holandes/#:~:text=Acredita-se que em 1637,encorpada%2C com cevada e açúcar. Acesso em 08/04/2024.

PRÉ SUSTAINABILITY, 2023. Simapro Software. Disponivel em: https://simapro.com/ acesso em 04/10/23

SHDB, 2024 Social Hotspot Database. Disponível em: http://www.socialhotspot.org/ acesso em 06/05/24.

SONNEMANN, G. Integrated Life Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes. Lewis Publishers. CRC Press Company, Boca Raton. 2003.

TUDELFT, 2023. The midpoint characterization tables and the multipliers in the model of the eco-costs for emissions. Disponível em: https://www.ecocostsvalue.com/ecocosts/eco-costs-concept/ Acesso em 22/02/24.

UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. Guidelines for social life cycle assessment of products. United Nations Environment Programme. Social and socio-economic LCA guidelines. 2009.

VOGTLÄNDER, J.G.; MESTRE, A.; van der HELM, R.; SCHEEPENS, A.; WEVER, R. 2023. Eco-efficient Value Creation, sustainable strategies for the circular economy. Delft University of Technology.

ZHOU, Z., JIANG, H., QIN, L., 2007. Life cycle sustainability assessment of fuels. Fuel 86 (1–2), 256–263.

8. CONCLUSÕES DE TODA TESE

Esse estudo demonstrou a importância de se levar em conta o Pensamento do Ciclo de Vida como um todo, analisando, além do aspecto ambiental, o econômico e o social em um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida. Sendo o primeiro estudo brasileiro realizado nesse formato, utilizando como estudo de caso uma cervejaria instalada no Nordeste brasileiro, esse trabalho alcançou o seu objetivo de identificar e propor medidas para os diferentes *hotspots* encontrados, os quais foram distintos em cada esfera estudada (ambiental, econômica e social).

A construção desse trabalho se deu em quatro fases, cada uma alcançada com a produção de um artigo acadêmico, sendo elas: uma revisão sistemática sobre o assunto, um estudo de ACV ambiental, um estudo interligando a ACV ambiental e o CCV econômico e o último trabalho com a aplicação da ASCV como um todo, com o relacionamento das três avaliações, a ACV, o CCV e a ACV-S.

A primeira fase foi importante para acessar o "estado da arte" da Avaliação Sustentabilidade do Ciclo de Vida em estudos acadêmicos. Como não foi encontrado nenhum estudo relacionando a ASCV com cerveja ou cervejarias, aqui ficou demonstrada a originalidade do presente estudo. Nessa etapa foi identificado apenas um estudo interligando a ACV ambiental e o CCV econômico, o qual serviu de comparação de resultados no terceiro artigo presente nessa tese. Na última parte dessa revisão foram identificados diversos trabalhos a respeito da ACV ambiental em cervejarias, sendo os mais recentes utilizados para comparação e verificação dos resultados encontrados nesse estudo.

A segunda fase teve a importância de se acessar de maneira mais detalhada os impactos ambientais relacionados com a produção de cerveja artesanal no Nordeste brasileiro. Com a produção desse artigo foi possível identificar os principais *hotspots* ambientais e comparar os resultados encontrados com a literatura mais recente sobre o assunto.

Na terceira fase foram utilizados os resultados do estudo ambiental para o cálculo dos Custos Ambientais, os *ecocosts*, sendo esses valores incorporados ao CCV econômico para a comparação do impacto econômico caso existisse uma taxação sobre as emissões geradas na fabricação de bens de consumo.

Na quarta e última fase desse estudo, foi realizado o estudo completo de ASCV, utilizando o conhecimento adquirido nas fases anteriores, aqui foi adicionado o fator social na avaliação do ciclo de vida. Partindo dos dados disponíveis nas bases de dados utilizadas, foi determinado uma fronteira de estudo equivalente para as três avaliações, contemplando assim o tripé da sustentabilidade.

Foram encontrados diferentes pontos críticos durante o ciclo de vida da produção da cerveja artesanal em cada avaliação. Na avaliação ambiental, foi encontrado que o processo mais impactante foi a distribuição local e regional da cerveja. A utilização de veículos com motores de combustão interna foi responsável por cerca de 83% das emissões. A utilização de veículos elétricos pode diminuir em até 3x essas emissões, diminuindo de 443 t CO_2 eq/ano para apenas 117 t CO_2 eq/ano, representando uma mitigação de cerca de 326 t CO_2 eq/ano. Outro resultado encontrado da análise ambiental foi referente ao tipo de embalagem utilizada. Aqui, os barris de aço inox obtiveram os melhores resultados em 9 dos 16 indicadores selecionados, e, as latas de alumínio, obtiveram os melhores resultados em 7 desses 16 indicadores.

Na esfera econômica, foi encontrado que o maior impacto econômico está na grande taxação estadual e federal sobre bebidas alcoólicas. Aqui vale lembrar que não existe distinção do porte da empresa, ou seja, as pequenas cervejarias são taxadas da mesma forma que as grandes corporações. Essa alta carga tributária é responsável por cerca de 50% do custo da cerveja, sendo esse um fator limitante para o mercado das cervejas artesanais. Nessa análise econômica também foram avaliadas as embalagens, sendo que os barris de aço inox e as latas de alumínio alcançaram os melhores retornos financeiros. Na última parte da avaliação econômica, foram determinados os Custos Ambientais. Aqui foi demonstrado de forma monetária o impacto econômico referente às emissões ambientais. Se existisse a taxação dessas emissões, seria primordial para a empresa adotar medidas de mitigação, pois o impacto econômico das mesmas foi muito relevante.

Na esfera social foi encontrado que o processo mais impactante está atrelado à obtenção do malte nacional. Diferente das duas avaliações anteriores, onde a distribuição e a carga tributária foram os processos mais impactantes, na esfera social, foi encontrado que cerca de 50% dos impactos sociais dentro do ciclo de vida da cerveja artesanal está no cultivo da cevada para fabricação do malte. Esse resultado evidencia as desigualdades no contexto social, cultural e econômico no espaço rural brasileiro.

Pode-se concluir que para elevar o grau de sustentabilidade da produção da cerveja artesanal, é sugerida a distribuição para os pontos de venda utilizando mobilidade elétrica, uma nova forma de taxação para as micro e pequenas cervejarias e a utilização de malte proveniente de cultivo de cevada de pequenos produtores rurais.

Esse estudo demonstra a importância de se levar em conta, além do aspecto ambiental, o econômico e o social em um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida. Pelo Brasil ser um país de dimensões continentais, sugestões para futuros trabalhos incluem estudos de ASCV em cervejarias em outras regiões do país para comparação dos resultados. Também pode ser sugerido um estudo de ASCV detalhado sobre o malte e o lúpulo nacionais, dois ingredientes essenciais para fabricação da cerveja artesanal. Na questão econômica, pode ser sugerido um estudo relativo ao sistema de

compensação de emissões para o cenário brasileiro. Na questão social, uma sugestão é um aprimoramento dos indicadores para a realidade brasileira.

REFERÊNCIAS DE TODA TESE

ABIVIDRO, 2023. O ciclo do vidro. Disponível em: https://abividro.org.br/ Acesso em 07/02/24.

ABLIPAST, 2023. 4ª Pesquisa anual de índice de reciclagem no Brasil. Disponível em: https://www.abiplast.org.br/ Acesso em 07/02/24.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a. NBR ISO 14040/2014 - Gestão ambiental –avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014b. NBR ISO 14044/2014 - Avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT 26000. NBR ISO 26000: 2010 *Diretrizes sobre Responsabilidade Social.* Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, Brasil.

ABRALATAS, 2023. 2 Relatório Consolidado de Práticas ESG – Setor da Lata de Alumínio para Bebidas Ed. 2023. Disponível em: https://abralatas.org.br/ Acesso em 07/02/24.

ADAMS, R.J., SMART, P., HUFF, A.S., 2017. Shades of grey: guidelines for working with the grey literature in systematic reviews for management and organizational studies. Int. J. Manag. Rev. 19 (4), 432–454.

AGRARIA MALTES, 2023. Cevada e Maltes Cervejeiros. Disponível em: https://www.agraria.com.br/extranet_2016/uploads/AgromalteArquivo/mod_1_mp_3_cevada_e_malte_1601583678707.pdf Acesso em 26/09/23.

AGRARIA, 2024. A Agraria. Disponível em: https://www.agraria.com.br/agraria/agraria Acesso em 08/04/24

AGRARIA-a, 2023. Moagem do malte. Disponivel em: https://www.agraria.com.br/extranet_2016/uploads/AgromalteArquivo/palestra_3___moagem_de_malte_1596198622627.pdf Acesso em 16/10/23.

AGRARIA-b, 2023. Guia Prático de Fabricação de Cerveja. Disponível em: https://www.agraria.com.br/extranet_2016/uploads/AgromalteArquivo/guia_pratico_producao_de_cervejas___caseiros_1596195102533.pdf Acesso em 16/10/23.

AMIENYO, D.,AZAPAGIC, A., 2016. Life cycle environmental impacts and costs of beer production and consumption in the UK.The International Journal of Life Cycle Assessment,21, 492-509.

AMMAR, M., ZAYED, T., MOSELHI, O., 2013. Fuzzy-based life-cycle cost model for decision making under subjectivity. J. Constr. Eng. Manag. 139, 556–563.

ANTT - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, 2023. Anuário estatístico de transportes terrestres. Vários anos. Disponível em: www.antt.gov.br. Acesso em: 16 out 2023.

BARTHHASS, 2022. The Industry Report of the Year. 2022 Disponível em: https://www.barthhaas.com/en/campaign/barthhaas-report-2022 Acesso 15 ago 2022.

BARTHHASS, 2023. BarthHass Report 2022-2023. Disponível em: https://www.barthhaas.com/resources/barthhaas-report Acesso em 15/02/24.

BAUMAN, H.; TILLMAN, A.-M. The Hitch Hiker's Guide to LCA: An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Applications, 1st ed.; 2004.

BCB – Banco Central do Brasil, 2023. Histórico de Cotações Moedas Estrangeiras. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/historicocotacoes Acesso em 28/02/2024.

BEERBUSINESS, 2022. O peso da carga tributária no valor final da cerveja. Disponível em: https://beerbusiness.com.br/2022/06/21/o-peso-da-carga-tributaria-no-valor-final-da-cerveja/ Acesso em 06/05/24.

BENOÎT, C.; MAZIJN, B. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products—Social and Socio-Economic LCA Guidelines Complementing Environmental LCA and Life Cycle Costing, Contributing to the Full Assessment of Goods and Services within the Context of Sustainable Development; United Nations Environment Programme: Paris, France, 2009; ISBN 9789280730210.

BJORN, A.; OWSIANIAK, M.; LAURENT, A.; OLSEN, S.I.; CORONA, A.; HAUSHILD, M.Z. Scope Definition. In: Life Cycle Assessment: Theory and Practice. 2018

BOCQUET, L.; SAHPAZ, S.; HILBERT, J. L.; RAMBAUD, C.; RIVIERE. C.; Humulus lupulus L., a very popular beer ingredientand medicinal plant: overview of its phytochemistry,its bioactivity, and its biotechnology. Phytochem Rev. 2018. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11101-018-9584-y. Acesso em 26/09/23.

BOUCHERY, Y., CORBETT, C. J., FRANSOO, J. C., & TAN, T., 2016. Sustainable supply chains: A research-based textbook on operations and strategy (Vol. 4). Springer.

BRASIL, 1997. Decreto n. 2.314, de 4 de setembro de 1997. Regulamenta a lei n 8.918 de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 5 set. 1997.

BRASIL, 2009. Decreto n. 6871, de 04 de junho de 2009. Regulamenta a Lei n. 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm Acesso em: 26/09/23.

BRASIL, 2022. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Lúpulo no Brasil : perspectivas e realidades / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo. Alexander Creuz, Stéfano Gomes Kretzer. – Brasília :

BRASIL, 2023. Ministério da Agricultura e Pecuária. Anuário da Cerveja 2022 / Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília: MAPA/SDA, 2023.

BREWERS ASSOCIATION, 2022. Promoting Independent Craft Brewers. Disponível em: www.brewersassociation.org Acesso em 15 ago 2022.

CARDINES, P. H. F. 2023. Cervejas orgânicas: Cenário mundial de produção e consumo: Organic beers: Global scenario of production and consumption. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, *6*(3), 2213-2213.

CARVALHO, L.G., 2007. Produção de cerveja. Dossiê Técnico. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.sbrt.ibict.br/dossietecnico/downloadsDT/NTc. Acesso em: 26/09/23.
CARVALHO, M.; DE SANTANA FREIRE, R.; DE BRITO, A. M. V. G., 2016 Promotion of sustainability by quantifying and reducing the carbon footprint: new practices for organizations. *Energy, transportation and global warming.* Springer, Cham, p. 61-72.

CARVALHO, M.; DELGADO, D., 2017 Potential of photovoltaic solar energy to reduce the carbon footprint of the Brazilian electricity matrix. *LALCA-Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida,* v. 1, n. 1, p. 64-85, 2017.

CAVALCANTI, I.L.R.; DE MOURA, I.A.A.; DA CRUZ, A.D.; SILVA, M.C.D.; LOPES, R.M.B.P.. 2020. Caracterização química do resíduo da biomassa da algaroba para fins de estudos energéticos/Chemical characterization of algaroba biomass waste for energy studies. Brazilian Journal of Development.

CHEHEBE, J.R.B. Análise do Ciclo de Vida de Produtos – Ferramenta Gerencial da ISO 14000. 1. ed., Ed. Qualitymark, CNI, Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

CHEN, L.; CHEN, R.; YIN, H.; SUI, J.; LIN, H., 2012. Cleaning in place with onsitegenerated electrolysed oxidizing water for water-saving disinfection in breweries. Journal of the Institute of Brewing.

CIMINI, A.; MORESI, M. Carbon footprint of a pale lager packed in diferente formats: assessment and sensivity analysis based on transparente data. Journal of Cleaner Production, 2016.

CIMINI, A.; MORESI, M. Effect of brewery size on the main process parameters and cradle-to-grave carbono footprint of lager beer. Journal of Industrial Ecology, 2017.

CIMINI, A.; MORESI, M. Mitigation measures to minimize the cradle-to-grave beer carbono footprint as relates to the brewery size and primary packaging materials. Journal of Food Engineering, 2018.

CIROTH, A.; VERGHESE, K.; TRESCHER, C. A Survey of Current Life Cycle Costing Studies. In Environmental Life Cycle Costing; Hunkeler, D., Lichtenvort, K., Rebitzer, G., Eds.; SETAC: Jacksonville, FL, USA, 2008; p. 234; ISBN 978-1-58488-661-7.

COLTRO, L., MOURAD, A. L., GARCIA, E. E. C., QUEIROZ, G. C., GATTI, J. B., JAIME, S. B. M. 2007 Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão. *Campinas: Cetea/Ital*, *1*.

CORDELLA, M.; TUGNOLI, A.; SPADONI, G.; SANTARELLI, F.; ZANGRANDO, T. LCA of na Italian lager beer. International Journal LCA, 2008.

CURRAN, M.A. Life Cycle Assessment: a review of the metodology and its application to sustentability. Curr. Opin. Chem. Eng. 2013, 2, 273-277

DE MARCO, I.; MIRANDA, S.; RIEMMA, S.; IANNONE, R. Life cycle assessment of ale and lager beers production. Chemical Engineering Transactions, 2016.

DENTON, D. K. 1994 *Enviro-Management: How Smart Companies Turn Environmental Costs into Profits*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.

DINIZ, D.P.; CARVALHO, M. Environmental Repercussions of Craft Beer Production in Northeast Brazil. Sustainability, v. 16, n. 11, p. 4566, 2024.

DINIZ, D.P.; CARVALHO, M.; ABRAHÃO, R. Greenhouse gas accounting for the energy transition in a brewery. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2020.

DINIZ, D.P.; GUILLÉN-LAMBEA, S.; ABRAHAO, R.; PESSOA, A.K.P.; PERUCHI, A.S.S.; CARVALHO, M. Ecological costs of a microbrewery in the Brazilian northeast. RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental. Vol. 18 No. 10 (2024). Online.

DREYER, L.C.; HAUSCHILD, M.Z.; SCHIERBECK, J. 2010 *Characterisation of social impacts in LCA – Part 1: Development of indicators for labour rights.* International Journal Life Cycle Assessment. Number 15. Pages 247-259.

EARLES, J.M.; HALOG, A. A Consequential life cycle assessment: a review. International Journal Life Cycle Assessment, 2011, 16, 445-453

ECOINVENT, 2023. Ecoinvent Database. Disponivel em: https://ecoinvent.org/ acesso em 04/10/23

ECOINVENT, 2024. Ecoinvent Database. Disponivel em: https://ecoinvent.org/ acesso em 09/04/24

EMBRAPA, 2012. A Cevada no Brasil. Documentos online 139. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do139_4.htm#:~:text=No Paraná%2C a produção se,próximo a 2.600 kg%2Fha. Acesso em 26/09/23.

EUROPEAN COMISSION, 2024 – Environmental Footprint EF3.0. Disponível em: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EnvironmentalFootprint.html Acesso em: 20/03/2024.

EUROPEAN COMMISSION – Joint Research Center – Institute of Environment and Sustainability. (2011). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Recommendations for life cycle impact assessment in the european context - based on existing environmental impact assessment models and factors (1st ed.). Luxembourg: Publications Office of the European Union, Luxembourg. doi: 10.278/33030

FAZIO, S., CASTELLANI, V., SALA, S., SCHAU, E. M., SECCHI, M., ZAMPORI, L., DIACONU, E. (2018). Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment method. In Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods.

FEEDIPEDIA, 2020. Brewers Grains. Disponível em: https://www.feedipedia.org/node/74. Acesso em 16/10/23.

FERREIRA, V. R. Análise de Ciclo de Vida de Produtos. Gestão Ambiental. Instituto Politécnico de Viseu, 2004

FILLAUDEAU, L.; BLANPAIN-AVET, P.; DAUFIN, G., 2006. Water, wastewater and waste management in brewing industries. Journal of Cleaner Production.

FINKBEINER, M., SCHAU, E.M., LEHMANN, A., TRAVERSO, M., 2010. Towards life cycle sustainability assessment. Sustainability 2 (10), 3309–3322.

FREUDENBURG, W.R. Social impact assessment. Annu. Rev. Sociol. 1986, 12, 451–478.

GARCIA-GARCIA, G.; RAHIMIFARD, S.; Life-cycle environmental of barley straw valorisation. Resources, Conservation & Recycling, 2019.

GUINÉE, J. B. (Ed). Life Cycle Assessment: An operational guide to the ISO Standards; LCA in Perspective; Guide; Operational Annex to Guide. Centre for Environmental Science, Leiden University, The Netherlands, 2001.

GUINÉE, J. B. Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2002.

GUINEE, J.B.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; ZAMAGNI, A.; MASONI, P.; BUONAMICI, R.; EKVALL, T.; RYDBERG, T. Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. Environ. Sci. Technol. 2011, 45, 90–96

HABERLAND, N. T.; ZORTEA, R.B.; RAMIREZ, P.K.S.; SOUZA, A.; UGAYA, C.M.L. 2014 *Inventário Social do Ciclo de Vida: Lacunas Identificadas na Aplicação do método SAM.* Anais do IV Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços. 09 a 12 de novembro. Págs. 343-348. São Bernardo do Campo.

HAUSCHILD, M. Z.; GOEDKOOP, M.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; JOLLIET, O.; MARGNI, M.; DE SCHRYVER, A.; HUMBERT, S.; LAURENT, A.; SALA, S.;PANT, R., 2013. Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 18, n. 3, p. 683–697.

HELLWEG, S., BENETTO, E., HUIJBREGTS, M. A., VERONES, F., & WOOD, R., 2023. Life-cycle assessment to guide solutions for the triple planetary crisis. Nature Reviews Earth & Environment,*4* (7), 471-486.

HOSPIDO, A.; MOREIRA, M.T.; FEIJOO, G. Environmental analysis of beer production. International Journal Agricultural Resources Governance and Ecology, 2005.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2023. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Brasileira. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html Acesso em 26/09/23.

INSTITUTO DA CERVEJA, 2024 *Linha do Tempo: História, estilos e matéria-prima da cerveja*. Disponível em: https://www.institutodacerveja.com.br/dicas/linha-do-tempo-historia-estilos-e-materias-primas-da-cerveja/ Acesso em 08/04/24

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, ISO 14040:2006: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, Genebra, ISO 2006a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, ISO 14044:2006: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, Genebra, ISO 2006b.

IPCC - Intergovernmental Panel On Climate Change -. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Available at: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf . Access in: 19/03/2024.

JOLLIET, O., MÜLLER-WENK, R., BARE, J., BRENT, A., GOEDKOOP, M., HEIJUNGS, R., ITSUBO, N., PEÑA, C., PENNINGTON, D., POTTING, J., REBITZER, G., STEWART, M., HAES, H.D. & WEIDEMA, B. 2004. *The LCIA Midpoint damage Framework of the UNEP/SETAC Life Cycle Initiative.* International Journal Life Cycle Assessment.Number 9 (6). Pages 394-404.

KANAGACHANDRAN, K.; JAYARATNE, R., 2006. Utilization potential of brewery waste water sludge as an organic fertilizer. Journal of the Institute of Brewing.
KAUFMAN, S. M., 2012 Quantifying sustainability: Industrial ecology, materials flow and life cycle analysis. In *Metropolitan Sustainability* (pp. 40-54). Woodhead Publishing.

KERBY, C., VRIESEKOOP, F., 2017. An Overview of the Utilisation of Brewery ByProducts as Generated by British Craft Breweries. MDPI 3 (24), 12. https://www. mdpi.com/2306-5710/3/2/24/pdf

KLÖPFFER, W., 2008. Life cycle sustainability assessment of products (with comments by Helias A. Udo de Haes, p. 95). Int. J. Life Cycle Assess. 13 (2), 89–94.

KLØVERPRIS, J.H., SPILLANE, D., 2009. Comparative LCA of malt-based beer and 100% barley beer. Brewing Beverage Industry International.

KORONEOS, C.; ROUMBAS, G.; GABARI, Z.; PAPAGIANNIDOU, E. MOUSSIOPOULOS, N. Life cycle assessment of beer production in Greece. 2003.

LIBREOFFICE, 2024 LibreOffice Calc. Disponível em: https://www.libreoffice.org/discover/libreoffice/ Acesso em 06/05/24.

LINDKVIST, M.; EKENER, E., 2023. Analysis of human well-being as the area of protection in social life cycle assessment. The International Journal of Life Cycle Assessment, *28*(10), 1428-1442.

LIU, J.; SONG, D.; LI, Q.; YANG, J.; HU, Y.; FANG, F.; JOO, Y. H., 2023. Life cycle cost modelling and economic analysis of wind power: A state of art review. Energy Conversion and Management, 277.

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária, 2023. Anuário da Cerveja 2022. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/publicacoes/anuario-da-cerveja-2022/ . Acesso em 26/09/23.

MAPA, 2024 Ministério da Agricultura e Pecuária. Anuário da Cerveja 2024 : ano de referência 2023 / *Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária.* – Brasília : MAPA/SDA, 2024.

MATA, T.M.; COSTA, C.A.V. Life cycle assessment of different reuse percentages for glass beer bottles. International Journal LCA, 2001.

MATTILA, T.; HELIN, T.; ANTIKAINEN, R. Land use indicators in life cycle assessment. International Journal Life Cycle Assessment, 2012.

MATTILA, T; LESKINEN, P.; SOIMAKALLIO, S.; SIRONEN, S. Uncertainty in environmentally conscious decision making: beer or wine? International Journal LCA, 2012.

MEDRANO, M. F. *Avaliação de Sustentabilidade de Biodiesel de Soja no Brasil.* Dissertação de Mestrado. Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável, UnB: Política e Gestão Ambiental, 2007

MORADO, R. *Larousse da Cerveja*. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009.

MORDOR INTELLIGENCE (2023) Mercado de cerveja – Crescimento, tendências e previsões (2023-2028). Disponível em: https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/beer-market acesso em 15/05/2023.

MORGAN, D. R., STYLES, D.,LANE, E. T. (2021). Thirsty work: Assessing the environmental footprint of craft beer. Sustainable Production and Consumption, 27, 242-253.

MORGAN, D.R.; STYLES, D.; LANE, E.T. Packaging choice and coordinated distribution logistics to reduce the environmental footprint of small-sacale beer value chains. Journal of Environmental Management, 2022.

NARAYANASWAMY, V.; BERKEL, R.; ALTHAM, J.; MCGREGOR, M., 2004. Application of life cycle assessment to enhance eco-efficiency of grains supply chains. Curtin University of Technology, Perth

NEVE, R.A., 1991. Hops; Chapman & Hal: London, UK. ISBN 9789401053754.

OLIVER, G.; COLICCHIO, T., 2011. The Oxford companion to beer. Oxford University Press.

ONU, 2024 *Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável no Brasil.* Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/17 Acesso em 10/05/24.

OPA BIER, 2024. *História da Cerveja no Brasil – Parte 1 – A Chegada do Holandês.* Disponível em: https://opabier.com.br/blog-opa-bier-abc-da-cerveja/historia-da-cerveja-no-brasil-parte-1-a-chegada-do-holandes/#:~:text=Acredita-se que em 1637,encorpada%2C com cevada e açúcar. Acesso em 08/04/2024.

PASQUALINO, J.; MENESES, M.; CASTELLS, F. The carbon footprint and energy consumption of beverage packaging selection and disposal. Journal of Food Engineering, 2011.

PAVLOVIC, M., 2012. Production character of the EU hop industry. Bulgarian Journal of Agricultural Science.

PETTIGREW, L.; BLOMENHOFER, V.; HUBERT, S.; GROß, F.; DELGADO, A., 2015. Optimisation of water usage in a brewery clean-in-place system using reference nets. Journal of Cleaner Production.

PRÉ SUSTAINABILITY, 2023. *Simapro Software*. Disponivel em: https://simapro.com/ acesso em 04/10/23

PULLIN, A.S., STEWART, G.B., 2006. Guidelines for systematic review in conservation and environmental management. Conserv. Biol. 20 (6), 1647–1656. https://doi.org/10.1111/ j.1523-1739.2006.00485.x

RAJANIEMI, M.; MIKKOLA, H.; AHOKAS, J., 2011. Greenhouse gas emissions from oats, barley, wheat and rye production. Agronomy. Research.

RAMIREZ, P.K.S; PETTI, L.; HABERLAND, N. T.; UGAYA, C.M.L. 2014 *Subcategory assessment method for social life cycle assessment. Part 1: methodological framework.* The International Journal of Life Cycle Assessment. August, Volume 19, Issue 8, pp. 1515-1523.

RIVM, 2024. LCIA: the ReCiPe model. Disponível em: https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe Acesso em: 20/03/2024.

RIZAL TAUFIQ **FAUZI** 1,*, PATRICK LAVOIE 2, LUCA SORELLI 3, MOHAMMAD DAVOUD HEIDARI 1 AND BEN AMOR. Exploring the Current Challenges and Opportunities of Life Cycle Sustainability Assessment **1 2019**

SAGET, S.; COSTA, M.P.; BLACK, K.; IANNETA, P.P.M.; RECKLING, M.; STYLES, D.; WILLIANS, M. Environmental impacts of Scottish faba bean-based beer in na integrated beer and animal feed value chain. Sustainable Production and Consumption, 2022.

SALA, S.; DE LAURENTIIS, V.; ZAMPORI, L.; DIACONU, E.; FAZIO, S.; BIGANZIOLI, F., 2018. Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods: version 2, from ILCD to EF 3.0. Publications Office. Available from: doi/10.2760/002447

SALLABERRY, R. R., 2009. Emprego da Avaliação do Ciclo de Vida para Levantamento dos Desempenhos Ambientais do Biodiesel de Girassol e do Óleo Diesel. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, UFRGS: IPH.

SALAZAR, T.M.B.; HUANG, J.I.; MARTIN-GONZALES, M.F.S.; CAI, H. Economic and environmenal performance of instantâneos water heating system of craft beer production. Food and Bioproducts Processing, 2021.

SHDB, 2024 *Social Hotspot Database.* Disponível em: http://www.socialhotspot.org/ acesso em 06/05/24.

SILVA, C.T.D., 2019. Caracterizações químicas dos primeiros cultivares de lúpulo (Humulus lupulus L.) produzidos no Brasil. 2019. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal do Espirito Santo, Centro de Ciências Exatas, Naturais e de Saúde, Alegre.

SIPPERLY, E.; EDINGER, K.; ZIEGLER, N.; ROBERTS, E., 2014. Comparative Cradle to Gate Life Cycle Assessment of 100% Barley-based Singha Lager Beer in Thailand. Bangkok, Thailand.

SONNEMANN, G. 2003. *Integrated Life Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes.* Lewis Publishers. CRC Press Company, Boca Raton.

SOUZA, R. S., 2000 *Entendendo a questão ambiental: temas de economia, política e gestão do meio ambiente.* Santa Cruz do Sul: EDUNISC.

STATISTA, 2023 *Beer Worlwide*. Disponível em: https://www.statista.com/outlook/cmo/alcoholic-drinks/beer/worldwide Acesso em 15/05/24.

STATISTA, 2023. Share of hop production worldwide. Disponível em: https://www.statista.com/statistics/757917/share-of-hop-production-worldwide-by-major-producer/ Acesso em 05/10/23

SUSTAINABLE DEVELOPMENT COMMISSION, 2011. History of Sustainable Development. Disponível em: http://www.sd-commission.org.uk/pages/history_sd.html Acesso em 15/05/24.

TAKAMOTO, Y.; MITANI, Y.; TAKASHIO, M.; ITOI, K.; MUROYAMA, K., 2004. Life cycle inventory analysis of a beer production process. Tech Q Master Brewer Association American.

TALVE, S., 2001. Life cycle assessment of a basic lager beer. The International Journal of Life Cycle Assessment.

TAOUMI, H.; ELOUAHBI, K.; ADNANE, I.; LAHRECH, K., 2024. Sustainable crop production: Highlights on economic, environmental and social life cycle thinking. Science of the Total Environment, 170267.

TRAVERSO, M; FINKBEINER, M; J□RGENSEN, A; SCHNEIDER, L. 2012. *Life Cycle Sustainability Dashboard*. Journal of Industry Ecology. 16 (5): 680-688.

TUDELFT, 2023. The midpoint characterization tables and the multipliers in the model of the eco-costs for emissions. Disponível em: https://www.ecocostsvalue.com/ecocosts/eco-costs-concept/ Acesso em 22/02/24.

UGAYA, C.M.L.; ZORTEA, R.B.; HABERLAND, N.T.; RAMIREZ, P.K.S., SOUZA, A. 2014 *Avanços na Definição do Objetivo e Escopo da Avaliação Social do Ciclo de Vida (ACV-S).* In: Anais do IV Congresso Brasileiro sobre Gestão pelo Ciclo de Vida. 09 a 12 de novembro. Págs. 332-337. São Bernardo do Campo.

UNEP, 2020. In: BENOÎT NORRIS, C., TRAVERSO, M., NEUGEBAUER, S., EKENER, E., SCHAUBROECK, T., GARRIDO, RUSSO, BERGER, VALDIVIA, LEHMANN, A., FINKBEINER, ARCESE, G. (Eds.), Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2020. United Nations Environment Programme (UNEP).

UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2009. Guidelines for social life cycle assessment of products. United Nations Environment Programme. Social and socio-economic LCA guidelines.

UNEP/SETAC, 2011 Life Cycle Initiative. *Towards a Life Cycle Sustainability Assessment: making informed choices on products.* United Nations Environment Programme. Proposal Guidance.

USETOX, 2024. Official USEtox 2.13 model and factors. Disponível em: https://usetox.org/ acesso em 20/03/2024.

VOGTLÄNDER, J.G.; MESTRE, A.; van der HELM, R.; SCHEEPENS, A.; WEVER, R. 2023. Eco-efficient Value Creation, sustainable strategies for the circular economy. Delft University of Technology.

ZAMAGNI, A.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; MASONI, P.; RAGGI, A. Lights and shadows in consequential LCA. International Journal Life Cycle Assessment, 2012, 17, 904-918

ZHOU, Z., JIANG, H., QIN, L., 2007. Life cycle sustainability assessment of fuels. Fuel 86 (1–2), 256–263.

APENDICE

QUESTIONÁRIO DA PESQUISA DA TESE:

PESQUISA DE DOUTORADO: **AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA EM CERVEJARIAS ARTESANAIS**
CERVEJARIA:
NOME DO RESPONSÁVEL:
CONTATO:
ENDEREÇO:
DADOS DA CERVEJARIA
PRODUÇÃO
Tipo de gerador de vapor:
Capacidade de geração de vapor:
Combustível utilizado para geração de vapor:
Fonte de energia elétrica:
Consumo energia elétrica últimos 12 meses:
Tipo de moedor de malte:
Potencia do moedor:
Quantidade de panelas de brassagem:
Capacidade das panelas de brassagem (hL):
Quantidade de bateladas por dia:
Quantidade de fermentadores:
Capacidade dos fermentadores (hL):
Capacidade total dos fermentadores (hL):
FORNECEDORES
Tipos de malte utilizados:
Fornecedores de malte:
Tipo de lúpulo utilizados:
Fornecedores de lúpulo:
Tipos de levedura utilizado:
Fornecedores de levedura:
Fonte de água utilizado:

Tipo de embalagens utilizadas: ( ) barril de aço ( ) lata de alumínio ( ) garrafas
Capacidade volumétrica barril de aço:
Capacidade volumétrica latas de alumínio:
Capacidade volumétrica garrafas:
Fornecedor de barris de aço:
Fornecedor de latas de alumínio:
Fornecedor de garrafas:
Tipos de material de limpeza:
Fornecedores de material de limpeza:
VENDAS
Volume vendido últimos 12 meses:
Porcentagem das vendas mensais em barris de aço:
Porcentagem das vendas mensais em latas:
Porcentagem das vendas mensais em garrafas:
Cervejaria possui um brewpub?
Porcentagem das vendas mensais no brewpub:
Cervejaria realiza vendas on-line?
Método de envio de vendas on-line:
Porcentagem das vendas mensais on-line:
Cervejaria atende festas e eventos?
Porcentagem das vendas mensais para festas e eventos:
Tipo de embalagem vendida para festas e eventos:
Área de atuação da cervejaria:
Quantidade de pontos de venda:
Distância média entre a cervejaria e pontos de venda:
Tipo de veículo para entrega nos pontos de venda:
Combustível utilizado pelo veículo:
Kilometragem média mensal do veículo de entrega:
RECEITA DE CERVEJA
Estilo da cerveja:
Tipos de malte:
Quantidade dos maltes (kg):

Fornecedores dos maltes:
Tipos de lúpulos:
Quantidade de lúpulo (kg):
Fornecedor de lúpulo:
Tipo de levedura:
Quantidade de levedura:
Fornecedor de levedura:
Quantidade de água brassagem:
Temperatura da água brassagem:
Quantidade de água secundária:
Temperatura da água secundária:
Tempo de fervura:
Quantidade produzida (hL):
Tempo de fermentação:
Tempo de maturação:

TERMO DE CONFIDENCIALIDADE E SIGILO

Eu, DANIEL DE PAULA DINIZ, Pesquisador em nível de Doutorado do PPGEM – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, CPF, 023.546.429-54 abaixo firmado, assumo o compromisso de manter confidencialidade e sigilo sobre todas as informações a que tiver acesso de sua empresa.

Por este termo de confidencialidade e sigilo comprometo-me:

1. A não utilizar as informações confidenciais a que tiver acesso, para gerar benefício próprio exclusivo e/ou unilateral, presente ou futuro, ou para o uso de terceiros;
2. A não efetuar nenhuma gravação ou cópia da documentação confidencial a que tiver acesso;
3. A não me apropriar de material confidencial e/ou sigiloso que venha a ser disponibilizado;
4. A não repassar o conhecimento das informações confidenciais, responsabilizando-me por todas as pessoas que vierem a ter acesso às informações, por meu intermédio, e obrigando-me, assim, a ressarcir a ocorrência de qualquer dano e/ou prejuízo oriundo de uma eventual quebra de sigilo das informações fornecidas.

Neste Termo, as seguintes expressões serão assim definidas:

Informação Confidencial significará toda informação revelada sob a forma escrita, verbal ou por quaisquer outros meios.

Pelo não cumprimento do presente Termo de Confidencialidade e Sigilo, fica o abaixo assinado ciente de todas as sanções judiciais que poderão advir.

João Pessoa, Janeiro de 2022.

FOLHA DE DADOS PARA TRANSPORTE A MONTANTE DO PROCESSO

Nome do produto intermediário	Transporte rodoviário			
	Distância (km)	Capacidade do caminhão (Toneladas)	Carga real (Toneladas)	Retorno vazio (sim/não)

FOLHA DE DADOS PARA TRANSPORTE INTERNO

	Quantidade total de entrada transportada	Consumo total de combustível
Óleo diesel		
Gasolina		
GLP		

FOLHA DE DADOS PARA PROCESSO ELEMENTAR

Preenchido por:		Data do preenchimento:		
Identificação do processo elementar:		Local de origem dos dados:		
Período de tempo:	Mês de início:	Mês de término:		
Descrição do processo elementar:				
Entradas de material	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem
Consumo de água[a]	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem
Entradas de energia[b]	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem
Saídas de material (incluindo produto)	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem

NOTA: Os dados nesta folha de coleta de dados referem-se a todas entrradas e saídas coletadas durante o período de tempo especificado, antes de possíveis alocações.
[a] Por exemplo água superficial, água potável. [b] Por exemplo, óleo comustível pesado, óleo combustível médio, óleo combustível leve, querosene, gasolina, gás natural, propano, carvão, biomassa, eletricidade da rede.

FOLHA DE COLETA DE DADOS PARA ANÁLISE DE INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

Identificação do processo elementar:			Local de origem dos dados:
Emissões Atmosféricas[a]	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem
Liberação para a água[b]	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem
Liberação para o solo[c]	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem
Outras Liberações[d]	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem
Descrever quaisquer cálculos específicos, coleta de dados, amostragem ou variação da descrição das funções do processo elementar (anexar folhas, se necessário).			
[a] Por exemplo, inorgânicos: Cl2, CO, CO2, poeira/particulado, F2, H2S, H2SO4, HCl, HF, N2O, NH3, NO*x*, SO*x*; orgânicos: hidrocarbonetos, PCB, dioxinas, fenóis; metais: Hg, Pb, Cr, Fe, Zn, Ni. [b] Por exemplo: DBO, DQO, ácidos, Cl2, CN2-, detergentes/óleos, compostos orgânicos dissolvidos, F- íons de Fe, íons de Hg, hidrocarbonetos, Na+, NH4+, NO3-, organoclorados, outros metais, outros compostos de nitrogênio, fenóis, fosfatos, SO42-, sólidos em suspensão. [c] Por exemplo: resíduos minerais, resíduo industrial misto, resíduos sólidos urbanos, resíduos tóxicos (por favor listar os compostos incluídos nesta categoria de dados). [d] Por exemplo: ruído, radiação, vibração, odor, calor perdido			