

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

ILTON MARCHI DE ALMEIDA

CONTRIBUIÇÕES DA ECONOMIA CIRCULAR PARA O PROCESSO DE  
PRODUÇÃO DO COURO BOVINO

Bauru/SP

2023

ILTON MARCHI DE ALMEIDA

CONTRIBUIÇÕES DA ECONOMIA CIRCULAR PARA O PROCESSO DE  
PRODUÇÃO DO COURO BOVINO

Tese apresentada como parte dos requisitos para  
obtenção do título de doutor em Engenharia de  
Produção pelo Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção da Universidade Estadual  
Paulista, UNESP, Campus Bauru.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Jugend

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Bernardi de Souza

Bauru/SP

2023

Almeida, Ilton Marchi de

Contribuições da economia circular para o processo de produção do couro bovino / Ilton Marchi de Almeida. - Bauru, 2023

146 p. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Engenharia, Bauru

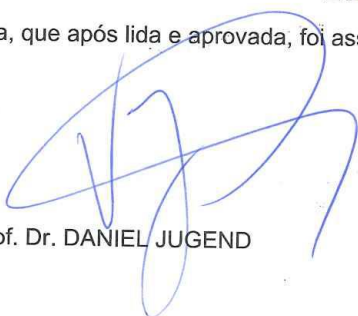
Orientador: Daniel Jugend

Coorientador: Fernando Bernardi de Souza

1. Couro. 2. Economia circular. 3. Desempenho ambiental. 4.  
Sustentabilidade. I. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE ILTON MARCHI DE ALMEIDA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 14 dias do mês de agosto do ano de 2023, às 14:30 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de ILTON MARCHI DE ALMEIDA, intitulada **Possibilidades de contribuições da Economia Circular no modelo de negócio da produção do couro bovino**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. DANIEL JUGEND (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> CECILIA MARIA VILLAS BÔAS DE ALMEIDA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Paulista - UNIP, Prof. Dr. BIAGIO FERNANDO GIANNETTI (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Paulista - UNIP, Prof. Dr. ADRIANO ALVES TEIXEIRA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. RAFAEL MATTOS DE DEUS (Participação Virtual) do(a) Departamento de Administração / Faculdades Integradas de Jaú. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.



Prof. Dr. DANIEL JUGEND



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Bauru

### PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A COMISSÃO EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DO ALUNO: **ILTON MARCHI DE ALMEIDA**

DE: "POSSIBILIDADES DE CONTRIBUIÇÕES DA ECONOMIA CIRCULAR NO MODELO DE NEGÓCIO DA PRODUÇÃO DO COURO BOVINO"

PARA:

Contribuições da economia circular para o processo de produção do couro bovino

Bauru, 14 de agosto de 2023.

  
Prof. Dr. Daniel Jugend  
Orientador



Faculdade de Engenharia de Bauru – Pós-graduação  
Av. Eng. Luiz Edmundo Camargo Costa, 14-01 17033-360 Bauru - SP  
tel. (14) 3103-8100 spg@feb.unesp.br www.feb.unesp.br

## **DEDICATÓRIA**

À minha família, professores e amigos, referências na minha formação. A minha jornada tem a luz da sabedoria destes pilares fundamentais e sigo buscando corresponder à atenção que recebi destas fontes. A minha eterna gratidão.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, como arquiteto das manifestações universais, por permitir a minha prontidão para enfrentar os desafios que uma vida plena proporciona.

Aos meus irmãos, em especial ao Ildemar Marchi de Almeida, guardião dos valores deixados por nossos pais, já falecidos. Profissional do setor pesquisado que esteve presente em todos os momentos do desenvolvimento deste trabalho. Compartilhando uma vida de experiência profissional, que tive a honra de levar para a literatura acadêmica. O legado registrado neste trabalho, contou com conhecimentos acumulados em atuações em operações do setor coureiro em vários países, oferecendo para as próximas gerações a oportunidade de aumentar os conhecimentos sobre este setor que acompanha a humanidade há séculos.

Aos meus filhos, que foram privados da minha presença em muitos momentos da vida. Espero que o compartilhamento deste trabalho revele a causa das minhas ausências. A oportunidade de gerar contribuições para ganhos de sustentabilidade para as próximas gerações talvez justifique os momentos que não tivemos a felicidade de compartilhar.

Aos meus orientadores, que foram fonte e guia para a geração de conhecimentos necessários para a construção de pesquisa e formação do pesquisador. As orientações disponibilizadas transcenderam às responsabilidades de desenvolvimento da pesquisa, contribuindo para o desenvolvimento do orientado em direção a formação de um pesquisador que contribua com a sociedade.

Aos amigos que estiveram presentes na minha caminhada por opção. Tenho a felicidade de contar com pessoas excelentes como amigos, que independente do tempo e distância, continuam comprometidos e expectadores do meu desenvolvimento. Grato pela escolha de estarem presentes.

## RESUMO

Expectadores do agravamento da severidade das mudanças climáticas, a sociedade vem apresentando mudanças de comportamento em nível global, com o aumento da rejeição de produtos e serviços associados a degradação do meio ambiente. Em resposta aos movimentos sociais, órgãos internacionais como as Organizações das Nações Unidas (ONU) recomendam objetivos e estratégias para a maior sustentabilidade das operações. A economia circular (EC) assumiu posição de destaque entre as estratégias em direção a melhores desempenhos ambientais na última década. Entretanto, setores relevantes do ponto de vista de impacto ambiental, como o de produção do couro a partir da pele bovina, ainda permanecem desorientados quanto à identificação e aplicação de práticas conforme os princípios da EC. O objetivo desta tese é justamente o de explorar as possibilidades de contribuição da EC no processo produtivo do couro. Para isso, os resultados desta tese são desdobrados em cinco artigos sobre como a EC pode contribuir com a sustentabilidade ambiental no setor coureiro. Os dois primeiros artigos abordam os aspectos gerais dos princípios da EC, buscando discutir requisitos das operações em ciclo fechado. O terceiro artigo pesquisou as iniciativas de EC no setor coureiro, destacando as estratégias de transição das abordagens de produção conforme os princípios da economia linear (EL) em direção à EC neste setor. Com o objetivo de avaliar as iniciativas de EC no setor coureiro, o quarto artigo consultou especialistas de empresas e pesquisadores do setor. O último artigo da tese, apresenta resultados de estudo de caso realizado na maior operação corrente de produção de proteína e processamento de peles no mundo, com visitas e entrevistas *in loco* em dois países - Brasil e Itália, apresentando aplicações de iniciativas de EC em várias etapas do ciclo de vida da produção do couro, que devido à comunalidade de processos e insumos, podem ser aplicadas às operações de outras empresas do setor para ganhos de sustentabilidade. Dentre os seus principais resultados, este estudo mostrou: (i) as práticas correntes e tendências de EC no setor coureiro, destacando inovações para o processamento das peles bovinas; (ii) quais iniciativas reúnem potencial de gerar melhor desempenho ambiental no setor; e, (iii) *framework* capaz de orientar o setor na identificação e monitoramento de iniciativas de EC nas operações de produção do couro bovino.

Palavras-chave: Couro; Economia circular; Desempenho ambiental; Sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

Spectators of the worsening severity of climate change, society has been presenting behavior changes at the global level, with the increase in the rejection of products and services associated with environmental degradation. In response to social movements, international organizations such as the United Nations (UN) recommend objectives and strategies for greater sustainability of operations. The circular economy (CE) has taken a prominent position among the strategies towards better environmental performance in the last decade. However, relevant sectors from the point of view of environmental impact, such as the production of leather from the bovine hide, remain disoriented in identifying and applying practices according to the principles of CE. The objective of this thesis is precisely to explore the possibilities of CE contribution in the leather production process. For this, the results of this thesis are unfolded in five articles on how CE can contribute to environmental sustainability in the leather sector. The first two articles address the general aspects of the principles of CE, seeking to discuss requirements of closed-loop operations. The third article researched the CE initiatives in the leather sector, highlighting the transition strategies of production approaches according to the principles of linear economy (LE) towards CE in this sector. In order to evaluate CE initiatives in the leather sector, the fourth article consulted company experts and sector researchers. The last article of the thesis, presents results of a case study carried out in the largest current operation of protein production and hides processing in the world, with on-site visits and interviews in two countries - Brazil and Italy, presenting applications of CE initiatives in various stages of the life cycle of leather production, which due to the commonality of processes and inputs, can be applied to the operations of other companies in the sector for sustainability gains. Among its main results, this study presented: (i) current CE practices and trends in the leather sector, highlighting innovations for the processing of bovine hides; (ii) which initiatives have the potential to generate better environmental performance in the sector; and, (iii) framework capable of guiding the sector in identifying and monitoring CE initiatives in bovine leather production operations.

**Keywords:** Leather; Circular economy; Environmental performance; Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Premissas da contextualização e problematização da pesquisa .....                                   | 22 |
| Figura 2 - Modificação da visão de ciclo aberto para circulação fechada.....                                   | 28 |
| Figura 3 - Escala de transição da Economia Linear rumo à Economia Circular .....                               | 30 |
| Figura 4 - Os princípios da EC no repensamento das etapas de processamento do couro bovino .....               | 31 |
| Figura 5 - Diferenças entre os ciclos técnicos e biológicos considerando a economia linear e circular .....    | 32 |
| Figura 6 - Abordagens de desenvolvimento para produtos circulares.....                                         | 33 |
| Figura 7 - Adoção progressiva da Economia Circular .....                                                       | 35 |
| Figura 8 - Sistema restaurador de materiais biológicos e técnicos.....                                         | 36 |
| Figura 9 - Cadeia de valor do couro .....                                                                      | 38 |
| Figura 10 - Etapas da produção do couro bovino .....                                                           | 41 |
| Figura 11- Organização dos conceitos da ACV/LCA (ISO14040/14025) e PEF (PEFCR) ....                            | 44 |
| Figura 12 - Cadeia de suprimentos da indústria do couro bovino .....                                           | 47 |
| Figura 13 - Critério e protocolo da revisão de literatura .....                                                | 49 |
| Figura 14 - Concentração dos artigos conforme ano de publicação.....                                           | 50 |
| Figura 15 - Concentração dos artigos conforme país de publicação. ....                                         | 51 |
| Figura 16 - Concentração dos artigos conforme área de pesquisa. ....                                           | 52 |
| Figura 17 - Cadeia de suprimentos de ciclo fechado.....                                                        | 53 |
| Figura 18 - Critério e protocolo da revisão de literatura .....                                                | 56 |
| Figura 19 - Concentração dos artigos conforme ano de publicação.....                                           | 57 |
| Figura 20 - Concentração de coocorrência de palavras chaves (CE and RSC).....                                  | 58 |
| Figura 21 - <i>Framework</i> teórico do funcionamento sistêmico da cadeia de suprimentos de ciclo fechado..... | 60 |
| Figura 22 - Protocolo da revisão sistemática e análise de conteúdo .....                                       | 63 |
| Figura 23 - Quantidade de artigos publicados por ano.....                                                      | 64 |
| Figura 24 - Artigos publicados por país, considerando todos os autores .....                                   | 65 |
| Figura 25 - Artigos publicados por país, considerando o primeiro autor .....                                   | 65 |
| Figura 26 - Quantidade de artigos conforme as etapas de produção do couro (PP).....                            | 69 |
| Figura 27 - Quantidade de artigos conforme o aspecto ambiental (EA) .....                                      | 70 |
| Figura 28 - Distribuição dos artigos conforme a metodologia de pesquisa (RM).....                              | 72 |
| Figura 29 - Quantidade de artigos conforme os princípios de economia circular (CE) .....                       | 73 |

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 30 - Etapas de produção do couro e as iniciativas de Economia Circular .....        | 76  |
| Figura 31 - <i>Framework</i> integrativo de EC e as fases de produção do couro.....        | 77  |
| Figura 32 - Protocolo de pesquisa .....                                                    | 80  |
| Figura 33 - Análise de coocorrência de palavras chaves.....                                | 84  |
| Figura 34 - Publicações conforme país ou território de publicação .....                    | 87  |
| Figura 35 - Identificação dos países dos respondentes dos questionários.....               | 88  |
| Figura 36 - Valores médios das dimensões: pesquisadores e especialistas.....               | 89  |
| Figura 37 - Valores médios da dimensão confiabilidade: pesquisadores e especialistas ..... | 90  |
| Figura 38 - Valores médios da dimensão aplicabilidade: pesquisadores e especialistas.....  | 91  |
| Figura 39 - Valores médios da dimensão aderência: pesquisadores e especialistas.....       | 91  |
| Figura 40 - Valores médios da dimensão eficácia: pesquisadores e especialistas.....        | 92  |
| Figura 41 - <i>Framework</i> de melhores práticas e fases de produção .....                | 94  |
| Figura 42 - Processo tradicional da indústria do couro .....                               | 100 |
| Figura 43 - Processo modificado para curtimento de cortes customizados.....                | 101 |
| Figura 44 - Realização das aparas ainda na pele não curtida .....                          | 102 |
| Figura 45 - Métricas dos cortes customizados.....                                          | 103 |
| Figura 46 - Reduções nas entradas e saídas do sistema.....                                 | 104 |
| Figura 47 - Redução nas Categorias de Impacto (LCA) .....                                  | 104 |
| Figura 48 - Rendimento na confecção de produtos como os estofamentos.....                  | 105 |
| Figura 49 - Resíduos sólidos nos pisos da produção e nas caçambas de coleta.....           | 107 |
| Figura 50 - Artigo desenvolvido utilizando a zeólita como agente de curtimento.....        | 110 |
| Figura 51 - Etapas de produção do couro bovino e as iniciativas de EC .....                | 119 |
| Figura 52 - <i>Framework</i> de melhores práticas e fases de produção .....                | 120 |
| Figura 53 - <i>Framework</i> integrativo de EC e fases de produção do couro bovino.....    | 121 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Princípios de inovação fechada e aberta.....                    | 54 |
| Tabela 2 - Codificação de cada dimensão analisada nos artigos .....        | 66 |
| Tabela 3 - Codificação dos artigos da pesquisa.....                        | 66 |
| Tabela 4 - Dimensões de avaliação das práticas.....                        | 82 |
| Tabela 5 - Práticas ambientais no processo produtivo do couro bovino ..... | 85 |
| Tabela 6 - Lista das práticas ambientais e codificação das dimensões ..... | 89 |

## **LISTA DE QUADROS**

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Quadro 1 - Etapas ligadas ao processo produtivo do couro bovino.....         | 38  |
| Quadro 2 - Iniciativas de economia circular na produção do couro bovino..... | 108 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|       |                                                       |
|-------|-------------------------------------------------------|
| ACV   | Avaliação do Ciclo de Vida                            |
| CE    | <i>Circular economy</i>                               |
| CSR   | Cadeia de suprimentos reversa                         |
| EA    | <i>Environment Aspect</i>                             |
| EC    | Economia circular                                     |
| EL    | Economia linear                                       |
| EoL   | <i>Endo of life</i>                                   |
| GC    | Gestão de conhecimento                                |
| I4.0  | Indústria 4.0                                         |
| ISO   | <i>International Organization for Standardization</i> |
| LCA   | <i>Life-cycle assessment</i>                          |
| LE    | <i>Linear economy</i>                                 |
| LR    | Logística reversa                                     |
| ODS   | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável              |
| ONU   | Organização das Nações Unidas                         |
| P&D   | Pesquisa e desenvolvimento                            |
| PEF   | <i>Product Environment Footprint</i>                  |
| PEFCR | <i>Product Environment Footprint Category Rules</i>   |
| PI    | Propriedade intelectual                               |
| PP    | <i>Production Phase</i>                               |
| RM    | <i>Research Method</i>                                |
| RSC   | <i>Reverse Supply Chain</i>                           |
| UE    | Uniao Europeia                                        |
| UN    | <i>United Nations</i>                                 |
| WoS   | <i>Web of Science</i>                                 |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                                | <b>17</b> |
| 1.1 Contextualização .....                                                                                                                | 17        |
| 1.2 Justificativas .....                                                                                                                  | 19        |
| 1.3 Problema de pesquisa .....                                                                                                            | 21        |
| 1.4 Objetivos da tese.....                                                                                                                | 22        |
| 1.5 Estrutura da tese.....                                                                                                                | 23        |
| 1.5.1 Revisão geral da literatura .....                                                                                                   | 23        |
| 1.5.2 Revisão de literatura sobre os requisitos das operações conforme princípios da EC - Artigo 1 (A1) e Artigo (A2).....                | 23        |
| 1.5.3 Revisão de literatura sobre iniciativas de EC no setor coureiro - Artigo 3 (A3).....                                                | 24        |
| 1.5.4 Consulta sobre a percepção de públicos-alvo para as iniciativas de EC no setor coureiro - Artigo 4 (A4) .....                       | 25        |
| 1.5.5 Estudo de caso sobre iniciativas de EC no setor coureiro - Artigo 5 (A5).....                                                       | 25        |
| 1.5.6 Discussões .....                                                                                                                    | 26        |
| 1.5.7 Conclusões.....                                                                                                                     | 26        |
| <b>2. REVISÃO TEÓRICA GERAL .....</b>                                                                                                     | <b>27</b> |
| 2.1 Economia circular.....                                                                                                                | 27        |
| 2.2 Gestão de operações e a economia circular .....                                                                                       | 32        |
| 2.3 A cadeia de valor do processo produtivo do couro bovino .....                                                                         | 37        |
| 2.4 Normas ISO 14040 e PEF de LCA.....                                                                                                    | 42        |
| 2.4.1 - Avaliação do ciclo de vida no setor coureiro .....                                                                                | 44        |
| <b>3. ARTIGOS DESENVOLVIDOS .....</b>                                                                                                     | <b>48</b> |
| 3.1 Artigo 1 (A1) - Integração entre o desenvolvimento de novos produtos e da produção para a economia circular: uma análise teórica..... | 48        |
| A1.3 Método de pesquisa utilizado no artigo .....                                                                                         | 48        |
| A1.4 Resultados e discussões .....                                                                                                        | 49        |
| A1.5 Considerações finais .....                                                                                                           | 54        |

|                                                                                                                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>3.2 Artigo 2 (A2) - O papel da cadeia de suprimentos reversa, logística reversa e indústria 4.0 na implementação da economia circular .....</b>               | <b>56</b>  |
| A2.3 Método de pesquisa. ....                                                                                                                                    | 56         |
| A2.4 Resultados e discussões .....                                                                                                                               | 58         |
| A2.5 Considerações finais .....                                                                                                                                  | 61         |
| <b>3.3 Artigo 3 (A3) - Contribuições da economia circular para o ciclo de vida do couro: uma revisão teórica e proposta de <i>framework</i> integrativo.....</b> | <b>62</b>  |
| A3.3 Método de Pesquisa .....                                                                                                                                    | 62         |
| A3.4 Resultados e discussões .....                                                                                                                               | 64         |
| A3.5 Conclusões.....                                                                                                                                             | 78         |
| <b>3.4 Artigo 4 (A4) - Melhores práticas ambientais do setor coureiro: visões de especialistas e pesquisadores sobre iniciativas de economia circular .....</b>  | <b>79</b>  |
| A4.3 Método de pesquisa .....                                                                                                                                    | 79         |
| A4.4 Resultados.....                                                                                                                                             | 83         |
| A4.5 Discussões .....                                                                                                                                            | 92         |
| A4.6 Conclusões.....                                                                                                                                             | 95         |
| <b>3.5 Artigo 5 (A5) - Estudo de caso sobre iniciativas de economia circular no ciclo de vida da produção do couro bovino .....</b>                              | <b>96</b>  |
| A5.3 Método de pesquisa .....                                                                                                                                    | 97         |
| A5.4 Resultados.....                                                                                                                                             | 99         |
| A5.5 Discussões .....                                                                                                                                            | 110        |
| A5.6 Conclusão .....                                                                                                                                             | 112        |
| <b>4. DISCUSSÕES .....</b>                                                                                                                                       | <b>116</b> |
| <b>5. CONCLUSÕES.....</b>                                                                                                                                        | <b>122</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                                                                                         | <b>126</b> |
| <b>APÊNDICE A - Questionário enviado aos pesquisadores e especialistas (Artigo 4) .....</b>                                                                      | <b>142</b> |
| <b>APÊNDICE B - Roteiro das entrevistas do estudo de caso (Artigo 5).....</b>                                                                                    | <b>144</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo são apresentados a contextualização, justificativas, problema de pesquisa, objetivos e estrutura da tese. Inicialmente, a contextualização da pesquisa aborda o tema relacionado às contribuições da economia circular (EC) nas operações de produção do couro bovino. O tópico seguinte delinea as justificativas desta pesquisa. Posteriormente, o problema de pesquisa e os objetivos da tese são apresentados. Por fim, a estrutura da tese é descrita apresentando a organização dos artigos nos capítulos.

### 1.1 Contextualização

Expectadores do aumento da severidade das intemperes climáticas, a sociedade vem apresentando um aumento das preocupações ambientais nas últimas décadas, manifestando-se por meio de recentes alterações de comportamento em direção a maiores níveis de exigência sobre os padrões de sustentabilidade que as empresas devem atender nas suas operações (BALETA, MIKULČIĆ, *et al.*, 2019, CRECENTE, SARABIA, *et al.*, 2021, DAVIDESCU, APOSTU, *et al.*, 2020). Novos hábitos têm ganhado espaço na rotina de diversos públicos consumidores, os quais passaram a buscar condutas mais sustentáveis, rejeitando produtos e serviços com más reputações ambientais (CAPPER, 2017, WCED, 2018). Neste cenário, os princípios propostos pelo conceito da EC tem ganhado destaque recentemente em discussões sobre como encontrar abordagens capazes de gerar ganhos de sustentabilidade ambiental (BLANC, LE BLANC, 2015, CORONA, SHEN, *et al.*, 2019) e social (PIAO, DE VINCENZI, *et al.*, 2023); ao mesmo tempo, em que podem gerar benefícios econômicos, de mercado e de inovação às empresas (CENTOBELLI, CERCHIONE, *et al.*, 2020, FERASSO, BELIAEVA, *et al.*, 2020, SAUVÉ, BERNARD, *et al.*, 2016, URBINATI, CHIARONI, *et al.*, 2017).

Esse cenário de preocupações ambientais tem questionado a continuidade do modelo de operação baseado na economia linear (EL) que busca o crescimento econômico por meio da extração crescente de recursos e aumento da geração de descartes (BOBROV, 2021). A tendência de crescimento populacional e acesso a novos mercados consumidores apontam para o esgotamento da capacidade de disponibilidade e regeneração dos recursos naturais que alcançariam os limites de manutenção do meio ambiente (HALOG, ANIEKE, 2021). O agravamento do contexto do modelo vigente de EL se manifesta na constatação de que as organizações buscam o crescimento econômico não só por meio do aumento da produção, mas também com a diminuição da vida útil dos produtos (BOCKEN, PAUW, *et al.*, 2016, DEN HOLLANDER, BAKKER, *et al.*, 2017). O aumento da cadência de produção em busca do

crescimento econômico da EL aponta para a insustentabilidade ambiental a longo prazo. Assim, modelos que considerem os três componentes da sustentabilidade - economia, sociedade e meio ambiente - como a EC, assumem posição de destaque nas discussões da sociedade atualmente (HARTLEY, VAN SANTEN, *et al.*, 2020).

Os princípios propostos pelo conceito de EC não são novos e tiveram as suas manifestações iniciais em trabalhos como os apresentados por Boulding (1966), o qual destacou que a atividade humana deveria ter um papel harmônico com o ecossistema, sem considerar o meio ambiente como um estoque permanente de recursos. Há mais de trinta anos, Pearce e Turner (1990) já abordaram o conceito de EC, destacando que as economias tradicionais se desenvolveram longe da ideia de reciclagem ou circularidade de seus produtos, de tal forma que o meio ambiente apenas estava sendo tratado como um reservatório de resíduos. Recentemente, trabalhos como os apresentados pela instituição Ellen MacArthur (2014) propuseram e difundiram a EC como um movimento de ruptura com o modelo linear de produção, que é caracterizado por um início nas atividades de extração de recursos e encerramento marcado pelo descarte dos produtos ao término da vida útil (SAUVÉ, BERNARD, *et al.*, 2016). Conforme as análises de Kirchherr (2023; 2017), a EC pode ser definida como sistema econômico que substitui o conceito de “fim de vida” por iniciativas que promovam a redução, reutilização, reciclagem e recuperação de materiais em toda a cadeia de suprimentos, com o objetivo de promover a manutenção do valor e o desenvolvimento sustentável, criar qualidade ambiental, desenvolvimento econômico e equidade social, em benefício das gerações atuais e futuras.

A visão de uma operação circular permite assumir que além da existência de um modelo tradicional de EL, existe a necessidade de adicionar uma operação no sentido reverso para viabilizar o fechamento do ciclo (SANTANDER, CRUZ SANCHEZ, *et al.*, 2020). A operação circular está relacionada ao princípio de otimização dos recursos por meio da permanência em ciclo fechado de materiais e energia pelo maior tempo possível, gerando novas oportunidades de negócios que permitam a manutenção e recuperação de valor durante todo o ciclo de vida dos produtos e serviços (WEETMAN, 2016).

Atualmente, setores relevantes da economia em operação em vários países do mundo apresentam má reputação ambiental perante a sociedade, principalmente ligados a siderurgia, indústria química, papel e celulose, e o couro. O que ocorre devido, sobretudo, às emissões por unidade de fabricação (INGRAO, VESCE, *et al.*, 2021). Considerando que estes modelos de negócios vivenciam um cenário de aumento de risco para a descontinuidade de suas operações

(DADDI, T., CEGLIA, *et al.*, 2019), iniciativas de implementação dos princípios da EC têm sido buscadas por várias empresas ao redor do mundo (CABRERA-CODONY, RUIZ, *et al.*, 2020, HU, XIAO, *et al.*, 2011). Neste cenário, mesmo quando iniciativas circulares são implementadas, ainda existe a dificuldade de identificar o meio confiável mais efetivo/eficaz para comunicar melhores práticas ambientais a sociedade e garantir a continuidade dos modelos de negócios (CAPPER, 2017, DADDI, T., CEGLIA, *et al.*, 2019, GONZALEZ-QUIJANO, ALBU, 2012, INGRAO, VESCE, *et al.*, 2021).

## 1.2 Justificativas

A Organização das Nações Unidas (ONU) vem atendendo às manifestações de preocupação da sociedade, que busca iniciativas de avanços em direção à maior sustentabilidade de produtos, processos e serviços. A organização estabeleceu dezessete metas de sustentabilidade que são chamados de ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) e precisam ser integrados às tomadas de decisões das organizações e atendidos até o ano de 2030 para contribuir com um futuro mais sustentável e inclusivo (ONU, 2015).

Apontada como abordagem alinhada aos atendimentos das ODS, a EC apresenta princípios que contribuem diretamente para o atendimento de parcela relevante deles, com destaque para a relação direta com os ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 12 (Consumo e Produção Responsável), ODS 13 (Ação Contra Mudança Global do Clima), ODS 14 (Vida na Água) e ODS 15 (Vida na Terra). Adicionalmente, a EC também pode oferecer sinergia de contribuição para objetivos que busquem benefícios sociais e econômicos, tais como o ODS 1 (Erradicação da Pobreza) e ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) (PRESTON, LEHNE, *et al.*, 2019, SCHROEDER, ANGGRAENI, *et al.*, 2019).

O contexto atual, que apresenta a relação entre os anseios da sociedade, movimentos de organizações intergovernamentais como os ODS da ONU e as respostas das empresas com iniciativas de implementações de EC sugere um cenário em que existam ações coordenadas, padronizadas, passíveis de serem mensuradas e comunicadas quanto ao grau de sucesso em direção a maiores níveis de sustentabilidade na criação de produtos e serviços. O benefício gerado por este movimento coordenado de metas e métricas, que utilizam os princípios da EC em busca da sustentabilidade, pretende gerar benefício global, transcendendo nichos de mercado ou regiões específicas (DANTAS, DE-SOUZA, *et al.*, 2021).

O couro é um coproduto do ciclo de vida da carne/leite, que ocupa a posição relevante na nutrição de muitas pessoas no planeta. A demanda global desta fonte de nutrição está crescendo e dobrou seus valores produzidos nos últimos 50 anos, assumindo posição socioeconômica relevante nos países produtores (RITCHIE, ROSER, 2019). Entretanto, a análise de indicadores de crescimento da população revelam que, embora o consumo de proteína seja alto em alguns países desenvolvidos, é ainda considerado baixo e frequentemente associado às condições econômicas dos países em desenvolvimento (FAOSTAT, 2021). Este contexto de escassez nutricional é agravado com a constatação de que países com as menores taxas de consumo apresentam as maiores taxas de crescimento populacional (BRUINSMA, 2017). Assim, a garantia de segurança alimentar dos consumidores deste produto dependerá da manutenção e possível ampliação desta cadeia de suprimentos, que precisa garantir uma destinação sustentável para as peles dos animais, com produtos, coprodutos e subprodutos da geração do couro (PRINGLE, BARWOOD, *et al.*, 2016).

Nos últimos anos, o couro tem recebido posição de destaque na balança comercial dos países produtores, alcançando os percentuais de exportações de 10% na Itália, 7% na Coreia do Sul, 7% na Índia, 6% na Rússia e 6% no Brasil (OMOLOSO, MORTIMER, *et al.*, 2021). Este produto milenar e tradicional possui importância socioeconômica e está associado a valores de conforto, beleza e resistência, sendo utilizado principalmente como a matéria prima para os segmentos de vestuário, moveleiro e automotivo (MEYER, DIETRICH, *et al.*, 2021, TASCA, PUCCINI, 2019). Entretanto, os insumos por unidade de fabricação utilizam elevado volume de água, sal, sulfeto e cromo, chamando a atenção de órgãos reguladores quanto a possíveis impactos ambientais das operações dos curtumes. Assim, organizações intergovernamentais como a União Europeia (UE) publicaram regras específicas para este tipo de operação, tais como a *PEFCRs (Product Environment Footprint Category Rules)* (EUROPEAN COMMISSION, 2018b).

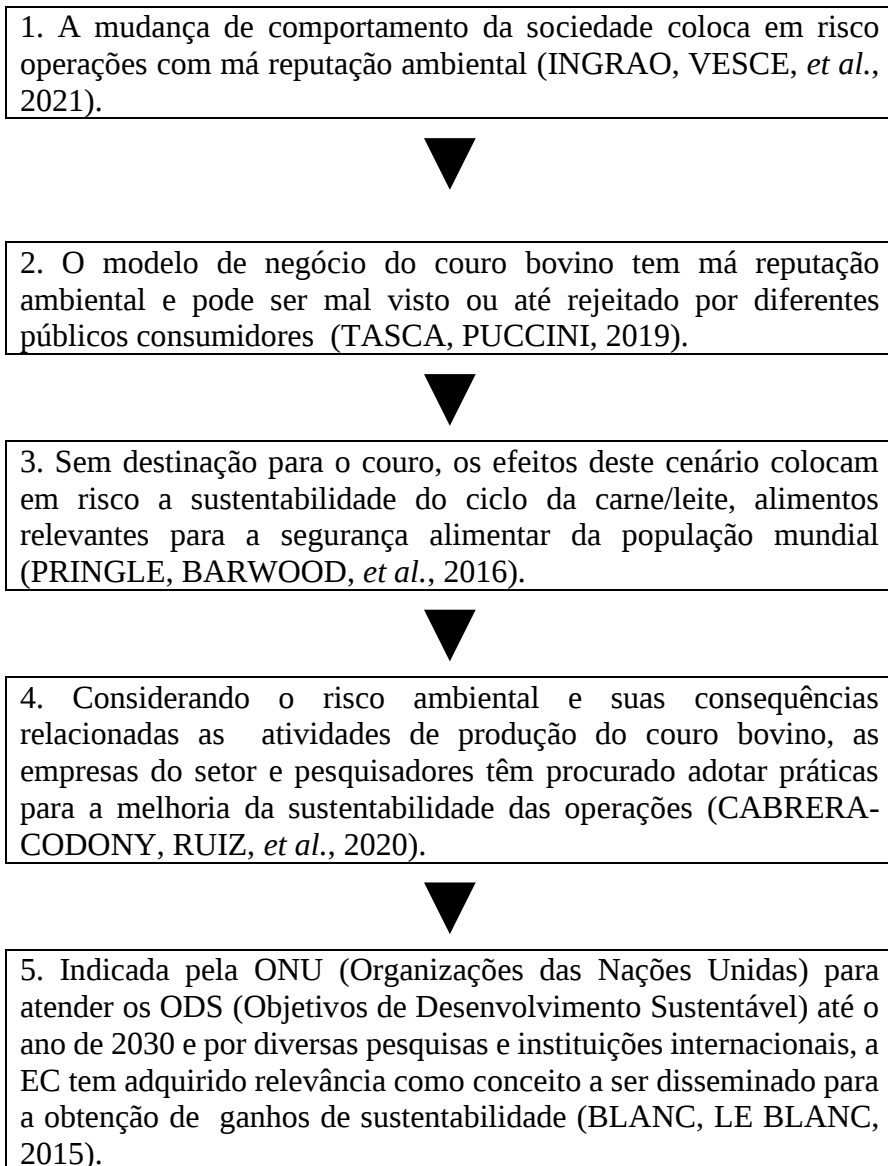
As empresas do setor coureiro, expostas aos novos cenários de preocupações ambientais da sociedade, correm o risco de serem banidas do mercado se não forem capazes de operar e comunicar operações sustentáveis. Além do contexto de má reputação ambiental associada a utilização de produtos químicos como o cromo, retratado em filmes famosos como Erin Brockovich: Uma Mulher de Talento, com a atriz Julia Roberts (MCNEILL, MCLEAN, 2012), o setor ainda tem a imagem associada aos prejuízos ambientais de operações irregulares da pecuária (INGRAO, VESCE, *et al.*, 2021). Assim, a continuidade das operações sustentáveis do setor dependerá da implementação de iniciativas para melhorias de desempenho ambiental,

utilizando abordagens como a EC, que apresenta maior capacidade de comunicação de metas e métricas, defendidas por órgãos intergovernamentais como a ONU e CE, que podem ser traduzidas em melhores reputações ambientais perante a sociedade (BLANC, LE BLANC, 2015).

### **1.3 Problema de pesquisa**

A figura 1 apresenta as premissas utilizadas para a contextualização deste trabalho culminando na dúvida desta pesquisa. A construção das premissas para identificar o problema da pesquisa utilizou os principais temas e tendências abordadas pelo estado da arte da literatura científica sobre a sustentabilidade do setor coureiro. Parte-se da premissa de que a mudança de comportamento de parcela da sociedade tem questionado a continuidade das operações com má reputação ambiental como a produção do couro bovino, que é considerada uma indústria “suja”. Sem a destinação da pele bovina para a geração de produtos como o couro, coloca-se em risco a sustentabilidade do ciclo de vida da carne/leite, necessário para a segurança alimentar da população. Neste cenário de incertezas quanto a continuidade das operações, organizações do setor e pesquisadores buscam práticas para ganhos de sustentabilidade. Por outro lado, a EC tem assumido uma posição de recomendação pela ONU para atendimento dos ODS até o ano de 2030, e também por diversos pesquisadores e instituições como a Fundação Ellen MacArthur (2014), espalhados pelo mundo para a obtenção de ganhos de sustentabilidade nos níveis micro, meso e macro (GHISELLINI, CIALANI, *et al.*, 2016).

Figura 1 - Premissas da contextualização e problematização da pesquisa



Fonte: produção do próprio autor

Diante do apresentado, esta tese apresenta o seguinte problema de pesquisa, a qual ainda requer maiores esclarecimentos:

*Como a EC pode contribuir para a sustentabilidade ambiental das operações de produção do couro bovino?*

#### 1.4 Objetivos da tese

Esta tese tem como objetivo geral identificar e analisar como a EC pode contribuir para a sustentabilidade das operações de produção do couro bovino. Esse objetivo geral pode ser desdobrado nos seguintes objetivos específicos:

1. Identificar na literatura práticas da EC que possam ser adotadas na produção e comercialização do couro.
2. Avaliar a percepção de grupos da sociedade sobre as iniciativas de EC a serem adotadas na produção e comercialização do couro.
3. Identificar e analisar resultados empíricos sobre como a adoção da EC pode contribuir com a produção do couro.
4. Propor um conjunto de melhores práticas de EC e que possam ser aplicadas em operações de produção do couro.

### **1.5 Estrutura da tese**

Visando responder à questão de pesquisa e atingir os seus objetivos, estruturou-se esta tese em cinco capítulos. A seguir explica-se sucintamente os objetivos de cada um destes capítulos.

#### ***1.5.1 Revisão geral da literatura***

O conteúdo posicionado no capítulo dois foi utilizado para dar suporte teórico a todos os cinco artigos que tem os seus resultados apresentados no capítulo três. A revisão da literatura baseou-se, inicialmente, nos princípios da EC e teve como objetivo apresentar os seus principais conceitos. Posteriormente, a revisão da literatura focou nas iniciativas específicas das pesquisas sobre o ciclo de vida de geração do couro. Finalmente, buscou-se relacionar princípios da EC com a produção e comercialização do couro. A fase final de levantamento e análise da literatura abordou os métodos vigentes de mensuração dos impactos ambientais para a produção e comercialização do couro, com o objetivo de traduzir iniciativas em métricas de impactos ao meio ambiente. Assim, buscou-se dar suporte às abordagens comparativas de ganhos de sustentabilidade entre os processos tradicionais e os resultados da implementação das iniciativas de EC.

#### ***1.5.2 Revisão de literatura sobre os requisitos das operações conforme princípios da EC - Artigo 1 (A1) e Artigo (A2)***

A revisão teórica inicialmente realizada teve o objetivo de identificar os conceitos de gestão de operações alinhadas aos princípios da EC. Nas operações lineares, caracterizadas pelo início na extração do recurso e término no descarte de resíduos, as organizações atuam principalmente nas fases “*gate-to-gate*” do ciclo de vida dos produtos e serviços. No contexto

circular, os limites de atuação da organização ou grupos transcendem a capacidade de processos e ferramentas tradicionais de gestão, por atuarem conjuntamente na identificação de novas destinações e fechamento dos ciclos de circulação de materiais e energia (VEGTER, HILLEGERSBERG, *et al.*, 2020). Os resultados dos dois artigos iniciais visaram atender ao primeiro objetivo específico e gerar conhecimento no tema para o atendimento aos demais. Os próximos parágrafos deste tópico explicam sucintamente os conteúdos destes dois primeiros artigos.

O acréscimo de um fluxo reverso de recirculação de material e energia acrescenta novas destinações e novos participantes ao cenário das operações, que questiona as abordagens de gestão e tecnologias tradicionais, utilizadas nos contextos lineares de produção (LECHNER, REIMANN, 2020). No mesmo sentido, a gestão de conhecimento e inovação, que até então vinham focando no desenvolvimento interno das organizações, conforme descrito em abordagens de inovação fechada, poderiam abrir oportunidades para o compartilhamento de conhecimento e coordenação de ações conjuntas de grupos de organizações com o objetivo de fechamento dos ciclos e estabelecimento de cadeias de suprimentos circulares, com abordagens mais associadas aos princípios das inovações abertas “*open innovation*” (BOGERS, CHESBROUGH, *et al.*, 2018, TSENG, BUI, 2017).

Neste sentido, métodos de viabilização de operações circulares foram pesquisados mediante revisões de literatura em manifestações combinadas com EC. Assim, temas como cadeia de suprimentos reversa (CSR), logística reversa (LR), indústria 4.0 (I4.0) e gestão de conhecimento (GC), considerados como necessários para o funcionamento dos princípios da EC (DEN HOLLANDER, BAKKER, *et al.*, 2017, JABBOUR, A. B. L. S., JABBOUR, *et al.*, 2018, THOBEN, WIESNER, *et al.*, 2017, VARRIALE, CAMMARANO, *et al.*, 2021, VEGTER, HILLEGERSBERG, *et al.*, 2020), foram pesquisados com a expectativa de que artigos científicos sobre EC citariam tais métodos como meios para a viabilização de suas implementações e pudessem resolver o problema de pesquisa.

### ***1.5.3 Revisão de literatura sobre iniciativas de EC no setor coureiro - Artigo 3 (A3)***

O trabalho teórico do terceiro artigo visou apresentar e analisar as contribuições da EC para o ciclo de vida do couro bovino. A partir de revisão sistemática e de conteúdo da literatura foi desenvolvido um “*framework*” que teve o objetivo de diagnosticar e acompanhar o progresso de operações que busquem migrar da EL em direção a maiores níveis de aderência aos princípios de EC. Assim, o conteúdo deste terceiro artigo visou, com base nos princípios da

EC, propor iniciativas às principais etapas de produção do ciclo de vida do couro bovino, as quais têm sido alvo de preocupações ambientais.

#### ***1.5.4 Consulta sobre a percepção de públicos-alvo para as iniciativas de EC no setor coureiro - Artigo 4 (A4)***

Ao longo da revisão teórica realizada e apresentada nos dois tópicos acima (1.5.2 e 1.5.3), notou-se que a sociedade neste período contemporâneo passa por um momento de reavaliação de valores, especialmente ao considerar também nos critérios de decisão de consumo os potenciais impactos ambientais do ciclo de vida daquilo que é oferecido (GONZALEZ-QUIJANO, ALBU, 2012). Diante disso, um número crescente de empresas tem buscado atender os princípios de EC para alcançar reduções de impactos ambientais e manter a viabilidade das atividades industriais de geração do couro (CABRERA-CODONY, RUIZ, *et al.*, 2020). Entretanto, os progressos em direção a operações mais sustentáveis serão considerados avanços se comunicados adequadamente à sociedade, transformando os dados técnicos do setor em conhecimento capaz de suportar mudanças de percepções das partes interessadas.

Considerando esse cenário, o quarto artigo buscou avaliar a percepção de dois grupos da sociedade: especialistas do setor coureiro e pesquisadores sobre o tema. A amostra obtida nesta pesquisa foi de 21 participantes distribuídos pelos seguintes países: Vietnã, Itália, Brasil, Índia, EUA, China, Bélgica, Grécia, Alemanha e Colômbia. Os resultados deste trabalho possibilitaram analisar os níveis de concordâncias sobre a sustentabilidade das iniciativas de EC no setor coureiro, analisando os resultados internos e comparativos entre os dois grupos, de forma a se avaliar o *framework* previamente construído e apresentado no artigo três.

#### ***1.5.5 Estudo de caso sobre iniciativas de EC no setor coureiro - Artigo 5 (A5)***

O último artigo desta tese buscou apresentar um estudo de caso de uma operação caracterizada por grande amplitude de processos horizontais e verticais associados ao ciclo de vida do couro, na maior empresa em operação do setor no mundo e de relevância internacional nos segmentos de alimentos e seus co/subprodutos. A escolha deste caso é justificada pela quantidade e relevância das iniciativas de EC implementadas ao longo do ciclo de vida do modelo de operação estudado. Inicialmente houve a análise dos dados de desempenho ambiental das iniciativas de EC da empresa com visitas *in loco* em duas plantas em diferentes países e entrevistas com os especialistas das operações de P&D na Itália. Este estudo de caso

possibilitou análises comparativas entre processos tradicionais e iniciativas de EC de um ciclo completo de geração do couro, desde as operações próximas aos frigoríficos no Brasil e atividades de acabamento na Itália.

#### ***1.5.6 Discussões***

Após a apresentação dos artigos e resultados desta tese, integrou-se e discutiu-se os achados apresentados anteriormente, assim como utilizou-se estes resultados para propor um conjunto de melhores práticas para serem utilizadas em empresas produtoras de couro bovino. Sendo esta, uma das principais contribuições originais desta tese.

#### ***1.5.7 Conclusões***

Por fim, após a apresentação do capítulo de discussões, o último capítulo apresenta as principais conclusões desta tese, bem com as suas respectivas implicações, limitações e oportunidades de pesquisas futuras.

## 2. REVISÃO TEÓRICA GERAL

Este capítulo de revisão teórica geral tem a função de concentrar os conceitos utilizados no desenvolvimento desta tese. Assim, o desenvolvimento dos artigos apresentados posteriormente baseou-se nos conceitos aqui apresentados. Inicialmente, os conceitos de EC são apresentados como abordagem capaz de implementar e comunicar ganhos de sustentabilidade ambiental. Posteriormente, são apresentadas as modificações que as iniciativas da EC oferecem à gestão das operações. Finalmente, os conceitos seguintes descrevem as operações de produção do couro bovino, destacando as preocupações com os aspectos ambientais e métricas associadas, seguindo como referência padrões estabelecidos por regulações do setor.

### 2.1 Economia circular

As primeiras manifestações sobre o conceito de EC são provenientes dos trabalhos de Boulding em 1966, que defendiam uma esfera fechada para a atividade humana, entendendo a circularidade como um pré-requisito para a manutenção da vida na Terra (BOULDING E., 1966). Pearce e Turner (1990) também abordaram o conceito de EC, destacando que as economias tradicionais se desenvolveram longe da ideia de reciclagem ou circularidade de seus produtos, de tal forma que o meio ambiente tenha sido tratado como um reservatório de resíduos. A abordagem da EC se desenvolveu a partir do movimento da ecologia industrial e da simbiose industrial, ganhando notoriedade, em termos de taxonomia, a partir do relatório *“Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains”*, elaborado em conjunto com a Fundação Ellen MacArthur (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, MCKINSEY & COMPANY, 2014), no Fórum Econômico Mundial em 2014.

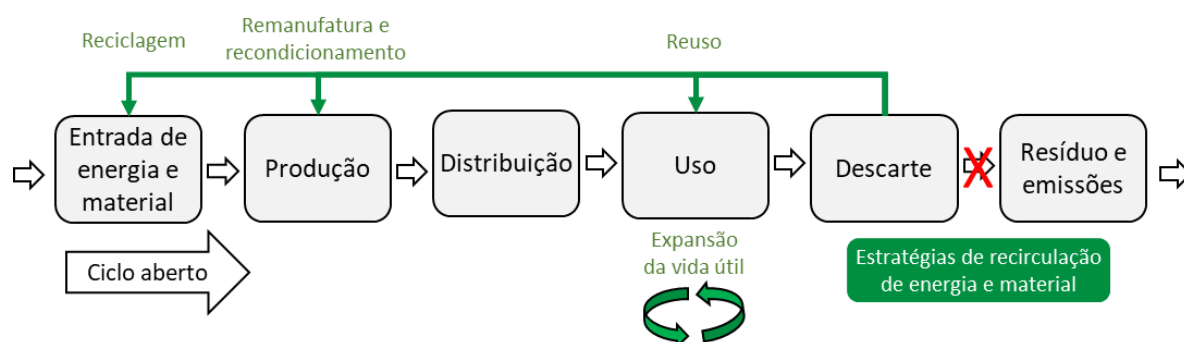
A consolidação do conceito de EC descreve um conjunto de atividades econômicas que geram e recuperam valores de produtos, processos e serviços, mantidos por longo prazo e para todas as partes envolvidas do sistema econômico (JABBOUR, C. J. C., JABBOUR, *et al.*, 2019). Assim, a EC busca recuperar recursos ao invés de novas extrações de matérias primas, visando minimizar ou eliminar insumos de fontes fósseis ou não renováveis, maximizando o reaproveitamento desses materiais dentro de um sistema fechado de circulação (BARROS, SALVADOR, *et al.*, 2020).

As Organizações das Nações Unidas (ONU) adotaram em 2015 um grupo de 17 metas globais interligadas de objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS). Chamada de Agenda 2030, esta resolução da ONU apresentou, na sua primeira versão, objetivos amplos e

interdependentes, que foram revisados em 2017 para o estabelecimento de metas específicas para cada objetivo e associadas a indicadores de acompanhamento. Apontada como estratégia para o atendimento dos ODS, a EC apresenta princípios que transcendem a visão linear tradicional de utilização infinita dos recursos e propõe a circularidade de materiais e energia que promovam ganhos de sustentabilidade nas operações das organizações (DISSANAYAKE, WEERASINGHE, 2022, LE BLANC, 2015).

Os princípios da EC tem provocado uma modificação da visão de ciclo aberto da EL, para circulação fechada de materiais e energia (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, MCKINSEY & COMPANY, 2014). As mudanças necessárias para as adaptações aos modelos circulares organizam novos conceitos nos métodos de desenvolvimento de produtos e serviços. A abordagem de descarte ao término de vida útil do produto é substituída por estratégias que garantam maior longevidade de utilização e criação de uma cadeia de suprimentos reversa, capaz de dar circularidade às saídas do sistema, rumo a redução de utilização de insumos e eliminação de geração de resíduos (DEN HOLLANDER, BAKKER, *et al.*, 2017) (Figura 2).

Figura 2 - Modificação da visão de ciclo aberto para circulação fechada



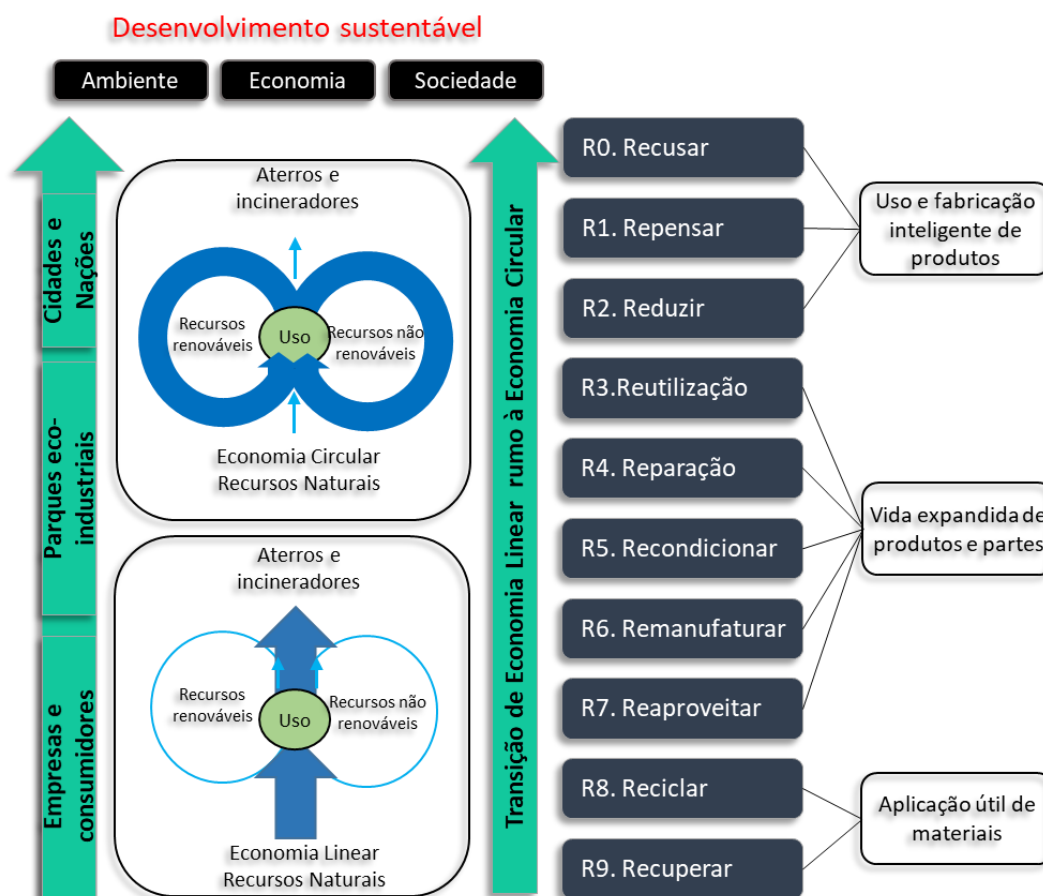
Fonte: Adaptado de ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; MCKINSEY & COMPANY, 2014

Modificando os princípios da visão linear da economia, que monitora a sequência unidirecional, a EC oferece uma abordagem de fluxo rotativo de produtos, processos e serviços que tenham origem na natureza e que, após a prolongação máxima da sua vida útil, voltem à natureza com o menor impacto negativo possível ao meio ambiente. Neste sentido, o diferencial da EC frente à visão linear está no fato de apresentar a visão sistêmica intencional e integrada de restauração dos recursos físicos e regeneração das funções dos sistemas naturais, trazendo oportunidades de desenvolvimento sustentável aos meios produtivos (GEISENDORF, PIETRULLA, 2018, GEISSDOERFER, SAVAGET, *et al.*, 2017).

Uma definição ampla que representa os conceitos da EC defende a substituição da visão de ‘fim de vida’ por alternativas que retornem os materiais aos processos de produção, distribuição e consumo, assumindo um comportamento de cadeia de suprimentos de ciclo fechado. Estes conceitos podem atuar em níveis diferentes, iniciando no nível micro de produtos, empresas e consumidores, ser expandido para o nível intermediário de ambientes eco-industriais e alcançar o nível macro de cidades e nações, com o objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável das gerações atuais e futuras (KIRCHHERR, REIKE, *et al.*, 2017).

Potting et al. (2017) apresentam uma escala de transição da EL em direção à economia circular. A escala varia do R9 até R0 que indicam os movimentos de circularidade associados às fases evolutivas de implementação de ciclos fechados de cadeia de suprimentos. O sentido evolutivo parte de ações básicas de recuperação de energia e alcançam a capacidade de impedir o uso de materiais, através do abandono da sua função por opções mais inteligentes ou oferecendo a mesma função com um produto radicalmente diferente (Figura 3).

Figura 3 - Escala de transição da Economia Linear rumo à Economia Circular



Fonte: Adaptado de KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017; POTTING et al., 2017

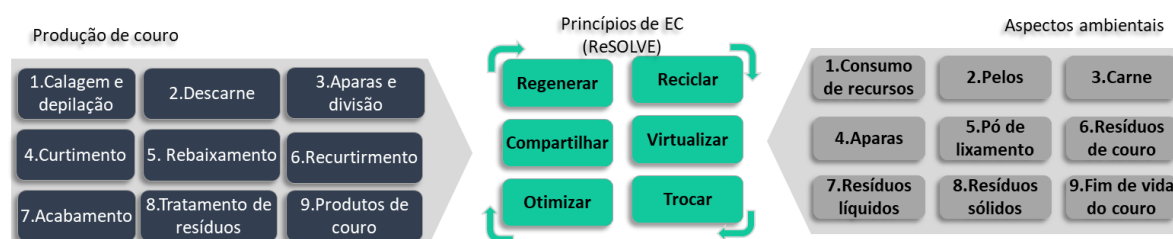
Outro modelo para a adoção da EC e amplamente difundido é a abordagem “ReSOLVE”, proposta pela fundação Ellen MacArthur Foundation (Ellen MacArthur Foundation, 2015) e amplamente utilizadas por pesquisas em EC (JABBOUR, Charbel Jose Chiappetta, SARKIS, *et al.*, 2019, KOUHIZADEH, ZHU, *et al.*, 2020, MASTOS, NIZAMIS, *et al.*, 2021), a qual propõe seis ações para a adoção de EC, são elas: regenerar (**regenerate**), compartilhar (**share**), otimizar (**optimize**), reciclar (**loop**), virtualizar (**virtualize**) e trocar (**exchange**).

- Regenerar (**Regenerate**): implica na mudança em direção à energia e materiais renováveis, regeneração de ecossistemas ou devolução de recursos biológicos recuperados à biosfera;
- Compartilhar (**Share**): compartilhamento de ativos, reuso de produtos em mercados secundários ou prolongamento do ciclo de vida do produto;

- Otimizar (*Optimize*): aumento da eficiência de um produto, remoção de desperdícios nas cadeias produtivas e de suprimentos ou potencializar por meio de big data, automação e sensoramento;
- Reciclar (*Loop*): remanufatura de produtos ou componentes, reciclar materiais, usar digestão anaeróbia ou extração de bioquímicos de resíduos orgânicos;
- Virtualizar (*Virtualize*): desmaterialização direta ou indireta de produtos;
- Trocar (*Exchange*): substituir materiais não renováveis antigos por outros mais avançados, aplicar novas tecnologias em processos tradicionais ou transformar produtos/processos/serviços.

A abordagem *ReSOLVE* pode contribuir com a criação de valor e diminuição de impactos ambientais também na cadeia produtiva do couro bovino (Figura 4). A posição central dos princípios da EC pode suscitar alterações nas etapas do processo produtivo com potenciais impactos ambientais negativos, reduzindo e/ou modificando os resíduos (considerados materiais), os quais podem se tornar insumos dentro do próprio ciclo de processamento do couro ou de outro produto.

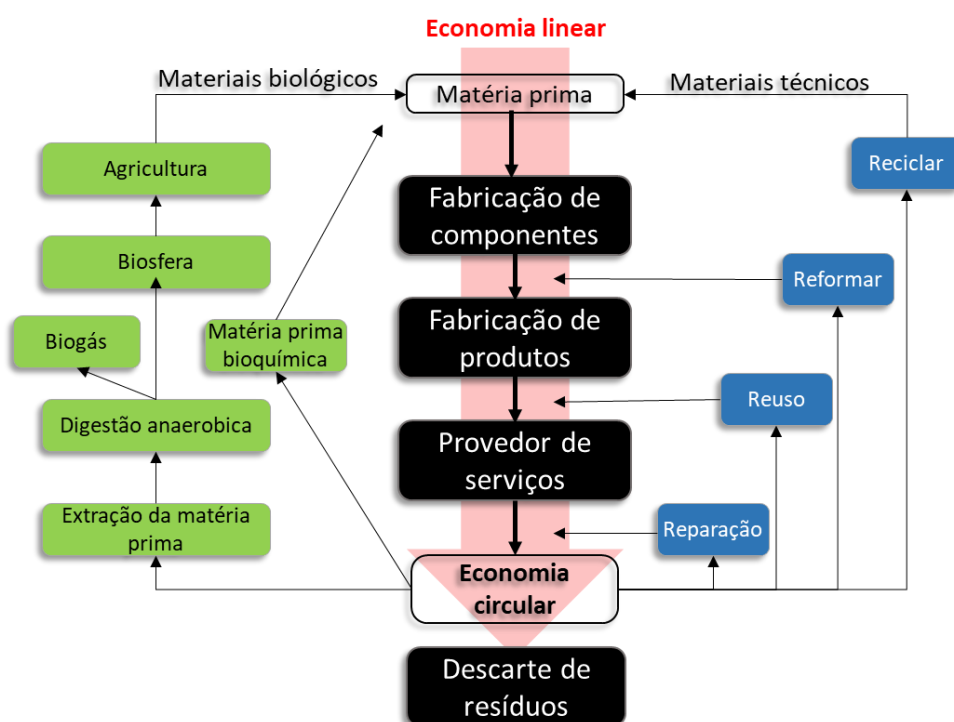
Figura 4 - Os princípios da EC no repensamento das etapas de processamento do couro bovino



Fonte: Adaptado de DE MARCHI; DI MARIA, 2019; RIVELA et al., 2004

A aplicação dos princípios da EC possui potencial para contribuir com três dimensões do desenvolvimento sustentável: social, ambiental e econômica, migrando da abordagem linear para circular, amplificando a sua área de atuação (KIRCHHERR, REIKE, *et al.*, 2017). A figura 5 apresenta a visão do ciclo unidirecional da EL sendo modificada pela inclusão dos princípios da EC, que visam a redução da extração de novos recursos e eliminação dos descartes dos resíduos por meio do fechamento dos ciclos de circulação de materiais e energia (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, MCKINSEY & COMPANY, *et al.*, 2014).

Figura 5 - Diferenças entre os ciclos técnicos e biológicos considerando a economia linear e circular



Fonte: Adaptado de ELLEN MACARTHUR FOUNDATION et al., 2014;  
KIRCHHERR; REIKE; HEKKERT, 2017

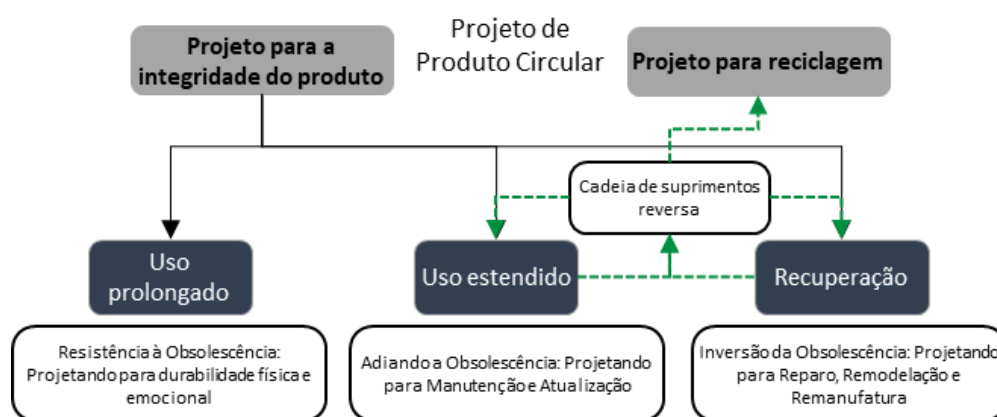
Mitigando a destinação de descarte de resíduos, os princípios da EC atuam no sentido inverso da EL com a circularidade de materiais biológicos e técnicos. As destinações de fim de vida útil de equipamentos seguem o ciclo de circulação técnica, com princípios de EC para recuperação e extensão do período de uso dos produtos, alcançando até as fases iniciais dos processos, que podem utilizar materiais reciclados como matéria-prima (DEN HOLLANDER, BAKKER, *et al.*, 2017). No mesmo sentido, as novas destinações de materiais biológicos seguem no sentido inverso da cadeia de suprimentos para ações de recuperação de energia e opção de matéria-prima para novos produtos (KILIÇ, Eylem, TARRÉS, *et al.*, 2020, VELUSAMY, CHAKALI, *et al.*, 2020).

## 2.2 Gestão de operações e a economia circular

As iniciativas do desenvolvimento de produto conforme os pressupostos do *ecodesign* promoveram muitos avanços nos movimentos ambientais, priorizando o gerenciamento de resíduos com foco na prevenção e reaproveitamento (ARANDA-USÓN, PORTILLO-

TARRAGONA, *et al.*, 2020). Modificando o foco de atuação, o desenvolvimento de produto conforme as iniciativas de EC assume o pressuposto que diferentemente do ecodesign o resíduo deveria, sob o ponto de vista teórico, deixar de existir, imitando um sistema de ciclo fechado, no qual os recursos que entram devem permanecer contabilizados em todos os momentos da vida útil do produto. O desenvolvimento do produto conforme os princípios da EC abrangem tanto a integridade do produto (destinado a prevenir e reverter a obsolescência a um nível de produto e componente) quanto o *design* para a reciclagem (destinado a prevenir e reverter a obsolescência) (DEN HOLLANDER, BAKKER, *et al.*, 2017) (Figura 6).

Figura 6 - Abordagens de desenvolvimento para produtos circulares



Fonte: Adaptado de DEN HOLLANDER; BAKKER; HULTINK, 2017

A revisão dos princípios envolvidos no desenvolvimento de produtos circulares transcendem aos atributos de funcionamento básico, presentes no produto final e acrescentam capacidades que promovam maior tempo de uso e movimentos sistêmicos de materiais e energia na cadeia expandida de suprimentos para garantir o fechamento dos ciclos e a eliminação de geração de resíduos (JABBOUR, A. B. L. S., ROJAS LUIZ, *et al.*, 2019). Antes, os produtos eram aceitos quando entregavam basicamente a finalidade esperada durante a sua utilização; nas expectativas atuais da sociedade, o produto precisa atender a expectativa de uso prolongado/estendido e capaz de ser reparado ou atualizado, adiando as trocas por obsolescência, conforme observado no mercado de produtos eletrônicos, como os *smartphones* que são reparados e atualizados durante o uso.

Nas operações lineares tradicionais, a empresa considera um contexto menor de atuação, delimitado principalmente no ciclo *gate-to-gate*, iniciando nas entradas dos insumos e terminando na entrega do produto para os clientes, atuando com elevada independência dos

seus fornecedores e clientes (VOGT DUBERG, JOHANSSON, SUNDIN, KURILOVA-PALISAITIENE, *et al.*, 2020). Assim, a migração de uma operação linear para a circular pode impactar a concepção do produto e o modo de gestão da produção das empresas (DEN HOLLANDER, BAKKER, *et al.*, 2017).

As estratégias para a gestão da produção necessitam perceber as pressões e transformações em andamento nas áreas de desenvolvimento de produtos circulares. Os novos requisitos de sustentabilidade exigidos aos produtos com atributos de circularidade necessitam do suporte das atividades de gestão da produção (SUTHERLAND, SKERLOS, *et al.*, 2020). Antes delimitadas às áreas internas da empresa, a produção expande os contornos de atuação acrescentando as operações da produção as novas capacidades de extensão de uso e recuperação de material e energia (VOGT DUBERG, JOHANSSON, SUNDIN, KURILOVA-PALISAITIENE, 2020). A visão linear de ciclo aberto permitia um contexto menor de atuação com a descontinuidade da rastreabilidade além dos limites da cadeia de suprimentos. O alinhamento aos princípios de EC pressupõe a ausência de resíduos e todos os materiais e energia pertencem um ciclo fechado onde a cadeia de suprimento atua coordenadamente na circularidade de materiais biológicos e técnicos (HERCZEG, AKKERMAN, *et al.*, 2018).

A adoção de iniciativas de EC apresenta comportamento progressivo que pode ser medido conforme as atividades de implementação assumem estágios mais efetivos/eficazes de redução de geração de resíduos. A figura 7, proposta por Aranda-Usón et al. (2020), apresenta 4 níveis de atividades relacionadas aos princípios de EC. Os estágios iniciais de adoção das práticas estão relacionados a recuperação de energia de materiais através de atividades como reciclagem e tratamento de resíduos. Os estágios mais avançados acompanham atividades coordenadas de simbiose industrial, nos quais os materiais seguem em loop fechado entre os participantes com redução efetiva de geração de resíduos (ARANDA-USÓN, PORTILLO-TARRAGONA, *et al.*, 2020).

Figura 7 - Adoção progressiva da Economia Circular



Fonte: adaptado de Aranda-Usón *et al.* (2020)

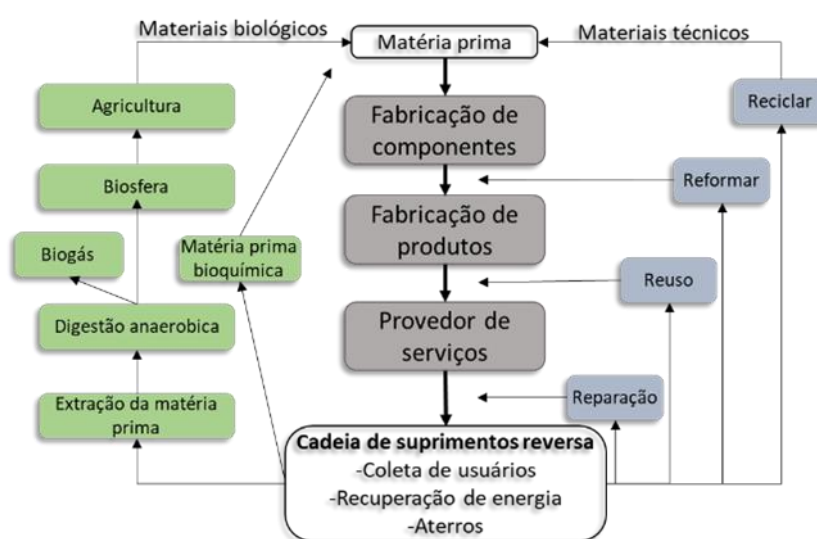
A evolução das ações de implementação dos princípios da EC na gestão das operações cria a necessidade de adaptação da cadeia de suprimentos participante. Os estágios iniciais de implementação dos princípios da EC ainda preservam relevante independência de atuação nas ações de reciclagem e tratamento de resíduos. Entretanto, os estágios avançados de implementação dependem, na maioria dos casos, da existência da cooperação e coordenação dos participantes da cadeia de suprimentos nas ações de destinação de potenciais resíduos em novas oportunidades de produção, buscando o fechamento dos ciclos de circulação de materiais e energia.

As operações das cadeias de suprimentos de produtos influenciam o equilíbrio evolutivo das dimensões econômicas, sociais e ambientais do desenvolvimento sustentável, buscando atender necessidades do presente e criando consequências para gerações futuras (KIRCHHERR, REIKE, *et al.*, 2017). Cadeias de suprimentos que atuam em ciclo aberto, baseado na extração, produção, consumo e descarte apresentam o comportamento de EL

(SAUVÉ, BERNARD, *et al.*, 2016). Assim, o contexto abordado pela EL tradicional tende a não considerar os resíduos gerados como materiais a serem utilizados em novos ciclos e o desenvolvimento de produtos ocorre às custas da produtividade dos ecossistemas naturais (KARUPPIAH, SANKARANARAYANAN, *et al.*, 2021, MICHELINI, MORAES, *et al.*, 2017).

As transformações geradas pelos princípios de EC, modificando as ações lineares de atuação para movimentos circulares, tendem a promover a criação de novos cenários de atuação das cadeias de suprimentos. Afinal, a adoção dos conceitos circulares pode impor aos participantes da cadeia de suprimentos a atuação no desenvolvimento de produtos e produções alinhados aos princípios da EC, buscando expandir a vida útil dos produtos com ações de manutenção, desmontagens e identificação de novas destinações para partes e materiais de produtos usados (VEGTER, HILLEGERSBERG, *et al.*, 2020). A viabilização dos princípios da EC depende da existência de práticas sustentáveis na cadeia de suprimentos reversa, que integre várias empresas nos fechamentos dos ciclos técnicos e biológicos, por meio do gerenciamento de produtos projetados para gerar coprodutos, subprodutos e serem atualizados/reparados para expansões de vida útil a partir da identificação de possíveis fornecedores e clientes, capazes de mitigar descarte de resíduos e novas extrações de matéria prima do meio ambiente (TSILYANNIS, 2020) (Figura 8).

Figura 8 - Sistema restaurador de materiais biológicos e técnicos



Fonte: Adaptado de ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; MCKINSEY & COMPANY, 2014

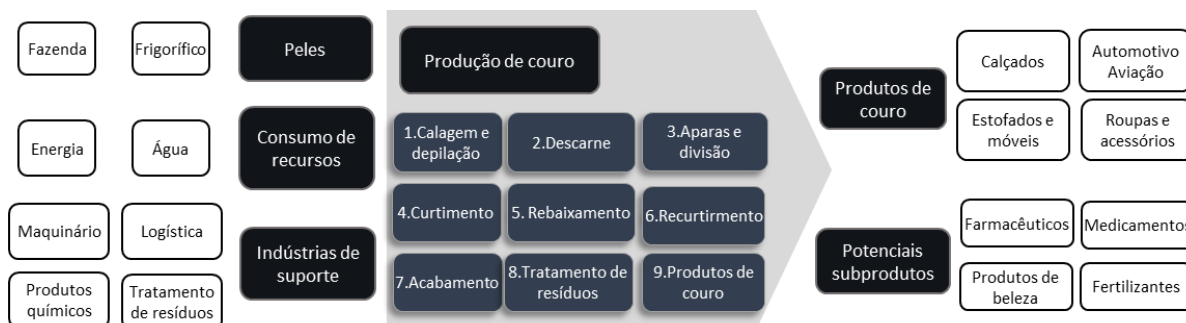
O contexto de operação circular de uma cadeia de suprimentos em ciclo fechado assume a premissa da existência de práticas sustentáveis nas ações coordenadas entre as empresas participantes (HERCZEG, AKKERMAN, *et al.*, 2018). As práticas que viabilizam o funcionamento dos princípios da EC devem garantir uma comunicação efetiva entre as partes interessadas da operação circular (JABBOUR, A. B. L. S., JABBOUR, *et al.*, 2018). As informações trocadas garantem a identificação de matérias-primas de fontes renováveis e novas destinações para resíduos, que poderiam ser descartados (LOIZIA, VOUKKALI, *et al.*, 2021). Parte importante das operações sustentáveis, a sociedade atua por meio de regulações e padrões de consumo que influenciam as decisões e estratégias das organizações, que consideram os princípios da EC como meio de conseguir melhores desempenhos ambientais (RODRIGUEZ-ANTON, RUBIO-ANDRADA, *et al.*, 2019).

### **2.3 A cadeia de valor do processo produtivo do couro bovino**

O modelo de negócio de subsistência e artesanal do passado deu lugar a uma estrutura mundial de circulação de produtos, processos e serviços vinculados a produção do couro (VELUSAMY, CHAKALI, *et al.*, 2020). O setor assumiu posição de destaque na balança comercial dos países produtores e oportunidades de geração de benefícios sociais, mas os volumes de produção, necessidade de recursos e geração de resíduos geram grandes preocupações ambientais (GIANNETTI, AGOSTINHO, *et al.*, 2015, TASCA, PUCCINI, 2019).

A produção do couro faz parte de uma cadeia de suprimentos que envolve diversos negócios, tais como fazendas, frigoríficos, indústrias químicas e indústrias de confecção de produtos de couro. Os elos desta cadeia tendem a funcionar de forma sincronizada e cronometrada assim que um animal da indústria da carne é abatido (DE MARCHI, DI MARIA, 2019). A figura 9 ilustra o funcionamento da cadeia de valor da indústria do couro, destacando as partes interessadas como as fazendas, frigoríficos e indústrias de suporte, as quais participam diretamente na criação de valor da produção do couro.

Figura 9 - Cadeia de valor do couro



Fonte: Adaptado de DE MARCHI; DI MARIA, 2019; RIVELA et al., 2004

Os clientes do couro finalizado são formados por uma cadeia de confecção de artigos que oferecem grande variedade de mercadorias. Os produtos mais conhecidos que preservam o aspecto físico do couro são matérias-primas para as indústrias de calçados, vestuário, mobília e assentos para veículos (LAURENTI, REDWOOD, *et al.*, 2017). A parte menos visível, que são os subprodutos gerados pelo processo produtivo, têm potencial aplicação em diversos tipos de indústrias, como o colágeno que pode ser utilizado pela indústria alimentícia e farmacêutica, o sebo que é opção para a produção de produtos de higiene e biocombustível (ALTUN, LAPUERTA, 2014, CRUDU, DEACONU, *et al.*, 2019, DE MARCHI, DI MARIA, 2019) e os resíduos industriais podem ser utilizados como fonte de nitrogênio e cromo em fertilizantes (BAVARESCO, FINK, *et al.*, 2019).

Tradicionalmente o processo produtivo do couro pode ser dividido em três etapas principais, conhecidas por ribeira, curtimento e acabamento (TSOTSOS, 1986). Sendo que estas podem ser desdobradas em diversas etapas, tais como: ribeira (*beamhouse*), operações mecânicas pré-curtimento, curtimento/recurtimento (*tanning*), operações mecânicas pós-curtimento, e por último o acabamento (Kılıç et al., 2018). Como há diversas etapas importantes, aqui será apresentado nove principais etapas destacadas por diversos autores (DE MARCHI, DI MARIA, 2019, JOSEPH, NITHYA, 2009, KILIÇ, E., PUIG, *et al.*, 2018, RIVELA, MOREIRA, *et al.*, 2004) e apresentados no quadro 1.

Quadro 1 - Etapas ligadas ao processo produtivo do couro bovino

| Etapas                                    | Descrição                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. <i>Liming and Unharing</i> : calagem e | Atividades realizadas na área de ribeira ( <i>beamhouse</i> ), com destaque para as tarefas de depilação ( <i>unhairing</i> ) e calagem ( <i>liming</i> ) que preparam a estrutura proteica (colágeno) da pele para reagir aos produtos químicos |

| Etapas                                                                            | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| depilação.                                                                        | aplicados no curtimento e no acabamento. Nesta etapa, geralmente utiliza-se produtos químicos como o sulfeto de sódio para a remoção dos pelos e a cal, que incha a estrutura proteica para reagir com os produtos químicos de curtimento.                                                                                                                                                                                                          |
| 2. <i>Flesh removal</i> : descarne.                                               | As atividades desta etapa têm como função a limpeza das peles, eliminando as partes que não irão compor o couro. Nesta fase acontece a remoção do tecido conjuntivo e os resíduos de carne, através da atividade chamada de descarne. Atualmente, rolos raspadores rotativos executam a extração do material, substituindo as ferramentas manuais do passado.                                                                                       |
| 3. <i>Trimming and Splitting</i> : remoção de aparas e separação da flor e raspa. | Remoção das aparas periféricas e a separação da flor ( <i>grain side</i> - superfície externa) e raspa ( <i>fresh side</i> - superfície interna) da pele. A externa é a parte mais nobre, chamada de flor ( <i>grain, smooth</i> ou napa), será a origem do couro. A interna é denominada raspa ( <i>split ou sued</i> ) e pode ser vendida como subproduto ou seguir para o processo de tratamento para a produção de aplicações secundárias.      |
| 4. <i>Tannig</i> : curtimento.                                                    | Conjunto de atividades que transformam as peles pré-tratadas na ribeira em materiais estáveis e imputrescíveis. No início desta etapa, executa-se a preparação chamada de Píquel, que trata as peles para uma fácil penetração dos agentes curtentes. Embora existam opções de curtimento vegetal e sintético, o mineral a base de cromo ainda é o principal método, devido ao tempo menor de processamento e qualidade alcançada no produto final. |
| 5. <i>Shaving</i> : rebaixadeira.                                                 | Atividade que garante o controle da espessura, proporcionando a uniformidade dimensional das peles.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 6. <i>Retanning</i> : recurtimento.                                               | A segunda fase de curtimento garante as especificações de maciez, densidade e pigmentação exigidas para o produto. Fazem parte desta etapa as atividades de recurtimento, tingimento e engraxe.                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 7. <i>Finishing</i> : acabamento.                                                 | Nesta etapa, o couro é ajustado para atender as especificações finais de cor, textura, maciez e proteção. No entanto, nem todas as etapas são aplicadas ao produto. A finalidade de destinação determina a quantidade                                                                                                                                                                                                                               |

| Etapas                                                                        | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                               | e sequência das tarefas de acabamento.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 8. <i>Waste treatment</i> : estação de tratamento de resíduos.                | Regulações ambientais demandam dos curtumes a criação de estações de tratamento de resíduos visando a minimização dos impactos ambientais negativos e o atendimento à legislação vigente. A ação das etapas de tratamento, quando realizadas conforme os padrões normatizados de funcionamento, para efluentes líquidos, visa a redução ao máximo da carga poluidora, de forma que possam ser dispostos adequadamente, sem prejuízo ao meio ambiente, e para os resíduos sólidos, a destinação final ambientalmente adequada, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e a minimizar os impactos ambientais adversos. |
| 9. <i>Leather products and by-products</i> : produtos e subprodutos de couro. | Parte do ciclo de vida que descreve as atividades de utilização do couro para confeccionar uma grande variedade de produtos e os subprodutos gerados pelo processo produtivo. Nesta etapa, ocorrem também as abordagens para o final de vida útil, com tratativas de descarte e reaproveitamento do couro.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

Ao longo de sua longa existência, as práticas de tratamento da pele bovina passaram por evoluções que capacitaram às operações processarem os atuais volumes de produção dos frigoríficos e avançar em métodos com melhores desempenhos ambientais (LAURENTI, REDWOOD, *et al.*, 2017). Os movimentos em direção à maior sustentabilidade das operações contaram com contribuições de vários setores que participam das etapas da produção do couro. Os processos atuais são conduzidos utilizando padrões de regulação, ferramentas industriais com elevado nível tecnológico, rastreabilidade do ciclo de vida e transparência de aspectos ambientais (BACARDIT, COMBALIA, *et al.*, 2020, DADDI, T., CEGLIA, *et al.*, 2019).

Comum à maioria dos curtumes em operação, as etapas apresentadas na figura 10 ilustram as principais atividades da produção do couro, fornecedores e clientes. Mesmo considerando as evoluções tecnológicas implementadas ao longo da existência deste modelo de produção, os processos atuais mantêm, em sua grande maioria, a utilização de produtos como o sal para a conservação das peles, sulfeto para a depilação e cromo como agente de curtimento. Os insumos utilizados são difíceis de serem substituídos, devido à alta eficiência e baixo custo, sendo as maiores fontes de preocupações ambientais (DE MARCHI, DI MARIA, 2019, KILIÇ,

Eylem, TARRÉS, *et al.*, 2020, VELUSAMY, CHAKALI, *et al.*, 2020).

Figura 10 - Etapas da produção do couro bovino



Fonte: Adaptado de DE MARCHI; DI MARIA, 2019

Conforme apresentado na figura 10, a produção do couro é considerada uma coprodução do ciclo de vida da carne/leite, com origem na agricultura das fazendas de gado, que são fornecedoras dos frigoríficos, os quais dependem do funcionamento dos curtumes para o processamento das peles bovinas (CABRERA-CODONY, RUIZ, *et al.*, 2020). Outra entrada relevante da produção está relacionada às atividades de suporte de indústrias como os fornecedores de máquinas e produtos químicos, sendo este último foco de grande preocupação ambiental, devido aos volumes consumidos por unidade de fabricação (INGRAO, VESCE, *et al.*, 2021).

A principal saída do processamento das peles bovinas é o couro, sendo um material tradicional, que pelo conjunto de atributos como resistência, conforto e beleza, possui grande interesse comercial na confecção de produtos como calçados, roupas, moveis e veículos (MEYER, DIETRICH, *et al.*, 2021). A geração de coprodutos e subprodutos durante o processamento das peles assume posição de destaque nas iniciativas para maiores desempenhos ambientais, evitando que materiais como o sebo, pelos e aparas não curtidas sejam aproveitados em novos ciclos de vida, associados a biocombustível e higiene, deixando de serem direcionados para descarte no meio ambiente (DE MARCHI, DI MARIA, 2019).

Considerando uma visão geral da cadeia de valor, o processamento das peles bovinas para a fabricação do couro tem como insumos principais a água, sal, sulfeto e cromo (TASCA,

PUCCINI, 2019), que quando não reaproveitados durante os processos de fabricação, estarão presentes no descarte de resíduos, junto com a perda de possíveis oportunidades de geração de coprodutos e subprodutos a partir da pele bovina, separados durante as etapas de produção para a geração do couro (ALTUN, RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, 2016). Mesmo quando iniciativas em direção a operações mais sustentáveis, que reduzem o consumo de insumos e/ou geram mais co/subprodutos, são implementadas por meio de abordagens de princípios como os defendidos pela EC, as comunicações dos benefícios demandam métricas comparativas que avaliam quantitativamente os desempenhos ambientais de processos tradicionais frente às novas propostas de processamento das peles.

## 2.4 Normas ISO 14040 e PEF de LCA

Embora sejam desenvolvidas por organizações diferentes e apresentem algumas diferenças na abordagem e no foco de análise, ambas as normas, ISO 14040 de ciclo de vida (ACV) ou *Life Cycle Assessment (LCA)* e as normas PEF (*Product Environment Footprint*), compartilham o objetivo comum e complementar de promover a sustentabilidade e a transparência na avaliação dos impactos ambientais dos produtos, processos e serviços. O uso dessas normas auxilia as organizações a identificar oportunidades para a melhoria de desempenho ambiental, reduzindo os impactos ao meio ambiente ao longo do ciclo de vida do produto por meio de decisões suportadas por métricas que traduzem ganhos de sustentabilidade.

O estudo realizado pela Coca Cola nos Estados Unidos em 1965 é apontado como origem da metodologia das avaliações de *LCA* (EPA, 2008). O método avalia os potenciais impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto ou serviço, incluindo processos de fornecedores a montante e a consideração das fases de uso e descarte a jusante. Essa avaliação visa cobrir todos os insumos e impactos relevantes para o meio ambiente, bem como as emissões para o ar, água e solo.

A organização internacional de padronização (ISO) fornece as diretrizes e requisitos para a realização de uma *LCA* (ISO 14040, 2006). Esse método avalia os impactos ambientais, seguindo uma abordagem de análise de quatro estágios (DADDI, T., NUCCI, *et al.*, 2017, KILIÇ, E., PUIG, *et al.*, 2018, MERLI, PREZIOSI, *et al.*, 2018):

- Definição dos objetivos e escopo: determinação das fronteiras do estudo, critérios, regras, categorias a serem consideradas.
- Análise de inventário: coleta dos dados, representadas pelos fluxos de massa e energia que entram e que saem das diversas etapas do ciclo de vida do produto.

- Avaliação dos impactos: conversão dos fluxos em unidades equivalentes de impactos ambientais.
- Interpretação: checagem da integridade, sensibilidade, consistência, conclusões, limitações e recomendações.

Tendo como principal objetivo possibilitar a padronização das análises e permitir comparações entre produtos da mesma categoria, mediante a adoção de métodos comuns de medição e comunicação de desempenho ambiental de produtos e serviços, a União Europeia publicou em 2013 um comunicado para a construção de um único mercado verde, guiado por métricas de *PEF* (EUROPEAN COMMISSION, 2013a) e a recomendação para a utilização de métodos de análise de ciclo de vida (EUROPEAN COMMISSION, 2013b). A busca da comparabilidade da análise de produtos similares recebeu o suporte da criação de regras específicas para certas categorias de produtos *PEFCRs* (*Product Environment Footprint Category Rules*) (EUROPEAN COMMISSION, 2018b). As *PEFCRs* são regras específicas para algumas categorias de produtos, baseadas em ciclo de vida, que complementam a orientação metodológica dos estudos de *PEF*, reduzindo a flexibilidade das interpretações e aumentando a reprodutibilidade dos resultados (BACH, LEHMANN, *et al.*, 2018).

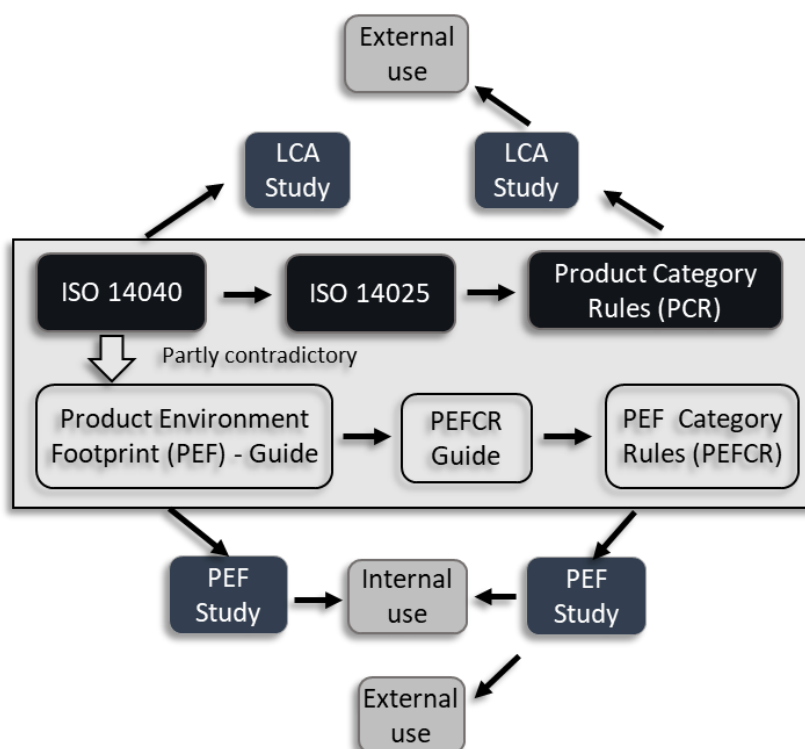
A análise das orientações da *PEF* para a elaboração de uma *LCA* permite identificar a presença de requisitos específicos e padronizados que complementam as recomendações gerais da ISO 14040. A diferenciação das abordagens da *PEF* pode ser percebida em temas como (CHOWDHURY, AHMED, *et al.*, 2018, EUROPEAN COMMISSION, 2018a, KILIÇ, E., PUIG, *et al.*, 2018):

- Limites dos sistemas: a menos que exista uma recomendação específica via *PEFCR*, a análise deverá percorrer todo o ciclo de vida.
- Métodos de avaliação: as orientações da *PEF* seguem um conjunto padronizado de métodos, aumentando o grau de comparabilidade entre as análises.
- *EoL* (*End of Life*): a conduta da análise *EoF* da *PEF* segue abordagem declarada de orientações concretas e fórmulas de cálculo.

As *PEFCRs* ajudam a focar o estudo do *PEF* em aspectos e parâmetros customizados, contribuindo para a reprodutibilidade e a consistência dos resultados, reduzindo custos, quando comparado a um estudo baseado nas exigências abrangentes do *PEF*. O cumprimento do *PEFCR* é opcional para aplicações internas de *PEF*, sendo obrigatório, sempre que os resultados de um estudo de *PEF* ou qualquer um de seus conteúdos for compartilhado externamente (Figura 11). A primeira versão do *PEFCR*, lançada em novembro de 2013 como

fase piloto, apresentou dados a respeito de 14 produtos não alimentícios, que foram reduzidos a 10 com *PEFCRs* finais, dentre eles o couro, no término da fase em 2018 (EUROPEAN COMMISSION, 2018a).

Figura 11- Organização dos conceitos da ACV/LCA (ISO14040/14025) e PEF (PEFCR)



Fonte: Adaptado de BACH et al., 2018

#### 2.4.1 - Avaliação do ciclo de vida no setor coureiro

Há uma série de aplicações de *LCA* no setor coureiro, em diferentes locais do mundo, com variações de fronteiras do sistema, tais como do berço ao túmulo ou do portão ao portão (CHOWDHURY, AHMED, *et al.*, 2018, QUINTERO-ANGEL, PEÑA-MONTOYA, 2020, ROOS, POSNER, *et al.*, 2020). As primeiras aplicações de *LCA* na indústria do couro ocorreram nos anos noventa em curtumes europeus (NAVARRO, D., WU, *et al.*, 2020). Um marco dos primeiros movimentos no setor coureiro foi uma avaliação do ‘berço ao túmulo’, realizada na indústria espanhola com o objetivo de identificar os pontos críticos do ciclo de vida do calçado, destacando pontos específicos dos processos que mais contribuíam para o impacto ambiental (MILÀ, DOMÈNECH, *et al.*, 1998).

As atividades dos curtumes podem ser representadas pelas etapas que transformam as

peles bovinas em couros acabados por meio de processos que podem ocorrer em diferentes locais ou colocados em operações de ciclo completo, tendo como principais entradas o consumo de água, energia e produtos químicos, gerando sub/coprodutos, emissões aéreas, resíduos sólidos e líquidos na saída (DE MARCHI, DI MARIA, 2019, NOTARNICOLA, PUIG, *et al.*, 2011). Considerado como coproduto da indústria da carne, o ciclo de vida do couro inclui os impactos das fases de pecuária e abate. Assim, atividades como a criação dos animais, operações industriais de abate, transporte e conservação das peles fazem parte dos estágios de ciclo de vida do couro. Contrariando a interpretação de setor de reciclagem das peles geradas pelos frigoríficos, o couro é tido como produto intermediário, classificado como coproduto do setor da carne e leite e só pode ser analisado do berço ao túmulo se o uso ou a etapa de fim de vida for identificada (DADDI, T., NUCCI, *et al.*, 2016, LAURENTI, REDWOOD, *et al.*, 2017, REDWOOD, 2013).

A visão específica do setor coureiro aponta as seguintes categorias de impacto:

- Acidificação: excesso acumulado (aE), em mol H<sup>+</sup> eq, (POSCH, SEPPÄLÄ, *et al.*, 2008, SEPPÄLÄ, POSCH, *et al.*, 2006).
- Mudanças climáticas: Força radioativa de Potencial de Aquecimento Global (GWP100), em Kg CO<sub>2</sub> eq, modelo de linha de base de 100 anos do IPCC (IPCC, 2013).
- Eutrofização: excesso acumulado (aE), em mol N eq.
- Partículas: impacto na saúde humana, incidência de doenças, modelo recomendado pela ONU Meio Ambiente (FRISCHKNECHT, FANTKE, *et al.*, 2016).
- Uso de recursos fósseis: esgotamento dos recursos abióticos - combustíveis fósseis (ADP-fóssil), em Mj, CML 2002 (GUINEE, 2002, GUINÉE, HEIJUNGS, *et al.*, 2002).
- Uso da água: potencial de privação do usuário (consumo de água ponderada por privação), m<sup>3</sup> Mundo eq, *Available Water Remaining (AWARE)* (BOULAY, BARE, *et al.*, 2018).

Segundo a *PEFCR*, o inventário do ciclo de vida pode ser obtido por meio de amostragens e consulta a bancos de dados para os consumos de água, energia, produtos químicos, embalagens e tratamento de resíduos. Os dados coletados são tratados para ajustes de confiabilidade e iniciativas de reciclagens mediante modelagens, seguindo a classificação de qualidade de dados (*DQR*), que pondera a representatividade de influências temporais, tecnológicas, geográficas e precisões. A modelagem de dados referentes aos impactos de mudanças climáticas por emissão de ar (CO, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>) em GWP100 são divididas em três classificações:

- Fóssil: por exemplo, dióxido de carbono (fóssil) e metano (fóssil)

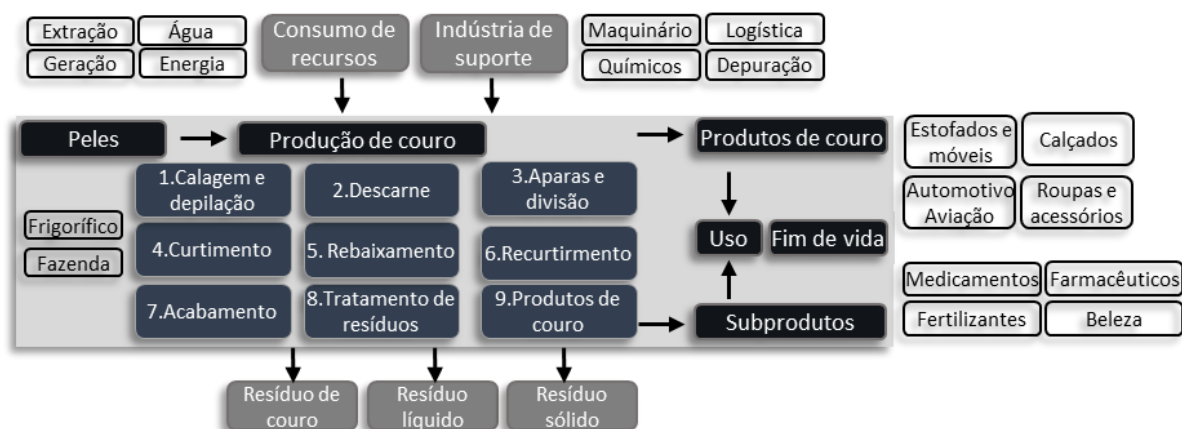
- Biogênicas: o efeito das emissões de carbono (CO, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>) ao ar originária de oxidação ou redução da biomassa (por exemplo, combustão, digestão, compostagem, aterros) ou absorção de CO<sub>2</sub> da atmosfera durante o crescimento da biomassa - ou seja, correspondente ao teor de carbono de produtos, biocombustíveis ou resíduos de plantas acima do solo, como lixo e madeira morta.
- Mudança de uso da terra: captações e emissões de carbono (CO<sub>2</sub>, CO e CH<sub>4</sub>) originárias de mudanças no estoque de carbono causadas pelo uso/mudança do uso da terra, por exemplo, desmatamento.

Segundo a norma ISO/TR14049:2000 - *Environmental management - LCA*, assume-se uma interdependência linear entre as matérias-primas da atividade em estudo e as suas emissões. A soma dos impactos ambientais deve ser igual ao total dos impactos alocados, sendo o impacto ambiental uma função linear e homogênea da quantidade das “n” funções equivalentes. A alocação dos impactos deve seguir as regras de modelagem abaixo:

- Físico/química: peso, volume, energia específica / peso, volume, energia peso total (SILVEIRA, Edgar A., CALDEIRA-PIRES, *et al.*, 2017).
- Econômica: valor econômico específico / valor econômico total (RAMÍREZ, 2009) .
- Programação linear: É uma técnica matemática que pode ser adaptada para resolver problemas de alocação em sistemas de múltiplas saídas com valores marginais (AZAPAGIC, CLIFT, 1999).

O ciclo de vida do couro pode ser representado conforme a figura 12, que sendo definido como coproduto, considera a montante alocações biofísicas da agricultura e pecuária (Leite 88% e Abate 12%) e alocações econômicas para os abates nos frigoríficos (Carne 92,9% e peles 3,5%). Os fatores de alocação a jusante estabelecem as ponderações econômicas para o couro acabado (60%), raspa (31%) e pelos (9%), representando o percentual de impacto do curtimento e perdas recuperáveis. O fluxo de referência narra um ciclo com origem na agricultura das fazendas de gado até as informações de *EoL (End of Life)* do couro, com atividades de descarte ou reaproveitamento. As entradas e saídas do fluxo de referência estudado são analisadas como fluxos elementares de material ou energia, que são consumidos ou eliminados durante as etapas do ciclo de vida (EUROPEAN COMMISSION, 2018a). As orientações da *PEFCRs* para o setor estabelecem como Unidade Declarada (*DU*) de medida o m<sup>2</sup> do couro acabado, medido de acordo com as normas ISO 19076 e ISO 11646. Nos casos em que as informações citem peso (Kg), deve-se utilizar um fator de conversão adequado do peso para a superfície do produto acabado (4,63 Kg/m<sup>2</sup>) (MASCOLO, CALVANESE, *et al.*, 2019).

Figura 12 - Cadeia de suprimentos da indústria do couro bovino



Fonte: Adaptado de DE MARCHI; DI MARIA, 2019; RIVELA et al., 2004

### 3. ARTIGOS DESENVOLVIDOS

Considerando a apresentação da revisão teórica geral no capítulo anterior, este capítulo apresenta as seções de métodos de pesquisa, resultados, discussões e conclusões dos artigos que endereçaram os objetivos desta tese em direção ao atendimento da questão de pesquisa. Após a apresentação destas seções dos artigos, o fechamento desta tese traz um capítulo de discussões com uma análise integrada dos resultados e as conclusões gerais no último capítulo.

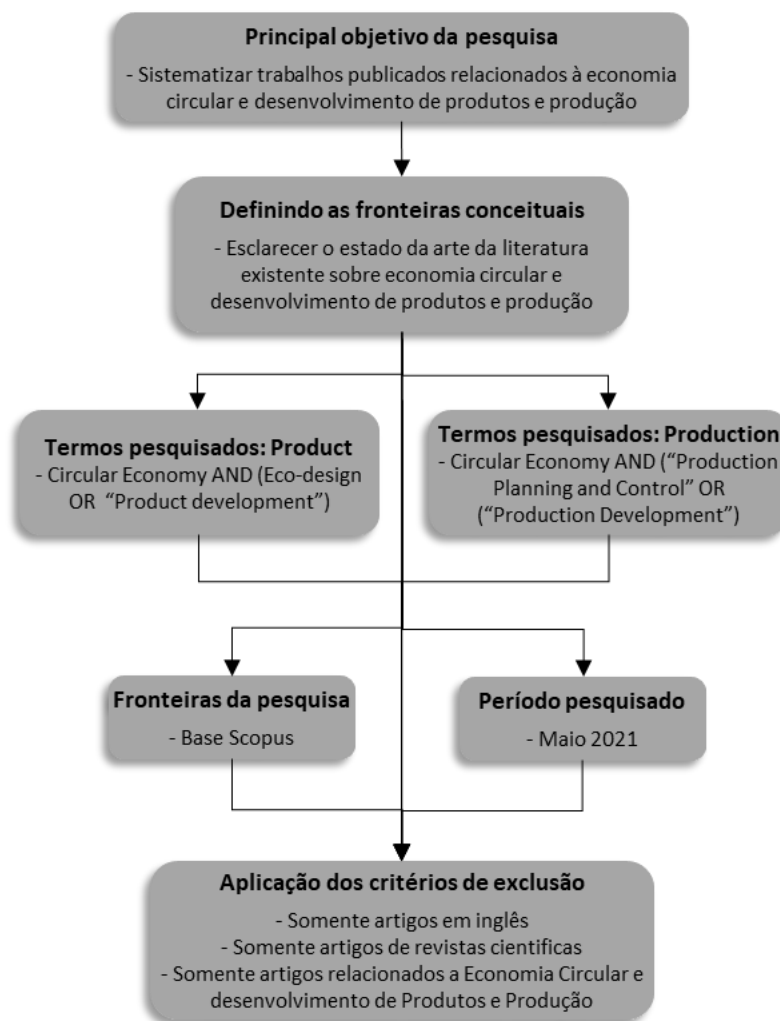
#### **3.1 Artigo 1 (A1) - Integração entre o desenvolvimento de novos produtos e da produção para a economia circular: uma análise teórica**

Este artigo analisou a literatura com o objetivo de identificar os atributos necessários para a adequação dos sistemas de produção às operações dos produtos circulares. O conteúdo deste artigo acumulou conhecimento e identificou lacunas sobre a preparação dos sistemas de produção para viabilizar os desenvolvimentos dos produtos circulares. A contribuição deste artigo para a tese considera que este conteúdo oferece a visão expandida das demandas geradas pelas operações circulares aos sistemas de produção, quando iniciativas de EC são implementadas no desenvolvimento de produtos.

##### ***A1.3 Método de pesquisa utilizado no artigo***

Este artigo visou, sobretudo, avaliar as relações entre desenvolvimento de novos produtos e desenvolvimento da produção sob a ótica da EC. Para isso, foi analisada a literatura que relaciona publicações destas duas áreas. Assim, avaliou-se na base *Scopus* o comportamento de dois critérios de protocolo de pesquisa. As palavras chaves foram aplicadas para selecionar trabalhos relacionados aos dois grupos de artigos - desenvolvimento de produto e desenvolvimento da produção, citados em pesquisas relacionadas a EC (Figura 13).

Figura 13 - Critério e protocolo da revisão de literatura

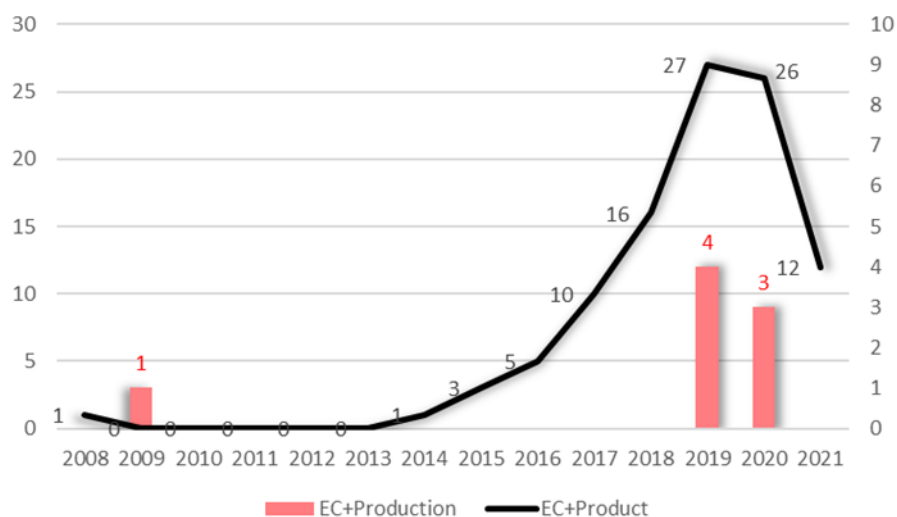


Fonte: produção do próprio autor

#### ***A1.4 Resultados e discussões***

O resultado da aplicação das palavras chaves nos dois grupos pesquisados apresentou grande desnível no número de registros. Enquanto o grupo de artigos de desenvolvimento de produtos apresentou um total de 101 artigos compatíveis com os critérios de pesquisa, somente 8 artigos foram identificados como compatíveis com o desenvolvimento da produção para a EC. A similaridade de comportamento dos dados se refere ao crescimento significativo do número de registros, sendo tendencia apresentada nos dois grupos estudados e acumulada nos últimos anos (Figura 14).

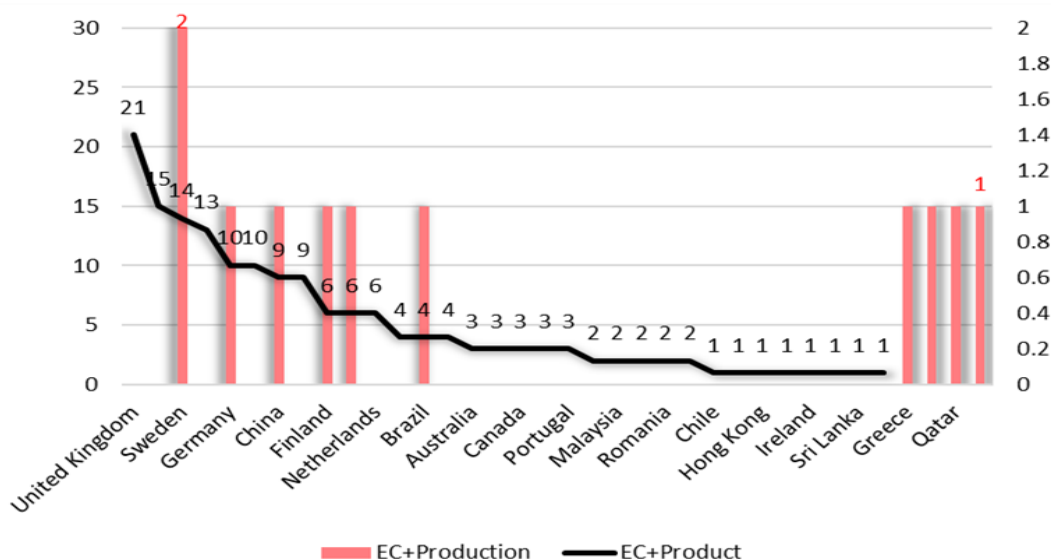
Figura 14 - Concentração dos artigos conforme ano de publicação.



Fonte: Scopus (2021)

Quando os dados são analisados quanto a região de geração dos artigos, não é percebida uma proporção na quantidade de artigos publicados. A concentração dos artigos compatíveis não obedeceu a uma proporção entre publicações de contexto associados a produtos equivalentes a criação de contexto associado a produção. Poucas manifestações regionais endereçaram proporcionalmente as preocupações de abordagens dos tipos de desenvolvimento (Figura 15).

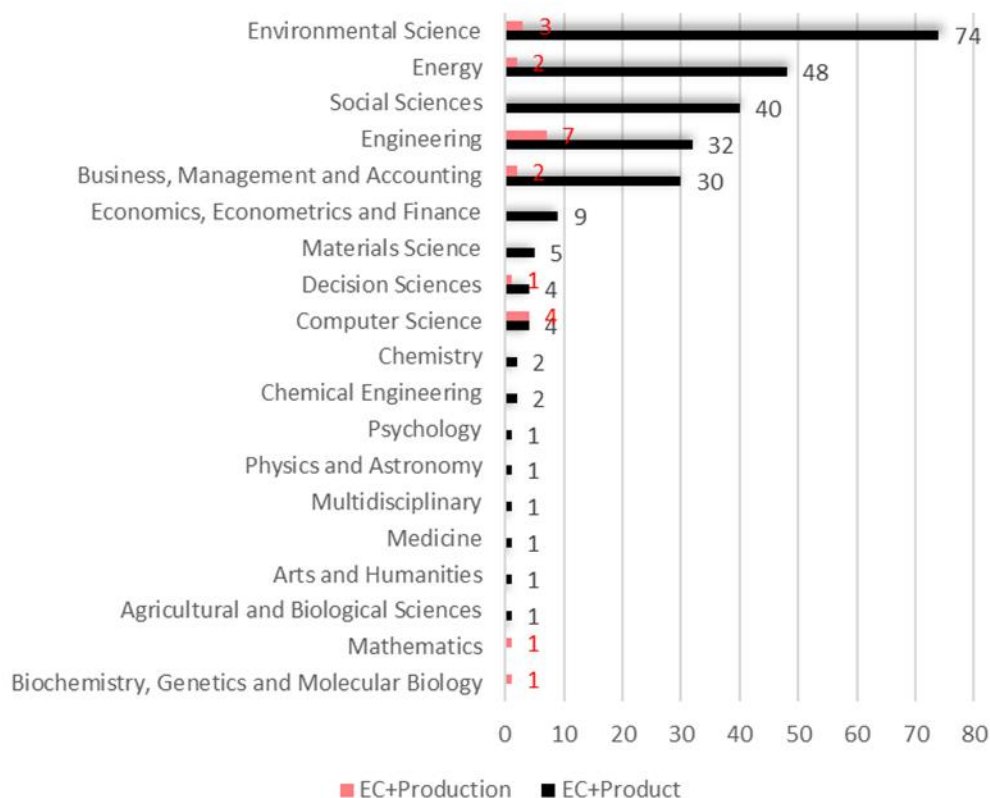
Figura 15 - Concentração dos artigos conforme país de publicação.



Fonte: Scopus (2021)

As concentrações dos artigos conforme a área de pesquisa apresentaram maior número de artigos de desenvolvimento de produtos associadas as áreas de pesquisas com maior proximidade de aspectos ambientais e sociais. O comportamento das áreas que pesquisam o desenvolvimento da produção apresenta maior concentração em áreas associadas ao contexto econômico das pesquisas. Áreas de pesquisas como Engenharia e Ciência da computação do desenvolvimento da produção apresentaram as maiores relações de registros identificados, quando comparadas as publicações de desenvolvimento de produtos (Figura 16).

Figura 16 - Concentração dos artigos conforme área de pesquisa.



Fonte: Scopus (2021)

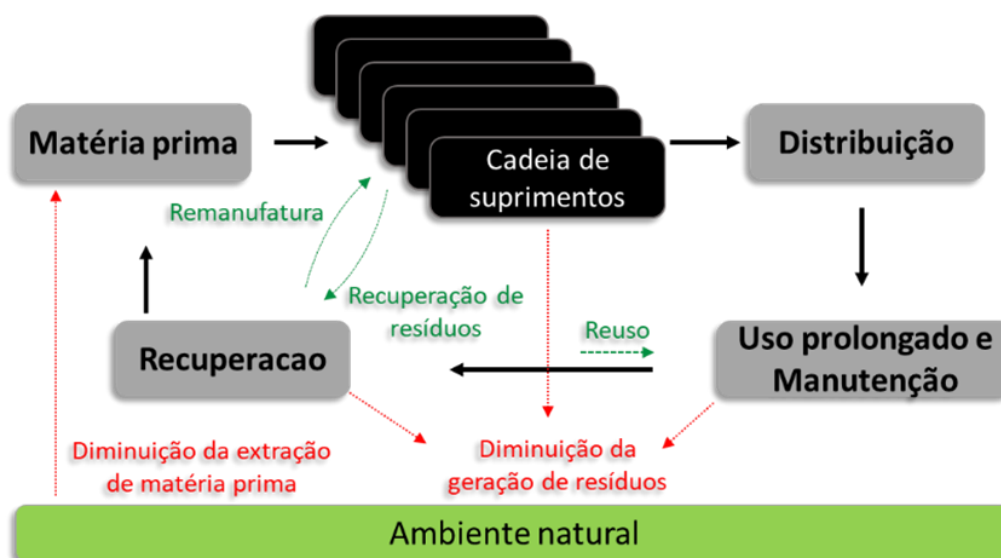
A geração de ganhos de sustentabilidade significa avançar no sentido da criação equilibrada de benefícios nas dimensões econômicas, sociais e ambientais, atendendo as demandas do momento sem sacrificar oportunidades do futuro. Como consequência de níveis diferentes de exposições as pressões ambientais da sociedade, os setores envolvidos na cadeia de suprimentos de produtos manifestam reações desequilibradas que limitam a capacidade sistêmica de geração de ganhos nas iniciativas para a geração de sustentabilidade (VOGT DUBERG, JOHANSSON, SUNDIN, KURILOVA-PALISAITIENE, 2020).

Os produtos são gerados e expostos aos seus clientes e recebem o impacto direto das manifestações das preocupações ambientais (SUTHERLAND, SKERLOS, *et al.*, 2020). A maior quantidade de artigos publicados abordando o contexto de EC e desenvolvimento de produtos pode suportar a interpretação de que a maior atenção foi dedicada ao bem final gerado, sem necessariamente tratar o contexto do desenvolvimento e operação do sistema de produção relacionada a geração do produto.

A análise bibliométrica dos dados da pesquisa identifica que existe a concentração de artigos gerados em países da União Europeia e Reino Unido. Esta região assumiu posição de vanguarda nos movimentos ambientais e foi exposta às influências das metas de desenvolvimento sustentável demandadas pela sociedade e reguladas por agências intergovernamentais (RODRIGUEZ-ANTON, RUBIO-ANDRADA, *et al.*, 2019).

A discussão sobre um cenário no qual o produto precisa ser reformulado para conseguir maior sustentabilidade transcendem os limites do escopo do objeto criado (Figura 17). A agregação de especificidades que garantam maior longevidade, atributos para atualização e recuperação, exigem que exista um esforço sistêmico de capacitação do modelo de operação (LANZ, NYLUND, *et al.*, 2019). A estruturação da cadeia de suprimentos para atuar em ciclo fechado, sem permitir o vazamento de material e resíduo, deve evoluir proporcionalmente às transformações demandadas aos produtos (KALMYKOVA, SADAGOPAN, *et al.*, 2018).

Figura 17 - Cadeia de suprimentos de ciclo fechado.



Fonte: Fortună *et al.*, (2012)

Os processos e ferramentas que atendem ao desenvolvimento tradicional da produção passam por questionamentos quanto à prontidão para atendimento dos cenários sustentáveis de atuação (SITCHARANGSIE, IJOMAH, *et al.*, 2019). As iniciativas de leitura de fluxo de material em tempo real e compartilhamento externo caminham em direção de tecnologias como a Indústria 4.0 e *Blockchain* (ESMAEILIAN, SARKIS, *et al.*, 2020, SUTHERLAND, SKERLOS, *et al.*, 2020). As atividades da cadeia de suprimentos de grandes organizações, com

operações verticais e horizontais, transcendem os limites de atuação direta da EL. A viabilidade de atuações simbióticas demandam a externalidade de dados de fluxos de materiais entre os participantes para ganhos de circularidade (HERCZEG, AKKERMAN, *et al.*, 2018).

A implementação da economia circular nas operações apresenta comportamento progressivo, atingindo níveis de proficiência à medida que a cadeia de suprimentos ‘caminha’ no sentido de fechamento dos seus ciclos. Iniciativas de abertura de dados de circulação de material e energia, como os defendidos nos princípios da inovação aberta (BOGERS, CHESBROUGH, *et al.*, 2018), podem acelerar a identificação de novas oportunidades de circulação e capacitação de novos participantes na cadeia de suprimentos, capazes de novos direcionamentos circulares aos produtos (TSENG, BUI, 2017). Diferente da abordagem de fechamento da informação associada a identificação de novas descobertas, identificada como inovação fechada na tabela 1, os princípios da “inovação aberta” combinam ideias internas e externas geradoras de valor que atendam um modelo de negócio (CHESBROUGH, 2003).

Tabela 1 - Princípios de inovação fechada e aberta

| Princípios da inovação fechada                                                                | Princípios da inovação aberta                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| As pessoas inteligentes em nosso setor trabalham para nós.                                    | Nem todas as pessoas inteligentes trabalham para nós.                                                                      |
| Para lucrar com P&D*, nós devemos descobrir, desenvolver e lançar uma nova inovação.          | P&D* externo pode criar valor significativo; P&D* interno é necessário para resgatar parte do valor.                       |
| Se descobrirmos a inovação sozinhos, vamos levar a descoberta ao mercado primeiro.            | Nós não temos que ser os descobridores da inovação para lucrarmos com ela.                                                 |
| A organização vencerá se levar a inovação primeiro ao mercado.                                | A organização vencerá se fizer o melhor uso de inovações internas e externas.                                              |
| Devemos proteger e controlar a PI**, assim o concorrente não poderá lucrar com nossas ideias. | Devemos lucrar com outros usos de nossas PI** e deveríamos comprar outras PI** se for um avanço ao nosso modelo de negócio |

Abreviações:

P&D\* - Pesquisa e Desenvolvimento;

PI\*\* - Propriedade Intelectual;

### ***A1.5 Considerações finais***

Nos trabalhos em EC percebe-se um desnível de abordagem entre as pesquisas mais numerosas sobre o desenvolvimento de produtos e escassez de pesquisas que tratam as questões sobre desenvolvimento da produção. Uma visão parcial, focada somente no produto, sobre este contexto para as operações das organizações conforme os princípios de circularidade, é insuficiente para a aplicação das propostas encontradas na literatura em qualquer modelo de negócio. A utilização dos princípios de EC no desenvolvimento de produtos transcendem a

ações de agregação de escopo aos produtos e demandam a contextualização de um novo modelo de operação, que modificam substancialmente a estratégia de atuação da produção. A viabilidade do modelo de operação com maior proficiência em sustentabilidade terá maiores avanços se as abordagens circulares tratarem o cenário completo dos desenvolvimentos de produto e produção.

O progresso de implementação dos princípios de circularidade nas cadeias de suprimentos depende da coordenação simbiótica de atores na busca da rastreabilidade do fluxo completo de materiais e energia. Os participantes da cadeia de suprimentos serão demandados para oferecer maior transparência nas suas operações, para aumentar as chances para que outras organizações descubram novas destinações para os materiais e energia que até aquele momento seriam descartados como resíduos.

O compartilhamento dos dados das empresas abre novas perspectivas de identificação de oportunidades fora do atual mercado da organização. A implicação desta nova demanda circular é que a capacidade de desenvolvimento atual deve ser aprimorada e amplificada conforme os atuais modelos de negócios, buscando novas aplicações para as descobertas que não se encaixam nas operações atuais, estejam elas internas ou externas à sua atual área de atuação.

O cenário descrito nesta pesquisa retrata um tema relativamente recente, que ainda apresenta a necessidade de esclarecimentos quanto as suas definições e princípios. Destaca-se, nesse sentido, que essa pesquisa possui como principal limitação o fato de ser totalmente teórica e que utilizou apenas a base de dados *Scopus*. Pesquisas futuras poderiam, portanto, ampliar a bases de dados consultadas, assim como incluir outras palavras chaves de busca.

Investigações qualitativas futuras, por meio de estudo de casos, também poderiam ser úteis ao identificar novas relações entre o desenvolvimento de produtos para a e EC com os processos de desenvolvimento da produção, tais como os de manufatura e planejamento e controle da produção. A partir do progresso dos entendimentos sobre os desenvolvimentos conforme a EC, as próximas pesquisas deverão investir em alternativas para ampliações nas oportunidades de ciclos fechados. Neste contexto, as novas tecnologias de rastreabilidade, compartilhamento de dados e conhecimento seguirão como fontes promissoras de geração de maior sustentabilidade.

### 3.2 Artigo 2 (A2) - O papel da cadeia de suprimentos reversa, logística reversa e indústria 4.0 na implementação da economia circular

Este artigo analisou a literatura com o objetivo de identificar quais seriam os pré-requisitos gerais de implementação e funcionamento das iniciativas de EC. O conteúdo deste artigo apresenta, sobretudo, lacunas sobre os aspectos gerais das operações circulares, considerando que o método de pesquisa, resultados e discussões trataram contextos mais amplos de iniciativas de EC, não vinculados diretamente ao setor coureiro. A contribuição deste artigo para tese considera que este conteúdo oferece a identificação de demandas de processos e ferramentas que as iniciativas de EC geram durante a implementação dos princípios de circularidade em direção aos avanços da sustentabilidade das operações.

#### A2.3 Método de pesquisa.

Considerando os objetivos deste artigo, esta pesquisa avaliou o comportamento de três critérios de protocolo de pesquisa na base *Scopus* (MERLI, PREZIOSI, *et al.*, 2018). As palavras chaves foram aplicadas em três grupos de artigos, limitados a trabalhos relacionados aos princípios de EC (*circular economy* - CE) e citações sobre CSR (*reverse supply chain* - RSC), acrescentando manifestações combinadas de LR (*reverse logistics* - RL) ou I4.0 (*industry 4.0* - I4.0) (Figura 18).

Figura 18 - Critério e protocolo da revisão de literatura

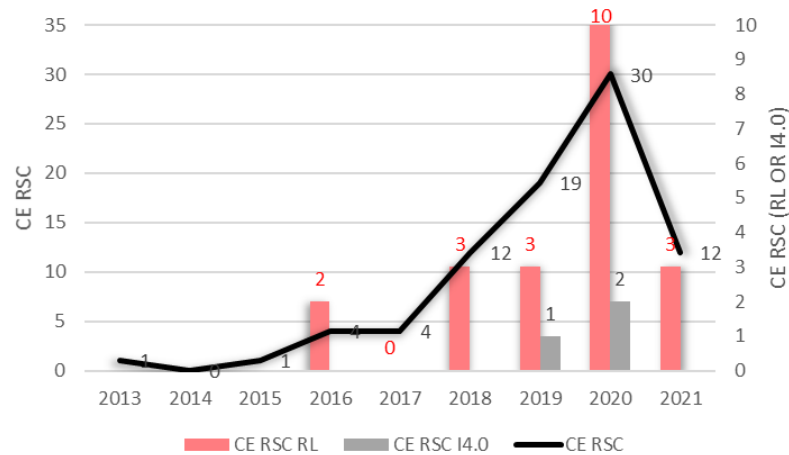
| Fronteiras da pesquisa                                                         | Período pesquisado                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| - Base Scopus                                                                  | - Maio 2021                                                                                                                 |
| <b>Principal objetivo da pesquisa</b>                                          | <b>Termos pesquisados (CE and RSC)</b>                                                                                      |
| - Sistematizar trabalhos publicados relacionados à EC, CSR, LR e I4.0          | - Circular Economy AND (Reverse Supply Chain OR Closed loop supply chain OR Close-loop supply chain)                        |
| <b>Definindo as fronteiras conceituais</b>                                     | <b>Termos pesquisados (CE and RSC and RL)</b>                                                                               |
| - Esclarecer o estado da arte da literatura existente sobre EC, CSR, LR e I4.0 | - Circular Economy AND (Reverse Supply Chain OR Closed loop supply chain OR Close-loop supply chain) and "Reverse logistic" |
| <b>Aplicação dos critérios de exclusão</b>                                     | <b>Termos pesquisados: (CE and RSC and I4.0)</b>                                                                            |
| - Somente artigos em inglês                                                    | - Circular Economy AND (Reverse Supply Chain OR Closed loop supply chain OR Close-loop supply chain) and "Industry 4.0"     |
| - Somente artigos de revistas científicas                                      |                                                                                                                             |
| - Somente artigos relacionados a EC                                            |                                                                                                                             |

Fonte: produção do próprio autor

Os dados obtidos mostram um crescimento significativo do número de registros, especialmente considerando os últimos três anos. O resultado da classificação das palavras-

chave nos três grupos pesquisados apresentou grande desnível no número de registros. Enquanto o Grupo “*CE and RSC*” apresentou um total de 83 artigos compatíveis com os critérios de pesquisa, somente 21 artigos identificados citaram a palavra “*reverse logistics*”, conforme os resultados do Grupo “*CE and RSC and RL*”, número ainda menor quando a combinação procurou a manifestação conjunta da palavra “*industry 4.0*” no Grupo “*CE and RSC and I4.0*” (Figura 19).

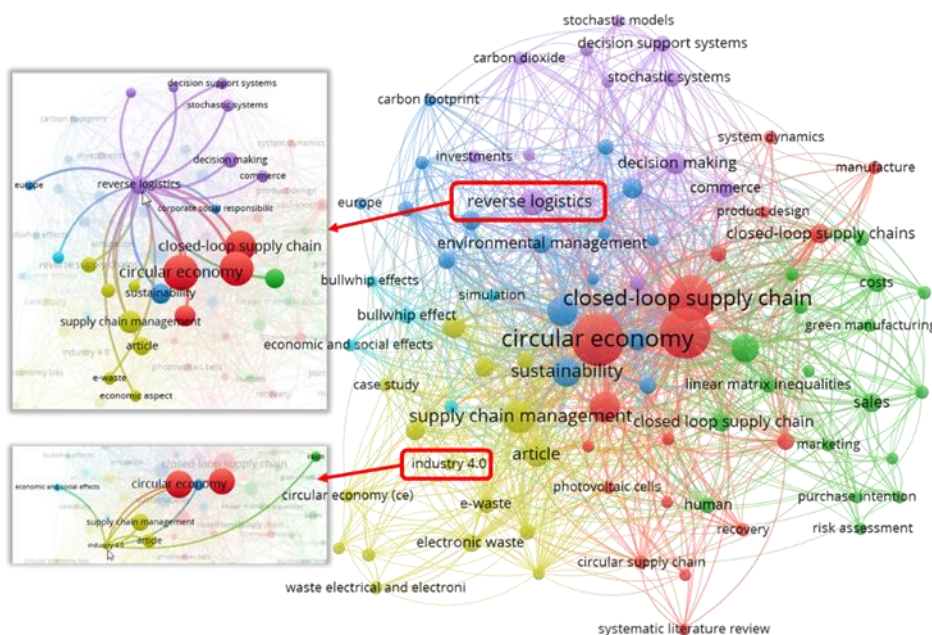
Figura 19 - Concentração dos artigos conforme ano de publicação



Fonte: produção do próprio autor (Scopus)

A análise bibliométrica de coocorrência de palavras do Grupo “*CE and RSC*” apresenta a formação de seis grandes grupos de concentrações de palavras, onde as manifestações da palavra “*reverse logistics*” apresenta ausência de ligação direta às manifestações da palavra da “*industry 4.0*” (Figura 20). A análise permite notar que os artigos que abordaram o contexto da LR não consideraram a I4.0 como meio de viabilizar as propostas apresentadas pelas pesquisas.

Figura 20 - Concentração de coocorrência de palavras chaves (CE and RSC)



Fonte: produção do próprio autor (VOSviewer)

#### A2.4 Resultados e discussões

A avaliação do estágio das pesquisas relacionadas à EC aponta para o crescimento exponencial de artigos publicados nos últimos 10 anos. No contexto dos artigos pesquisados, observa-se que ainda existe uma lacuna de estudos que tratam a relação entre a EC e a CSR, sendo que a viabilidade de funcionamento do ciclo fechado de operação depende da existência de um modelo de negócio no sentido inverso à economia linear (FREI, JACK, *et al.*, 2020). A quantidade de artigos publicados compatíveis com o protocolo da pesquisa mostrou-se ainda menor, quando é explorada a relação EC + CSR e a manifestações das palavras chaves “*reverse logistics*” e “*industry 4.0*”. Os resultados das análises da literatura apontam para a necessidade de desenvolver pesquisas voltadas para a tratativa da visão sistêmica dos fatores necessários para o funcionamento dos princípios de circularidade e que enderecem ações que vençam as barreiras para a geração dos benefícios desejados pela EC (VEGTER, HILLEGERSBERG, *et al.*, 2020).

Os desafios impostos na concepção e operação da CSR são superiores aos exigidos ao modelo de operação direta da cadeia de suprimentos, criando-se, assim, a necessidade de identificar processos e ferramentas que sejam capazes de viabilizar o funcionamento sustentável do desenvolvimento de produtos e serviços voltados a EC (KAZANCOGLU, SAGNAK, *et al.*, 2021). Novas abordagens e seus atores passam a ser condição necessária para criar um cenário

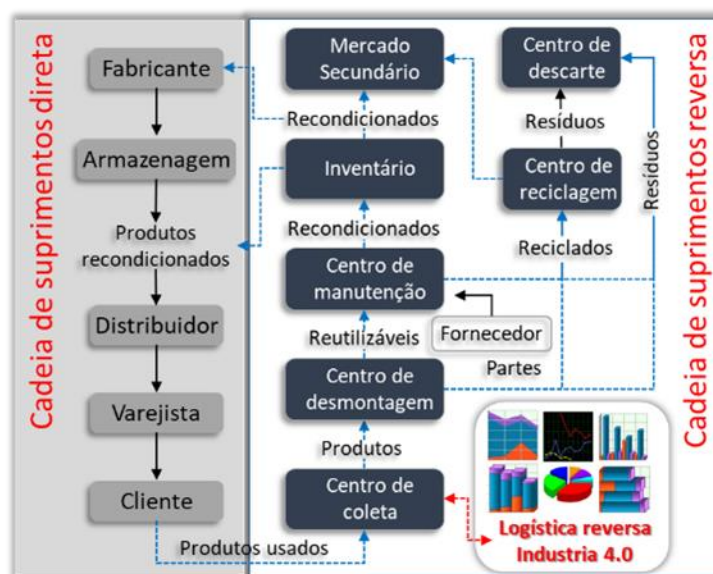
capaz de lidar com as incertezas do fluxo reverso da cadeia de suprimentos. O ambiente de circularidade que realizará a transição das operações de ciclo aberto para o contexto de atividades em ciclo fechado dependerá da ação coordenada de uma cadeia de suprimentos expandida, capaz de ampliar a sua área de atuação no sentido de lidar com a circularidade de materiais e energia, buscando mitigar o consumo de insumos e geração de resíduos (JULIANELLI, CAIADO, *et al.*, 2020)

Ainda pouco abordado nas publicações sobre a EC e CSR, o avanço das tecnologias relacionadas à I4.0 no contexto do desenvolvimento e operação da cadeia de suprimentos apresenta alternativas para atender os novos requisitos impostos para CSR. A I4.0 pode disponibilizar uma combinação de sistemas físicos cibernéticos, internet das coisas e computação cognitiva, que instalados em dispositivos inteligentes otimizam as soluções para operações mais sustentáveis (RAJPUT, SINGH, 2019).

#### *A2.4.1 Framework teórico da cadeia de suprimentos direta e reversa*

Considerando a ausência de resultados de vínculos entre as palavras-chave “*reverse logistics*” e “*industry 4.0*” das análises bibliométricas, a figura 21 apresenta a visão do agrupamento das atividades da cadeia de suprimentos direta, reversa e suas movimentações em ciclo fechado, representando alguns setores industriais de produtos não perecíveis e não comestíveis, destacando o aumento de complexidade imposto ao modelo de negócio da EC que busca a circularidade de materiais e energia.

Figura 21 - *Framework* teórico do funcionamento sistêmico da cadeia de suprimentos de ciclo fechado



Fonte: Adaptado de Bernon, Tjahjono e Ripanti (2018); Ripanti, Tjahjono e Fan (2016)

A visão sistêmica para o funcionamento da ligação da cadeia de suprimento direta e reversa, apresentado no *framework* proposto da figura 21, pode auxiliar organizações a identificar nos seus processos os possíveis parceiros e modelos de negócios reversos para avançar na implantação dos princípios da EC. E assim, estabelecer uma cadeia de suprimentos reversa e da logística reversa de partes reutilizáveis e recondicionamento de produtos. Neste contexto, recursos como os disponibilizados pelas tecnologias da indústria 4.0 assumem a posição fundamental para a viabilização e desenvolvimento de novos processos e ferramentas para a viabilidade de modelos de negócios reversos, CSR e LR em busca da sustentabilidade (HILOIDHARI, BARUAH, *et al.*, 2017). Ripanti, Tjahjono e Fan (2016) destacam a significativa comunabilidade entre os princípios da EC e LR, quando considera a busca pela viabilidade de ações de recondicionamento, reciclagem e eliminação de resíduos na CSR.

O *framework* proposto neste trabalho aproxima as abordagens consolidadas de pesquisas relacionadas à CSR e à LR para a geração de ganhos de sustentabilidade conforme os princípios de circularidade da EC. Adicionalmente, a utilização das tecnologias da I4.0 na LR pode ser uma ferramenta para transpor as barreiras impostas pelas operações complexas e incertas da CSR. Neste sentido, a visão sistêmica das etapas do *framework* proposto sugere uma linha de base para a construção e/ou ampliação de modelos de negócios circulares para organizações que busquem elevar a sustentabilidade de suas operações.

### ***A2.5 Considerações finais***

Declarações de várias partes da sociedade apontam para a necessidade de buscar iniciativas que garantam maior sustentabilidade das ações humanas para a preservação dos ecossistemas. Os princípios da EC são vistos como meio para transpor os desafios em busca de operações mais sustentáveis, recebendo a atenção de aproximadamente seis mil artigos publicados com a palavra-chave “*circular economy*” na base Scopus desde 2013. Entretanto, menos de 2% deste montante aborda a questão da CSR, necessária para o funcionamento sistêmico das propostas de circularidade. Escassez ainda maior é identificada quando detalhes de funcionamento da CSR são pesquisados, buscando trabalhos que explorem os funcionamentos da LR, processos e ferramentas como as oferecidas pela I4.0.

A implicação teórica deste estudo revela a lacuna de conhecimento para dar suporte as reflexões conceituais e metodológicas sobre o funcionamento sistêmico da CSR, LR e I4.0, como meio de viabilizar a implementação dos princípios da EC, garantindo a migração do modelo linear da economia para o modelo circular de materiais e energia.

As exigências de expansão impostas pelos princípios da EC aos modelos de negócios atuais da cadeia de suprimentos direta e logística, que demandam a inserção de modelos de negócios reverso com atuação sustentável de partes interessadas, ainda necessitam ser compreendidas para identificar soluções que vençam as barreiras atuais de funcionamento incerto dos retornos de materiais e energia, para garantir a circularidade e o desenvolvimento sustentável.

As interpretações e uso desta pesquisa devem considerar as suas limitações quanto à base teórica das fontes utilizadas. No mesmo sentido, limitações causadas pela utilização de uma única base de pesquisa (Scopus) e a relativa novidade dos termos utilizados nesta área de conhecimento também devem ser consideradas.

As pesquisas voltadas aos princípios de EC apresentaram desequilíbrios, percebidos na maior quantidade de artigos com foco no resultado, sem abordar os meios necessários para a circularidade dos produtos e materiais. O equilíbrio destas abordagens pode ser ajustado em pesquisas futuras, endereçando as necessidades para viabilizar as operações sustentáveis de CSR, LR e I4.0 como meio de atendimento dos princípios da EC, considerando inclusive outros métodos para ganhos de circularidade e validação de operações existentes por meio de estudos de caso.

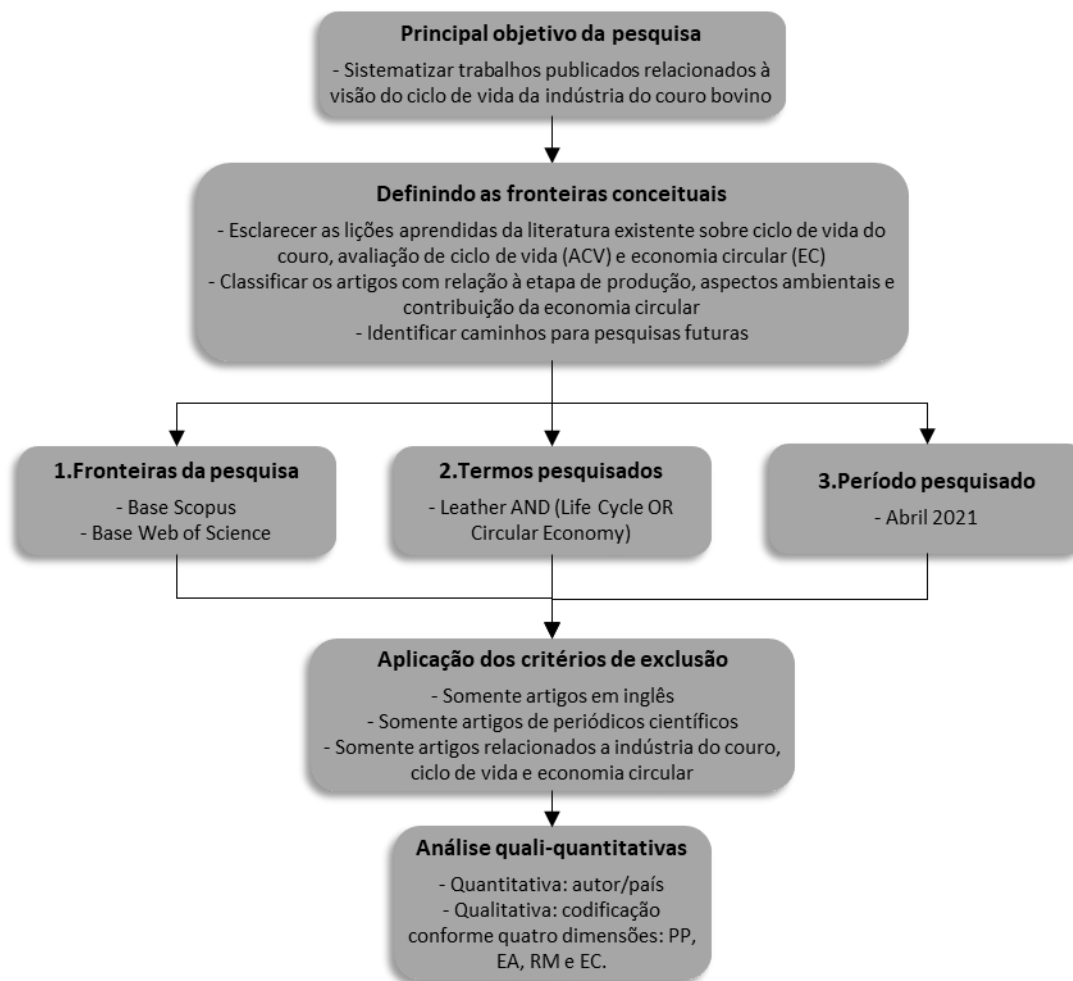
### **3.3 Artigo 3 (A3) - Contribuições da economia circular para o ciclo de vida do couro: uma revisão teórica e proposta de *framework* integrativo**

Este artigo analisou a literatura com o objetivo de identificar quais seriam as contribuições da EC para o ciclo de vida da produção do couro. O conteúdo deste artigo identificou as iniciativas de EC relacionadas ao setor coureiro presentes na literatura, relacionando os aspectos de preocupações ambientais às etapas de produção. A contribuição deste artigo para tese considera que este conteúdo proporcionou o mapeamento do ciclo de vida da produção do couro, que relacionado às preocupações ambientais oferecem uma proposta de *framework* capaz de identificar e monitorar implementações de iniciativas de EC.

#### ***A3.3 Método de Pesquisa***

Este estudo conduziu uma revisão sistemática para coleta de dados em artigos acadêmicos indexados nas duas principais bases de dados, a *Scopus* e a *Web of Science (WoS)*. Estas bases de dados foram escolhidas por apresentarem a maior cobertura e profundidade de publicações internacionais em diversas áreas de conhecimento, acumulando montante significativo de pesquisas realizadas sobre a indústria do couro (CHADEGANI, SALEHI, *et al.*, 2013, MERLI, PREZIOSI, *et al.*, 2018). Posteriormente à revisão sistemática, foi realizada uma análise de conteúdo seguindo as etapas de coleta de dados, codificação, análise e interpretação do conteúdo codificado (GAUR, KUMAR, 2018). A seleção dos estudos publicados foi realizada seguindo os critérios apresentados na figura 22.

Figura 22 - Protocolo da revisão sistemática e análise de conteúdo



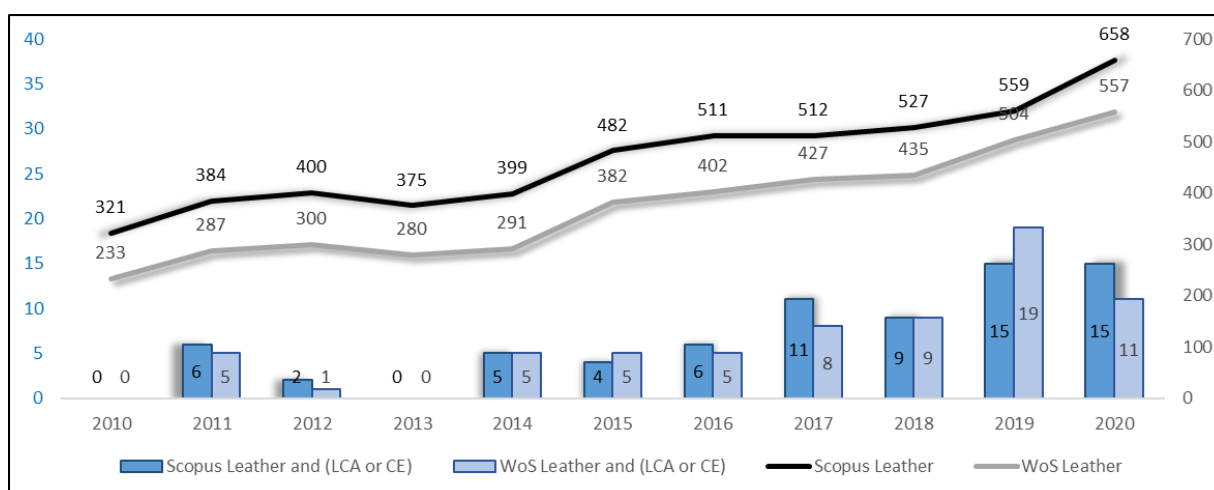
A pesquisa bibliográfica inicial retornou 72 artigos comuns às duas bases, 19 registros exclusivos na base *Scopus* e 16 registros exclusivos na base *WoS*. A busca considerou apenas artigos de periódicos e em inglês, excluindo capítulos de livros e artigos de congressos. A quantidade de registros que satisfizeram os critérios das palavras-chaves alcançou o total de 107 artigos, sendo que 15 artigos foram desconsiderados por estarem fora do escopo do principal objetivo deste estudo. Por fim, a amostra final foi de 92 artigos pertinentes aos objetivos desta pesquisa e de acordo com os critérios de inclusão.

Os artigos incluídos no estudo foram submetidos a análises quali-quantitativas. Na análise quantitativa foi levantada a quantidade de publicações por autores e países. A análise qualitativa se deu por meio do protocolo de Weber (1990), no qual os temas foram codificados em quatro dimensões para posterior análise de conteúdo, sendo estas: (1) etapas de produção (PP), (2) aspectos ambientais (EA), (3) metodologia de pesquisa (RM) e (4) iniciativas de EC (CE).

### A3.4 Resultados e discussões

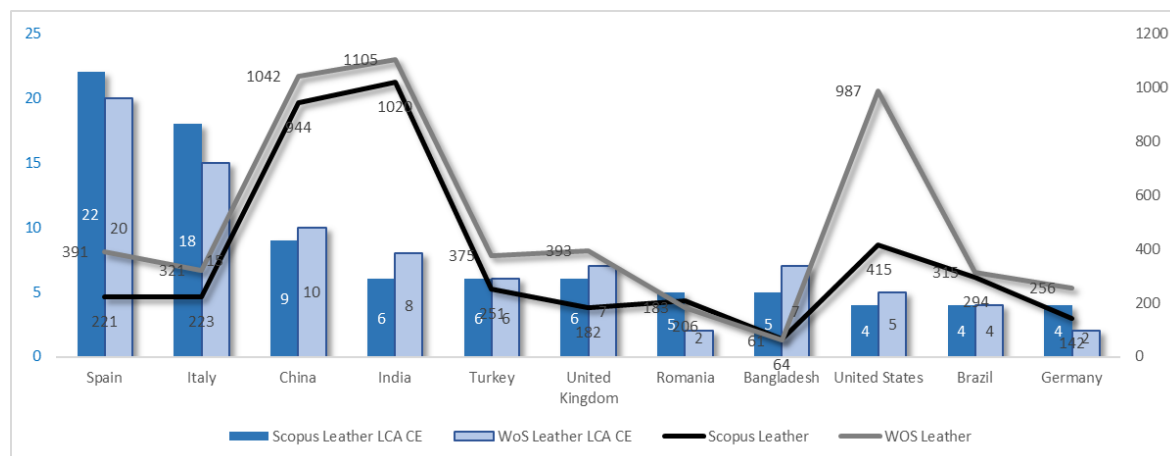
A análise quantitativa dos artigos mostra um crescimento do número de publicações com a palavra-chave couro (*leather*) a uma taxa média aproximada de 8.7% (*Scopus* 7.8%, *WoS* 9.6%) ao ano. Em 2020 foi publicado praticamente o dobro de artigos comparado com o ano de 2010 (Figura 23). A avaliação identificou uma aceleração no crescimento nos últimos cinco anos, com uma taxa média aproximada de 34% ao ano, quando considera a combinação das palavras couro com ciclo de vida ou economia circular.

Figura 23 - Quantidade de artigos publicados por ano



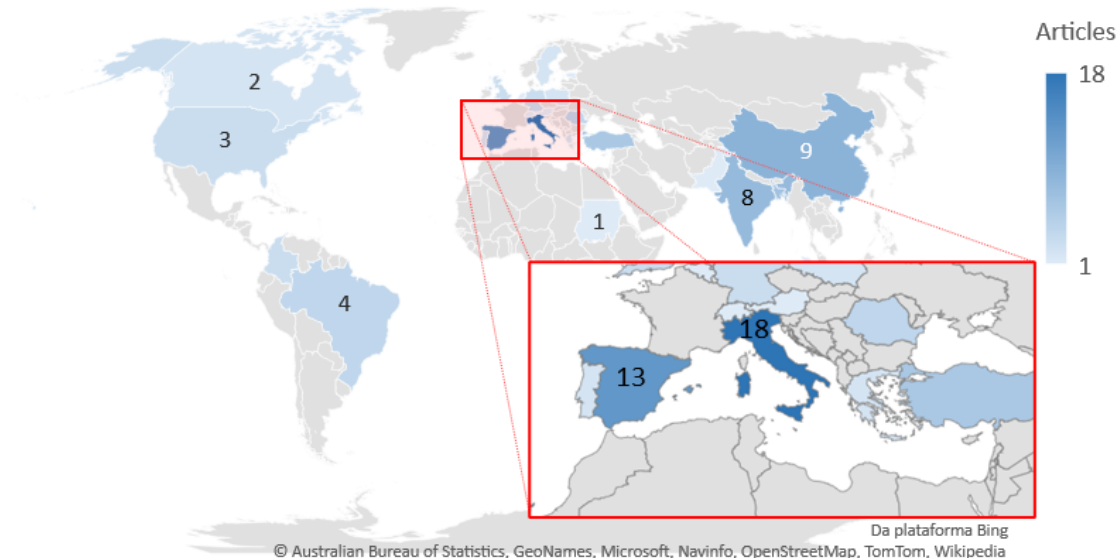
A distribuição geográfica dos autores dos artigos varia quando se compara a busca apenas com a palavra-chave couro (*leather*) e a combinação do couro mais ciclo de vida (*life cycle*) e economia circular (*circular economy*), sendo que no primeiro resultado, Índia e China respondem pela maioria das publicações nos últimos 10 anos. Na segunda opção de busca, Espanha e Itália passam a apresentar as maiores quantidades de artigos publicados, enquanto China e Índia passam para a terceira e quarta posições, respectivamente (Figura 24).

Figura 24 - Artigos publicados por país, considerando todos os autores



Analisando apenas a distribuição geográfica dos primeiros autores, nota-se que mais de 50% dos artigos estão concentrados em 4 países, Itália (18), Espanha (13), China (9) e Índia (8), sendo que mais de 1/3 das publicações se concentram nos dois primeiros (Figura 25).

Figura 25 - Artigos publicados por país, considerando o primeiro autor



Na fase de análise de conteúdo, conforme o protocolo de Weber (1990), os artigos foram categorizados em quatro dimensões: etapas de produção (PP), aspectos ambientais (EA), metodologia de pesquisa (RM) e iniciativas de CE. Cada dimensão pesquisada seguiu uma codificação por sequência numérica, variando de 0 a 9 dependendo da especificidade em cada dimensão (Tabela 2).

Tabela 2 - Codificação de cada dimensão analisada nos artigos

| Nº | Production Phase (PP) | Environmental Aspects (EA) | Research Method (RM) | Circular Economy (CE) |
|----|-----------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|
| 0  | General               | General                    | Case study           | General               |
| 1  | Liming, Unharing      | Resource                   | Experimental         | Regenerate            |
| 2  | Flesh                 | Hair                       | Footprint            | Share                 |
| 3  | Trimming              | Flesh                      | Interview            | Optimize              |
| 4  | Tanning               | Trimming                   | LCA                  | Loop                  |
| 5  | Shaving               | Buffing Dust               | Literature review    | Virtualize            |
| 6  | Retanning             | Leather Waste              | Modelling            | Exchange              |
| 7  | Finishing             | Industrial wastewater      | Multi criteria       |                       |
| 8  | Waste Treatment       | Solid waste                | Survey               |                       |
| 9  | Leather Products      | Leather EoL*               | Theoretical          |                       |

\* End of life (EoL): product at the end of the product lifecycle

A tabela 3 mostra a codificação dos 92 artigos selecionados com base nas dimensões da tabela 2. Cada artigo recebeu uma combinação de códigos, indicando a posição ou combinação de posições que melhor classifica o contexto do artigo frente às quatro dimensões desta pesquisa.

Utilizando o primeiro registro como exemplo, o artigo “*Properties and emission indicators of biodiesel fuels obtained from waste oils from the Turkish industry*” (ALTUN, LAPUERTA, 2014), aborda a etapa de produção de remoção do carnal (PP-2. *Flesh*) e a geração do resíduo sebo (EA-3. *Flesh*) como potencial impacto ambiental, que através de experimentos (RM-1. *Experimental*) avalia o reaproveitamento deste material como biocombustível (CE-4. *Loop*)

Tabela 3 - Codificação dos artigos da pesquisa

| Referências                       | PP      | EA    | RM  | CE  |
|-----------------------------------|---------|-------|-----|-----|
| Altun & Lapuerta, 2014            | 2       | 3     | 1   | 4   |
| Altun & Rodríguez-Fernández, 2016 | 2       | 3     | 1   | 4   |
| Ariram & Madhan, 2020             | 4;6     | 9     | 1   | 6   |
| Bacardit et al., 2015             | 4;6     | 1;7   | 1;4 | 6   |
| Bacardit et al., 2020             | 4;6     | 1     | 0;4 | 6   |
| Bagheri et al., 2020              | 8       | 8     | 1   | 4   |
| Baquero et al., 2017              | 4;6     | 0     | 1;4 | 6   |
| Bufalo et al., 2018               | 2;3;5;7 | 3;4;6 | 1   | 4;6 |

| <b>Referências</b>            | <b>PP</b> | <b>EA</b> | <b>RM</b> | <b>CE</b> |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Cabrera-Codony et al., 2020   | 5;7       | 5;6       | 1         | 3;4       |
| Castiello et al., 2008        | 1         | 2;7       | 4         | 6         |
| Catalán et al., 2017          | 1         | 2         | 4;5       | 4;6       |
| Catalán et al., 2019          | 1         | 2         | 0;4       | 6         |
| Cerimi et al., 2019           |           |           | 5         | 1;3;6     |
| B. Chen et al., 2019          | 8         | 7         | 4         |           |
| J. Chen et al., 2014          | 9         | 6;9       | 0;2       | 1         |
| M. Chen et al., 2019          | 0         | 1         | 0;2;4     | 3;4       |
| Chowdhury et al., 2018        | 4;6       | 1;7       | 0;2;4     | 4         |
| Chowdhury et al., 2017        | 0         | 0         | 0;2;4     |           |
| Cimatti et al., 2017          | 9         | 6         | 0;2;4     | 4         |
| Clavijo & Osma, 2019          | 0         | 6;7;8     | 1;4       | 4;6       |
| Colantoni et al., 2017        | 8         | 8         | 4         | 4;6       |
| Crudu et al., 2019            | 2;6       | 2;4       | 1         | 4;6       |
| Daddi et al., 2016            | 0         | 0         | 0;4       | 4         |
| Daddi et al., 2017            | 8         | 7;8       | 0;2;4     | 2;4       |
| Daddi et al., 2019            | 0         |           | 0         | 4         |
| Das & Cabezas, 2018           | 0         | 1;7;8     | 0;4       | 0         |
| de Marchi & di Maria, 2019    | 1;2;3     | 1;2;3;4   | 0;3;9     | 3;4;6     |
| Donatello et al., 2020        |           |           | 0;8       | 0         |
| Dotelli et al., 2020          | 4;6       | 8;9       | 4         | 6         |
| Dudyn'ski, 2018               | 5;7       | 6         | 1         | 4;6       |
| Dwivedi et al., 2019          | 5;7       | 6         | 1         | 4         |
| Ferreira et al., 2011         | 9         | 6         | 1         | 4         |
| Gabbar et al., 2018           | 9         | 9         | 4         | 4         |
| Garg et al., 2020             | 8         | 7         | 1         | 1;6       |
| Giannetti et al., 2015        | 1;4;6;8   | 1;2;7     | 0;7       | 1;3;4     |
| Golsteijn & Vieira, 2020      | 0         | 1;7       | 0;2;4     | 0         |
| Gonzalez-Quijano & Albu, 2012 |           |           | 8         |           |
| Guan et al., 2019             | 8         | 6         | 1         | 4;6       |
| Herva et al., 2011            | 9         | 9         | 0;2       | 3;4;6     |
| Hildebrandt et al., 2021      | 9         | 0         | 0;2;4     | 6         |
| Hu et al., 2011               | 0         | 0         | 0;5       | 1;3;4;6   |
| Ingrao et al., 2021           | 4;6;7     | 1         | 1;4       | 6         |
| Ioannidis, 2011               | 9         | 9         | 4         | 1         |
| Joseph & Nithya, 2009         | 0         | 0         | 0;4       | 1;3;4;6   |
| Karuppiah et al., 2021        | 0         | 0         | 3;5;7     | 0         |
| Kathiresan & Ragunathan, 2017 |           | 0         | 0;5;8     |           |
| Kiliç et al., 2011            | 8         | 7;8       | 1;4       | 4;6       |
| Kiliç et al., 2014            | 2         | 3         | 4         | 4         |
| Kılıç et al., 2018            | 0         | 0         | 0;2;4;5   | 3;4       |
| Kiliç et al., 2020            | 7         | 5         | 1         | 4         |
| Koppiahraj et al., 2021       | 0         | 0         | 0;3;5;7   | 4;6       |
| Laurenti et al., 2017         | 4;6       | 1         | 0;2;8     | 1;6       |
| Li et al., 2019               | 8         | 7         | 0;6       | 3;4       |
| Mella et al., 2017            | 1;6;7     | 2;7       | 1         | 3;4;6     |
| Mella et al., 2019            | 1;6       | 2;7       | 1         | 4;6       |

| <b>Referências</b>                      | <b>PP</b> | <b>EA</b> | <b>RM</b> | <b>CE</b> |
|-----------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Milà et al., 2002                       | 0         | 0         | 0;4       | 3;4       |
| Milà et al., 1998                       | 9         | 1;8       | 0;4       | 3         |
| Moktadir et al., 2018                   | 0         | 0         | 0;3;7     | 0         |
| Moktadir, Kumar, et al., 2020           | 0         | 0         | 3;5;7     | 0         |
| Moktadir, Rahman, et al., 2020          | 9         | 0         | 3;5;7     | 4         |
| Moktadir, Ahmadi, et al., 2020          | 0         | 0         | 0;3;7     | 0         |
| Moktadir, Dwivedi, Rahman, et al., 2020 |           |           | 5;7;8     |           |
| Moktadir, Dwivedi, Khan, et al., 2020   | 0         | 0         | 3;5;7     | 0         |
| Molfino & Zoppi, 2005                   | 9         | 6         | 1         | 3;6       |
| Morera et al., 2008                     | 1         | 1;2;7     | 1         | 3;6       |
| Navarro et al., 2020                    | 8         | 7         | 0;4       | 2         |
| Nazer et al., 2006                      | 1;8       | 1;2;7;8   | 1;4       | 4         |
| Notarnicola et al., 2011                | 0         | 0         | 0;4       | 3;4       |
| Ortiz-Rodriguez et al., 2018            | 9         | 9         | 0;4       | 4         |
| Pande & Kumar Adil, 2019                |           |           | 3;5       | 0         |
| Pantazopoulou et al., 2017              | 8         | 7;8       | 1         | 4;6       |
| Puccini et al., 2014a                   | 1         | 2         | 1;4       | 6         |
| Puccini et al., 2014b                   | 4;6       | 1;7       | 1;4       | 6         |
| Püntener, 1998                          | 6;7;9     | 7;8;9     | 0;4       | 1;3;4     |
| Quintero-Angel & Peña-Montoya, 2020     | 9         | 0         | 3;4       | 3;4       |
| Rivela et al., 2004                     | 0         | 0         | 0;4       | 3;4       |
| Roos et al., 2020                       | 0         | 0         | 4;8       | 0         |
| Rosa et al., 2017                       | 1         | 7         | 1;4       | 6         |
| Sartore et al., 2018                    | 5         | 6         | 1         | 4;6       |
| Sathish et al., 2019                    | 3;6       | 4         | 1         | 4;6       |
| Shan et al., 2019                       | 9         | 9         | 4         |           |
| Shi et al., 2016                        | 4;6       | 1;7;8     | 1;4       | 6         |
| Silveira et al., 2019                   | 9         | 9         | 1         | 1         |
| Sole et al., 2019                       | 5         | 8         | 1         | 4;6       |
| Stępień et al., 2019                    |           |           | 6         | 0         |
| Tasca & Puccini, 2019                   | 6         | 1;7;8     | 0;4       | 3;4;6     |
| Velusamy et al., 2020                   | 5;7       | 6         | 1         | 4         |
| Viczek et al., 2020                     | 9         | 9         | 5         |           |
| Vidaurre-Arbizu et al., 2021            | 1;5;7     | 2;5;6     | 0;1       | 4;6       |
| Xu et al., 2015                         | 4;6       | 7;8       | 1;2;4     | 6         |
| Zăinescu et al., 2018                   | 5         | 6         | 1         | 4;6       |
| Zhang et al., 2017                      | 4;6       | 7;8       | 1         | 3;4       |

*Legenda: PP - etapas de produção, EA - aspectos ambientais, RM - metodologia de pesquisa e CE - iniciativas de CE.*

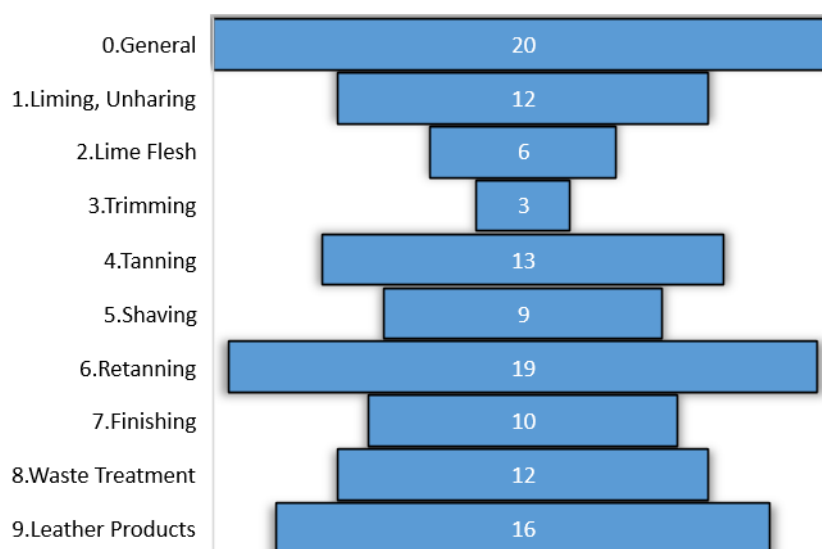
Os próximos tópicos interpretam os resultados apresentados na tabela 3.

#### *A3.4.1 Etapas de produção do couro e impactos ambientais*

A figura 26 apresenta a frequência de artigos por etapa de produção do couro. Pesquisas sobre as etapas anteriores ao *Tanning* (PP.4) concentram-se nas atividades de *Liming*,

*Unhairing (PP.1)*. Esse foco de trabalhos em *Liming, Unhairing (PP.1)* ocorre devido às preocupações relacionadas ao elevado consumo de água e geração de resíduos (CATALÁN, KOMILIS, *et al.*, 2019). A menor concentração de artigos que descrevem etapas anteriores ao *Tanning (PP.4)* está posicionada na etapa de *Trimming (PP.3)*, que produz resíduos subutilizados. Embora haja o aproveitamento do colágeno, os pelos não são aproveitados, ou são utilizados no aquecimento de caldeiras (SATHISH, MADHAN, *et al.*, 2019). As tratativas para executar a tarefa de remoção das aparas e o seu reaproveitamento como subproduto são conhecidas e suportadas por processos consolidados na indústria (HU, XIAO, *et al.*, 2011, NOTARNICOLA, PUIG, *et al.*, 2011, PUCCINI, SEGGIANI, *et al.*, 2014a).

Figura 26 - Quantidade de artigos conforme as etapas de produção do couro (PP)



As etapas de *Tanning (PP.4)* e *Retanning (PP.6)* foram endereçadas por 13 e 19 artigos, respectivamente. Essas etapas estão relacionadas ao uso de produtos químicos (MELLA, B., PUCHANA-ROSETO, *et al.*, 2017), necessários para garantir a estabilidade das fibras da pele e iniciar a preparação para atender os requisitos finais do cliente, tais como os acabamentos para sofás e assentos de veículos (LAURENTI, REDWOOD, *et al.*, 2017). Nestas etapas, 19 (20%) artigos abordaram propostas de modificação no processo e utilização dos produtos visando a mitigação de impactos ambientais negativos (ARIRAM, MADHAN, 2020, BACARDIT, COMBALIA, *et al.*, 2020). Ainda nestas etapas, outros 9 (9.7%) artigos elaboram propostas de reaproveitamento de produtos e sugerem alternativas mais limpas dos sistemas produtivos para elevar o desempenho ambiental (MELLA, B., BENVENUTI, *et al.*, 2019,

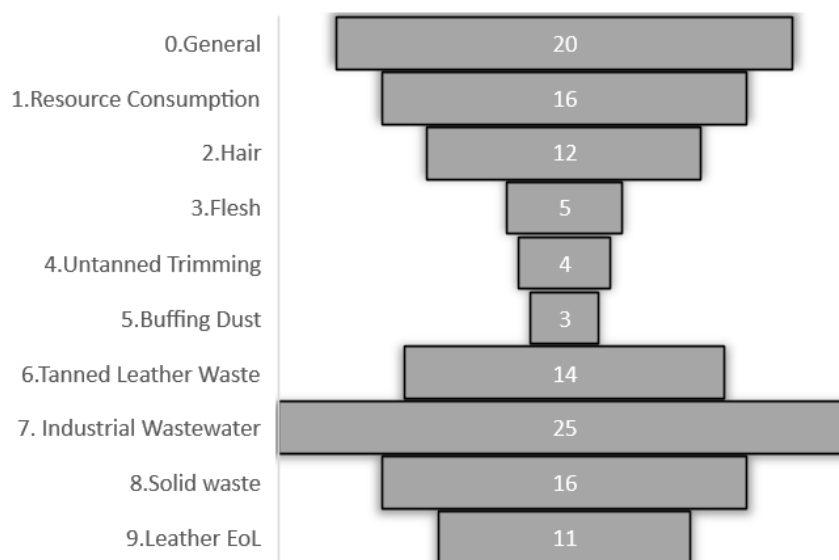
MELLA, B., PUCHANA-ROSETO, *et al.*, 2017) .

As etapas que processam a pele já curtida para ajustes dimensionais e seus aspectos de acabamento, quando o couro é lixado na etapa de *Shaving (PP.5)* para alcançar a espessura ou aparado na etapa de *Finishing (PP.7)* para eliminação de rebarbas foram citadas por 9 e 10 artigos, respectivamente (DWIVEDI, DIXIT, *et al.*, 2019, VELUSAMY, CHAKALI, *et al.*, 2020). Os artigos identificados e que abordam esses processos tem pesquisado o couro desde as etapas de pós-curtimento até as atividades de confecção, as quais também geram resíduos com potencial impacto ambiental conforme o rendimento de corte para a fabricação de produtos como calçados e vestimentas (CIMATTI, CAMPANA, *et al.*, 2017, QUINTERO-ANGEL, PEÑA-MONTOYA, 2020).

#### A3.4.2 Aspectos ambientais (EA) das etapas de produção do couro

A figura 27 mostra os aspectos ambientais das etapas de produção do couro que foram codificados desde os aspectos mais gerais, com o grupo “*General*”, até a identificação de aspectos ambientais mais específicos, quando existe a possibilidade de identificar as condições de contorno.

Figura 27 - Quantidade de artigos conforme o aspecto ambiental (EA)



Como mostra a figura 27, 16 artigos abordam os aspectos relacionados ao consumo de recursos naturais – *Resource Consumption (EA.1)*, como a água, e 25 artigos abordam a geração de efluentes líquidos industriais – *Industrial wastewater (EA.7)* do setor coureiro durante e ao

término do processo produtivo. A maioria dos processos de curtimento normalmente utilizam grandes volumes de água, cenário agravado quando existe a necessidade de conservação das peles *bovinas* com sal (BACARDIT, BAQUERO, *et al.*, 2015, MELLA, B., BENVENUTI, *et al.*, 2019, XU, BAQUERO, *et al.*, 2015). Este aspecto ambiental tem potencial impacto ambiental de contaminação dos recursos hídricos, podendo causar sua escassez e sua disponibilidade para o consumo humano (UNICEF, 2017).

Os produtos químicos utilizados nos banhos das etapas de produção (Figura 26) de *Liming*, *Unharing* (PP.1), *Tanning* (PP.4) e *Retanning* (PP.6) apresentam as maiores preocupações ambientais do setor (NAZER, AL-SA'ED, *et al.*, 2006, PUCCINI, SEGGIANI, *et al.*, 2014a, ROSA, PINI, *et al.*, 2017). O sulfeto de sódio utilizado na etapa de *Liming*, *Unharing* (PP.1) é o agente químico mais comum no processo de remoção dos pelos, por ser mais barato e eficiente, porém a matéria orgânica dos efluentes é aumentada devido a dissolução dos pelos – *Hair* (EA.2) que não podem ser removidos por filtragem (MELLA, B., PUCHANA-ROSETO, *et al.*, 2017). Mais de 85% das peles processadas no mundo são curtidas com sulfato básico de cromo devido a sua altíssima eficiência, baixo custo e boa qualidade do couro obtido. No entanto, o Cromo (III) inofensivo presente no lodo pode ser oxidado a espécies de Cromo (VI) tóxicas e prejudiciais (SOLE, TADDEI, *et al.*, 2019). No processo de curtimento convencional ao cromo, aproximadamente de 60% à 80% do cromo aplicado é efetivamente utilizado e cerca de 40% do reagente de cromo permanece nos resíduos sólidos – *Solid waste* (EA.8), dificultando o reaproveitamento seguro destes resíduos (SUNDAR, RAGHAVA RAO, *et al.*, 2002, XU, BAQUERO, *et al.*, 2015, ZHANG, XIA, *et al.*, 2017).

Cerca de 25% do resíduo curtido são sólidos e apresentam a presença de cromo, sendo as aparas curtidas - *Tanned Leather Waste* (EA.6.) e pó de polimento - *Buffing dust* (EA.5.) os aspectos com alto potencial de impacto ambiental. Diferente das aparas de couro, o pó de polimento que é um pó fino de resíduo de colágeno, gerado quando o couro é submetido a processos de abrasão para obter uma aparência uniforme, contém cromo, gordura sintética e outros produtos químicos. De 2 a 3 Kg deste material é gerado para cada tonelada de pele processada, sendo geralmente direcionado para incineração ou aterro sanitário (KILIÇ, Eylem, TARRÉS, *et al.*, 2020).

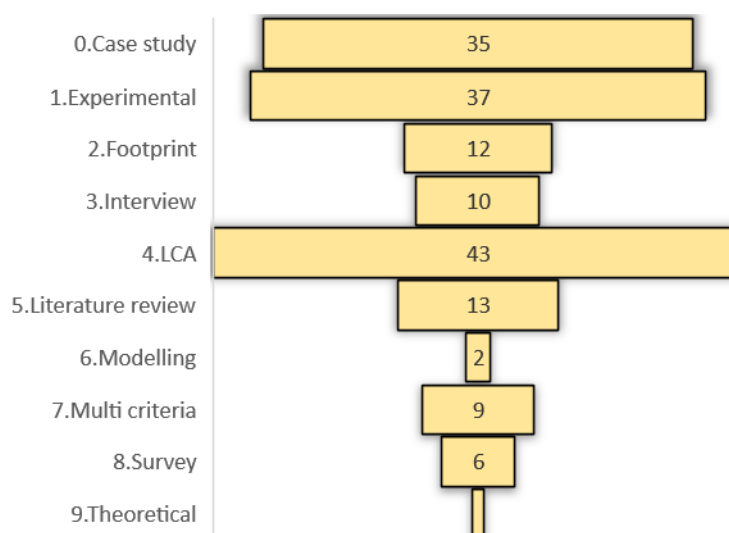
Os artigos que avaliam o final de vida útil (*end-of-life – EoL*) dos produtos de couro - *Leather EoL* (EA.9.) retratam os movimentos para a identificação de alternativas com maior grau de biodegradabilidade. A maior parte dos artigos buscam inserir elementos biodegradáveis nas etapas de curtimento, avaliando os efeitos da troca dos elementos curtentes tradicionalmente

utilizados, como o formaldeído e o cromo que são danosos à saúde e ao meio ambiente (DOTELLI, NEGRETTI, *et al.*, 2020, SATHISH, MADHAN, *et al.*, 2019).

#### A3.4.3 Classificação pelo método de pesquisa

A figura 28 apresenta os métodos de pesquisa empregados nos artigos analisados. Observa-se que a maior parte dos artigos adotam como método de pesquisa aplicações da ACV – LCA (RM.4) (43), experimentos laboratoriais – *Experimental* (RM.1) (37) e estudos de casos – *Case Study* (RM.0) (35). A ACV alinhada às análises de pegada ambiental – *footprint* (RM.2) assumem a posição de abordagem metodológica mais aplicada nas pesquisas (GOLSTEIJN, VIEIRA, 2020).

Figura 28 - Distribuição dos artigos conforme a metodologia de pesquisa (RM)



Os experimentos (RM.1) foram utilizados nas pesquisas para avaliar novos materiais e o consumo de energia, estabelecendo alternativas aos processos e materiais vistos como não sustentáveis (SATHISH, MADHAN, *et al.*, 2019). Outras pesquisas experimentais avaliaram o potencial de valoração dos resíduos, como a recuperação energética, possibilitando o avanço do sistema em direção aos princípios circulares (BAGHERI, ESFILAR, *et al.*, 2020, CABRERA-CODONY, RUIZ, *et al.*, 2020).

Os estudos de casos (RM.0) buscaram investigar novas abordagens para os processos utilizados no ciclo de vida do couro. As contribuições de circularidade vieram de iniciativas de pesquisas voltadas para ganhos de eficiência de processo, como as reduções de geração de resíduos e a utilização compartilhada de estações de tratamento de efluentes (CIMATTI,

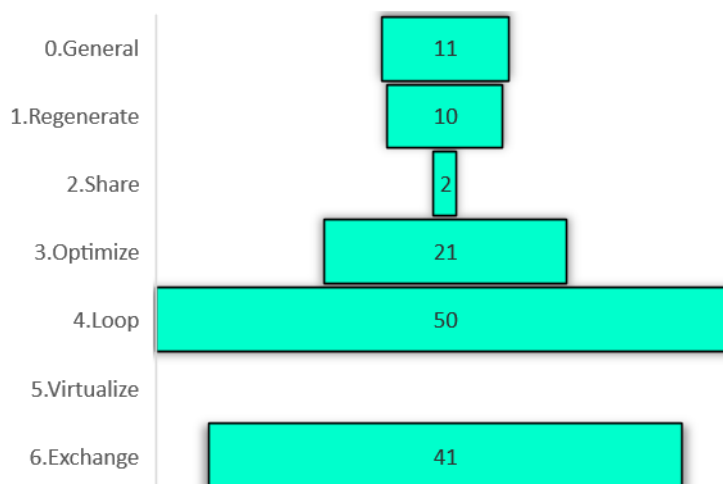
CAMPANA, *et al.*, 2017, NAVARRO, Diego, CANTERO, *et al.*, 2020)..

Métodos de pesquisas como as entrevistas (RM.3), *survey* (RM.8) e análise multicritério (RM.7) foram utilizados como recursos complementares para dar suporte às afirmações apresentadas nas pesquisas. Foram identificadas pesquisas voltadas ao estudo de barreiras às práticas de economia circular e de fatores críticos de sucesso para implementação de práticas circulares (KARUPPIAH, SANKARANARAYANAN, *et al.*, 2021, MOKTADIR, KUMAR, *et al.*, 2020a, MOKTADIR, RAHMAN, *et al.*, 2018).

#### A3.4.4 Relações entre o ciclo de vida do couro e a economia circular (EC)

Ao se avaliar as relações entre as etapas de produção do couro e os princípios *ReSOLVE* (Figura 29), nota-se que grande parte das contribuições buscam ações combinadas de novas destinações ou troca de produtos e processos, por meio de estudos de casos e experimentos laboratoriais (CE.4 *Loop*, CE.6 *Exchange*), sendo a maior parte suportada pela técnica de ACV (RM.4) (BACARDIT, COMBALIA, *et al.*, 2020, CATALÁN, KOMILIS, *et al.*, 2019, CHEN, M., DUAN, *et al.*, 2019, KILIÇ, E., PUIG, *et al.*, 2011, TASCA, PUCCINI, 2019). As pesquisas que abordam oportunidades de circularidade no processo produtivo do couro têm apontado para três grandes áreas: subprodutos extraídos da pele antes da fase de curtimento, reciclagem ou troca de produtos utilizados no curtimento e destinações finais ambientalmente adequadas para os resíduos sólidos do próprio couro após o curtimento (SUNDAR, RAGHAVARAO, *et al.*, 2011, ZENGİN, ZENGİN, *et al.*, 2019).

Figura 29 - Quantidade de artigos conforme os princípios de economia circular (CE)



O primeiro conjunto de artigos endereça a questão de resíduos não curtidos, no qual o pelo (EA.2) é tratado por grande parte dos trabalhos, com avaliações de alterações de processo de depilação, que garantam a preservação deste material e o aproveitamento para novas finalidades (CE.4), dentre elas, a sua reutilização em fases posteriores do mesmo processo produtivo (CATALÁN, KOMILIS, *et al.*, 2019, DE MARCHI, DI MARIA, 2019, MELLA, B., BENVENUTI, *et al.*, 2019).

Os artigos que tratam os produtos utilizados nas fases do curtimento (PP.4, PP.6) adotam posturas de substituição (CE.6) da utilização do cromo como curtente (BACARDIT, COMBALIA, *et al.*, 2020). Diversos experimentos laboratoriais visam buscar potenciais candidatos para substituir os curtentes atuais, que em muitos casos atingem os mesmos resultados, mas com efeitos indesejados que precisam ser superados, tais como maiores consumos de água e energia (BACARDIT, BAQUERO, *et al.*, 2015, SHI, PUIG, *et al.*, 2016).

As etapas posteriores ao curtimento processam a pele já impregnada de material curtente para atingir às especificações dos produtos, gerando resíduos do próprio couro. Atividades como lixamento e polimento são abordadas visando novas propostas para o reaproveitamento dos resíduos gerados, que geralmente são utilizados como matéria-prima para compor novos produtos (CE.4) (BUFALO, FLORIO, *et al.*, 2018, FERREIRA, ALMEIDA, *et al.*, 2011, ZĂINESCU, DESELCU, *et al.*, 2018).

O princípio de virtualização - *Virtualize* (CE.5) não foi abordado pelos artigos incluídos neste estudo. O princípio de compartilhamento - *Share* (CE.2) foi abordado por dois artigos. Este resultado para estes dois princípios, pode ser justificado pelas origens históricas do setor, que utilizavam processos produtivos tradicionais e consolidados sem a necessidade de esforços coordenados de compartilhamento (CE.2) e alheios às oportunidades oferecidas pelas estratégias de virtualização (CE.5). Os poucos exemplos de abordagens de compartilhamento (CE.2) de esforços foram relatados em trabalhos que descreviam o funcionamento de estações de tratamento que atendiam grupos de empresas geradoras de resíduos. Estudos de casos (RM.0) descreveram o funcionamento de pequenas e médias empresas, operando com restrições de recursos e de pessoal, e compartilhavam a infraestrutura da estação de tratamento de efluentes líquidos (DADDI, T., NUCCI, *et al.*, 2017, NAVARRO, Diego, CANTERO, *et al.*, 2020). Segundo o estudo de caso conduzido por Navarro (2020), a estação de tratamento compartilhada propiciou a especialização e adaptação para a melhoria de desempenho da operação de tratamento de águas residuais de curtimento, quando comparada às atividades individuais, conseguindo redução de cromo de 36% para 97% e redução aproximada de 97% em todas as 9

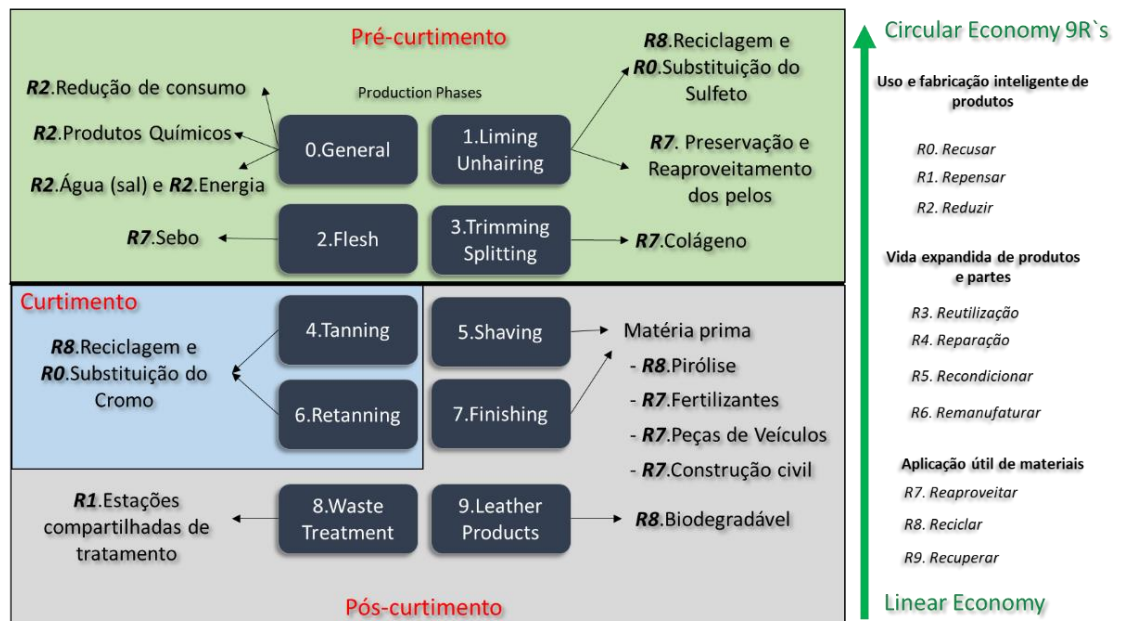
categorias de impacto ambiental da ACV.

#### *A3.4.5 Proposta de um Framework de pesquisa integrando economia circular e o ciclo de vida do couro*

Os artigos incluídos nessa revisão sistemática indicam a existência de muitas iniciativas de aplicação dos princípios da economia circular, mesmo sem citar literalmente o termo em si. A evolução do conhecimento na área do couro passou pela descoberta de novas técnicas que modificaram os processos e criaram produtos através da circularidade de insumos, coprodutos, subprodutos e resíduos (BUFALO, FLORIO, *et al.*, 2018, DE MARCHI, DI MARIA, 2019, HU, XIAO, *et al.*, 2011, KILIÇ, E., PUIG, *et al.*, 2014, MELLA, B., BENVENUTI, *et al.*, 2019).

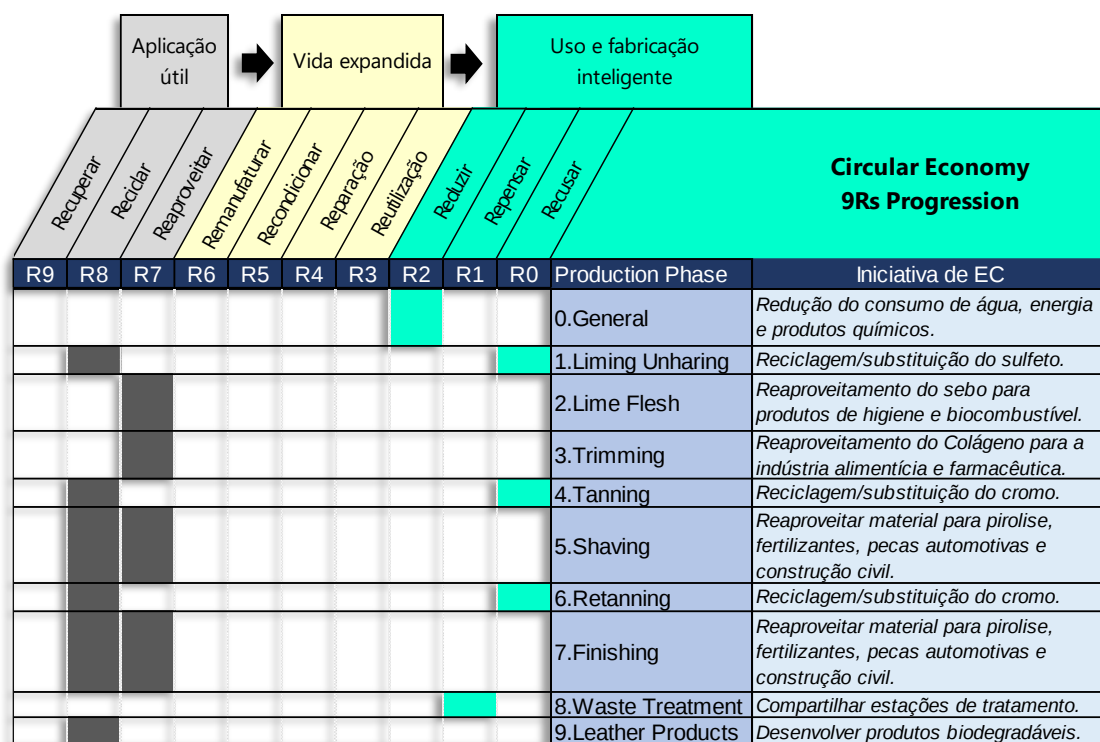
A figura 30 apresenta a interface das etapas de produção do couro e as iniciativas de economia circular encontradas nesta pesquisa. A figura está dividida em três grupos de etapas de produção, pré-curtimento, curtimento e pós-curtimento: as iniciativas da EC na primeira etapa geram oportunidades para a redução do consumo de recursos, reaproveitamento de materiais não curtidos e reciclagem/substituição do sulfeto como agente químico de depilação. Nas etapas de curtimento e recurtimento, as iniciativas da EC avaliam a reciclagem e opções de substituição do cromo como agente curtente. Na última etapa, os materiais já curtidos são pesquisados visando a destinação final ambientalmente adequada, compartilhamento da estação de tratamento de efluentes e degradabilidade de fim de vida.

Figura 30 - Etapas de produção do couro e as iniciativas de Economia Circular



Fonte: Elaborado pelo autor

A EC apresenta princípios aderentes às metas de desenvolvimento sustentável para 2030 estabelecidas pela ONU, com base nos 17 ODS (SCHROEDER, ANGGRAENI, *et al.*, 2019). No mesmo sentido, a União Europeia analisou a sustentabilidade de produtos relevantes no seu plano piloto de *PEFCRs* e considerou o couro na criação de regras específicas para as análises de pegada ambiental (*PEF*), buscando avanços na padronização, comparação e comunicação das métricas das análises de ciclo de vida (BRUGNOLI, BRONDI, *et al.*, 2015). Alinhado a estas visões, nós propusemos um *framework* integrativo (Figura 31) a fim de apoiar as partes interessadas em análises que avaliam o nível de aderência das etapas de produção do couro aos princípios de economia circular.

Figura 31 - *Framework* integrativo de EC e as fases de produção do couro

Fonte: elaborado pelo autor

A contagem regressiva variando do R9 ao R0 indica os estágios evolutivos da EC para cada etapa específica de produção do couro (*Production Phase*) e cada iniciativa de EC, a qual indica possíveis soluções que aumentam a circularidade de produtos e materiais. O *framework* integrativo busca uma visualização capaz de ser compreendida por atores do setor, bem como de membros de outras cadeias de suprimentos, candidatos a serem fornecedores ou consumidores do ciclo de vida do couro, contribuindo com o fechamento do ciclo de materiais e energia.

Os casos identificados por este trabalho e registrados no *framework* proposto servem como um referencial para pesquisadores e organizações avaliarem o seu nível de aderência às propostas de iniciativas de princípios de CE divulgadas em artigos científicos. A adaptação do *framework* à novos cenários também se mostram viável, considerando que novas fases de produção podem ser inseridas ou desdobradas, detalhando as tarefas e aspectos ambientais associados que sejam foco de aplicação da iniciativa de CE. O uso deste *framework* não está limitado ao contexto da cadeia de suprimentos do couro, podendo ser utilizado por outras cadeias de suprimentos que poderiam gerenciar as suas fases de produção, expostas aos princípios da CE e mensuração de progresso através dos 9Rs.

### **A3.5 Conclusões**

Esta pesquisa realizou uma revisão sistemática e análise de conteúdo do setor coureiro, o qual possui processos comuns e consolidados na maioria dos curtumes em operação no mundo. Contrariando a percepção de que o número de publicações não mostraria mudanças relevantes de comportamento, a literatura a respeito do setor tem apresentado crescimento significativo no número de artigos publicados e mudança de abordagem no escopo de pesquisa ao longo dos últimos dez anos, impulsionada principalmente por preocupações dos aspectos ambientais e a sua relevância econômica. A transição da EL para a circular é apresentada como uma necessidade e requer esforços conjuntos de partes interessadas de todos os setores, através da aplicação de princípios de circularidade que endereçam soluções para alguns dos maiores desafios para o aumento da sustentabilidade do ciclo de vida do couro.

Buscando contribuir para a transição da EL para a circular, esta pesquisa identificou avanços em direção aos princípios de circularidade e propôs um *framework* que pode ser visitado por pesquisadores e organizações diversas envolvidas com o ciclo de vida do couro que busquem melhores desempenhos de sustentabilidade nas etapas de produção com processos mais limpos e associados aos 9Rs. Considerando a similaridade dos processos e materiais utilizados pelo setor no processamento do couro, casos e experimentos destacados neste estudo podem ser utilizados como fonte de consulta para todos os níveis de aplicações (curtumes, parques eco-industriais e regulações regionais), viabilizando a identificação de novas abordagens para melhores métricas de ACV em outras aplicações. Os princípios da EC e quantificações da ACV das iniciativas identificadas neste estudo apresentam grande potencial de geração de benefícios ambientais, guiando o setor para padrões mais elevados de sustentabilidade, considerando a premissa de que existam organizações capazes de oferecer novos insumos e novas destinações sustentáveis ao ciclo de vida do couro, viabilizando ciclos fechados de circulação dos materiais.

As limitações desta pesquisa precisam ser consideradas durante o seu uso, atentando para o fato de que os resultados foram obtidos a partir de dados teóricos. Apesar do vasto material acumulado nas bases de dados Scopus e WoS, a lista de artigos selecionados destas bases não garantem completude de rastreabilidade a respeito de todas as pesquisas relacionadas ao ciclo de vida do couro. No mesmo sentido, a seleção das palavras chaves seguiu os termos padrões utilizados por agências intergovernamentais como ONU e UE para estabelecer contornos ao conteúdo de EC e ACV, desconsiderando pesquisas que utilizaram termos não

aderentes para descrever a sustentabilidade do ciclo de vida do couro.

Estudos futuros poderiam considerar a visão expandida da cadeia de suprimentos e acompanhar o mercado de co/subprodutos e capacidade de tratar os resíduos gerados do setor coureiro. Os dados existentes de EC e as métricas de ACV podem suportar estratégias específicas de instalação, ampliação ou recomendação de descontinuidade deste tipo de atividade para cada região estudada. As propostas de substituição de insumos e processos devem prevenir ganhos pontuais em detrimento de um resultado global. As análises de ciclo de vida e regulações devem considerar o setor coureiro como consequência da cadeia de suprimentos da carne e leite. Até que se tenha uma alternativa de fonte de nutrição diferente da carne, existe a necessidade de manter a sustentabilidade deste modelo de negócio, mantendo a segurança alimentar da população, com destinação sustentável de transformação das peles bovinas em artigos de couro, viabilizando a geração deste produto versátil que acompanha a humanidade há muitas gerações.

### **3.4 Artigo 4 (A4) - Melhores práticas ambientais do setor coureiro: visões de especialistas e pesquisadores sobre iniciativas de economia circular**

A partir do levantamento das melhores práticas ambientais do setor coureiro do artigo anterior, este artigo teve como objetivo identificar as percepções comparativas de dois públicos-alvo - especialistas e pesquisadores a respeito das melhores práticas ambientais. O conteúdo deste artigo proporcionou, a partir das percepções dos participantes, quais práticas teriam os maiores potenciais para a geração de melhores desempenhos ambientais. A contribuição deste artigo para tese considera que este conteúdo registra a exposição da pesquisa realizada na literatura sobre EC do setor coureiro e publicada no artigo anterior para um público-alvo capaz de quantificar e qualificar o nível de sucesso das práticas vigentes.

#### ***A4.3 Método de pesquisa***

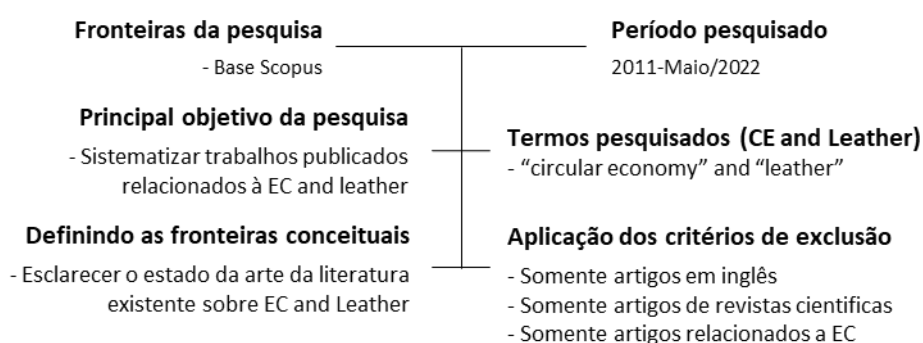
Considerando os objetivos e questão de pesquisa apresentados no tópico de introdução deste artigo, o método aqui adotado foi dividido em três partes. A primeira buscou identificar na literatura as práticas ambientais de implementação dos princípios de EC, agrupando em tópicos que representavam desde aspectos gerais como legislação, auditorias e selos de sustentabilidade, até itens específicos relacionados às etapas do ciclo de produção do couro. Na segunda parte, os autores dos artigos e uma lista de profissionais do setor foi gerada para o

envio de um questionário com a lista das práticas para a avaliação. Na última, apresenta-se o questionário utilizado como instrumento de pesquisa.

#### A4.3.1 Identificação de artigos científicos e autores

Inicialmente, buscou-se artigos sobre as iniciativas de EC no contexto da produção do couro com o objetivo de identificar práticas que contribuíssem com a preservação do meio ambiente e os respectivos autores, selecionando palavras chaves “*leather*” e “*circular economy*” na base *Scopus*, por meio da lógica booleana – ( *TITLE-ABS-KEY ( leather ) AND TITLE-ABS-KEY ( “circular economy” ) ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , “ar” ) ) AND ( LIMIT-TO ( LANGUAGE , “English” ) ) AND ( LIMIT-TO ( SRCTYPE , “j” ) ) ). Como resultado da aplicação deste protocolo de pesquisa, conforme apresentado na figura 32, identificou-se 45 artigos publicados em *journals* e em inglês. Os artigos foram analisados para a identificação de preocupações ambientais relacionadas à produção do couro e referências às iniciativas de EC.*

Figura 32 - Protocolo de pesquisa



Fonte: base Scopus (2011 - maio/2022)

Como parte da abordagem do instrumento de pesquisa, os autores correspondentes dos artigos que satisfizeram o protocolo de pesquisa foram identificados na base *Scopus*. O *e-mail* do autor correspondente foi utilizado para expor um questionário a respeito das práticas ambientais do setor. A premissa utilizada para a escolha deste público considera que o autor de um artigo científico conhece a literatura do setor, identificou lacunas, desenvolveu experimentos, estudos de casos e apontou avanços, que foram validados e verificados por revisores por pares de *Journals*.

#### A4.3.2 Identificação dos especialistas do setor

Seguindo a mesma abordagem que identificou autores de artigos científicos, uma lista de profissionais dos principais países produtores foi identificada, inicialmente através de indicações de organizações que representam a categoria, como o Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil (CICB) e *Confindustria di Vicenza - Italia*, expandindo o número de empresas participantes através de repasses dos questionários para as redes de contatos existentes.

A concentração de profissionais que colaborariam e compatíveis com os objetivos da pesquisa foi localizada primeiramente em três plantas do Grupo JBS Couros: JBS Couros SP - Brasil, Conceria Priante - Itália e JBS Joint Venture - Vietnã. Após a confirmação dos executivos da empresa a respeito da disponibilidade para participar do trabalho, o questionário foi repassado pelos executivos para os especialistas, que responderam às perguntas e retornaram os *e-mails*. Adicionalmente, os *e-mails* foram repassados pelos profissionais para outros contatos do setor, acrescentando novos participantes de diferentes empresas, localizadas em vários países com processamento do couro como Índia, China e Estados Unidos.

Buscou-se na visão dos profissionais do setor contribuições sobre as condições de operacionalização das iniciativas de EC, avaliando e verificando as propostas dos artigos científicos e seus resultados. A capacidade de contribuir com os objetivos desta pesquisa por meio da consulta aos profissionais do setor considerou que este público é formado, em sua grande maioria, por químicos especializados nos processos de curtimento de peles. Neste sentido, os profissionais contam com formação técnica no processamento e conhecimentos práticos a respeito de aspectos como as melhores práticas e regulações ambientais do setor.

#### *A4.3.2 Elaboração do questionário*

Seguindo o objetivo de identificar as melhores práticas de implementação de iniciativas de EC, esta pesquisa seguiu a mesma abordagem de trabalhos anteriores, que utilizaram questionários como instrumento para abordar fontes capazes de contribuir com as respostas para a questão de pesquisa (DONATELLO, CORDELLA, *et al.*, 2020, LAURENTI, REDWOOD, *et al.*, 2017, MOKTADIR, DWIVEDI, RAHMAN, *et al.*, 2020). Assim, um questionário utilizando uma escala Likert de 5 pontos e campos para comentários foi elaborado para avaliar as práticas, oferecendo aos entrevistados as possíveis ponderações - Discordo totalmente / Discordo parcialmente / Neutro / Concordo parcialmente / Concordo totalmente - para quatro dimensões, conforme a tabela 4 abaixo:

Tabela 4 - Dimensões de avaliação das práticas

| Dimensão       | Definição                                                                                       | Referências                                                                       |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Confiabilidade | A prática ambiental gera dados robustos/confiáveis.                                             | (MAMMADOVA, BEHAGEL, <i>et al.</i> , 2020, TURKI, ZAHRANI, <i>et al.</i> , 2020)  |
| Aplicabilidade | A prática ambiental pode ser implementada em todos os tipos de processos dos países produtores. | (CABRERA-CODONY, RUIZ, <i>et al.</i> , 2020, NALYANYA, ROP, <i>et al.</i> , 2019) |
| Adesão         | A maioria das empresas do setor utilizam a prática.                                             | (MOKTADIR, AHMADI, <i>et al.</i> , 2020, MOKTADIR, KUMAR, <i>et al.</i> , 2020b)  |
| Eficácia       | A iniciativa garante melhor desempenho ambiental                                                | (DE MARCHI, DI MARIA, 2019, NAVARRO, Diego, CANTERO, <i>et al.</i> , 2020)        |

A escolha do método de ponderação das práticas usou como referência a abordagem de Moktadir (MOKTADIR, AHMADI, *et al.*, 2020, MOKTADIR, RAHMAN, *et al.*, 2018), considerando que para avaliar a capacidade de geração dos benefícios da implementação da iniciativa de EC, a melhor prática deveria ser capaz de gerar o benefício esperado se fosse confiável, capaz de ser aplicada em todos os tipos de operação, alta taxa de adesão e eficaz quanto a capacidade de geração do benefício ambiental (DONATELLO, CORDELLA, *et al.*, 2020, LAURENTI, REDWOOD, *et al.*, 2017, MOKTADIR, DWIVEDI, RAHMAN, *et al.*, 2020).

O formato final do instrumento de pesquisa, que foi enviado em novembro de 2021, contou com dados quantitativos da escala Likert e campos opcionais para comentários qualitativos em cada prática. Os dados das amostras quantitativas da escala mostraram ser apropriadas para a avaliação de dois públicos distintos, que poderiam divergir significativamente as suas ponderações, desqualificando o entendimento dos resultados esperados, que buscavam convergências e divergências quanto as melhores práticas de EC para o setor. O apêndice A apresenta os modelos de formulários (português e inglês) utilizados nos *e-mails* endereçados aos autores de artigos científicos e especialistas do setor. Nota-se que além das ponderações das dimensões, abriu-se a oportunidade para o autor acrescentar comentários a respeito das melhores práticas. Assim, buscou-se capturar a máxima contribuição do público-alvo sobre o tema através de métricas quantitativas das dimensões e qualitativas dos comentários.

Os questionários foram enviados em novembro de 2021, recebidos até o mês de maio de 2022. A quantidade de respondentes alcançou o valor total de vinte e um (21) participantes. Deste total, dezesseis (16) respondentes foram identificados como especialistas do setor, que atuam em empresas em operação e que devido aos vários países de origem, contribuíram para criar percepções que representam grande parte dos modelos de operação deste tipo de produção no mundo. Mesmo somando um menor número de participantes, os cinco autores (5) também foram representados neste estudo, considerando que as melhores práticas foram originadas a partir de artigos científicos em estudos sobre este setor, citando práticas de trabalhos dos outros autores, mesmo aqueles que não responderam os questionários.

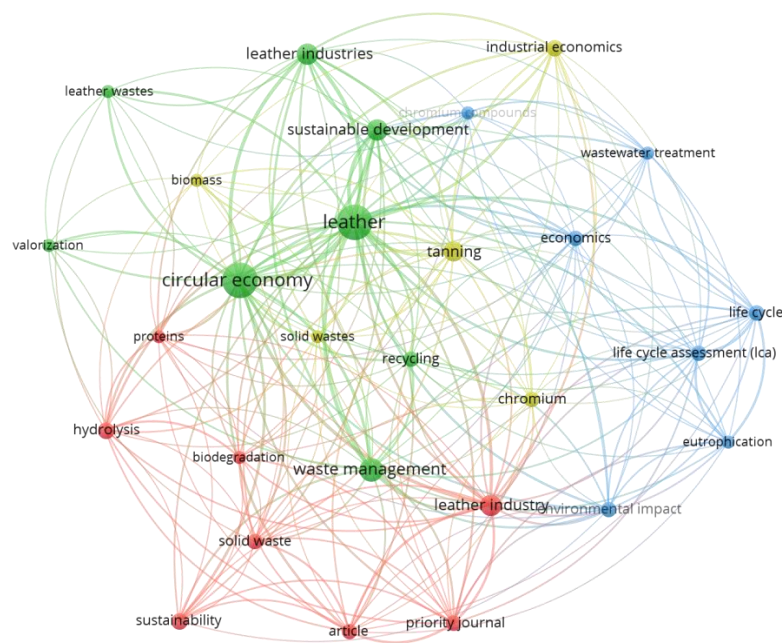
#### **A4.4 Resultados**

Os resultados desta pesquisa consideraram analisar o comportamento dos dois públicos (autores e especialistas) com relação as iniciativas de EC no setor coureiro, identificadas na revisão sistemática da literatura. Assim, os resultados são apresentados destacando na primeira seção a lista das 14 práticas da literatura, descrições e referências. Na seção seguinte, as respostas dos questionários são apresentadas considerando a escala Likert de 5 pontos e as quatro dimensões de avaliação: confiabilidade, aplicabilidade, adesão e eficácia.

##### *A4.4.1 Revisão sistemática da literatura*

As pesquisas relacionadas às iniciativas de EC na produção do couro bovino sugerem um cenário de importância socioeconômica (OMOLOSO, MORTIMER, *et al.*, 2021), mas alertam para os aspectos ambientais e necessidades de adoção de melhores práticas, sugerindo avanços em direção ao desenvolvimento sustentável (MOKTADIR, KUMAR, *et al.*, 2020b). A análise de coocorrência de palavras-chave dos artigos compatíveis com o protocolo de pesquisa destaca as preocupações com os aspectos ambientais do setor coureiro. As manifestações do termo EC associado a produtos químicos (*Chromium*) e à gestão de resíduos sólidos e líquidos (*waste management, wastewater, solid waste, leather waste*) associam a utilização dos princípios de circularidade como estratégia para melhores desempenhos ambientais (Figura 33).

Figura 33 - Análise de coocorrência de palavras chaves



Fonte: adaptado de VOSviewer

Os artigos compatíveis destacam quatro conjuntos de práticas ambientais: generalistas, pré-curtimento, curtimento e pós-curtimento:

- Generalistas: os artigos encontrados destacam práticas com abordagens que podem afetar todas as etapas de produção, como a implementação de legislação/regulação específica, auditorias e certificações, gerando benefícios ambientais para toda operação (DADDI, T., CEGLIA, *et al.*, 2019, GOLSTEIJN, VIEIRA, 2020).

- Pré-curtimento: as etapas anteriores ao curtimento reúnem práticas que buscam reduzir e/ou substituir o consumo de insumos, relevantes para os aspectos ambientais, como a água e produtos químicos como o sulfeto, utilizado nas etapas de depilação das peles (CATALÁN, KOMILIS, *et al.*, 2019, DE MARCHI, DI MARIA, 2019, MELLA, Bianca, BENVENUTI, *et al.*, 2019).

- Curtimento: durante as etapas de curtimento, as preocupações dos aspectos ambientais focam principalmente na utilização do cromo como alvo das iniciativas de EC, buscando redução e/ou substituição deste agente de curtimento, que pode se tornar nocivo ao meio ambiente, caso ocorra uma gestão inadequada deste material durante o tratamento dos resíduos da produção (ARIRAM, MADHAN, 2020, BACARDIT, COMBALIA, *et al.*, 2020, INGRAO, VESCE, *et al.*, 2021).

- Pós-curtimento: as iniciativas para os aspectos ambientais desta fase do processo focam a existência de resíduos impregnados com os produtos químicos utilizados no curtimento. Os resíduos desta fase da produção estão impregnados com o cromo e não devem ser direcionados para descarte em aterro comum sem tratamento especializado, tais como a pirólise ou incineradores especiais. Muitas iniciativas desta fase final da produção buscam novas abordagens de tratamento, reduzir a geração destes resíduos e/ou identificar novas destinações, como matéria-prima de novos ciclos de vida (CABRERA-CODONY, RUIZ, *et al.*, 2020, KILIÇ, Eylem, TARRÉS, *et al.*, 2020, VELUSAMY, CHAKALI, *et al.*, 2020).

A tabela 5 apresenta uma lista com as principais práticas encontradas na literatura.

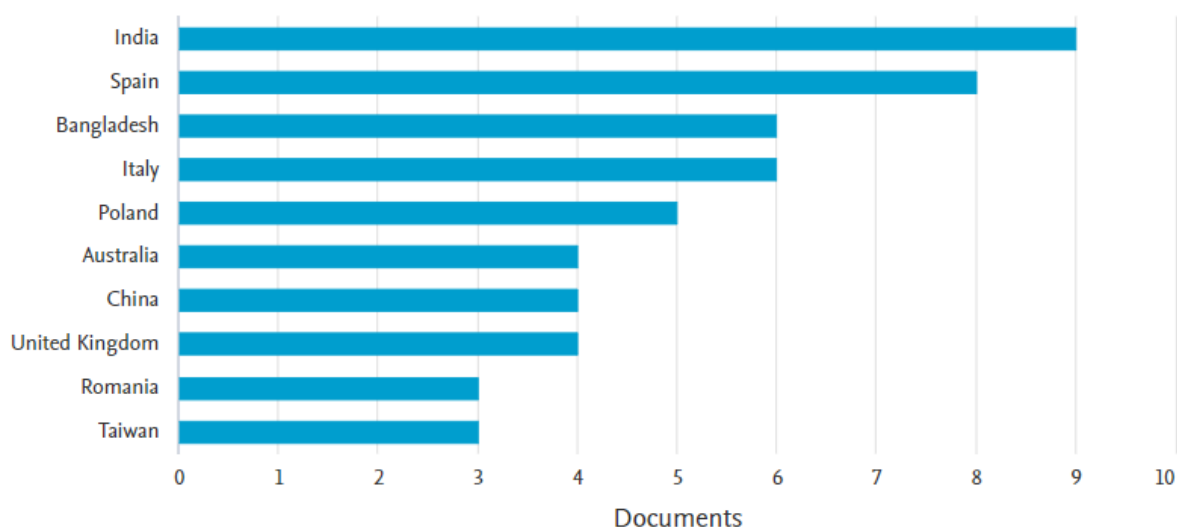
Tabela 5 - Práticas ambientais no processo produtivo do couro bovino

| Prática                                     | Descrição                                                                                                                                                                                                                      | Referências                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.Legislação                                | Legislação que define os requisitos de funcionamento, instalação e operação das plantas produtivas.                                                                                                                            | Legislações ambientais de instalação e operação dos curtumes                                                                                                       |
| 2.Auditorias e certificações                | Empresas reconhecidas que realizam os serviços de auditoria e certificações das operações. Geralmente utilizam métricas de Footprint, LCA e ISO14000                                                                           | leatherworkinggroup.com<br>icec.it, spin360.biz,<br>greenlifeproject.eu                                                                                            |
| 3.Selos de sustentabilidade                 | Selos emitidos por empresas de auditorias e certificadores.                                                                                                                                                                    | Green seal, Carbon neutral, Carbon zero, Low carbon, Vegetable-tanned, Wet White tanning, LWG (DONATELLO, CORDELLA, <i>et al.</i> , 2020, GOLSTEIJN, VIEIRA, 2020) |
| 4.Transparência e rastreabilidade das peles | Capacidade de identificar todas as etapas - <i>upstream and downstream</i> - nas quais os produtos foram processados durante a sua produção.                                                                                   | (GONZALEZ-QUIJANO, ALBU, 2012)<br>(IOANNIDIS, 2011)                                                                                                                |
| 5.Utilização de peles não salgadas          | Movimentação rápida das peles bovinas (perecíveis) dos frigoríficos até os curtumes, evitando o uso de sal para a conservação, evitando maior consumo de água na produção, para a remoção do sal. [300-400 de sal/ton de pele] | (SATHISH, MADHAN, <i>et al.</i> , 2019)<br>(HU, XIAO, <i>et al.</i> , 2011)                                                                                        |
| 6.Substituição ou reciclagem do sulfeto     | Busca de alternativas do uso/reuso do sulfeto como agente de remoção dos pelos.                                                                                                                                                | (CATALÁN, KOMILIS, <i>et al.</i> , 2019)                                                                                                                           |

| Prática                                     | Descrição                                                                                                    | Referências                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                             |                                                                                                              | (PUCCINI, SEGGIANI, <i>et al.</i> , 2014a)                                                                                                              |
| 7.Preservação e reaproveitamento dos pelos  | Adoção de processos que evitem a dissolução dos pelos, viabilizando o reaproveitamento em outros processos.  | (MELLA, B., PUCHANA-ROSETO, <i>et al.</i> , 2017, MELLA, Bianca, BENVENUTI, <i>et al.</i> , 2019)<br>(VIDAURRE-ARBIZU, PÉREZ-BOU, <i>et al.</i> , 2021) |
| 8.Reaproveitamento de aparas NÃO curtidas   | Reaproveitamento das aparas não curtidas para geração de colágeno.                                           | (DE MARCHI, DI MARIA, 2019)<br>(SATHISH, MADHAN, <i>et al.</i> , 2019)                                                                                  |
| 9.Reaproveitamento do sebo                  | Reaproveitamento do sebo para produtos de higiene e biocombustível.                                          | (ALTUN, LAPUERTA, 2014, ALTUN, RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, 2016)<br>(KILIÇ, E., PUIG, <i>et al.</i> , 2014)                                                    |
| 10.Substituição ou reciclagem do cromo      | Busca de alternativas do uso/reuso do cromo como agente curtente.                                            | (BACARDIT, COMBALIA, <i>et al.</i> , 2020)<br>(SHI, PUIG, <i>et al.</i> , 2016)                                                                         |
| 11.Reaproveitamento de aparas curtidas      | Reaproveitar material para pirolise, fertilizantes, peças automotivas e construção civil.                    | (VELUSAMY, CHAKALI, <i>et al.</i> , 2020)<br>(VIDAURRE-ARBIZU, PÉREZ-BOU, <i>et al.</i> , 2021)                                                         |
| 12.Tratamento de resíduos                   | Adoção de estratégias de melhoria de desempenho de estações de tratamento de resíduos sólidos e líquidos     | (NAVARRO, Diego, CANTERO, <i>et al.</i> , 2020)<br>(DADDI, Tiberio, NUCCI, <i>et al.</i> , 2017)                                                        |
| 13.Biodegradabilidade                       | Desenvolvimento de produtos com maior grau de biodegradabilidade.                                            | (IOANNIDIS, 2011)<br>(SARTORE, SCHETTINI, <i>et al.</i> , 2018)                                                                                         |
| 14.Substituição do couro por outro material | A utilização de materiais artificiais a base de PVC, alternativos ao couro, buscando menor impacto ambiental | (KNODLER, 2012)                                                                                                                                         |

A figura 34 apresenta as publicações classificadas por país conforme a afiliação do primeiro autor de cada artigo.

Figura 34 - Publicações conforme país ou território de publicação



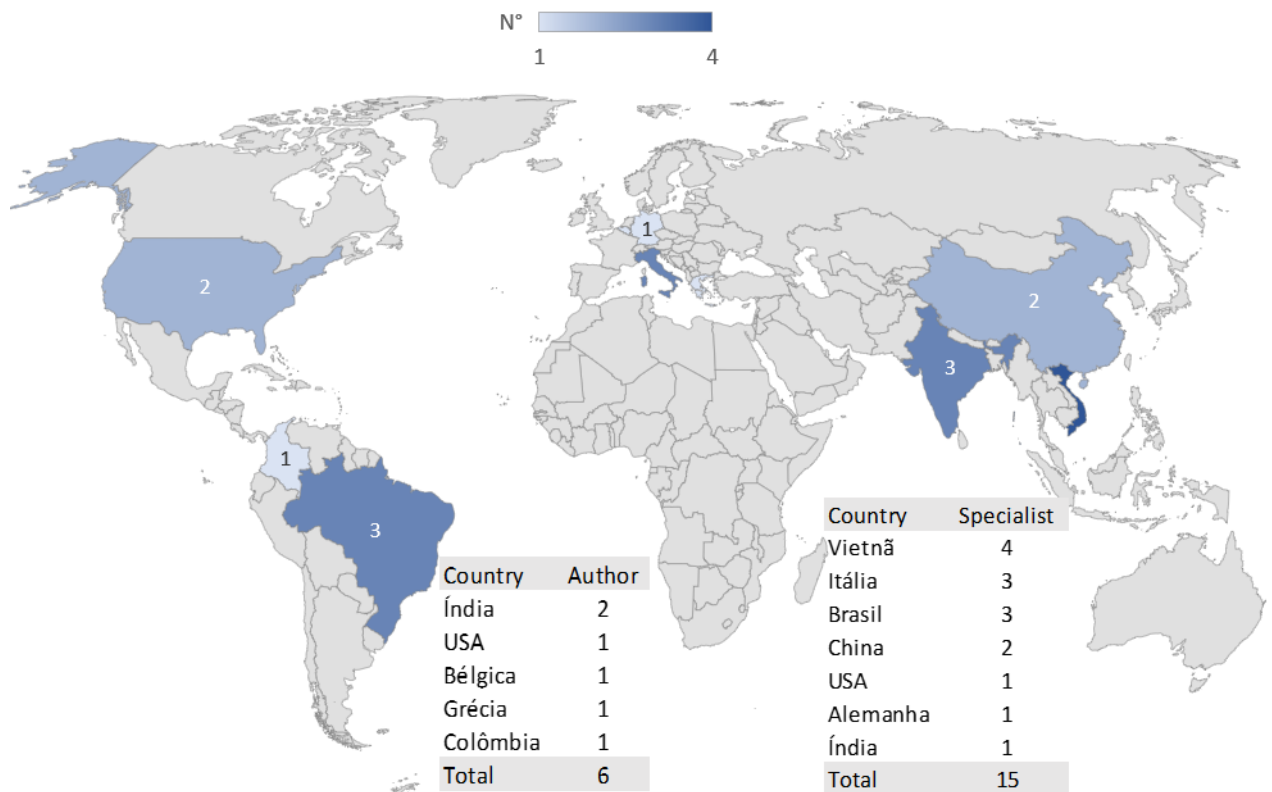
A revisão de literatura permitiu observar que apesar de estudos realizados em vários países, expostos a diferentes realidades regionais dos fatores de sustentabilidade, principalmente quando se compara países desenvolvidos e em desenvolvimento, os artigos retratam comunalidade de processos, materiais e preocupações ambientais. Assim, o cenário descrito apresenta a oportunidade de que avanços em direção a produções mais sustentáveis para o setor coureiro, por meios da divulgação de iniciativas de EC para processos e materiais, comuns a maioria dos curtumes em operação do mundo, seriam capazes de gerar benefício em escala global.

#### A4.4.2 Resultado da consulta aos autores de artigos e especialistas do setor

Considerando às dificuldades de acesso aos dois públicos-alvo e a incapacidade de acumular grande quantidade de participantes, a técnica de amostragem seguiu uma abordagem não probabilística, sendo que os questionários foram distribuídos utilizando a técnica de bola de neve (*snowball*) e repassados por meio das redes de referência dos autores e profissionais.

As informações como o país de origem dos entrevistados mostraram-se relevantes para a associação com histórico regional da produção do couro bovino, importância socioeconômica e movimentos sociais por iniciativas para melhores desempenhos ambientais. A figura 35 revela que alguns países com elevado volume de publicações (Figura 34) sobre o setor também receberam atenção de profissionais que responderam às questões propostas sobre as melhores práticas ambientais.

Figura 35 - Identificação dos países dos respondentes dos questionários



A visibilidade da média de todos os valores considerando os dois grupos, permitiu perceber que os níveis de concordância com às melhores práticas são maiores no grupo de especialistas. Entretanto, vale ressaltar que existe uma relação de acompanhamento dos valores entre os dois grupos. Mesmo que existam menores níveis de concordância por parte dos autores, as curvas mostram comunalidades de tendências na maioria das práticas (Figura 36) e dimensões (Tabela 6).

Figura 36 - Valores médios das dimensões: pesquisadores e especialistas

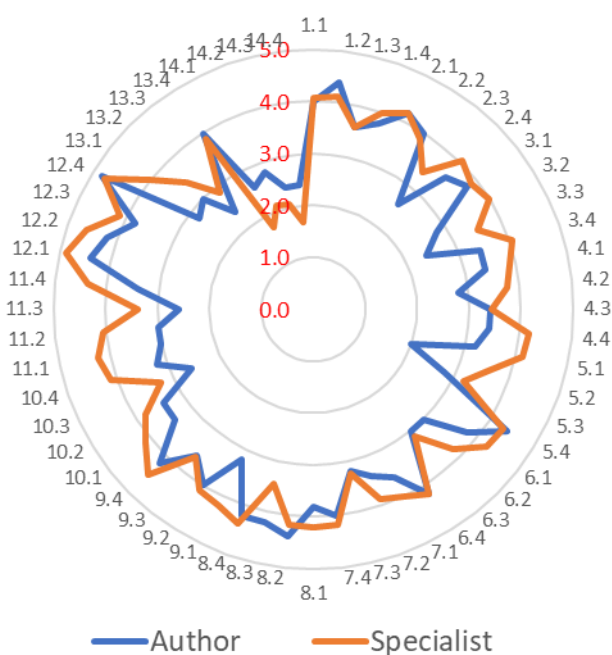


Tabela 6 - Lista das práticas ambientais e codificação das dimensões

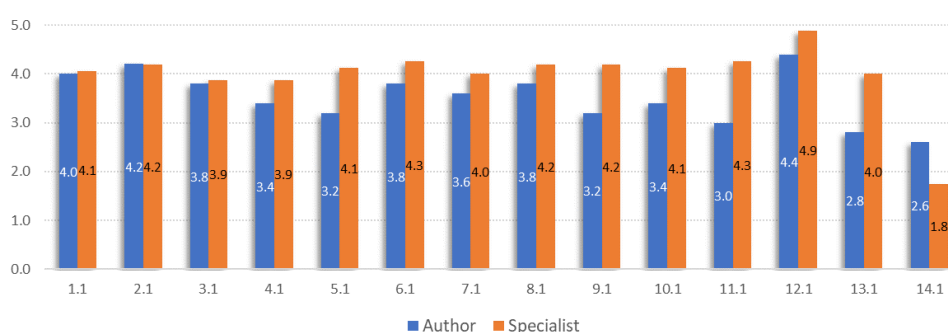
| Práticas ambientais do couro                 | 1.Confiabilidade |                  |          |            |
|----------------------------------------------|------------------|------------------|----------|------------|
|                                              |                  | 2.Aplicabilidade | 3.Adesão | 4.Eficácia |
| 1. Leis de proteção ambiental dos países     | 1.1              | 1.2              | 1.3      | 1.4        |
| 2. Auditorias ambientais                     | 2.1              | 2.2              | 2.3      | 2.4        |
| 3. Certificados/Selos de sustentabilidade    | 3.1              | 3.2              | 3.3      | 3.4        |
| 4. Transparência e rastreabilidade das peles | 4.1              | 4.2              | 4.3      | 4.4        |
| 5. Utilização de peles não salgadas          | 5.1              | 5.2              | 5.3      | 5.4        |
| 6. Substituição ou reciclagem do sulfeto     | 6.1              | 6.2              | 6.3      | 6.4        |
| 7. Preservação e reaproveitamento dos pelos  | 7.1              | 7.2              | 7.3      | 7.4        |
| 8. Reaproveitamento de aparas não curtidas   | 8.1              | 8.2              | 8.3      | 8.4        |
| 9. Reaproveitamento do sebo                  | 9.1              | 9.2              | 9.3      | 9.4        |
| 10. Substituição ou reciclagem do cromo      | 10.1             | 10.2             | 10.3     | 10.4       |
| 11. Reaproveitamento de aparas curtidas      | 11.1             | 11.2             | 11.3     | 11.4       |

| Práticas ambientais do couro                | 1.Confiabilidade |                  |            |      |
|---------------------------------------------|------------------|------------------|------------|------|
|                                             |                  | 2.Aplicabilidade |            |      |
|                                             |                  |                  | 3.Adesão   |      |
|                                             |                  |                  | 4.Eficácia |      |
| 12. Tratamento de resíduos                  | 12.1             | 12.2             | 12.3       | 12.4 |
| 13. Couro certificado como biodegradável    | 13.1             | 13.2             | 13.3       | 13.4 |
| 14. Substituir o couro por outros materiais | 14.1             | 14.2             | 14.3       | 14.4 |

#### A4.4.2.1. Análise da dimensão confiabilidade

Considerando que a primeira dimensão buscava identificar o nível de confiabilidade da prática, perguntando para os respondentes sobre a existência de dados robustos/confiáveis a respeito das iniciativas, os valores atribuídos a primeira dimensão mostram maior comunalidade de concordância para legislação, auditorias e tratamento de resíduos (1.1, 2.1,12.1). Os menores níveis de confiabilidade foram observados na questão que propõe a substituição do couro por material alternativo (14.1), na qual os autores apresentam níveis de concordância maior que os especialistas, mas também inferiores a neutralidade (escala 3) (Figura 37).

Figura 37 - Valores médios da dimensão confiabilidade: pesquisadores e especialistas

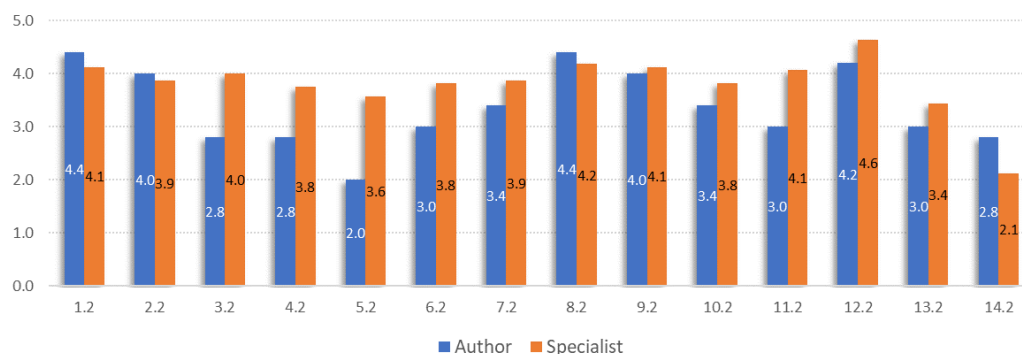


#### A4.4.2.2. Análise da dimensão aplicabilidade

A segunda dimensão questionava se a prática ambiental poderia ser implementada em todos os tipos de ambientes operacionais. Os maiores níveis de concordância foram identificados nas práticas referentes à legislação, reaproveitamento de aparas não curtidas e tratamento de resíduos (1.2, 8.2, 12.2). Uma grande discordância nesta dimensão foi identificada na prática de utilização de peles não salgadas (5.2), onde os autores mostraram baixo nível de concordância em detrimento aos valores identificados pelos especialistas. A

questão de substituição do couro por outros materiais (14.2) novamente mostrou valores baixos de concordância, mantendo os autores com valores maiores que os especialistas (Figura 38).

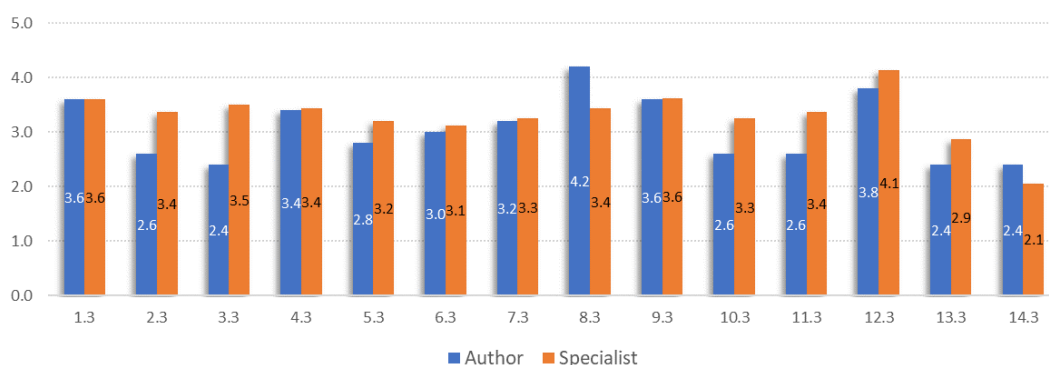
Figura 38 - Valores médios da dimensão aplicabilidade: pesquisadores e especialistas



#### A4.4.2.3. Análise da dimensão aderência

Com o objetivo de identificar os níveis de adesão que a prática apresenta para maioria das empresas do setor, a terceira dimensão apresentou níveis menores de concordância quando comparados às outras dimensões. As exceções para este comportamento de neutralidade (escala 3) foi identificada para o reaproveitamento de aparas não curtidas (8.3) para os autores e o tratamento de resíduos (12.3) tanto para os autores quanto para os especialistas (Figura 39).

Figura 39 - Valores médios da dimensão aderência: pesquisadores e especialistas

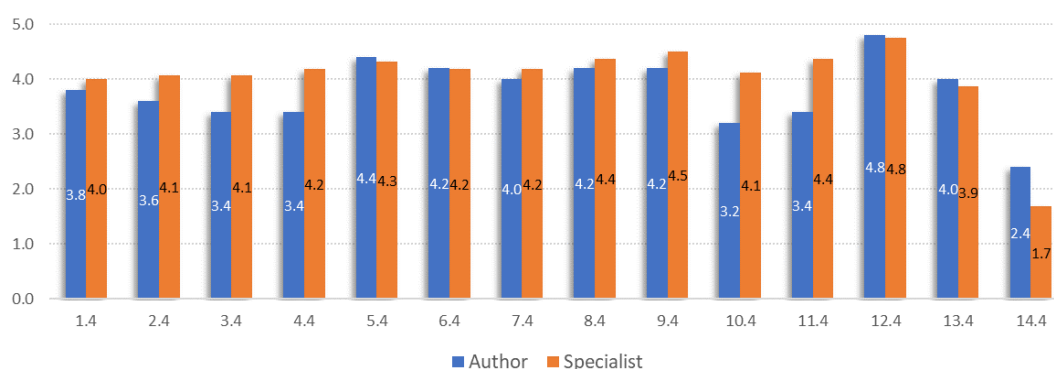


#### A4.4.2.4. Análise da dimensão eficácia

A última dimensão questionava se a iniciativa garantiria um melhor desempenho ambiental e a maioria das respostas dos especialistas concordou com as práticas, sendo exceção a questão referente a troca do couro por material alternativo (14.4) fora deste comportamento, contrariando o maior nível de concordância identificado nos autores. Ressalta-se nesta

dimensão a diferença significativa nas iniciativas de substituição/reciclagem do couro e reaproveitamento de aparas curtidas (10.4, 11.4), que identificou valores próximos da neutralidade (escala 3) na visão dos autores (Figura 40).

Figura 40 - Valores médios da dimensão eficácia: pesquisadores e especialistas



#### A4.5 Discussões

Por meio da simplicidade de interpretação, a utilização de todos os dados coletados por este trabalho buscou gerar contribuições para a maior compreensão da sustentabilidade ambiental no setor da produção do couro bovino, mesmo com a pequena quantidade de participantes. Um exemplo da facilidade da interpretação dos resultados pode ser visto na iniciativa de EC que obteve maior nível de concordância - Tratamento de resíduo (12) (DADDI, Tiberio, NUCCI, *et al.*, 2017, NAVARRO, Diego, CANTERO, *et al.*, 2020), recebendo os maiores valores da escala nas dimensões confiabilidade, aplicabilidade e efetividade. Entretanto, mesmo com valores acima da média, esta mesma prática apresentou na dimensão Adesão valores inferiores às outras dimensões, indicando que ainda existe oportunidade para expandir o uso desta prática no setor.

Destaca-se ainda que a prática que recebeu os menores valores de concordância, os quais recomendavam a substituição do couro por materiais alternativos – ‘Substituir o couro por outros materiais (14)’, sinalizaram que o couro mantém o *status* de relevância para autores e especialistas, quando comparado com materiais alternativos. Estes valores não seguem as premissas de Potting (2017), que propõe um movimento de migração dos princípios de EL para uma escala maior de EC, quando existe a recusa de uso de determinado produto, alvo de preocupação ambiental. Os resultados indicam assim que os entrevistados não optaram pela substituição como prática mais recomendada para ganhos de sustentabilidade para o setor (MEYER, DIETRICH, *et al.*, 2021).

Parte importante do instrumento de coleta das percepções dos respondentes, os comentários acrescentados às melhores práticas permitiram a qualificação dos valores indicados. As informações acrescentadas auxiliaram na análise da especificidade de cada realidade, considerando que a pesquisa contou com a participação de dez países em diversos continentes, revelando a realidade que cada profissional ou pesquisador vivenciava no seu contexto de atuação. Os comentários permitiram assumir que os processos produtivos de empresas reguladas são usuários das melhores práticas de produção sustentável e assim permitem melhores desempenhos ambientais (MOKTADIR, DWIVEDI, RAHMAN, *et al.*, 2020).

Nesta perspectiva, movimentos como auditorias e selos ambientais são utilizados como meio de diferenciação para destacar para a sociedade iniciativas que foram geradoras de menor impacto ao meio ambiente (DONATELLO, CORDELLA, *et al.*, 2020). Entretanto, o mercado ainda sustenta a existência de produções não adeptas das melhores práticas, alheias a legislação e capazes de oferecer produtos com menores preços, mas com grandes prejuízos para sociedade, devido aos impactos ambientais causados pelos modelos de produção (MAMMADOVA, BEHAGEL, *et al.*, 2022). Assim, as próprias organizações do setor incentivam os aumentos de restrições legais que coíbam a existência de mercados que movimentem produtos gerados por modelos produtivos ilegais, que na maioria dos casos conseguem praticar preços mais atraentes aos seus consumidores e seguir produzindo às custas de grandes impactos ambientais (DE KONING, 2020).

Apesar de valores elevados de concordância, os benefícios das práticas relacionadas à legislação e tratamento de resíduos receberam grande número de comentários. Notou-se a manifestação de respondentes destacando que produções com maiores níveis de sustentabilidade, localizadas em países com elevadas restrições impostas por legislações ambientais, apresentam maior aderência as melhores práticas (MUCHIE, 2000). A construção de estruturas organizacionais que já considerem os aspectos ambientais desde o momento do posicionamento da planta, próximas às disponibilidades das peles bovinas e assim evitar o uso do sal para conservação durante os transportes, é um exemplo de estratégia que necessita de investimentos em P&D que não são amplamente praticados em todos os curtumes em operação no mundo (DE MARCHI, DI MARIA, 2019).

A figura 41 apresenta uma proposta de *framework* que ordena as maiores médias das avaliações das melhores práticas (colunas à esquerda) e indica as principais fases de produção (colunas à direita) que seriam afetadas pela aplicação dos princípios da EC, representados pelas

melhores práticas (coluna central). A premissa utilizada na criação do *framework* considera que as práticas com os maiores índices de concordância de avaliação do público-alvo, combinadas com a maior amplitude de impacto nas fases de produção, seriam capazes de proporcionar maior geração de benefícios ambientais. Neste sentido, a prática de leis de proteção ambiental (1), que seguindo as premissas deste *framework*, combina elevado nível de concordância do público-alvo (média de 3.9) e afeta todas as fases de produção do couro, seria a prática com maior potencial para gerar melhores desempenhos ambientais. Por outro lado, a geração do benefício ambiental: prática 14 – ‘Substituir o couro por material alternativo’, o qual afeta todo o processo produtivo, apresenta menor nível de concordância, segundo as avaliações do público-alvo. Assim, a visualização do *framework* permite orientar pesquisadores e empresas do setor quanto a melhor estratégia para elevar o desempenho ambiental das operações dos curtumes.

Figura 41 - *Framework* de melhores práticas e fases de produção

| Média das Dimensões |             |               |           |           |                                              | Production Phases                |              |            |           |           |             |             |                   |                   |
|---------------------|-------------|---------------|-----------|-----------|----------------------------------------------|----------------------------------|--------------|------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|
| Média das práticas  | Reliability | Applicability | Adherence | Effective |                                              | 1.Liming Unhairing               | 2.Lime Flesh | 3.Trimming | 4.Tanning | 5.Shaving | 6.Retanning | 7.Finishing | 8.Waste treatment | 9.Leaner products |
|                     |             |               |           |           | Melhores práticas                            |                                  |              |            |           |           |             |             |                   |                   |
| 4.4                 | 4.6         | 4.4           | 4.0       | 4.8       | 12. Tratamento de resíduos                   |                                  |              |            |           |           |             |             | x                 |                   |
| 4.1                 | 4.0         | 4.3           | 3.8       | 4.3       | 8. Reaproveitamento de aparas não curtidas   |                                  | x            |            |           |           |             |             |                   |                   |
| 3.9                 | 4.0         | 4.3           | 3.6       | 3.9       | 1. Leis de proteção ambiental dos países     | x                                | x            | x          | x         | x         | x           | x           | x                 | x                 |
| 3.9                 | 3.7         | 4.1           | 3.6       | 4.4       | 9. Reaproveitamento do sebo                  |                                  | x            |            |           |           |             |             |                   |                   |
| 3.7                 | 4.2         | 3.9           | 3.0       | 3.8       | 2. Auditorias ambientais                     | x                                | x            | x          | x         | x         | x           | x           | x                 | x                 |
| 3.7                 | 3.8         | 3.6           | 3.2       | 4.1       | 7. Preservação e reaproveitamento dos pelos  | x                                |              |            |           |           |             |             | x                 |                   |
| 3.7                 | 4.0         | 3.4           | 3.1       | 4.2       | 6. Substituição ou reciclagem do sulfeto     | x                                |              |            |           |           |             |             | x                 |                   |
| 3.5                 | 3.6         | 3.3           | 3.4       | 3.8       | 4. Transparência e rastreabilidade das peles |                                  |              |            |           |           |             |             |                   | x                 |
| 3.5                 | 3.6         | 3.5           | 3.0       | 3.9       | 11. Reaproveitamento de aparas curtidas      |                                  |              |            |           | x         |             | x           |                   |                   |
| 3.5                 | 3.8         | 3.6           | 2.9       | 3.7       | 10. Substituição ou reciclagem do cromo      |                                  |              |            | x         |           | x           |             | x                 |                   |
| 3.5                 | 3.8         | 3.4           | 3.0       | 3.7       | 3. Certificados/Selos de sustentabilidade    | x                                | x            | x          | x         | x         | x           | x           | x                 | x                 |
| 3.5                 | 3.7         | 2.8           | 3.0       | 4.4       | 5. Utilização de peles não salgadas          | x                                |              |            |           |           |             |             | x                 |                   |
| 3.3                 | 3.4         | 3.2           | 2.6       | 3.9       | 13. Couro certificado como biodegradável     |                                  |              |            |           |           |             |             | x                 |                   |
| 2.2                 | 2.2         | 2.5           | 2.2       | 2.0       | 14. Substituir o couro por outros materiais  | x                                | x            | x          | x         | x         | x           | x           | x                 | x                 |
| 1                   | 2           | 3             | 4         | 5         | Escala Likert                                | Fase afetada pela melhor prática |              |            |           |           |             |             |                   |                   |

Fonte: elaborado pelo autor

A proposta de *framework* buscou expandir a capacidade de geração do benefício ambiental por meio da utilização das ponderações das percepções dos dois públicos-alvo, identificando as etapas da produção que seriam beneficiadas pela iniciativa de EC. Assim, os usuários deste trabalho poderiam utilizar os resultados aqui apresentados, para adequações às

especificidades das operações dos curtumes, considerando que apesar da comunalidade dos processos e materiais, algumas produções realizam etapas parciais de processamento.

#### ***A4.6 Conclusões***

Considerando a importância socioeconômica do setor coureiro para os países, este trabalho buscou identificar práticas que possam contribuir para melhores desempenhos ambientais deste setor, o qual possui má reputação ambiental. Nesta perspectiva, a percepção de autores de artigos científicos e especialistas do setor apresentam potencial de contribuição para avaliar iniciativas que ofereçam ganhos de sustentabilidade.

A lista de práticas ambientais do setor trata-se de contribuição relevante para uma área que carece de iniciativas que promovam a continuidade sustentável considerando o modelo de negócios do couro bovino. Entretanto, a geração dos benefícios ambientais declarados nos artigos depende da viabilidade prática das propostas. As propostas precisam funcionar efetivamente em diversos cenários, que transcendem os laboratórios de pesquisa, sem a geração de efeitos colaterais que degradariam a geração do benefício ambiental primário pretendido para as operações dos curtumes. A avaliação das iniciativas presentes na literatura, que oferecem maior nível de sustentabilidade pode gerar também percepções diferenciadas quanto ao grau de sucesso das propostas. Assim, a avaliação comparativa das práticas ambientais realizadas por autores e especialistas, para maior desempenho ambiental, pode ser interpretada como um guia para planos de ação em direção a maiores ganhos de sustentabilidade.

Os resultados encontrados permitem orientar uma seleção de melhores práticas que estariam de acordo com as avaliações dos dois públicos estudados nesta pesquisa. As práticas que alcançaram as maiores pontuações de concordância em todas as dimensões de análise podem ser uma referência para empresas e pesquisadores na busca por melhores desempenhos ambientais. No sentido oposto, práticas que acumularam valores inferiores, mesmo com desequilíbrio nas dimensões analisadas, também são opção para guiar a distinção de pontos fortes e deficiências das iniciativas de EC.

Os resultados desta pesquisa destacam ainda que o processamento das peles para a geração do couro ainda continuará sendo um modelo de negócio atrativo para o mercado. Percepção fundamentada por meio da consulta aos especialistas e acadêmicos que atribuíram os menores valores de concordância para as iniciativas de EC que visavam a substituição do couro por materiais alternativos. Sendo assim, as empresas do setor precisam ser capazes de manter as suas produções, reduzindo os impactos ambientais já referenciados por este trabalho.

Neste sentido, as iniciativas indicadas pelo público estudado como melhores práticas de EC para o setor, conforme apresentado no *framework* (Figura 41), poderiam ser consideradas como necessárias para a tomada de decisão sobre o início ou continuidade de operações de processamento do couro em todos os países produtores.

As informações contidas neste trabalho podem ser consideradas como uma fonte de contribuições teóricas e práticas. Os pesquisadores do setor podem utilizar o *framework* de melhores práticas de EC como referência para identificação de lacunas de conhecimento e seleção de práticas, que na visão de especialistas, gerariam maiores ganhos de sustentabilidade. No mesmo sentido, a contribuição prática desta pesquisa destaca as melhores iniciativas de EC que precisam ser implementadas no setor para melhores desempenhos ambientais e melhoria de reputação. Adicionalmente, partes interessadas deste modelo de negócio poderiam utilizar os resultados desta pesquisa para gerar incentivos que protejam operações seguidoras das melhores práticas de EC no setor.

O uso das informações dos resultados deste trabalho deve considerar as suas limitações. As características de especificidade do tema dificultam a participação de elevado número de pessoas. O volume da amostra obtida por meio do instrumento de pesquisa apresentou um número reduzido de participantes, limitando maiores extrapolações dos resultados. Assim, o trabalho buscou extrair os resultados e conclusões de contribuições de representantes de países diversos, mas a partir de um número reduzido de participações dos públicos estudados. Estudo de casos adicionais poderiam, portanto, ser apontados como propostas de futuras pesquisas, considerando as iniciativas que receberam os maiores níveis de concordância.

### **3.5 Artigo 5 (A5) - Estudo de caso sobre iniciativas de economia circular no ciclo de vida da produção do couro bovino**

Considerando que os artigos anteriores foram desenvolvidos a partir da literatura a respeito das iniciativas de EC no setor coureiro, este artigo teve como objetivo identificar casos de aplicações práticas dos princípios de circularidade no ambiente real de produção. O conteúdo deste artigo proporcionou, a partir de visitas *in loco* e entrevistas presenciais com especialistas, capacidade de validação e verificação das transformações geradas pelas iniciativas de EC. A contribuição deste artigo para tese considera que este conteúdo foi capaz de quantificar e qualificar as contribuições dos princípios de EC para modificar práticas tradicionais em processamentos com melhores desempenhos ambientais no cenário real de produção.

### ***A5.3 Método de pesquisa***

O método adotado neste trabalho buscou responder o objetivo de pesquisa identificando casos de aplicações de iniciativas de EC implementadas em operações do setor coureiro. Assim, escolheu-se o caso de uma grande empresa produtora de couro bovino e que tem buscado adotar princípios da EC. O contexto encontrado na empresa escolhida atendeu a expectativa da pesquisa devido à disponibilidade de dados relativos a uma grande extensão do ciclo de vida do couro, com origem nas fazendas de gado até a utilização do produto nos clientes dos curtumes do grupo.

Com mais de 250 mil empregados, a empresa pesquisada é a atual líder mundial em produção de alimentos à base de proteína, liderança que também é alcançada pela produção do couro. A visualização do ciclo completo de geração do couro utilizada neste estudo de caso foi desenvolvida a partir de visitas a duas plantas com operações complementares localizadas no Brasil e Itália.

Exposta aos movimentos por melhores desempenhos ambientais da Europa, a planta de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) da empresa localizada na Itália foi escolhida para a realização das entrevistas presenciais com os especialistas. A seleção dos profissionais considerou a proximidade com as transformações geradas pelas implementações de princípios de EC. Assim, entrevistou-se participantes de áreas chaves da operação, tais como gestão, desenvolvimento, produção e vendas, capazes de compartilhar informações que viabilizassem a triangulação dos dados da pesquisa.

#### ***A5.3.1 Acesso ao caso e análise dos dados***

Após contatar os executivos da empresa, utilizando um e-mail com a descrição do trabalho e o recebimento das devidas autorizações para a realização da pesquisa, a apresentação dos objetivos deste trabalho foi realizada para a área de sustentabilidade, que indicou iniciativas que estariam em estágio de compartilhamento de resultados de ganhos de melhores desempenhos ambientais.

As iterações iniciais para levantamento das informações da pesquisa foram realizadas mediante reuniões on-line com os representantes da área de sustentabilidade da empresa, tais como direção e operação, que apresentaram relatórios de desempenho dos processos modificados para a geração do couro. Durante as iterações, a empresa permitiu que os dados comparativos entre os processos tradicionais e as iniciativas de EC, já adotadas, fossem analisados. Na maioria dos casos, os dados sobre as iniciativas por melhores desempenhos

ambientais demonstravam, por meio de planilhas, comparações de LCA entre os processos tradicionais e as mudanças geradas pelas iniciativas de EC.

Complementando as informações internas da empresa, dados gerados a partir de auditorias externas também foram disponibilizados ao pesquisador para qualificar e quantificar casos de implementação de iniciativas geradoras de melhores desempenhos ambientais. As métricas divulgadas pelas auditorias externas, que compararam processos tradicionais versus processos modificados por princípios de circularidade foram acessadas via relatórios internos da empresa. Adicionalmente, os dados comparativos entre o couro gerado a partir dos processos seguidores das iniciativas de EC e os materiais alternativos também foram acessados por meio de plataformas globais como o *Higg Materials Sustainability Index* (Higg Index), que compara diversos materiais utilizados na indústria da moda como algodão, couro, plásticos, tecidos, metais e borracha.

#### *A5.3.2 Verificação dos dados - Visitas in loco e entrevistas semiestruturadas*

Com o objetivo de atender aos objetivos deste trabalho, acrescentou-se uma etapa de verificação *in loco* do funcionamento das iniciativas de EC em operação na produção do couro e a realização de entrevistas semiestruturadas com os especialistas. A empresa disponibilizou acesso a um ciclo completo de geração do couro com visitas complementares em dois países, inicialmente na planta de Lins, SP-Brasil, próxima à fazendas e frigoríficos e, posteriormente, ao *cluster* de Arzignano, Vicenza - Veneto no nordeste da Itália, que possui a operação concentrada de aproximadamente 300 curtumes, respondendo por 55% da produção italiana, país que responde por 65% do mercado comum europeu e 20% do mercado mundial do couro (MAMMADOVA, MASIERO, *et al.*, 2020).

Considerando a operação escolhida, que conta com iniciativas históricas de EC de compartilhamento de infraestrutura em funcionamento no *cluster* de Arzignano, uma operação em específico foi selecionada no cluster para as entrevistas (DE MARCHI, DI MARIA, 2019). Os profissionais foram selecionados a partir da proximidade com as iniciativas de EC e conhecimentos relacionados aos históricos de implementação. Representantes dos executivos, produção, vendas e P&D foram entrevistados considerando três tópicos de discussão: contexto externo de preocupações ambientais, evoluções internas em direção a EC e seus principais projetos.

A planta visitada compartilhou projetos em andamento que viabilizaram a observação de práticas e desafios relacionados a adoção da EC, capazes de serem verificadas quanto aos

ganhos de desempenho ambiental. A abordagem utilizada durante as visitas seguiu como referência tópicos listados no roteiro semiestruturado das entrevistas. O apêndice B apresenta as três versões utilizadas nas entrevistas - português, inglês e italiano.

Os resultados alcançados por este trabalho consideraram a utilização de múltiplas fontes para aumentar a confiabilidade das análises e atender aos objetivos desta pesquisa. Neste sentido, a primeira fonte das informações faz referência à identificação de iniciativas de EC que modificaram os processos tradicionais. A segunda fonte de informação utilizou os dados comparativos de desempenhos ambientais entre processos tradicionais e ganhos gerados pelas iniciativas de EC, por meio de análise de relatórios da empresa, tais como análises externas de *LCA*. Complementarmente, acrescentou-se os resultados gerados durante as atividades de verificação *in loco* e entrevistas com os especialistas. Assim, a utilização de múltiplas fontes viabilizou a triangulação das informações a respeito da manifestação do fenômeno estudado, ou seja, como os princípios de EC influenciaram os processos de produção do couro em direção a melhores desempenhos ambientais.

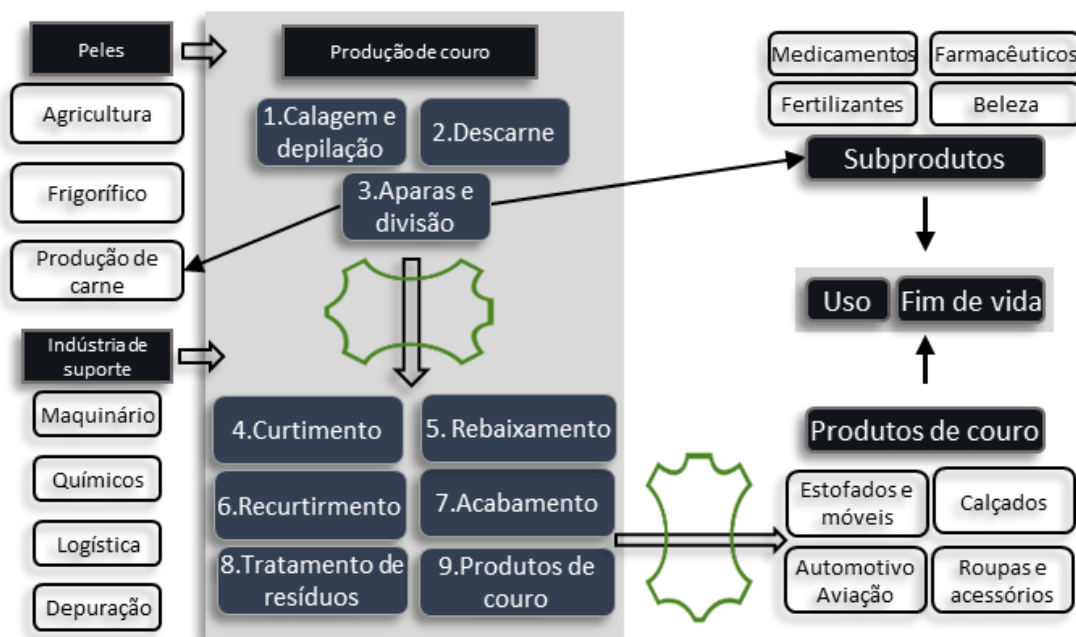
#### **A5.4 Resultados**

Os resultados desta pesquisa estão estruturados nas próximas seções considerando a sequência utilizada no estudo de caso. Inicialmente, descreve-se as modificações encontradas, geradas pelos princípios de EC nos processos tradicionais de processamento da pele bovina para a produção do couro. Posteriormente, os resultados das análises dos dados são apresentados considerando as avaliações comparativas de ciclo de vida entre as práticas tradicionais e iniciativas de EC. A última seção apresenta os resultados da verificação *in loco* e entrevistas com os especialistas.

##### **A5.4.1 Processos tradicionais e iniciativas de EC do caso**

Ao longo do estudo de caso notou-se o esforço da empresa para adoção de abordagens para a otimização dos recursos por meio do curtimento de cortes customizados. Observou-se que o paradigma vigente da produção tradicional da indústria do couro (Figura 42), onde o curtume busca o curtimento da máxima área da pele, base das negociações comerciais, tem sido substituído pelo esforço coordenado entre as organizações da cadeia de suprimentos para alcançar o máximo de rendimento de corte e menor volume de resíduo gerado.

Figura 42 - Processo tradicional da indústria do couro



Fonte: Adaptado de DE MARCHI; DI MARIA, 2019; RIVELA et al., 2004

Considerando que as trocas comerciais do setor estabelecem a área do couro em  $\text{ft}^2$  ou  $\text{m}^2$  como unidade de negócio, o modelo tradicional de produção dos curtumes tem buscado maximizar a área produzida, abastecendo a cadeia de suprimentos com todos os insumos proporcionais à máxima geração do fluxo de referência. Entretanto, a variabilidade dimensional das peles, principalmente quanto a imprevisibilidade dos formatos das bordas e espessuras, causam perdas e geração de resíduo ao longo das etapas de processamento.

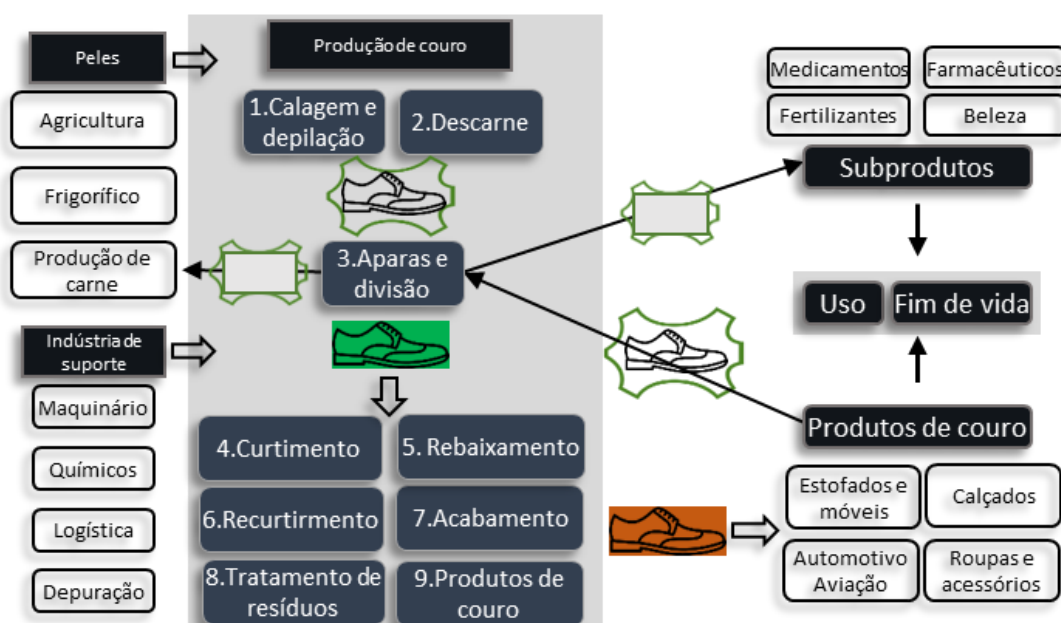
Foi relatado também que dependendo do momento da geração do resíduo, o material eliminado durante o processo oferece duas classificações básicas: não curtidos e curtidos. O executivo da empresa mencionou que descartes gerados antes da etapa de curtimento são objeto de interesse comercial por ser matéria prima direta de processos consolidados nas indústrias consumidoras de sebo e colágeno. Assim, a maior preocupação da empresa passa ser os resíduos gerados após o curtimento, considerando que estes materiais já apresentam o cromo em sua composição, demandando ações de tratamento para seguir para o descarte ou como matéria prima de outros produtos.

O couro gerado pelos curtumes, seguindo a abordagem tradicional de maximização de área, mantém o aspecto de formato variável e segue para as indústrias consumidoras para a confecção de seus produtos. A variabilidade da forma do couro continua gerando perdas no processo, proporcional à destinação de uso, apresentando unicidade de rendimento de corte para

cada peça de couro que entra na produção.

A quebra de paradigma do novo método está na ação conjunta dos curtumes e indústrias de confecção do couro bovino na customização dos formatos das peles que serão curtidas. A indústria de confecção contrata um formato específico para o couro final, iniciando um trabalho de customização nos curtumes para dimensionar a área de pele que seguirá para o curtimento e desviando o excedente para a geração de subprodutos (Figura 43). A declaração do entrevistado da área de P&D, destacando que “*não faz sentido curtir as partes das peles que serão descartadas durante o processamento do couro*”, confirma o rompimento com as práticas tradicionais que consumiam mais insumos e geravam maior quantidade de resíduos curtidos.

Figura 43 - Processo modificado para curtimento de cortes customizados



Fonte: Adaptado de relatórios da empresa pesquisada

Após a realização das aparas, ainda na pele não curtida, os processos e máquinas são empregados em um formato mais adaptado à manipulação e operações nas ferramentas de rebaixamento e pintura (Figura 44). A facilidade de manipulação de um formato mais uniforme fica evidente quando peles integrais são colocadas na produção e os operadores demandam mais tempo nas atividades de acomodação nas esteiras e correias, sendo que peles mal posicionadas são cortadas pelas máquinas, aumentando o volume de resíduos curtidos.

Figura 44 - Realização das aparas ainda na pele não curtida



Fonte: Foto disponibilizada pela empresa

Um ganho de qualidade associado à nova proposta de formato e dimensão do couro está relacionado à melhor adaptação e acomodação das peças nos paletes de transporte. Considerando as dimensões dos paletes, o tamanho do couro tradicional impunha a necessidade de realizar elevada quantidade de dobras para o empilhamento, ocasionando degradação da qualidade do couro nos pontos de dobra. O fato do corte customizado apresentar menor área permite a acomodação das peças de couro no palete com a diminuição da quantidade de dobras, contribuindo para o aumento do aproveitamento da área transportada e redução da geração dos resíduos.

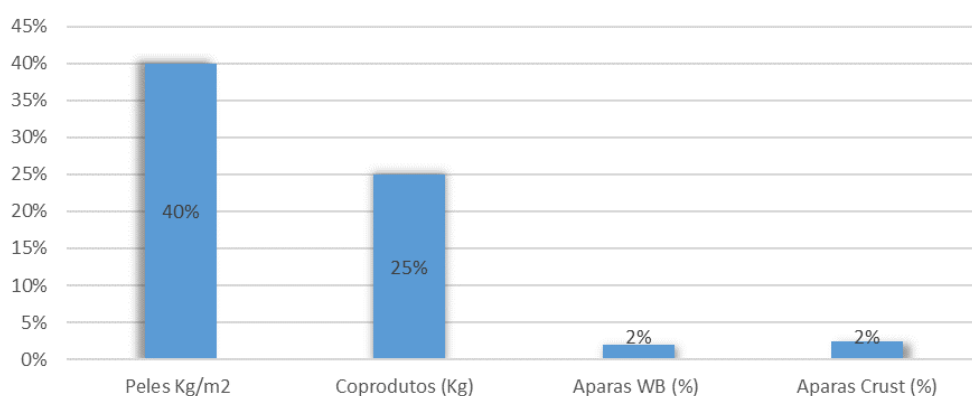
As etapas de montagem dos paletes são necessárias em movimentações internas intermediárias, externas (Wet-Blue e Crust) e finais do couro acabado. O trabalho manual de montagem dos paletes demanda experiência e dedicação de elevada carga horária de trabalho, exigindo zelo para a mitigação de possíveis perdas de qualidade durante o armazenamento e transporte. Assim, o representante da produção destaca a respeito do novo processo que “o trabalho é feito mais rápido e reduz as perdas nos pontos de dobra”.

#### *A.5.4.2 Resultados das análises dos dados*

Os efeitos desta abordagem utilizada pela empresa foram analisados também por meio de *LCA/PEFCR* (EUROPEAN COMMISSION, 2018a), calculado por empresa externa, a qual forneceu os dados para essa pesquisa com o objetivo de quantificar os impactos ambientais dos métodos tradicionais versus a proposta de curtimento de cortes customizados. A análise de *LCA*

considerou os fluxos do sistema nas duas configurações de produção, o modelo tradicional de maximização da área do couro e a nova proposta de curtimento de corte customizado na produção. Os resultados gerais ao aplicar essa abordagem são apresentados na figura 45. Nela se observa que ao se colocar em produção um formato de pele melhor adaptado e menor peso resultou no desvio de maior quantidade para as linhas de coprodutos, menor geração de resíduos curtidors nas etapas seguintes.

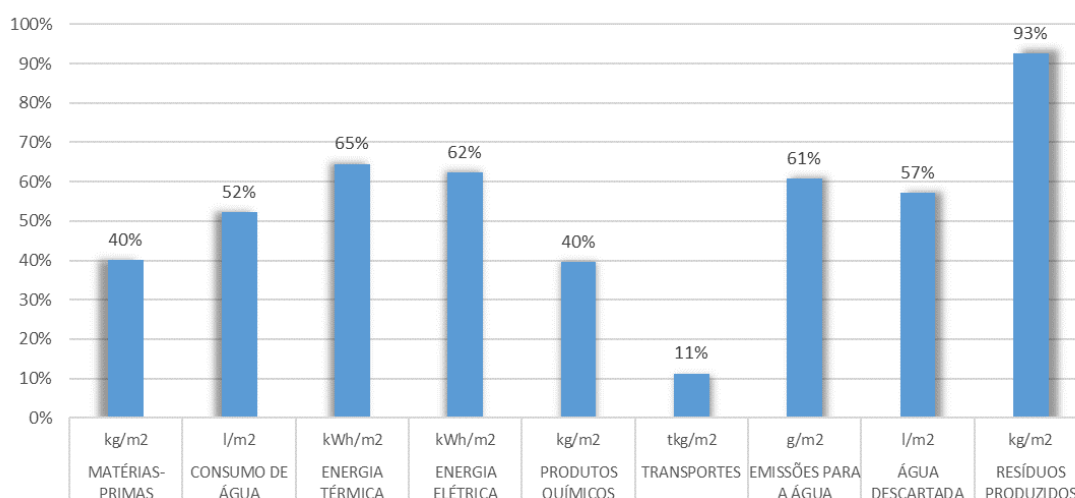
Figura 45 - Métricas dos cortes customizados



Fonte: Adaptado de relatórios da empresa pesquisada

A atividade da produção que diferencia os dois processos ocorre na etapa de aparas do caleiro (chamada de *Lime Trimming*). A partir deste ponto, o consumo de insumos passa a considerar o volume necessário para processar uma quantidade menor de peles, reduzindo significativamente as entradas e saídas do sistema (Figura 46).

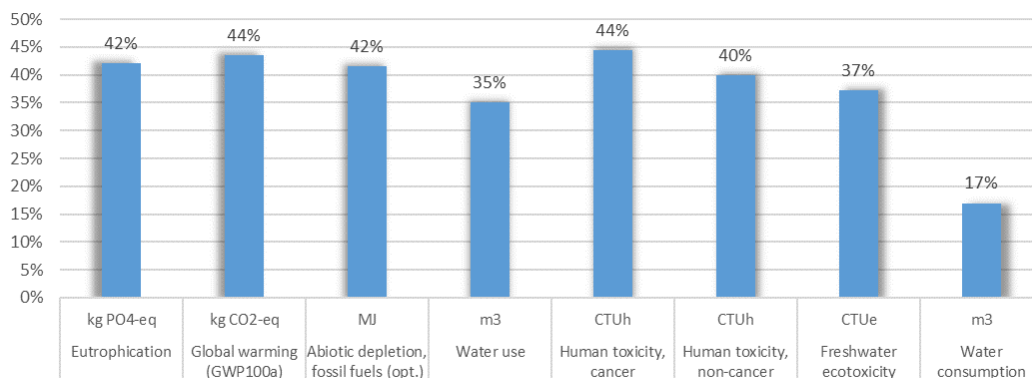
Figura 46 - Reduções nas entradas e saídas do sistema



Fonte: Adaptado de relatórios da empresa pesquisada

Um importante aspecto para a redução da geração dos resíduos é o formato customizado da pele, o qual apresenta melhor padronização e facilidade de manejo, considerando que a área destinada da pele para o processo é a parte mais adequada e livre de rebarbas. Ainda presente no processo, a etapa de lixamento para ajuste de espessura e polimento durante o acabamento permanecem necessárias, mas sendo aplicadas em uma área menor da pele, consequentemente com redução no volume de geração de resíduos. O resultado sistêmico final, medido no LCA, apresentou relevante redução nas categorias de impacto, com destaque para o critério de pegada de carbono equivalente alcançando 44% de redução (Figura 47).

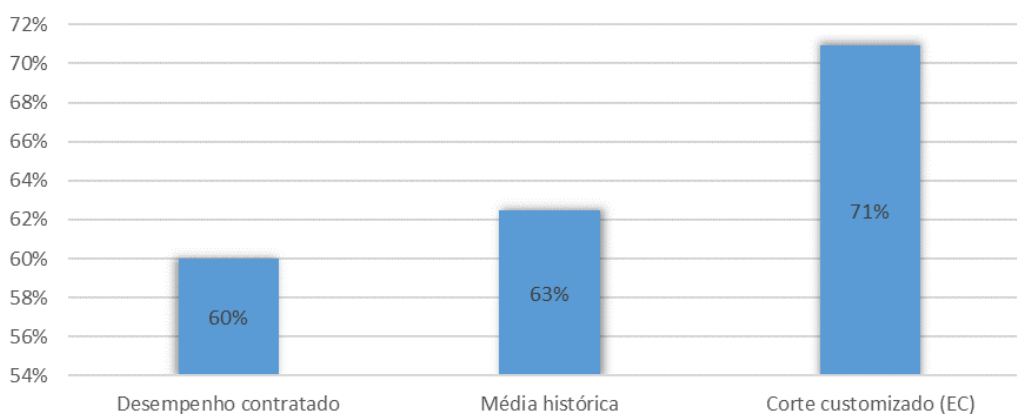
Figura 47 - Redução nas Categorias de Impacto (LCA)



Fonte: Adaptado de relatórios da empresa pesquisada

Além dos portões dos curtumes, a nova abordagem de curtimento de cortes customizados gera também benefícios a jusante, o que ocorre principalmente pelas contribuições da menor área por peça, da melhor preservação e acomodação nos paletes (Figura 48). A redução da área do couro no fluxo de referência tende a promover a movimentação de menor volume de produto que oferece maior rendimento nas etapas seguintes, durante a confecção dos produtos como calçados e estofamentos, reduzindo o percentual de perda gerada nas etapas de corte (CLAVIJO, OSMA, 2019). Atualmente, os resíduos das confecções são fonte de grande preocupação devido à dificuldade de manejo e espaço em locais de descarte (MARQUES, GUEDES, *et al.*, 2017).

Figura 48 - Rendimento na confecção de produtos como os estofamentos



Fonte: Adaptado de relatórios da empresa pesquisada

#### A5.4.3 Resultados da verificação *in loco* e entrevistas com especialistas

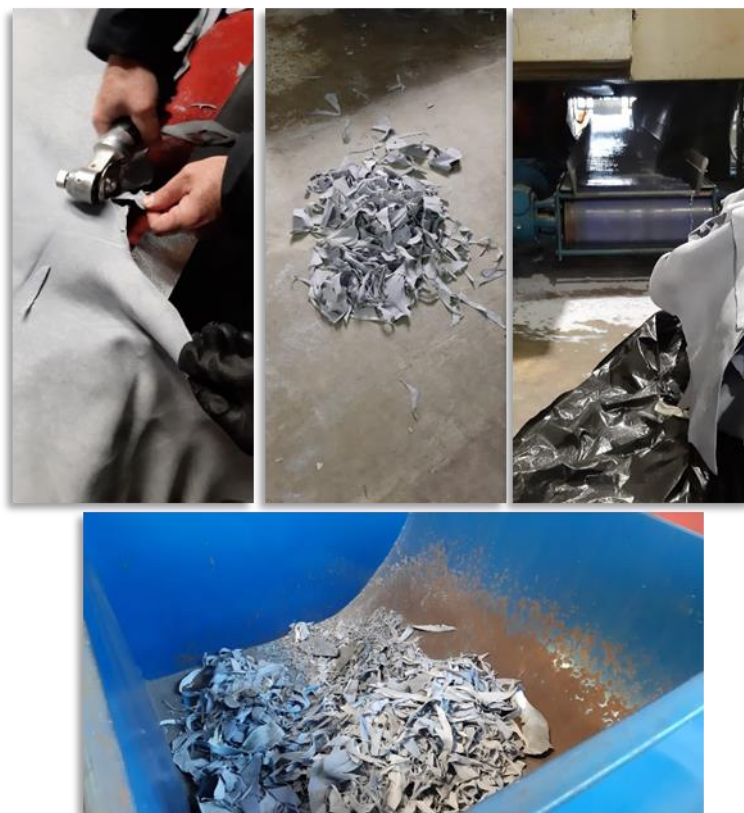
Os resultados gerados pela fase de verificação *in loco* e entrevistas com os especialistas foram produzidos nas operações das plantas em Lins, SP-Brasil e Arzignano, Veneto-Itália. A especificidade das atividades dos dois locais ofereceu a oportunidade de avaliar e gerar resultados de um ciclo completo de produção, acompanhando as operações desde o funcionamento das produções próximas aos frigoríficos no Brasil até a visão de cooperação sistêmica do *cluster* de curtumes no nordeste da Itália. Assim, este estudo foi capaz de presenciar o funcionamento de processos tradicionais e planos pilotos que implementaram as iniciativas de EC em tarefas específicas da produção do couro. Destaca-se nesta fase de verificação as transformações geradas no modelo de negócio, que precisou ser modificado para viabilizar o funcionamento das iniciativas de EC. Semelhante ao cenário já existente na Itália, onde as operações já contam com a participação de outros modelos de negócios, especializados

nas destinações dos co/subprodutos da produção do couro, a realidade brasileira revelou a necessidade de criação de novos negócios, como os relacionados ao processamento de maiores volumes de colágeno, que viabilizassem a circularidade de materiais e energia, causados pela implementação dos princípios de EC.

Considerando que a fase anterior deste estudo avaliou dados de LCA relacionados à comparação de desempenhos ambientais entre os processos tradicionais e modificados por iniciativas de EC, as atividades de verificação *in loco* foram capazes de constatar diferenças explícitas na geração de resíduos nas tarefas de produção. As produções modificadas por princípios de EC, com destaque para a quebra de paradigma de criar os cortes customizados antes do curtimento, proporcionaram o desvio de material nobre para outras indústrias, tais como o colágeno e sebo nas etapas iniciais da produção e permitiram que as peles seguissem *downstream* com redução drástica de criação de aparas e pó de lixamento impregnadas com o cromo. Entretanto, os dados de LCA também retratam o menor consumo de água e produtos químicos na relação entre o consumo de insumos por área do couro bovino, que não oferecem oportunidade de fácil verificação visual.

Além disso, houve redução significativa de acúmulo de resíduos sólidos nos pisos da produção e nas caçambas de coleta, confirmando as métricas da Figura 45 sobre o desempenho dos cortes customizados. Isso revela que as iniciativas de EC tem proporcionado destinações com maior sustentabilidade para materiais que seriam processados com produtos químicos, descartados *downstream* durante as práticas tradicionais, gerando os resíduos associados às atuais fontes de preocupações ambientais (Figura 49).

Figura 49 - Resíduos sólidos nos pisos da produção e nas caçambas de coleta



Fonte: Foto tirada durante a visita no curtume - Itália (2023)

O resultado das entrevistas foi gerado a partir da manifestação de representantes de áreas-chaves, próximas das iniciativas de EC, com histórico profissional de atuação em processos tradicionais da indústria do couro no passado e atualmente participantes das evoluções do setor em direção a maiores desempenhos ambientais, com vistas inclusive a adoção da EC.

Durante as entrevistas, o contexto externo de preocupações sobre os aspectos ambientais da sociedade foi descrito como influenciador das regulações atuais que regem as operações das empresas do setor. Entretanto, segundo os entrevistados, as organizações do setor necessitam ir além das legislações ambientais, atendendo à constantes acréscimos de requisitos demandados pelo mercado. Na interpretação dos especialistas, os clientes finais do couro estão preocupados com a associação de seus produtos à degradação do meio ambiente e gerenciam suas reputações perante a sociedade através de novos requisitos *upstream*, mesmo que sejam fruto de percepções superficiais sobre o ciclo de vida do couro e às opções de materiais alternativos, conforme destacado nas declarações do entrevistado da área de vendas:

*“No passado, não existiam preocupações com consumo de água, energia e logística do couro, ninguém se importava. Hoje, quando oferecemos peles de origem europeia, os clientes*

*não apresentam preocupações sobre a sustentabilidade do produto durante as transações comerciais, mas para o couro brasileiro, existe a necessidade de apresentar todos os detalhes de rastreabilidade da origem dos animais para garantir que não seja do bioma amazônico. Os clientes não querem ter qualquer relação com este tipo de problema ambiental.”*

Os entrevistados declararam também que o setor coureiro foi organizado ao longo da existência da humanidade, seguidor de práticas que focavam no início a eficiência nos processos dos curtumes e alheio a má reputação de operação “suja”, por se tratar de uma operação necessária ao funcionamento do ciclo de vida da carne/leite. Na percepção dos especialistas, a sociedade atual vive um momento de reavaliação de valores que impactam produtos e serviços associados a degradação do meio ambiente, mesmo que determinadas associações sejam questionáveis ou influenciadas pelas mídias sociais, nem sempre fundamentadas em fatos e dados a respeito dos reais impactos e práticas vigentes de produção. Na visão dos especialistas, *“fotos de processos artesanais de curtimento do passado não representam as práticas industriais atuais das empresas, que são seguidoras das regulações ambientais dos países produtores”*.

Considerando o contexto das percepções sobre o setor coureiro, os entrevistados destacaram que existe a necessidade do setor se comunicar melhor com a sociedade para apresentar as especificidades dos aspectos ambientais dos atuais processos de produção do couro e materiais alternativos. O contexto de dificuldade de comunicação com a sociedade pode ser exemplificado pela declaração do representante de vendas:

*“As lojas de varejo da Europa realizam um volume maior de vendas, dentre elas os produtos de couro, durante os finais de semana, quando os vendedores com mais experiência estão descansando. Vendedores com menos experiência apresentam dificuldade de apresentar para os clientes as características do couro e os atuais métodos de produção.”*

O quadro 2 apresenta iniciativas da EC apresentadas pelos entrevistados e que podem ser aplicadas no setor de produção do couro bovino.

Quadro 2 - Iniciativas de economia circular na produção do couro

| Prática                            | Descrição                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.Utilização de peles não salgadas | Movimentação rápida das peles bovinas (perecíveis) dos frigoríficos até os curtumes, evitando o uso de sal para a conservação, evitando maior consumo de água na produção, para a remoção do sal. [300-400 de sal/ton de pele] |
| 2.Reciclagem do sulfeto            | Busca de alternativas do uso/reuso do sulfeto como agente de remoção dos pelos.                                                                                                                                                |

| Prática                                    | Descrição                                                                                                   |
|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.Preservação e reaproveitamento dos pelos | Adoção de processos que evitem a dissolução dos pelos, viabilizando o reaproveitamento em outros processos. |
| 4.Reaproveitamento de aparas NÃO curtidas  | Reaproveitamento das aparas não curtidas para geração de colágeno.                                          |
| 5.Reaproveitamento do sebo                 | Reaproveitamento do sebo para produtos de higiene e biocombustível.                                         |
| 6.Substituição ou reciclagem do cromo      | Busca de alternativas do uso/reuso do cromo como agente de curtimento.                                      |
| 7.Reaproveitamento de aparas curtidas      | Reaproveitar material para pirolise, fertilizantes, peças automotivas e construção civil.                   |
| 8.Tratamento de resíduos                   | Adoção de estratégias de melhoria de desempenho de estações de tratamento de resíduos sólidos e líquidos    |
| 9.Biodegradabilidade                       | Desenvolvimento de produtos com maior grau de biodegradabilidade.                                           |

Atualmente, os profissionais entrevistados do setor se consideram parte atuante da sociedade, engajados na responsabilidade que as organizações assumiram perante a comunidade e compartilham das preocupações sobre os aspectos ambientais de alterações climáticas, escassez de recursos e necessidade de se identificar alternativas de produção com melhores desempenhos ambientais. Cientes da responsabilidade de executar as ações de P&D da maior operação corrente de produção do couro, os profissionais entrevistados apresentaram evidências da utilização das melhores práticas ambientais durante as visitas à produção, seguidoras dos princípios da EC. Entretanto, atuando em parceria com fornecedores *upstream* e principais marcas consumidoras de couro bovino em produtos *downstream*, os profissionais apresentaram, não só a nova iniciativa de curtimento de cortes customizados, mas também o plano piloto para a substituição do cromo pela zeólita como agente de curtimento (Figura 50) (FLOWERS, DRING, *et al.*, 2021, ZAUNS, KUHM, 1995). Considerando o novo contexto de buscar operações mais sustentáveis, destaca-se as declarações do executivo da planta na Itália sobre as fases de implementação de iniciativas de EC que a empresa vem desenvolvendo:

*“A fase inicial, já realizada, previa zerar a geração de resíduos de aparas dentro dos curtumes, com as geometrias mais favoráveis na operação, destinando um material que seria descartado para a geração de alimentos. O segundo passo prevê otimização externa, com a ação conjunta com os clientes, para que os formatos fornecidos proporcionem a eliminação de resíduos na fabricação dos produtos de couro. A última fase desta estratégia de operação mais sustentável seria atendida com a substituição do cromo pela zeólita e o desenvolvimento de produtos de couro com a degradabilidade equivalente da pele bovina”.*

Figura 50 - Artigo desenvolvido utilizando a zeólita como agente de curtimento



Fonte: Foto tirada durante a visita no curtume - Itália (2023)

#### **A5.5 Discussões**

O caso estudado enfrentou o desafio de analisar a operação de um setor milenar tradicional, com relevância socioeconômica, mas exposto aos novos desafios e demandas ambientais e considerado como uma indústria “suja” de má reputação perante a sociedade (INGRAO, VESCE, *et al.*, 2021). Neste sentido, muitas empresas têm sido impulsionadas para estratégias que atendam aos novos requisitos ambientais da sociedade, mercados e governos (DADDI, Tiberio, NUCCI, *et al.*, 2017). Assim, considerando a clareza de princípios e capacidade de comunicar benefícios ambientais, a EC pode, portanto, representar um ‘caminho’ para a atender e comunicar esses novos padrões de sustentabilidade demandados pela sociedade.

A empresa aqui investigada processa amplos volumes nas operações de geração de proteína e a necessária destinação sustentável de coprodutos como a pele bovina. O porte desta operação realiza aproximadamente 50 mil abates de bovinos por dia e a necessidade de destinação deste mesmo montante de peles não passam despercebidas por representantes da sociedade, agentes econômicos e de regulações ambientais mundiais. A especificidade da operação deste ciclo de vida exige a utilização de áreas para a pecuária, atividades de abates nos frigoríficos e processamento químico das peles nos curtumes, que atualmente fazem parte do foco das discussões sobre a necessidade de buscar operações mais sustentáveis (LAURENTI, REDWOOD, *et al.*, 2017).

Os dados obtidos neste caso estudado revelam mudanças de práticas tradicionais, por

meio da implementação do desvio das bordas das peles, causa dos resíduos, para geração de sub/coproductos em novas etapas do ciclo de vida de geração do couro. Conforme substantiado pelos dados apresentados pela empresa e analisados por auditores independentes, o processamento de uma área menor e melhor geometria é capaz de suportar significativo ganho de desempenho ambiental para a operação modificada, quando comparada com as etapas tradicionais de curtimento integral das peles.

A fase de verificação dos resultados por meio das visitas *in loco* e entrevistas mostrou a implementação das iniciativas de EC e os efeitos criados *downstream* no ciclo de vida do couro. A visita as linhas de produção e respectivas etapas geradoras de resíduos sólidos e líquidos revelam redução abrupta na geração dos volumes, quando artigos de couro são gerados seguindo as iniciativas de EC.

As entrevistas com os especialistas mostraram os desafios para adoção dos princípios de EC em um setor tradicional, tais como a resistência interna de manutenção dos processos tradicionais e ausência de interesse inicial dos potenciais clientes externos do setor. O contexto expandido de gerenciamento da cadeia de suprimentos em direção ao fechamento dos ciclos, criado pelo ambiente da EC, exige a necessidade de considerar a sustentabilidade do modelo de negócio, não só a geração do couro, mas também a destinação de grande volume de seus co/subprodutos, conforme capturado nas declarações do executivo da operação entrevistado na Itália. A produção de peptídeos de colágeno para os mercados de saúde e nutracêuticos a partir da pele bovina pela empresa pesquisada, é uma evidência da modificação do modelo de negócio do ciclo de vida do couro no Brasil, que deixa de processar peles inteiras nos curtumes e desviam potenciais resíduos para a ampliação da geração de co/subprodutos.

A observação do representante da produção sobre a permanência da limpeza do piso, quando artigos seguidores das práticas de EC são processados, revela a manifestação do benefício ambiental decorrente da não geração do resíduo. A diferença entre os processos na produção também se manifesta no volume de caçambas acumuladas com aparas curtidas e pó de lixamento, que, conforme o entrevistado, apresentaram uma redução significativa de acúmulo de material descartado. Os benefícios presenciados na produção e confirmados na entrevista fazem referência a maior facilidade que a pele com melhor geometria oferece aos operadores, quando se considera as manipulações das etapas de aparas, lixamento e montagem dos paletes.

As declarações sobre o mercado observadas junto a área de vendas, indicaram que o montante de peles bovinas processadas pela operação estudada atende a elevada diversidade de

mercados espalhados pelo mundo, tais como os setores de vestuários e automotivos, que atualmente passam por novos requisitos ambientais, que obrigam que os produtos oferecidos sejam gerados a partir de processos seguidores das melhores práticas estabelecidas por órgãos reguladores dos países produtores e consumidores. Assim, os países consumidores tendem a estabelecer normas e padrões que precisam ser cumpridas pelos países produtores para que a comercialização seja viabilizada. Novos requisitos como a rastreabilidade das peles, resultados de auditoria e a apresentação de selos verdes passam a ser itens de rotina nos mercados regulados por *compliances* ambientais.

Área essencial para o desenvolvimento de soluções que atendam às novas exigências do negócio do couro, as atividades de P&D assumem a posição de condição essencial na viabilização das propostas de EC. Conforme destacado pelo representante de P&D nas entrevistas, a tecnologia apresentada neste trabalho ficou mais de dez anos em desenvolvimento e deve ser aplicado a 100% da linha de produção da planta da Itália em 2023. Facilitado pelas exigências ambientais de operação do *cluster* de Arzignano, outros desenvolvimentos estão em andamento buscando atender mercados mais exigentes do ponto de vista ambiental. Destaque para o trabalho piloto de substituição do cromo pela zeólita, capaz de alcançar 74,4% em comparação com a capacidade de decomposição da pele bovina não curtida (ESQUERRA-RESA, ESQUERRA-DOT, *et al.*, 2022), mas que ainda enfrenta os desafios de criar formulações estáveis para a confecções de artigos para o mercado. Assim, a utilização combinada de curtimento de cortes customizados das peles e a maior capacidade de degradabilidade de fim de vida do couro, os produtos deste material serão capazes de atender as demandas do mercado, que se preocupa com os aspectos ambientais deste setor, devido à utilização do cromo como agente de curtimento.

#### **A5.6 Conclusão**

Neste estudo de caso, iniciativas da empresa foram analisadas quanto às agregações de ganhos de sustentabilidade das ações coordenadas entre os atores a montante, processo produtivo e clientes da cadeia de suprimentos do couro a jusante. O modelo verticalizado de produção da empresa, que conta com transportadora, fazendas, frigoríficos e curtumes, viabilizou a análise sistêmica das atuações dos atores, que estando na mesma organização, atuaram em conjunto para a identificação de ganhos ambientais que transcenderam a capacidade que ações individuais dos elos da cadeia conseguiriam. Os novos desafios de sustentabilidade que o setor enfrenta para atender às expectativas ambientais da sociedade tem incentivado ações

de adaptação no sentido reverso da cadeia de suprimentos. As indústrias responsáveis pelas confecções de produtos finais de couro têm sido expostas aos novos requisitos impostos pela sociedade e transferem estas necessidades no sentido reverso para seus fornecedores.

Os princípios da EC foram identificados no caso estudado por meio da constatação de implementações de circularidades, que buscaram atender os novos requisitos de operações mais sustentáveis e transparentes demandadas pela sociedade por meio de nova abordagem de não geração de resíduos e novas destinações para potenciais descartes nocivos ao meio ambiente. Os casos aqui estudados mostraram que as etapas tradicionais de processamento do couro já não são suficientes para atender às expectativas do mercado, que visa não apenas conhecer as especificações do produto gerado, mas também ter acesso a como e a partir do que ele foi produzido. Princípios de EC foram implementados no curtimento de cortes customizados das peles, com desvios de subprodutos para outros ciclos de vida de produtos como colágeno e higiene, os quais se tornariam resíduos ao longo do ciclo de vida do couro, alcançando melhores desempenhos ambientais. Os novos processos passaram por auditorias externas, seguidoras de métricas padronizadas, conforme recomendação de regulações internacionais para comunicar a sociedade a aplicação de estratégias para melhorar desempenhos ambientais dos produtos oferecidos.

Devido à grande fragmentação envolvida na cadeia de suprimentos, ações individuais apresentam forte limitação de geração de benefício ambiental dos princípios da EC (DE MARCHI, DI MARIA, 2019). A avaliação da interdependência das diferentes etapas da cadeia de suprimentos é condição necessária para a geração de sustentabilidade nas operações das empresas. A tratativa sistêmica da análise deve dedicar especial atenção na divulgação dos reais impactos dos processos vigentes, valendo-se de novas abordagens de mensuração como as avaliações de ciclo de vida. O zelo do trato dos dados deve considerar empaticamente o público-alvo da informação, transformando os dados técnicos do setor em conhecimento capaz de suportar as decisões das partes interessadas, pesquisadores e consumidores. O setor produtivo tem a responsabilidade de gerar dados confiáveis e transparentes de sustentabilidade para ajudar o cliente da indústria do couro a exercer o seu poder de escolha conforme as suas crenças e convicções (DONATELLO, CORDELLA, *et al.*, 2020).

As organizações internacionais como a ONU apresentam desafios de desenvolvimento sustentável que a implementação dos princípios da EC pode contribuir positivamente nos resultados. Neste sentido, quando casos como os apresentados por esta pesquisa são identificados, analisados e publicados a partir de métricas padrões e independentes, trata-se de

contribuição relevante para a sociedade.

As implicações teóricas deste estudo de caso apontam para a possível adaptação das pesquisas científicas sobre o setor coureiro, com destaque para as etapas de produção anteriores ao curtimento, que podem expandir o número de novas destinações para as aparas não curtidas, utilizadas como matéria-prima em outros ciclos de vida e aumentar a sustentabilidade do setor. Adicionalmente, considerando os ganhos da redução de geração de resíduos do caso estudado, pesquisas focadas nas etapas de curtimento e pós curtimento podem concentrar seus esforços para a identificação de meios para viabilizar a substituição de agentes de curtimento como o cromo por opções como a zeólita, com maior sustentabilidade e com melhores desempenhos de degradabilidade de fim de vida.

Considerando a distribuição das operações atuais de produção do couro em vários países, as implicações práticas deste estudo estão relacionadas a identificação de implementações de princípios de EC com a geração de ganhos mensuráveis de sustentabilidade, que devido à similaridade de processos e produtos químicos, utilizados nos processos de curtumes em operação na maioria dos países produtores, podem ser reproduzidas e gerar benefícios ambientais em escala global.

O contexto descrito por este estudo de caso, que destaca o desvio de montante relevante de materiais, que seriam utilizados na produção do couro, como fonte de peptídeos de colágeno para produtos como os nutracêuticos, podem revelar alterações no modelo de negócio dos curtumes, com implicações gerenciais para os executivos do setor. O setor de alimentos nutracêuticos é atualmente uma indústria multibilionária com forte tendência de crescimento na próxima década (CHOPRA, LORDAN, *et al.*, 2022). Assim, as organizações do setor passam a contar com outras opções de destinação rentável para as peles bovinas, sem a necessidade de tratamento dos aspectos de preocupações ambientais da produção do couro.

A implementação dos princípios de EC é um passo fundamental para alcançar operações mais sustentáveis, mas não são suficientes para satisfazer as novas expectativas da sociedade e manter as operações de geração de produtos com má reputação ambiental. As modificações nos processos de geração do couro precisam ser implementadas, aferidas por organizações isentas de conflito de interesses e com métricas padronizadas como a ISO/PEF, capazes de serem compartilhadas com a sociedade, que reconhece a qualidade dos produtos oferecidos, mas apresenta uma rejeição crescente a produtos que degradam o meio ambiente. O novo desafio das organizações está associado a não só atender, mas também comunicar melhores desempenhos ambientais.

Apesar do estudo ser realizado em ambiente prático de aplicações de princípios de EC, as suas limitações devem ser consideradas no seu uso. Os resultados gerados por este trabalho consideram o estudo de um caso somente, dificultando generalizações diretas das aplicações de EC. Nem todas as empresas serão capazes de contar com a integração de processos verticais e horizontais do caso estudado. Os fluxos inversos dos novos requisitos do mercado, desde o cliente final do couro até as fazendas de gado, para produtos mais sustentáveis não serão viáveis em operações fragmentadas de produção. Assim, ações de incentivos a cooperações na cadeia de suprimentos do setor passa ser a condição essencial para comunicar melhores desempenhos ambientais para a sociedade.

Este estudo identificou aplicações de princípios de EC que geraram operações com ganhos de sustentabilidade. As próximas pesquisas devem seguir na direção de como viabilizar a reprodução deste caso em outros ambientes de operações de processamento das peles bovinas para a geração do couro. Adicionalmente, futuras pesquisas podem suportar as organizações do setor na viabilização de novos modelos de negócios sustentáveis a partir da pele bovina, como a opção de matéria-prima da produção de peptídeos de colágeno do mercado de nutracêuticos e de substituição do cromo como agente de curtimento por opções como a zeólita. A ampliação das melhores práticas conforme os princípios de EC, capazes de serem comunicadas com a sociedade, podem contribuir com a continuidade das operações dos curtumes e a manutenção da geração deste coproduto do ciclo de vida da carne/leite, necessário para a segurança alimentar da população.

#### 4. DISCUSSÕES

Os resultados produzidos por esta pesquisa e que culminaram nos artigos aqui apresentados partiram da premissa que as iniciativas de EC possuem potencial para contribuir com a melhora da sustentabilidade das operações de processamento das peles bovinas para a geração do couro. Assim, este estudo utilizou inicialmente a literatura para identificar quais seriam os requisitos de operações seguidoras de iniciativas de EC. As contribuições identificadas nesta etapa de revisão teórica das operações circulares reforçaram a necessidade de atender novos requisitos para viabilizar a criação de fluxos reversos, contrários aos atuais ciclos de vida dos produtos, que modificassem os princípios vigentes da EL, caracterizada pelas fases unidirecionais - *Take-Make-Dispose* (AHMAD, BASK, *et al.*, 2023, DINDA, 2020), em direção aos princípios da EC com a identificação de oportunidades de recirculação de materiais e energia.

A literatura sobre o tema tem destacado métodos como a logística reversa e cadeia de suprimentos reversa, suportadas pelas novas tecnologias da Indústria 4.0 e *blockchain*, como adequadas para a gestão expandida da produção circular e compatíveis com os novos desafios de criar fluxos de recirculação (MALLICK, SALLING, *et al.*, 2023, VARRIALE, CAMMARANO, *et al.*, 2021, VOGT DUBERG, JOHANSSON, SUNDIN, KURILOVA-PALISAITIENE, 2020). Entretanto, operações circulares apenas serão viáveis se existirem a identificação de co/subprodutos e destinações que evitem que o ciclo de vida de referência faça novas extrações e/ou descartes ao meio ambiente. Assim, iniciativas como as defendidas pelos conceitos da *open innovation* e de cadeias de suprimentos verdes e circulares são de fato relevantes, uma vez que apontam para a necessidade de cooperação e compartilhamento de conhecimentos entre os potenciais candidatos e os atuais participantes da cadeia de suprimentos, na busca de novas oportunidades de recirculação de materiais e energia (JESUS, JUGEND, 2023, KÖHLER, SÖNNICHSEN, *et al.*, 2022); o que pode demandar o desenvolvimento de soluções integradas entre diferentes atores de um ecossistema.

O conhecimento a respeito destes requisitos das operações circulares possibilitou o avanço desta pesquisa para a fase seguinte de levantamento das iniciativas de EC na literatura dedicada especificamente ao setor coureiro. Os resultados encontrados nesta fase do estudo foram capazes de relacionar as etapas da produção, a respectiva preocupação com os aspectos ambientais e a classificação das iniciativas de EC de acordo com a abordagem ReSOLVE (KOUHIZADEH, ZHU, *et al.*, 2020, MASTOS, NIZAMIS, *et al.*, 2021). O uso dos dados desta fase da pesquisa viabilizou o mapeamento da existência de iniciativas de EC nas etapas de

produção que tratam aspectos geradores de preocupações com os aspectos ambientais voltados para a produção do couro bovino. Considerando a criação da visão sistêmica do funcionamento das iniciativas de EC na produção, esta fase da pesquisa viabilizou a construção de um *framework* que pode ser utilizado como referência para organizações e pesquisadores que buscam dados comparativos entre os métodos tradicionais e as aplicações de iniciativas de EC nas etapas de produção do couro bovino.

Considerando a identificação na literatura das práticas de EC nas etapas de produção do couro bovino, a etapa seguinte desta pesquisa visou apresentar os achados da literatura para os próprios autores de artigos e especialistas do setor, buscando identificar e analisar comparativamente a relevância das contribuições das iniciativas de EC para a geração do benefício ambiental. Os resultados da comparação entre as práticas de EC foram gerados principalmente a partir da ponderação quantitativa dos participantes sobre quatro dimensões de atributos: confiabilidade, aplicabilidade, adesão e eficácia. A consulta recebeu a contribuição de participantes de dez (10) países, que quantificaram e qualificaram com comentários quais iniciativas de EC oferecem melhores combinações de atributos, capazes de gerarem os benefícios ambientais.

A análise dos dados gerados pela ponderação de atributos dos participantes indicou que a iniciativa de tratamento dos resíduos alcançou as maiores médias para os atributos e capacidade de gerar benefício ambiental para todas as etapas de produção do couro bovino. Por outro lado, apresentando uma das menores médias para os valores dos atributos, a substituição do cromo como agente de curtimento ainda enfrenta descrédito quanto as chances de êxito. Desta forma, a utilização do cromo segue como principal ponto de preocupação ambiental do processamento das peles o que ocorre, especialmente, devido aos cuidados necessários nas ações de descartes de materiais impregnados com a substância. Acrescenta-se à preocupação ambiental da utilização deste agente de curtimento o fato de que couros curtidos com o cromo apresentam dificuldade de degradabilidade de resíduos e de fim de vida dos produtos.

A última fase da pesquisa buscou identificar em estudo de caso possibilidades de aplicações de EC no setor coureiro. O cenário de operação investigada, a qual é usuária de princípios de circularidade por meio da expansão horizontal e vertical da cadeia de suprimentos foi identificada na maior operação vigente de produção do couro bovino. Além disso, a empresa disponibilizou acesso aos dados, às operações de duas plantas de produção e aos especialistas da empresa. A análise dos dados comparativos de *LCA* entre a produção tradicional das peles e o processamento modificado por iniciativas de EC ofereceu a oportunidade de quantificar os

ganhos gerados pelos princípios de circularidade em direção a operações com melhores desempenhos ambientais. Adicionalmente, com o objetivo de efetuar a triangulação dos resultados, visitas *in loco* foram realizadas para a melhor compreensão do funcionamento das iniciativas adotadas em dois países, com operações complementares que ofereceram o acompanhamento de um ciclo completo de produção, desde a origem das peles nos frigoríficos do grupo até as etapas de acabamento dos artigos de couro.

A finalização desta etapa da pesquisa foi realizada por meio de entrevistas com os especialistas da planta responsável pelas atividades de P&D da maior operação vigente de processamento de peles para a criação do couro bovino no mundo, o que ocorreu também *in loco*. Os resultados das entrevistas forneceram informações qualitativas sobre a adoção de EC no setor, uma vez que os participantes compartilharam percepções a respeito de tópicos investigados que abordavam as implicações externas e internas dos movimentos da sociedade em busca de operações mais sustentáveis, apontando iniciativas de EC para a produção e comercialização do couro bovino.

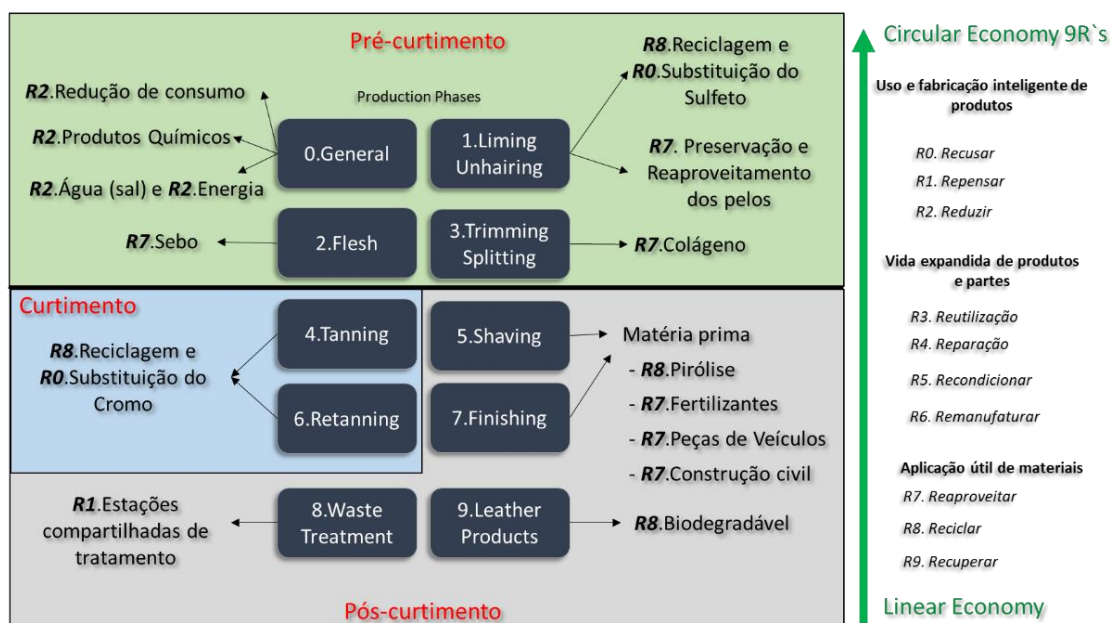
Os resultados do estudo de caso indicaram uma mudança de paradigma do setor coureiro, que sempre buscou obter ganhos pela máxima área de couro produzida por pele. A iniciativa observada na proposta do método de curtimento de cortes customizados na empresa investigada é diferente desta abordagem tradicional, quando define a área específica que vai ser curtida, ainda na fase de manipulação das peles. As implicações desta mudança de abordagem geram dois efeitos benéficos ao meio ambiente: (i) a menor necessidade de consumo de insumos para a geração do couro bovino; e, (ii) maior desvio de aparas não curtidas para desenvolvimento de co/subprodutos. Como consequência desta nova abordagem, as etapas sucessoras ao ponto de definição da geometria de curtimento deixam de gerar aparas curtidas, foco das preocupações ambientais devido à presença do cromo.

O cenário presenciado no desenvolvimento deste estudo permitiu observar que o setor coureiro pode responder às demandas da sociedade com iniciativas de EC, como as abordagens que buscam a descontinuidade de uma prática existente no processo produtivo tradicional: o uso do cromo como agente de curtimento. A apresentação feita pelos especialistas da planta de P&D na Itália a respeito do projeto em andamento, que pretende utilizar a zeólita como agente de curtimento, apresenta potencial para modificar o modelo de negócio do setor a longo prazo e em direção a EC. O couro gerado pelo novo agente de curtimento terá como atributo uma capacidade de degradabilidade próxima da pele bovina não curtida e livre das preocupações ambientais já conhecidas do cromo.

Considerando a realização das atividades descritas nos parágrafos anteriores, que buscavam o atendimento do objetivo inicial desta tese de apresentar iniciativas de EC que contribuam com a melhoria da sustentabilidade do setor coureiro, a sequência de figuras abaixo (Figura 51 a Figura 53) apresentam, a partir da extração de trechos dos resultados dos artigos desenvolvidos, a visão resumida da contribuição desta tese.

A informação apresentada pela figura 51 ilustra a capacidade de identificação das etapas de produção, quais são as iniciativas de EC existentes e possível classificação de grau de afastamento dos métodos da EL em direção aos princípios da EC, baseados na ponderação dos 9R's (POTTING, HEKKERT, *et al.*, 2017).

Figura 51 - Etapas de produção do couro bovino e as iniciativas de EC



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 52 apresenta, na visão dos especialistas e autores de artigos científicos a respeito do setor, quais são as práticas que combinam as maiores ponderações de atributos como confiabilidade, aplicabilidade, adesão e eficácia associadas às fases de produção. Neste sentido, as informações trazidas oferecem a visão de práticas vigentes e disponíveis às ações de implementação das organizações em direção a ganhos de sustentabilidade.

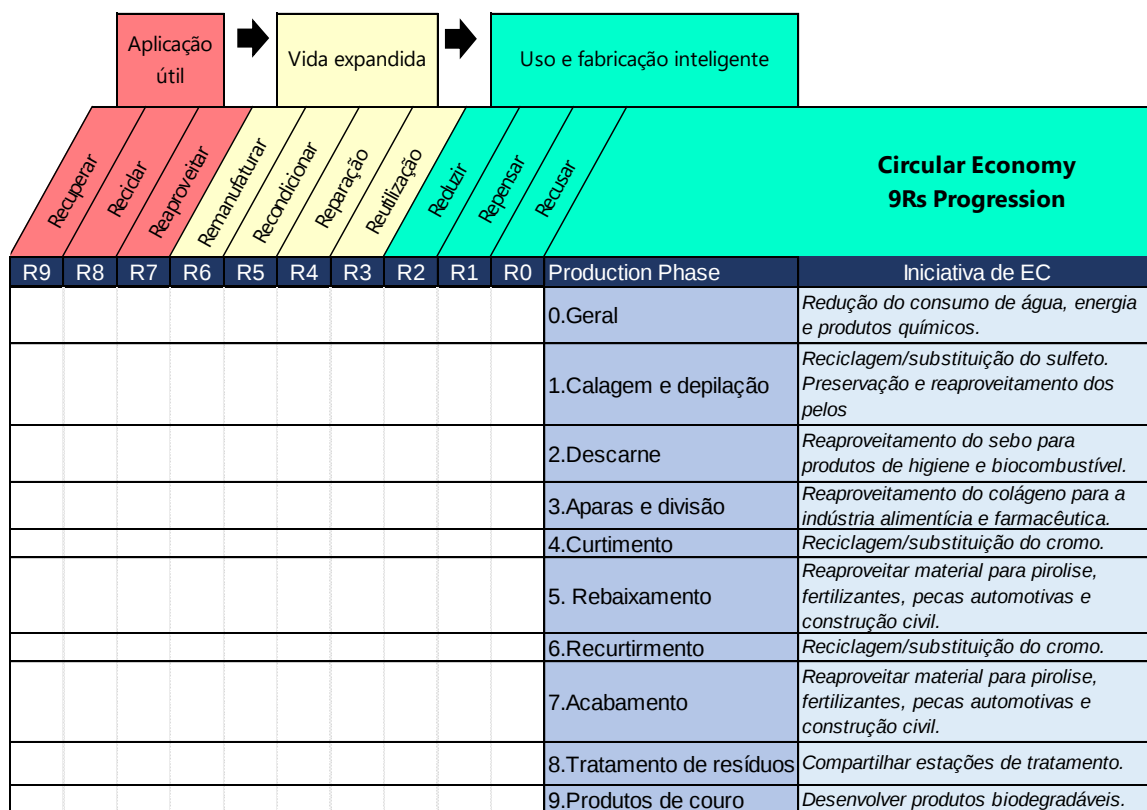
Figura 52 - *Framework* de melhores práticas e fases de produção

| Média das Dimensões |                |                |        |          |                                              | Fases da Produção                |               |             |            |            |              |              |                    |                     |
|---------------------|----------------|----------------|--------|----------|----------------------------------------------|----------------------------------|---------------|-------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------------|---------------------|
| Média das práticas  | Confiabilidade | Aplicabilidade | Adesão | Eficácia |                                              | 1. Liming Unhairing              | 2. Lime Flesh | 3. Trimming | 4. Tanning | 5. Shaving | 6. Retanning | 7. Finishing | 8. Waste treatment | 9. Leather products |
|                     |                |                |        |          | Melhores práticas                            |                                  |               |             |            |            |              |              |                    |                     |
| 4.4                 | 4.6            | 4.4            | 4.0    | 4.8      | 12. Tratamento de resíduos                   |                                  |               |             |            |            |              |              | x                  |                     |
| 4.1                 | 4.0            | 4.3            | 3.8    | 4.3      | 8. Reaproveitamento de aparas não curtidas   |                                  | x             |             |            |            |              |              |                    |                     |
| 3.9                 | 4.0            | 4.3            | 3.6    | 3.9      | 1. Leis de proteção ambiental dos países     | x                                | x             | x           | x          | x          | x            | x            | x                  | x                   |
| 3.9                 | 3.7            | 4.1            | 3.6    | 4.4      | 9. Reaproveitamento do sebo                  |                                  | x             |             |            |            |              |              |                    |                     |
| 3.7                 | 4.2            | 3.9            | 3.0    | 3.8      | 2. Auditorias ambientais                     | x                                | x             | x           | x          | x          | x            | x            | x                  | x                   |
| 3.7                 | 3.8            | 3.6            | 3.2    | 4.1      | 7. Preservação e reaproveitamento dos pelos  | x                                |               |             |            |            |              |              | x                  |                     |
| 3.7                 | 4.0            | 3.4            | 3.1    | 4.2      | 6. Substituição ou reciclagem do sulfeto     | x                                |               |             |            |            |              |              | x                  |                     |
| 3.5                 | 3.6            | 3.3            | 3.4    | 3.8      | 4. Transparência e rastreabilidade das peles |                                  |               |             |            |            |              |              |                    | x                   |
| 3.5                 | 3.6            | 3.5            | 3.0    | 3.9      | 11. Reaproveitamento de aparas curtidas      |                                  |               |             |            | x          |              | x            |                    |                     |
| 3.5                 | 3.8            | 3.6            | 2.9    | 3.7      | 10. Substituição ou reciclagem do cromo      |                                  |               |             | x          |            | x            |              | x                  |                     |
| 3.5                 | 3.8            | 3.4            | 3.0    | 3.7      | 3. Certificados/Selos de sustentabilidade    | x                                | x             | x           | x          | x          | x            | x            | x                  | x                   |
| 3.5                 | 3.7            | 2.8            | 3.0    | 4.4      | 5. Utilização de peles não salgadas          | x                                |               |             |            |            |              |              | x                  |                     |
| 3.3                 | 3.4            | 3.2            | 2.6    | 3.9      | 13. Couro certificado como biodegradável     |                                  |               |             |            |            |              |              | x                  |                     |
| 2.2                 | 2.2            | 2.5            | 2.2    | 2.0      | 14. Substituir o couro por outros materiais  | x                                | x             | x           | x          | x          | x            | x            | x                  | x                   |
| 1                   | 2              | 3              | 4      | 5        | Esala Likert                                 | Fase afetada pela melhor prática |               |             |            |            |              |              |                    |                     |

Fonte: elaborado pelo autor

Segundo a percepção dos dois públicos-chave pesquisados, o *framework* da figura 52 pode oferecer às partes interessadas do setor coureiro níveis comparativos de contribuições de EC, que ofereceriam maior potencial de geração de benefício ambiental. Assim, os atores do setor podem utilizar estes resultados como estratégia para selecionar, a partir de práticas de EC já desenvolvidas e disponíveis às organizações, quais seriam as iniciativas que ofereceriam os melhores ganhos de desempenho ambiental, considerando inclusive, operações fragmentadas de produção.

A figura 53 propõe um *framework* capaz de guiar as organizações e pesquisadores na elaboração de estratégias capazes de gerar melhores desempenhos ambientais e voltadas para a produção do couro bovino. Tendo como referência as ponderações baseadas na escala dos 9R's de evolução do modelo da EL para os princípios da EC, o *framework* pode ser utilizado como ferramenta de identificação do status das operações, bem como recurso de monitoramento de evoluções em direção a ganhos de sustentabilidade.

Figura 53 - *Framework* integrativo de EC e fases de produção do couro bovino

Fonte: elaborado pelo autor

A disponibilidade do *framework* proposto na figura 53 oferece a oportunidade de utilização dos princípios de EC para mensurar desempenhos ambientais de operações de geração do couro bovino. Assim, os clientes da cadeia de suprimentos do setor coureiro podem avaliar comparativamente os potenciais fornecedores, considerando quais seriam as organizações mais avançadas com relação à utilização de práticas vigentes de EC nos processos de produção do couro. Uma analogia possível com esta proposta seria os selos de consumo de energia dos eletrodomésticos, mas considerando o desempenho ambiental da fabricação de determinado produto de couro.

## 5. CONCLUSÕES

Segundo os dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), globalmente, a produção de carne bovina mais do que dobrou desde 1961, com tendências de aumento, principalmente nos países em desenvolvimento, devido ao crescimento populacional e aumento da renda. Neste contexto, o número de bovinos abatidos em todo o mundo em 2019 foi de aproximadamente 325 milhões, isso significa que cerca de 900 mil cabeças de gado foram abatidas para a produção de carne todos os dias, gerando a mesma quantidade de peles que precisam de uma destinação sustentável de produção. Caso não exista uma mudança no modo de produção do couro bovino, os volumes atuais de produção das peles, geradas pelos frigoríficos e suas projeções de crescimento, seguirão para processamentos tradicionais nos curtumes, moldados ao longo dos séculos para ser eficiente, com alto rendimento e baixo custo, alheios às preocupações ambientais atuais, pois foram desenvolvidos no passado para volumes menores de produção, abundância de recursos naturais e capacidade elevada de regeneração do meio ambiente.

Considerando a relevância socioeconômica do setor coureiro para os países produtores, as empresas deverão seguir aumentando a capacidade de produção de suas plantas com aumento no consumo de água, e mesmo que já exista alternativas para os produtos químicos de depilação e agente de curtimento, a grande maioria seguirá utilizando o sulfeto e o cromo nas produções de grande escala, foco das principais preocupações ambientais. Assim, a cadeia de suprimentos de geração do couro bovino, seguirá operando com volumes crescentes de consumo de insumos e geração de resíduos líquidos e sólidos que não atendem às expectativas de operações mais sustentáveis da sociedade.

Diante do que foi investigado nas etapas de revisão teórica, consulta a especialistas e estudo de caso, observou-se que as principais iniciativas de EC que podem ser utilizadas para a produção do couro bovino são compostas inicialmente pela adoção de processos mais ambientalmente eficazes, já desenvolvidos e disponíveis para as empresas do setor, como as ações de reciclagem de insumos como a água, sulfeto e cromo, aliadas às ações de mitigação de geração de resíduos, com desvios de descartes para a geração de co/subprodutos como o sebo e colágeno.

Estratégias evolutivas para maiores ganhos de sustentabilidade, que modificam os processos atuais de geração do couro bovino, como os observados nos projetos de P&D da maior operação de produção de couro do mercado, com destaque de médio prazo para o curtimento dos cortes customizados e a futura substituição do cromo pela zeólita, mostram uma

tendência de modificação do modelo de negócio de processamento das peles, com o aumento de destinações alternativas mais sustentáveis que o couro, como a geração de peptídeos de colágeno para o mercado de nutracêuticos.

Os achados desta pesquisa indicam a existência de iniciativas de EC que modificam paradigmas existentes neste setor. A identificação da abordagem de atuar nas fases anteriores ao curtimento, por meio de cortes customizados de produção, destinando para a geração de co/subprodutos as áreas da pele que seriam as maiores fontes de resíduos sólidos e diminuindo a necessidade de entradas como água e produtos químicos no fluxo de referência de geração do couro bovino, representa um rompimento com a prática de buscar produzir a maior área por pele. Assim, ao invés de produzir, transportar e gerar resíduos *downstream* ao longo do ciclo de vida do couro, a nova prática viabiliza o desenvolvimento de novos ciclos de produção por meio da recirculação de matérias-primas de grande interesse comercial para os mercados de produtos de higiene e nutrição.

As implicações teóricas deste trabalho concentram-se em ampliar o conhecimento sobre produções sustentáveis de couro e aplicação de conceitos da EC para este setor. Ainda são poucos os trabalhos que analisam o setor e a produção do couro bovino sob a ótica da EC e essa pesquisa apresenta contribuições nesse sentido. Esse estudo também apresenta uma inovação em termos de combinação de métodos de pesquisa para investigar esse fenômeno, uma vez que integrou revisão teórica, consulta a especialistas (profissionais e pesquisadores da área) atuantes em diferentes países e estudo de caso em plantas com operações complementares em dois países relevantes deste mercado - Brasil e Itália. Além disso, pesquisadores podem utilizar este trabalho como referência para pesquisar estratégias para a adoção da EC em empresas produtoras de couro bovino, que operam em diferentes países, expostas a diferentes regulações e pressões normativas.

Dentre as implicações gerenciais, entende-se que os achados deste estudo podem ser úteis aos gestores, uma vez que revela práticas, tecnologias e relações com princípios da EC que o setor de geração do couro bovino poderá considerar em suas operações para atender novos e futuros requisitos ambientais no mercado em que operam. Como as práticas vigentes de processamento e utilização de insumos químicos são comuns a maioria das operações existentes no mundo, os resultados apresentados e analisados neste trabalho têm o potencial de oferecer alternativas de melhores desempenhos ambientais para organizações que ainda não conhecem as iniciativas de EC e que podem ser utilizadas, sobretudo, no processamento das peles. Considerando que os resultados desta pesquisa foram gerados a partir de operações reguladas

por legislações ambientais restritivas e mercados preocupados com a imagem da sustentabilidade dos produtos de couro, empresas e gestores podem utilizar o conteúdo apresentado neste trabalho para auxílio na definição de estratégias e práticas para melhorar os resultados ambientais voltados para a produção do couro bovino.

Além disso, entende-se que gestores e empresas do setor podem utilizar os resultados desta pesquisa também para auxílio no atendimento dos novos requisitos das operações circulares, expandindo os limites de atuação para além dos “portões” das empresas. De forma a buscarem a ação coordenada de atores que promovam a circularidade de materiais e energia. Adicionalmente, a identificação de novos métodos de produção, como os cortes customizados e a substituição de produtos nocivos ao meio ambiente como o cromo e sulfeto, modificarão as práticas atuais de produção em direção a operações mais sustentáveis. Destaca-se ainda que as iniciativas de EC devem ser realizadas não só na identificação e aplicação dos seus princípios, mas também pela comunicação dos benefícios ambientais de sua aplicação para sociedade, contribuindo assim para a melhoria da reputação ambiental dos produtos de couro no mercado.

É importante reconhecer as limitações deste estudo. Devido a amostra da consulta a especialistas e estudo de caso único, os seus resultados não podem ser generalizados. As iniciativas apresentadas e analisadas nesta tese abordam um contexto de operação que não será capaz de ser reproduzido em todas as condições das operações espalhadas em vários continentes, mesmo que existam elevada similaridade de insumos e processos. As iniciativas de EC apresentadas por este trabalho devem considerar também as especificidades locais, as quais precisam ser adaptadas para alcançarem melhores desempenhos ambientais, revendo inclusive a vocação que determinadas áreas possam assumir como viáveis para operações de curtumes, principalmente, quando existir escassez de água na região. Esta pesquisa também pode oferecer limitações de benefícios para operações menores e rudimentares, que seguem produzindo via métodos tradicionais e alheias aos novos requisitos ambientais, que regulações e clientes com preocupações ambientais demandariam.

Como proposta de estudos futuros, sugere-se a ampliação de estudo de casos para outras empresas produtoras de couro bovino de diferentes portes e que atuam em países diversos. Esses resultados podem revelar novos resultados, práticas, tecnologias e mesmo legislações que sejam benéficas a produção do couro bovino em sistemas de produção sustentáveis e alinhados aos princípios da EC. Pesquisas futuras, que utilizem o método de pesquisa-ação, também podem ser úteis ao identificar maneiras pelas quais empresas produtoras de couro bovino possam fazer a transição para a EC. Além disso, futuras pesquisas no setor poderiam partir das seguintes

questões: empresas do setor e o mercado estariam prontas para operar sustentavelmente os volumes projetados de processamento de peles decorrentes do aumento do consumo de carne bovina? Como preparar as empresas para operarem conforme os ODS da ONU na agenda de 2030? As empresas estariam prontas para substituírem insumos reconhecidamente tóxicos como o sulfeto e o cromo no processamento das peles? Considerando que 33% da pele bovina é composta de proteína, podemos assumir que o couro pode deixar de ser produzido e seja uma opção na alimentação humana?

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, F., BASK, A., LAARI, S., *et al.* "Business management perspectives on the circular economy: Present state and future directions", **Technological Forecasting and Social Change**, v. 187, 2023. DOI: 10.1016/j.techfore.2022.122182. .
- ALTUN, Ş., LAPUERTA, M. "Properties and emission indicators of biodiesel fuels obtained from waste oils from the Turkish industry", **Fuel**, v. 128, p. 288–295, 2014. DOI: 10.1016/j.fuel.2014.03.024. .
- ALTUN, Ş., RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, J. "Biofuels derived from Turkish industry wastes—a study of performance and emissions in a diesel engine", **Environmental Progress and Sustainable Energy**, v. 35, n. 3, p. 847–852, 2016. DOI: 10.1002/ep.12227. .
- ARANDA-USÓN, A., PORTILLO-TARRAGONA, P., SCARPELLINI, S., *et al.* "The progressive adoption of a circular economy by businesses for cleaner production: An approach from a regional study in Spain", **Journal of Cleaner Production**, v. 247, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119648. .
- ARIRAM, N., MADHAN, B. "Development of bio-acceptable leather using bagasse", **Journal of Cleaner Production**, v. 250, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119441. .
- AZAPAGIC, A., CLIFT, R. **Erratum: Linear programming as a tool in life cycle assessment (International Journal of Life Cycle Assessment 3:6 (308)). International Journal of Life Cycle Assessment**. [S.l: s.n.], 1999
- BACARDIT, A., BAQUERO, G., SOROLLA, S., *et al.* "Evaluation of a new sustainable continuous system for processing bovine leather", **Journal of Cleaner Production**, v. 101, p. 197–204, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.04.012. .
- BACARDIT, A., COMBALIA, F., FONT, J., *et al.* "Comparison of the sustainability of the vegetable, wet-white and chromium tanning processes through the life cycle analysis", **Journal of the American Leather Chemists Association**, v. 115, n. 3, p. 105–111, 2020. .
- BACH, V., LEHMANN, A., GÖRMER, M., *et al.* "Product environmental footprint (PEF) pilot phase-comparability over flexibility?", **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 8, 2018. DOI: 10.3390/su10082898. .
- BAGHERI, M., ESFILAR, R., SINA GOLCHI, M., *et al.* "Towards a circular economy: A comprehensive study of higher heat values and emission potential of various municipal solid wastes", **Waste Management**, v. 101, p. 210–221, 2020. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.09.042. .
- BALETA, J., MIKULČIĆ, H., KLEMEŠ, J. J., *et al.* **Integration of energy, water and environmental systems for a sustainable development. Journal of Cleaner Production**. [S.l: s.n.], 2019
- BAQUERO, G., SOROLLA, S., OLLÉ, L., *et al.* "Environmental assessment of dehydration processes for bovine leather", **Journal of the American Leather Chemists Association**, v. 112, n. 3, p. 102–108, 2017. .
- BARROS, M. V., SALVADOR, R., DE FRANCISCO, A. C., *et al.* **Mapping of research lines on circular economy practices in agriculture: From waste to energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews**. [S.l: s.n.], 2020
- BAVARESCO, J., FINK, J. R., MORAES, M. T., *et al.* "Chromium from Hydrolyzed Leather Affects Soybean Growth and Nodulation", **Pedosphere**, v. 29, n. 1, 2019. DOI: 10.1016/S1002-

0160(17)60360-6. .

BERNON, M., TIAHJONO, B., RIPANTI, E. F. "Aligning retail reverse logistics practice with circular economy values: an exploratory framework", **Production Planning and Control**, v. 29, n. 6, 2018. DOI: 10.1080/09537287.2018.1449266. .

BLANC, D. Le, LE BLANC, D. "Towards Integration at Last? The Sustainable Development Goals as a Network of Targets", **Sustainable Development**, v. 23, n. 3, 2015. DOI: 10.1002/sd.1582. .

BOBROV, Y. A. "MODERN INNOVATIONS IN THE CONTEXT OF THE TRANSITION TO CIRCULAR ECONOMY", **Science and Innovation**, v. 17, n. 6, 2021. DOI: 10.15407/scine17.06.013. .

BOCKEN, M. P., PAUW, I., BAKKER, C., *et al.* "Product design and business model strategies for a circular economy", **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 33, n. 5, 2016. DOI: 10.1080/21681015.2016.1172124. .

BOGERS, M., CHESBROUGH, H., MOEDAS, C. "Open innovation: Research, practices, and policies", **California Management Review**, v. 60, n. 2, 2018. DOI: 10.1177/0008125617745086. .

BOULAY, A. M., BARE, J., BENINI, L., *et al.* "The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE)", **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, n. 2, 2018. DOI: 10.1007/s11367-017-1333-8. .

BOULDING E., K. **The Economics of the Coming Spaceship Earth. Environmental Quality in a Growing Economy.** [S.l: s.n.], 1966.

BOULDING E., K., E., K. B. **The Economics of the Coming Spaceship Earth. Environmental Quality in a Growing Economy.** [S.l: s.n.], 1966.

BRUGNOLI, F., BRONDI, C., FRAGASSI, F., *et al.* "System expansion for environmental impact assessment in the leather industry - the leather Product Environmental Footprint pilot project case". 2015. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2015.

BRUINSMA, J. **World agriculture: Towards 2015/2030: An FAO Study.** [S.l: s.n.], 2017.

BUFALO, G., FLORIO, C., CINELLI, G., *et al.* "Principles of minimal wrecking and maximum separation of solid waste to innovate tanning industries and reduce their environmental impact: The case of paperboard manufacture", **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 324–332, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.006. .

CABRERA-CODONY, A., RUIZ, B., GIL, R. R., *et al.* "From biocollagenic waste to efficient biogas purification: Applying circular economy in the leather industry", **Environmental Technology and Innovation**, 2020. DOI: 10.1016/j.eti.2020.101229. .

CAPPER, J. L. "Foods of animal origin - how do we help the consumer understand sustainability implications of diet choice?", **Italian Journal of Animal Science**, 2017. .

CASTIELLO, D., PUCCINI, M., SEGGIANI, M., *et al.* "Life cycle assessment (LCA) of the oxidative unhairing process by hydrogen peroxide". 103, 2008. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2008.

CATALÁN, E., KOMILIS, D., SÁNCHEZ, A. "A Life Cycle Assessment on the Dehairing of Rawhides: Chemical Treatment versus Enzymatic Recovery through Solid State Fermentation", **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 2, p. 361–373, 2019. DOI: 10.1111/jiec.12753. .

CATALÁN, E., KOMILIS, D., SÁNCHEZ, A. "Solid-state fermentation and composting as alternatives to treat hair waste: A life-cycle assessment comparative approach", **Waste Management and Research**, v. 35, n. 7, p. 786–790, 2017. DOI: 10.1177/0734242X17709909.

CENTOBELLI, P., CERCHIONE, R., CHIARONI, D., *et al.* "Designing business models in circular economy: A systematic literature review and research agenda", **Business Strategy and the Environment**, v. 29, n. 4, 2020. DOI: 10.1002/bse.2466. .

CERIMI, K., AKKAYA, K. C., POHL, C., *et al.* "Fungi as source for new bio-based materials: A patent review", **Fungal Biology and Biotechnology**, v. 6, n. 1, 2019. DOI: 10.1186/s40694-019-0080-y. .

CHADEGANI, A. A., SALEHI, H., MD YUNUS, M. M., *et al.* "A comparison between two main academic literature collections: Web of science and scopus databases", **Asian Social Science**, v. 9, n. 5, 2013. DOI: 10.5539/ass.v9n5p18. .

CHEN, B., WANG, M., DUAN, M., *et al.* "In search of key: Protecting human health and the ecosystem from water pollution in China", **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 101–111, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.228. .

CHEN, J., CHENG, B., SUN, S., *et al.* "The influence of research of leather's ecological properties on its products-eco-design", **Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists**, v. 98, n. 6, p. 275–284, 2014. .

CHEN, M., DUAN, Y., DONG, L., *et al.* "Country-level Life cycle assessment of carbon footprint in processing of bovine upper leather", **Journal of the American Leather Chemists Association**, v. 114, n. 6, p. 194–203, 2019. .

CHESBROUGH, H. **The logic of open innovation: Managing intellectual property.** California Management Review. [S.l.: s.n.]. , 2003

CHOPRA, A. S., LORDAN, R., HORBAŃCZUK, O. K., *et al.* **The current use and evolving landscape of nutraceuticals.** Pharmacological Research. [S.l.], Academic Press. , 1 jan. 2022

CHOWDHURY, Z. U. M., AHMED, T., ANTUNES, A. P. M., *et al.* "Environmental life cycle assessment of leather processing industry: A case study of Bangladesh", **Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists**, v. 102, n. 1, p. 18–26, 2018. .

CHOWDHURY, Z. U. M., AHMED, T., HASHEM, M. A. "Materials and energy flow in the life cycle of leather: a case study of Bangladesh", **Matériaux & Techniques**, v. 105, n. 5–6, 2017. DOI: 10.1051/mattech/2018013. .

CIMATTI, B., CAMPANA, G., CARLUCCIO, L. "Eco Design and Sustainable Manufacturing in Fashion: A Case Study in the Luxury Personal Accessories Industry", **Procedia Manufacturing**, v. 8, p. 393–400, 2017. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.02.050. .

CLAVIJO, C., OSMA, J. F. "Functionalized leather: A novel and effective hazardous solid waste adsorbent for the removal of the diazo dye congo red from aqueous solution", **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 9, 2019. DOI: 10.3390/w11091906. .

COLANTONI, A., RECCHIA, L., BERNABEI, G., *et al.* "Analyzing the environmental impact of chemically-produced protein hydrolysate from leather waste vs. Enzymatically-produced protein hydrolysate from legume grains", **Agriculture (Switzerland)**, v. 7, n. 8, 2017. DOI: 10.3390/agriculture7080062. .

CORONA, B., SHEN, L., REIKE, D., *et al.* **Towards sustainable development through the**

**circular economy—A review and critical assessment on current circularity metrics. Resources, Conservation and Recycling.** [S.l: s.n.], 2019

CRECENTE, F., SARABIA, M., TERESA DEL VAL, M. "Climate change policy and entrepreneurial opportunities", **Technological Forecasting and Social Change**, v. 163, 2021. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120446. .

CRUDU, M., DEACONU, M., PRUNEANU, M., *et al.* "Experiments to obtain new bioproducts based on protein extracts from wet-white leather waste intended for the total or partial replacement of phenol formaldehyde resins in wet finishing of leather | Expériences pour obtenir de nouveaux bioproduits à parti", **Leather and Footwear Journal**, v. 19, n. 4, p. 177–188, 2019. DOI: 10.24264/lfj.19.4.2. .

DADDI, T., CEGLIA, D., BIANCHI, G., *et al.* "Paradoxical tensions and corporate sustainability: A focus on circular economy business cases", **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 26, n. 4, p. 770–780, 2019. DOI: 10.1002/csr.1719. .

DADDI, T., NUCCI, B., IRALDO, F., *et al.* "Enhancing the adoption of life cycle assessment by small and medium enterprises grouped in an industrial cluster: A case study of the tanning cluster in Tuscany (Italy)", **Journal of Industrial Ecology**, v. 20, n. 5, p. 1199–1211, 2016. DOI: 10.1111/jiec.12379. .

DADDI, T., NUCCI, B., IRALDO, F. "Using Life Cycle Assessment (LCA) to measure the environmental benefits of industrial symbiosis in an industrial cluster of SMEs", **Journal of Cleaner Production**, v. 147, p. 157–164, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.090. .

DADDI, Tiberio, NUCCI, B., IRALDO, F. "Using Life Cycle Assessment (LCA) to measure the environmental benefits of industrial symbiosis in an industrial cluster of SMEs", **Journal of Cleaner Production**, v. 147, p. 157–164, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.090. .

DANTAS, T. E. T., DE-SOUZA, E. D., DESTRO, I. R., *et al.* **How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals. Sustainable Production and Consumption.** [S.l: s.n.], 2021

DAS, T., CABEZAS, H. "Tools and concepts for environmental sustainability in the food-energy-water nexus: Chemical engineering perspective", **Environmental Progress and Sustainable Energy**, v. 37, n. 1, p. 73–81, 2018. DOI: 10.1002/ep.12763. .

DAVIDESCU, A. A. M., APOSTU, S. A., PAUL, A. "Exploring citizens' actions in mitigating climate change and moving toward urban circular economy. A multilevel approach", **Energies**, v. 13, n. 18, 2020. DOI: 10.3390/en13184752. .

DE KONING, P. "Deforestation related to Beef & Leather Supply Chains in Latin America and export to Europe", 2020. .

DE MARCHI, V., DI MARIA, E. "Environmental upgrading and suppliers' agency in the leather global value chain", **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 23, 2019. DOI: 10.3390/su11236530. .

DEN HOLLANDER, M. C., BAKKER, C. A., HULTINK, E. J. "Product Design in a Circular Economy: Development of a Typology of Key Concepts and Terms", **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, 2017. DOI: 10.1111/jiec.12610. .

DINDA, S. "A circular economy approach for sustainable economic development", **International Journal of Green Economics**, v. 14, n. 2, 2020. DOI: 10.1504/ijge.2020.109736. .

DISSANAYAKE, D. G. K., WEERASINGHE, D. "Towards Circular Economy in Fashion: Review of Strategies, Barriers and Enablers", **Circular Economy and Sustainability**, v. 2, n. 1, 2022. DOI: 10.1007/s43615-021-00090-5. .

DONATELLO, S., CORDELLA, M., KAPS, R., *et al.* "Are the existing EU Ecolabel criteria for furniture products too complex? An analysis of complexity from a material and a supply chain perspective and suggestions for ways ahead", **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, n. 5, p. 868–882, 2020. DOI: 10.1007/s11367-019-01601-1. .

DOTELLI, G., NEGRETTI, T. A., SANTORI, S., *et al.* "THE UNIQUE HIGH-PERFORMANCE BIODEGRADABLE LEATHER TANNED WITH NATURAL ELEMENTS", **Procedia Environmental Science, Engineering and Management**, v. 7, n. 1, 2020. .

DUDYN'SKI, M. "Gasification of selected biomass waste for energy production and chemicals recovery", **Chemical Engineering Transactions**, v. 65, p. 391–396, 2018. DOI: 10.3303/CET1865066. .

DWIVEDI, S. P., DIXIT, A., BAJAJ, R. "Development of bio-composite material by utilizing chrome containing leather waste with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic particles", **Materials Research Express**, v. 6, n. 10, 2019. DOI: 10.1088/2053-1591/ab3f8e. .

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. "Growth within: a circular economy vision for a competitive europe", **Ellen MacArthur Foundation**, 2015. .

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, MCKINSEY & COMPANY. "Towards the Circular Economy : Accelerating the scale-up across global supply chains", **World Economic Forum**, 2014. .

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, MCKINSEY & COMPANY, FOUNDATION, E. M., *et al.* "Towards the Circular Economy : Accelerating the scale-up across global supply chains", **World Economic Forum**, 2014. .

EPA. "Life Cycle Assessment: Principles and Practice", **Vasa**, n. May, 2008. .

ESMAEILIAN, B., SARKIS, J., LEWIS, K., *et al.* "Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0", **Resources, Conservation and Recycling**, v. 163, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105064. .

ESQUERRA-RESA, S., ESQUERRA-DOT, S., GARCIA, A., *et al.* "Study of the Biodegradability of Leather Tanned with Sodium Aluminosilicate", **Journal of the American Leather Chemists Association**, v. 117, n. 6, p. 251–261, 2022. .

EUROPEAN COMMISSION. "Building the Single Market for Green Products - Facilitating better information on the environmental performance of products and organisations", **Publications Office of the European Union**, n. 1, 2013a. .

EUROPEAN COMMISSION. "Product environmental footprint category rules - Leather", **Official Journal of European Union**, 2018a. .

EUROPEAN COMMISSION. "Product Environmental Footprint Category Rules Guidance", **PEFCR Guidance document**, 2018b. .

EUROPEAN COMMISSION. "Recommendation 2013/179/EU on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations", **Official Journal of European Union**, n. L 124, 2013b. .

FAOSTAT. "FAOSTAT. The Statistical Database of the Food and Agriculture Organization

(FAO), Rome", <http://www.fao.org/statistics/>, [S.d.] .

FERASSO, M., BELIAEVA, T., KRAUS, S., *et al.* "Circular economy business models: The state of research and avenues ahead", **Business Strategy and the Environment**, v. 29, n. 8, 2020. DOI: 10.1002/bse.2554. .

FERREIRA, M. J., ALMEIDA, M. F., FREITAS, F. "Formulation and characterization of leather and rubber wastes composites", **Polymer Engineering and Science**, v. 51, n. 7, p. 1418–1427, 2011. DOI: 10.1002/pen.21643. .

FLOWERS, K. B., DRING, E., CLARE, A. "The effect of retanning on the biodegradability of leathers". 2021. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2021.

FORTUNĂ, M. E., SIMION, I. M., GHINEA, C., *et al.* "Analysis and management of specific processes from environmental engineering and protection based on sustainability indicators", **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 11, n. 2, 2012. DOI: 10.30638/eemj.2012.043. .

FREI, R., JACK, L., KRZYZANIAK, S. A. "Sustainable reverse supply chains and circular economy in multichannel retail returns", **Business Strategy and the Environment**, v. 29, n. 5, 2020. DOI: 10.1002/bse.2479. .

FRISCHKNECHT, R., FANTKE, P., TSCHÜMPERLIN, L., *et al.* "Global guidance on environmental life cycle impact assessment indicators: progress and case study", **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 3, 2016. DOI: 10.1007/s11367-015-1025-1. .

GABBAR, H. A., ABOUGHALY, M., AYOUB, N. **Comparative study of MSW heat treatment processes and electricity generation. Journal of the Energy Institute.** [S.l: s.n.], 2018

GARG, S., KUMAR, P., SINGH, S., *et al.* "Prosopis juliflora peroxidases for phenol remediation from industrial wastewater — An innovative practice for environmental sustainability", **Environmental Technology and Innovation**, v. 19, 2020. DOI: 10.1016/j.eti.2020.100865. .

GAUR, A., KUMAR, M. **A systematic approach to conducting review studies: An assessment of content analysis in 25 years of IB research. Journal of World Business.** [S.l: s.n.], 2018

GEISENDORF, S., PIETRULLA, F. "The circular economy and circular economic concepts—a literature analysis and redefinition", **Thunderbird International Business Review**, v. 60, n. 5, 2018. DOI: 10.1002/tie.21924. .

GEISSDOERFER, M., SAVAGET, P., BOCKEN, N. M. P., *et al.* **The Circular Economy – A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production.** [S.l: s.n.], 2017

GHISELLINI, P., CIALANI, C., ULGIATI, S. "A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems", **Journal of Cleaner Production**, v. 114, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.007. .

GIANNETTI, B. F., AGOSTINHO, F., MORAES, L. C., *et al.* "Multicriteria cost-benefit assessment of tannery production: The need for breakthrough process alternatives beyond conventional technology optimization", **Environmental Impact Assessment Review**, v. 54, 2015. DOI: 10.1016/j.eiar.2015.04.006. .

GOLSTEIJN, L., VIEIRA, M. "Applicability of the European Environmental Footprint (EF) methodology in Southern Mediterranean countries—learnings and recommendations for

enabling EF-compliant studies in regions outside of Europe", **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, n. 12, p. 2407–2416, 2020. DOI: 10.1007/s11367-019-01681-z. .

GONZALEZ-QUIJANO, G., ALBU, L. "Transparency of the Origin of Hides & Skins in European Leather Industry.", **Leather and Footwear Journal**, v. 12, n. 2, p. 133–158, 2012. .

GUAN, Y., LIU, X., AKHTAR, N., *et al.* "Cr<sup>2+</sup>O<sup>3</sup> nanoparticle decorated carbon nanofibers derived from solid leather wastes for high performance lithium-sulfur battery separator coating", **Journal of the Electrochemical Society**, v. 166, n. 8, p. A1671–A1676, 2019. DOI: 10.1149/2.1181908jes. .

GUINEE, J. B. "Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards", **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 7, n. 5, 2002. DOI: 10.1007/bf02978897. .

GUINÉE, J. B., HEIJUNGS, R., HUPPES, G., *et al.* "life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background", **The Netherlands: Ministry of ...**, 2002. .

HALOG, A., ANIEKE, S. "A Review of Circular Economy Studies in Developed Countries and Its Potential Adoption in Developing Countries", **Circular Economy and Sustainability**, v. 1, n. 1, 2021. DOI: 10.1007/s43615-021-00017-0. .

HARTLEY, K., VAN SANTEN, R., KIRCHHERR, J. "Policies for transitioning towards a circular economy: Expectations from the European Union (EU)", **Resources, Conservation and Recycling**, v. 155, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104634. .

HERCZEG, G., AKKERMAN, R., HAUSCHILD, M. Z. "Supply chain collaboration in industrial symbiosis networks", **Journal of Cleaner Production**, v. 171, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.046. .

HERVA, M., ÁLVAREZ, A., ROCA, E. "Sustainable and safe design of footwear integrating ecological footprint and risk criteria", **Journal of Hazardous Materials**, v. 192, n. 3, p. 1876–1881, 2011. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2011.07.028. .

HILDEBRANDT, J., THRÄN, D., BEZAMA, A. "The circularity of potential bio-textile production routes: Comparing life cycle impacts of bio-based materials used within the manufacturing of selected leather substitutes", **Journal of Cleaner Production**, v. 287, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125470. .

HILOIDHARI, M., BARUAH, D. C., SINGH, A., *et al.* **Emerging role of Geographical Information System (GIS), Life Cycle Assessment (LCA) and spatial LCA (GIS-LCA) in sustainable bioenergy planning. Bioresource Technology**. [S.l: s.n.], , 2017

HU, J., XIAO, Z., ZHOU, R., *et al.* "Ecological utilization of leather tannery waste with circular economy model", **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 2–3, p. 221–228, 2011. DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.09.018. .

INGRAO, C., VESCE, E., EVOLA, R. S., *et al.* "Chemistry behind leather: Life Cycle Assessment of nano-hydroxyapatite preparation on the lab-scale for fireproofing applications", **Journal of Cleaner Production**, v. 279, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123837. .

IOANNIDIS, I. "Biodegradable materials - Some untold tales of fiction and consumer high expectations! | Materialele biodegradabile - Aspecte nerealiste și așteptările mari ale consumatorilor!", **Leather and Footwear Journal**, v. 11, n. 1, p. 33–42, 2011. .

IPCC. "Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change

2013: The Physical Science Basis", **Ipcc**, v. AR5, n. March 2013, 2013. .

ISO 14040. **The International Standards Organisation. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. ISO 14040.** [S.l: s.n.], 2006

JABBOUR, A. B. L. S., JABBOUR, C. J. C., FOROPON, C., *et al.* "When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors", **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, 2018. DOI: 10.1016/j.techfore.2018.01.017. .

JABBOUR, A. B. L. S., ROJAS LUIZ, J. V., ROJAS LUIZ, O., *et al.* "Circular economy business models and operations management", **Journal of Cleaner Production**, v. 235, p. 1525–1539, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.349. .

JABBOUR, C. J. C., JABBOUR, A. B. L. S., SARKIS, J., *et al.* "Unlocking the circular economy through new business models based on large-scale data: An integrative framework and research agenda", **Technological Forecasting and Social Change**, v. 144, 2019. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.09.010. .

JABBOUR, Charbel Jose Chiappetta, SARKIS, J., JABBOUR, A. B. L. S., *et al.* **Who is in charge? A review and a research agenda on the ‘human side’ of the circular economy. Journal of Cleaner Production.** [S.l: s.n.], 2019

JESUS, G. M. K., JUGEND, D. "How can open innovation contribute to circular economy adoption? Insights from a literature review", **European Journal of Innovation Management**, v. 26, n. 1, 2023. DOI: 10.1108/EJIM-01-2021-0022. .

JOSEPH, K., NITHYA, N. "Material flows in the life cycle of leather", **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 7, p. 676–682, 2009. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.11.018. .

JULIANELLI, V., CAIADO, R. G. G., SCAVARDA, L. F., *et al.* "Interplay between reverse logistics and circular economy: Critical success factors-based taxonomy and framework", **Resources, Conservation and Recycling**, v. 158, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104784. .

KALMYKOVA, Y., SADAGOPAN, M., ROSADO, L. "Circular economy - From review of theories and practices to development of implementation tools", **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, 2018. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.034. .

KARUPPIAH, K., SANKARANARAYANAN, B., ALI, S. M., *et al.* "Inhibitors to circular economy practices in the leather industry using an integrated approach: Implications for sustainable development goals in emerging economies", **Sustainable Production and Consumption**, v. 27, 2021. DOI: 10.1016/j.spc.2021.03.015. .

KATHIRESAN, G., RAGUNATHAN, S. "Impact of drivers for the implementation of green concept in small and medium sized (Smes) leather industries of northern Tamilnadu", **Rasayan Journal of Chemistry**, v. 10, n. 3, p. 723–728, 2017. DOI: 10.7324/RJC.2017.1031754. .

KAZANCOGLU, I., SAGNAK, M., KUMAR MANGLA, S., *et al.* "Circular economy and the policy: A framework for improving the corporate environmental management in supply chains", **Business Strategy and the Environment**, v. 30, n. 1, p. 590–608, 2021. DOI: 10.1002/bse.2641. .

KILIÇ, E., PUIG, R., BAQUERO, G., *et al.* "Carbon footprint and energy balance of biodiesel produced from tannery fleshings", **Journal of the American Leather Chemists Association**, v. 109, n. 9, p. 296–305, 2014. .

- KILIÇ, E., PUIG, R., BAQUERO, G., *et al.* "Environmental optimization of chromium recovery from tannery sludge using a life cycle assessment approach", **Journal of Hazardous Materials**, v. 192, n. 1, p. 393–401, 2011. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2011.05.040. .
- KILIÇ, E., PUIG, R., ZENGİN, G., *et al.* "Corporate carbon footprint for country Climate Change mitigation: A case study of a tannery in Turkey", **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 60–69, 1 set. 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.111. .
- KILIÇ, Eylem, TARRÉS, Q., DELGADO-AGUILAR, M., *et al.* "Leather waste to enhance mechanical performance of high-density polyethylene", **Polymers**, v. 12, n. 9, p. 1–15, 2020. DOI: 10.3390/polym12092016. .
- KIRCHHERR, J., REIKE, D., HEKKERT, M. **Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation and Recycling**. [S.l: s.n.], 2017
- KIRCHHERR, J., YANG, N.-H. N., SCHULZE-SPÜNTRUP, F., *et al.* "Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions", **Resources, Conservation and Recycling**, v. 194, p. 107001, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344923001374>.
- KNODLER, J. "Sustainability Benchmarking - the carbon footprint of upholstery materials for car seats". 2012. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2012. Disponível em: [http://www.voelt-rosensteingasse.at/downloads/files/PCF\\_Studie\\_Lanxess.pdf](http://www.voelt-rosensteingasse.at/downloads/files/PCF_Studie_Lanxess.pdf).
- KÖHLER, J., SÖNNICHSEN, S. D., BESKE-JANSEN, P. "Towards a collaboration framework for circular economy: The role of dynamic capabilities and open innovation", **Business Strategy and the Environment**, v. 31, n. 6, 2022. DOI: 10.1002/bse.3000. .
- KOPPIAHRAJ, K., BATHRINATH, S., VENKATESH, V. G., *et al.* "Optimal sustainability assessment method selection: a practitioner perspective", **Annals of Operations Research**, 2021. DOI: 10.1007/s10479-021-03946-z. .
- KOUHIZADEH, M., ZHU, Q., SARKIS, J. "Blockchain and the circular economy: potential tensions and critical reflections from practice", **Production Planning and Control**, v. 31, n. 11–12, p. 950–966, 2020. DOI: 10.1080/09537287.2019.1695925. .
- LANZ, M., NYLUND, H., LEHTONEN, T., *et al.* "Circular economy in integrated product and production development education". 33, 2019. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2019. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.04.058.
- LAURENTI, R., REDWOOD, M., PUIG, R., *et al.* "Measuring the Environmental Footprint of Leather Processing Technologies", **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 5, p. 1180–1187, 2017. DOI: 10.1111/jiec.12504. .
- LE BLANC, D. "Towards Integration at Last? The Sustainable Development Goals as a Network of Targets", **Sustainable Development**, v. 23, n. 3, 2015. DOI: 10.1002/sd.1582. .
- LECHNER, G., REIMANN, M. "Integrated decision-making in reverse logistics: an optimisation of interacting acquisition, grading and disposition processes", **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 19, p. 5786–5805, 2020. DOI: 10.1080/00207543.2019.1659518. .
- LI, X., XU, F., XIANG, N., *et al.* "Dynamic optimized cleaner production strategies to improve water environment and economic development in leather industrial parks: A case study in Xinji, China", **Sustainability (Switzerland)**, v. 11, n. 23, 2019. DOI: 10.3390/su11236828. .

- LOIZIA, P., VOUKKALI, I., ZORPAS, A. A., *et al.* "Measuring the level of environmental performance in insular areas, through key performed indicators, in the framework of waste strategy development", **Science of the Total Environment**, v. 753, 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141974. .
- MALLICK, P. K., SALLING, K. B., PIGOSSO, D. C. A., *et al.* **Closing the loop: Establishing reverse logistics for a circular economy, a systematic review**. **Journal of Environmental Management**. [S.l: s.n.], 2023
- MAMMADOVA, A., BEHAGEL, J., MASIERO, M., *et al.* "Deforestation As a Systemic Risk. The Case of Brazilian Bovine Leather", **Forests**, v. 13, n. 2, 2022. DOI: 10.3390/f13020233. .
- MAMMADOVA, A., BEHAGEL, J., MASIERO, M. "Making deforestation risk visible. Discourses on bovine leather supply chain in Brazil", **Geoforum**, v. 112, 2020. DOI: 10.1016/j.geoforum.2020.03.008. .
- MAMMADOVA, A., MASIERO, M., PETTENELLA, D. "Embedded deforestation: The Case study of the Brazilian-Italian bovine leather trade", **Forests**, v. 11, n. 4, 2020. DOI: 10.3390/F11040472. .
- MARQUES, A., GUEDES, G., FERREIRA, F. "Leather wastes in the Portuguese footwear industry: New framework according design principles and circular economy". 200, 2017. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2017. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.07.043.
- MASCOLO, R., CALVANESE, G., BRUNO, C., *et al.* "Measurement of leather surface: Variability in the measurement using electronic and pin wheel devices on different kind of leathers". 2019. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2019.
- MASTOS, T. D., NIZAMIS, A., TERZI, S., *et al.* "Introducing an application of an industry 4.0 solution for circular supply chain management", **Journal of Cleaner Production**, v. 300, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126886. .
- MCNEILL, L., MCLEAN, J. "State of the Science of Hexavalent Chromium in Drinking Water", **Water Research Foundation**, n. May, 2012. .
- MELLA, B., BENVENUTI, J., OLIVEIRA, R. F., *et al.* "Preparation and characterization of activated carbon produced from tannery solid waste applied for tannery wastewater treatment", **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 7, p. 6811–6817, 2019. DOI: 10.1007/s11356-019-04161-x. .
- MELLA, B., PUCHANA-ROSETO, M. J., COSTA, D. E. S., *et al.* "Utilization of tannery solid waste as an alternative biosorbent for acid dyes in wastewater treatment", **Journal of Molecular Liquids**, v. 242, p. 137–145, 2017. DOI: 10.1016/j.molliq.2017.06.131. .
- MELLA, Bianca, BENVENUTI, J., OLIVEIRA, R. F., *et al.* "Preparation and characterization of activated carbon produced from tannery solid waste applied for tannery wastewater treatment", **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 7, 2019. DOI: 10.1007/s11356-019-04161-x. .
- MERLI, R., PREZIOSI, M., ACAMPORA, A. "How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review", **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 703–722, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.112. .
- MEYER, M., DIETRICH, S., SCHULZ, H., *et al.* "Comparison of the technical performance of leather, artificial leather, and trendy alternatives", **Coatings**, v. 11, n. 2, p. 1–15, 2021. DOI: 10.3390/coatings11020226. .

- MICHELINI, G., MORAES, R. N., CUNHA, R. N., *et al.* "From Linear to Circular Economy: PSS Conducting the Transition". 64, 2017. **Anais** [...] [S.l: s.n.], 2017. DOI: 10.1016/j.procir.2017.03.012.
- MILÀ, L., DOMÈNECH, X., RIERADEVALL, J., *et al.* "Application of life cycle assessment to footwear", **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 3, n. 4, p. 203–208, 1998. DOI: 10.1007/BF02977570. .
- MILÀ, L., DOMÈNECH, X., RIERADEVALL, J., *et al.* "Use of Life Cycle Assessment in the procedure for the establishment of environmental criteria in the Catalan eco-label of leather", **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 7, n. 1, p. 39–46, 2002. DOI: 10.1007/BF02978908. .
- MOKTADIR, M. A., AHMADI, H. B., SULTANA, R., *et al.* "Circular economy practices in the leather industry: A practical step towards sustainable development", **Journal of Cleaner Production**, v. 251, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119737. .
- MOKTADIR, M. A., DWIVEDI, A., KHAN, N. S., *et al.* "Analysis of risk factors in sustainable supply chain management in an emerging economy of leather industry", **Journal of Cleaner Production**, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124641. .
- MOKTADIR, M. A., DWIVEDI, A., RAHMAN, A., *et al.* "An investigation of key performance indicators for operational excellence towards sustainability in the leather products industry", **Business Strategy and the Environment**, 2020. DOI: 10.1002/bse.2575. .
- MOKTADIR, M. A., KUMAR, A., ALI, S. M., *et al.* "Critical success factors for a circular economy: Implications for business strategy and the environment", **Business Strategy and the Environment**, v. 29, n. 8, p. 3611–3635, 2020a. DOI: 10.1002/bse.2600. .
- MOKTADIR, M. A., KUMAR, A., ALI, S. M. S. M. S. M., *et al.* "Critical success factors for a circular economy: Implications for business strategy and the environment", **Business Strategy and the Environment**, v. 29, n. 8, p. 3611–3635, 2020b. DOI: 10.1002/bse.2600. .
- MOKTADIR, M. A., RAHMAN, T., ALI, S. M., *et al.* "Examining barriers to reverse logistics practices in the leather footwear industry", **Annals of Operations Research**, v. 293, n. 2, p. 715–746, 2020. DOI: 10.1007/s10479-019-03449-y. .
- MOKTADIR, M. A., RAHMAN, T., RAHMAN, M. H., *et al.* "Drivers to sustainable manufacturing practices and circular economy: A perspective of leather industries in Bangladesh", **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 1366–1380, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.063. .
- MOLFINO, R., ZOPPI, M. "Mass-customized shoe production: A highly reconfigurable robotic device for handling limp material", **IEEE Robotics and Automation Magazine**, v. 12, n. 2, p. 66–76, 2005. DOI: 10.1109/MRA.2005.1458327. .
- MORERA, J. M., BACARDIT, A., OLLÉ, L., *et al.* "Minimization of the environmental impact in the unhairing of bovine hides", **Chemosphere**, v. 72, n. 11, 2008. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2008.05.023. .
- MUCHIE, M. "Leather processing in Ethiopia and Kenya: Lessons from India", **Technology in Society**, v. 22, n. 4, 2000. DOI: 10.1016/S0160-791X(00)00027-0. .
- NALYANYA, K. M., ROP, R., ONYUKA, A., *et al.* **Recent use of selected phytochemistry to mitigate environmental challenges facing leather tanning industry: a review. Phytochemistry Reviews**. [S.l: s.n.], 2019

- NAVARRO, D., WU, J., LIN, W., *et al.* "Life cycle assessment and leather production", **Journal of Leather Science and Engineering**, p. 191–196, 2020. DOI: 10.4324/9780080499314-24. .
- NAVARRO, Diego, CANTERO, R., VALLS, E., *et al.* "Circular economy: The case of a shared wastewater treatment plant and its adaptation to changes of the industrial zone over time", **Journal of Cleaner Production**, v. 261, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121242. .
- NAZER, D. W., AL-SA'ED, R. M., SIEBEL, M. A. "Reducing the environmental impact of the unhairing-liming process in the leather tanning industry", **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 1, p. 65–74, 2006. DOI: 10.1016/j.jclepro.2005.04.002. .
- NOTARNICOLA, B., PUIG, R., RAGGI, A., *et al.* "Life cycle assessment of Italian and Spanish bovine leather production systems", **Afinidad**, v. 68, n. 553, p. 167–180, 2011. .
- OMOLOSO, O., MORTIMER, K., WISE, W. R., *et al.* **Sustainability research in the leather industry: A critical review of progress and opportunities for future research. Journal of Cleaner Production**. [S.l: s.n.], , 2021
- ONU. **Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development, 21 October 2015**. . [S.l.], A/RES/70/1, 2015.
- ORTIZ-RODRIGUEZ, O. O., RIVERA-ALARCÓN, H. U., VILLAMIZAR-GALLARDO, R. A. "Evaluation of municipal solid waste by means of life cycle assessment: Case study in the South-Western region of the department of Norte de Santander, Colombia", **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 17, n. 3, p. 611–619, 2018. DOI: 10.30638/eemj.2018.062. .
- PANDE, B., KUMAR ADIL, G. "A Value Chain Framework for Assessment of Sustainable Practices in Manufacturing Firms", **European Journal of Sustainable Development**, v. 8, n. 3, 2019. DOI: 10.14207/ejsd.2019.v8n3p95. .
- PANTAZOPOULOU, E., ZEBILIADOU, O., MITRAKAS, M., *et al.* "Stabilization of tannery sludge by co-treatment with aluminum anodizing sludge and phytotoxicity of end-products", **Waste Management**, v. 61, p. 327–336, 2017. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.01.009. .
- PEARCE, D. W., TURNER, R. K. "Economics of Natural Resources and the Environment . Baltimore MD: Johns Hopkins University Press, 1990, 378 pp.", **American Journal of Agricultural Economics**, v. 73, n. 1, 1991. DOI: 10.2307/1242904. .
- PIAO, R. S., DE VINCENZI, T. B., DA SILVA, A. L. F., *et al.* "How is the circular economy embracing social inclusion?", **Journal of Cleaner Production**, p. 137340, 2023. .
- POSCH, M., SEPPÄLÄ, J., HETTELINGH, J. P., *et al.* "The role of atmospheric dispersion models and ecosystem sensitivity in the determination of characterisation factors for acidifying and eutrophying emissions in LCIA", **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 13, n. 6, 2008. DOI: 10.1007/s11367-008-0025-9. .
- POTTING, J., HEKKERT, M., WORRELL, E., *et al.* "Circular Economy: Measuring innovation in the product chain - Policy report", **PBL Netherlands Environmental Assessment Agency**, n. 2544, 2017. .
- PRESTON, F., LEHNE, J., WELLESLEY, L. "An Inclusive Circular Economy: Priorities for Developing Countries", **Chatham House, The royal institute international affaris**, n. May, 2019. .
- PRINGLE, T., BARWOOD, M., RAHIMIFARD, S. "The Challenges in Achieving a Circular

- Economy within Leather Recycling". 48, 2016. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2016. p. 544–549. DOI: 10.1016/j.procir.2016.04.112.
- PUCCINI, M., SEGGIANI, M., CASTIELLO, D., *et al.* "DEPOXO process: Technical and environmental study of hide oxidative unhairing", **Chemical Engineering Transactions**, v. 36, p. 193–198, 2014a. DOI: 10.3303/CET1436033. .
- PUCCINI, M., SEGGIANI, M., CASTIELLO, D., *et al.* "Sustainability in process innovation: Development of a green tanning process supported by LCA methodology", **Journal of the American Leather Chemists Association**, v. 109, n. 4, p. 110–116, 2014b. .
- PÜNTENER, A. G. "Risk assessment of leather dyestuffs", **Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists**, v. 82, n. 1, p. 1–4, 1998. .
- QUINTERO-ANGEL, M., PEÑA-MONTOYA, C. C. C. C. "Managing the Environmental Impacts of Small Businesses Manufacturing Women's Leather Dress Footwear in Colombia", **Fashion Practice**, v. 12, n. 3, p. 394–420, 2020. DOI: 10.1080/17569370.2020.1804149. .
- RAJPUT, S., SINGH, S. P. "Connecting circular economy and industry 4.0", **International Journal of Information Management**, v. 49, 2019. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.002. .
- RAMÍREZ, P. **Análise de Métodos de Alocação Utilizados em Avaliação do Ciclo de Vida. Master thesis, Programa de Pós-Grauação em Engenharia Ambiental.** 2009. UFSC, Florianópolis (Brazil), 2009.
- REDWOOD, M. "Corporate social responsibility and the carbon footprint of leather", **Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists**, v. 97, n. 2, 2013. .
- RIPANTI, E. F., TIAHJONO, B., FAN, I. "Circular economy in reverse logistics : formulation and potential design in product refurbish", **Production and Operations Management Society Annual Conference**, n. May, 2016. .
- RITCHIE, H., ROSER, M. "Meat and Dairy Production", **Our World in Data**, n. November, 2019. .
- RIVELA, B., MOREIRA, M. T., BORNHARDT, C., *et al.* "Life Cycle Assessment as a Tool for the Environmental Improvement of the Tannery Industry in Developing Countries", **Environmental Science and Technology**, v. 38, n. 6, p. 1901–1909, 2004. DOI: 10.1021/es034316t. .
- RODRIGUEZ-ANTON, J. M., RUBIO-ANDRADA, L., CELEMÍN-PEDROCHE, M. S., *et al.* "Analysis of the relations between circular economy and sustainable development goals", **International Journal of Sustainable Development and World Ecology**, v. 26, n. 8, 2019. DOI: 10.1080/13504509.2019.1666754. .
- ROOS, S., POSNER, S., JÖNSSON, C., *et al.* "A function-based approach for life cycle management of chemicals in the textile industry", **Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 3, 2020. DOI: 10.3390/su12031273. .
- ROSA, R., PINI, M., NERI, P., *et al.* "Environmental sustainability assessment of a new degreasing formulation for the tanning cycle within leather manufacturing", **Green Chemistry**, v. 19, n. 19, p. 4571–4582, 2017. DOI: 10.1039/c7gc01900a. .
- SANTANDER, P., CRUZ SANCHEZ, F. A., BOUDAUD, H., *et al.* "Closed loop supply chain network for local and distributed plastic recycling for 3D printing: a MILP-based optimization approach", **Resources, Conservation and Recycling**, v. 154, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.104531. .

- SARTORE, L., SCHETTINI, E., DE PALMA, L., *et al.* "Effect of hydrolyzed protein-based mulching coatings on the soil properties and productivity in a tunnel greenhouse crop system", **Science of the Total Environment**, v. 645, p. 1221–1229, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.259. .
- SATHISH, M., MADHAN, B., RAGHAVA RAO, J. "Leather solid waste: An eco-benign raw material for leather chemical preparation – A circular economy example", **Waste Management**, v. 87, p. 357–367, 15 mar. 2019. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.02.026. .
- SAUVÉ, S., BERNARD, S., SLOAN, P. "Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research", **Environmental Development**, v. 17, 2016. DOI: 10.1016/j.envdev.2015.09.002. .
- SCHROEDER, P., ANGGRAENI, K., WEBER, U. "The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals", **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, 2019. DOI: 10.1111/jiec.12732. .
- SEPPÄLÄ, J., POSCH, M., JOHANSSON, M., *et al.* "Country-dependent characterisation factors for acidification and terrestrial eutrophication based on accumulated exceedance as an impact category indicator". 11, 2006. **Anais [...]** [S.l: s.n.], 2006. DOI: 10.1065/lca2005.06.215.
- SHAN, F., SHAOLAN, D., RUI, L. L. "Life cycle assessment of leather shoe manufacturing process based on Simapro", **Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists**, v. 103, n. 5, p. 231–240, 2019. .
- SHI, J., PUIG, R., SANG, J., *et al.* "A comprehensive evaluation of physical and environmental performances for wet-white leather manufacture", **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 1512–1519, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.08.120. .
- SILVEIRA, A., MORENO, J. R., CORREIA, M. J., *et al.* "A method for the rapid evaluation of leather biodegradability during the production phase", **Waste Management**, v. 87, 2019. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.03.003. .
- SILVEIRA, E. A., CALDEIRA-PIRES, A., LUZ, S. M., *et al.* "Mass and energy allocation method analysis for an oil refinery characterization using multi-scale modeling", **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 11, 2017. DOI: 10.1007/s11367-017-1369-9. .
- SITCHARANGSIE, S., IJOMAH, W., WONG, T. C. **Decision makings in key remanufacturing activities to optimise remanufacturing outcomes: A review. Journal of Cleaner Production.** [S.l: s.n.], 2019
- SOLE, R., TADDEI, L., FRANCESCHI, C., *et al.* "Efficient chemo-enzymatic transformation of animal biomass waste for eco-friendly leather production", **Molecules**, v. 24, n. 16, 2019. DOI: 10.3390/molecules24162979. .
- STEPIEŃ, P., SEROWIK, M., KOZIEL, J. A., *et al.* "Waste to carbon energy demand model and data based on the TGA and DSC analysis of individual MSW components", **Data**, v. 4, n. 2, 2019. DOI: 10.3390/data4020053. .
- SUNDAR, V. J., RAGHAVA RAO, J., MURALIDHARAN, C. "Cleaner chrome tanning - Emerging options", **Journal of Cleaner Production**, v. 10, n. 1, 2002. DOI: 10.1016/S0959-6526(01)00015-4. .
- SUNDAR, V. J., RAGHAVARAO, J., MURALIDHARAN, C., *et al.* **Recovery and utilization of chromium-tanned proteinous wastes of leather making: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology.** [S.l: s.n.], 2011

SUTHERLAND, J. W., SKERLOS, S. J., HAAPALA, K. R., *et al.* "Industrial Sustainability: Reviewing the Past and Envisioning the Future", **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, v. 142, n. 11, 2020. DOI: 10.1115/1.4047620. .

TASCA, A. L. A. L., PUCCINI, M. "Leather tanning: Life cycle assessment of retanning, fatliquoring and dyeing", **Journal of Cleaner Production**, v. 226, p. 720–729, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.03.335. .

THOBEN, K. D., WIESNER, S. A., WUEST, T. "**Industrie 4.0**" and smart manufacturing- a review of research issues and application examples. **International Journal of Automation Technology**. [S.l: s.n.]. , 2017

TSENG, M. L., BUI, T. D. "Identifying eco-innovation in industrial symbiosis under linguistic preferences: A novel hierarchical approach", **Journal of Cleaner Production**, v. 140, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.014. .

TSILYANNIS, C. A. "Prognosis of product take-back for enhanced remanufacturing", **Journal of Remanufacturing**, v. 10, n. 1, p. 15–42, 2020. DOI: 10.1007/s13243-019-00071-w. .

TSOTSOS, D. "Tanneries: A short survey of the methods applied for wastewater treatment", **Water Science and Technology**, v. 18, n. 9, 1986. DOI: 10.2166/wst.1986.0079. .

TURKI, M., ZAHRANI, H., AYADI, M., *et al.* "Predicting of proactive environmental management for unhairing wastewater treatment in Tunisia using neural network learning algorithms", **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 31, n. 4, 2020. DOI: 10.1108/MEQ-12-2019-0281. .

UNICEF. **Thirsting for a Future Water and children in a changing climate**. Unicef. [S.l: s.n.], 2017.

URBINATI, A., CHIARONI, D., CHIESA, V. "Towards a new taxonomy of circular economy business models", **Journal of Cleaner Production**, v. 168, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.09.047. .

VARRIALE, V., CAMMARANO, A., MICHELINO, F., *et al.* "Sustainable supply chains with blockchain, IoT and RFID: A simulation on order management", **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 11, 2021. DOI: 10.3390/su13116372. .

VEGTER, D., HILLEGERSBERG, J. Van, OLTHAAR, M. "Supply chains in circular business models: processes and performance objectives", **Resources, Conservation and Recycling**, v. 162, 2020. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105046. .

VELUSAMY, M., CHAKALI, B., GANESAN, S., *et al.* "Investigation on pyrolysis and incineration of chrome-tanned solid waste from tanneries for effective treatment and disposal: an experimental study", **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 24, p. 29778–29790, 2020. DOI: 10.1007/s11356-019-07025-6. .

VICZEK, S. A., ALDRIAN, A., POMBERGER, R., *et al.* **Origins and carriers of Sb, As, Cd, Cl, Cr, Co, Pb, Hg, and Ni in mixed solid waste – A literature-based evaluation**. **Waste Management**. [S.l: s.n.]. , 2020

VIDAURRE-ARBIZU, M., PÉREZ-BOU, S., ZUAZUA-ROS, A., *et al.* "From the leather industry to building sector: Exploration of potential applications of discarded solid wastes", **Journal of Cleaner Production**, v. 291, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.125960. .

VOGT DUBERG, J., JOHANSSON, G., SUNDIN, E., KURILOVA-PALISAITIENE, J., *et al.*

"Prerequisite factors for original equipment manufacturer remanufacturing", **Journal of Cleaner Production**, v. 270, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122309. .

VOGT DUBERG, J., JOHANSSON, G., SUNDIN, E., KURILOVA-PALISAITIENE, J. "Prerequisite factors for original equipment manufacturer remanufacturing", **Journal of Cleaner Production**, v. 270, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122309. .

WCED. "Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development", **World Commission on Environment and Development**, 2018. .

WEBER, R. **Basic Content Analysis**. 2. ed. [S.l.], Newbury Park: Sage, 1990.

WEETMAN, C. **A circular economy handbook for business and supply chains: Repair, remake, redesign, rethink**. [S.l.], Kogan Page Publishers, 2016.

XU, X., BAQUERO, G., PUIG, R., *et al.* "Carbon footprint and toxicity indicators of alternative chromium-free tanning in China", **Journal of the American Leather Chemists Association**, v. 110, n. 5, p. 130–137, 2015. .

ZĂINESCU, G., DESELCU, V., CONSTANTINESCU, R., *et al.* "Bio-composites with leather fibers and cement - physico-mechanical and structural characterization | Bio-composites avec des fibres de cuir et de ciment - caractérisation physico-mécanique et structurelle | Bio-compozite cu fibre de piele și ciment - cara", **Leather and Footwear Journal**, v. 18, n. 4, p. 327–336, 2018. DOI: 10.24264/lfj.18.4.8. .

ZAUNS, R., KUHLM, P. "Alternative approach to traditional chrome tanning", **Journal of the American Leather Chemists Association**, v. 90, n. 6, 1995. .

ZENGİN, G., ZENGİN, A. C. A., KILIÇ, E., *et al.* "Characterization of collagen derived products prepared by use of alkali and dairy by-product", **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 18, n. 11, 2019. DOI: 10.30638/eemj.2019.224. .

ZHANG, C., XIA, F., LONG, J., *et al.* "An integrated technology to minimize the pollution of chromium in wet-end process of leather manufacture", **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 276–283, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.03.216. .

## APÊNDICE A - Questionário enviado aos pesquisadores e especialistas (Artigo 4)

Versão em português:

| Práticas ambientais do couro<br>(1) <i>Discordo totalmente</i> , (2) <i>Discordo parcialmente</i> , (3) <i>Neutro</i> (4) <i>Concordo parcialmente</i> , (5) <i>Concordo totalmente</i> | Confiabilidade |                |        |          | Especialista: |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|--------|----------|---------------|
|                                                                                                                                                                                         |                | Aplicabilidade | Adesão | Eficácia | Autor:        |
|                                                                                                                                                                                         |                |                |        |          |               |
| 1. Leis de proteção ambiental dos países                                                                                                                                                |                |                |        |          |               |
| 2. Auditorias ambientais                                                                                                                                                                |                |                |        |          |               |
| 3. Certificados/Selos de sustentabilidade                                                                                                                                               |                |                |        |          |               |
| 4. Transparência e rastreabilidade das peles                                                                                                                                            |                |                |        |          |               |
| 5. Utilização de peles não salgadas                                                                                                                                                     |                |                |        |          |               |
| 6. Substituição ou reciclagem do sulfeto                                                                                                                                                |                |                |        |          |               |
| 7. Preservação e reaproveitamento dos pelos                                                                                                                                             |                |                |        |          |               |
| 8. Reaproveitamento de aparas não curtidas                                                                                                                                              |                |                |        |          |               |
| 9. Reaproveitamento do sebo                                                                                                                                                             |                |                |        |          |               |
| 10. Substituição ou reciclagem do cromo                                                                                                                                                 |                |                |        |          |               |
| 11. Reaproveitamento de aparas curtidas                                                                                                                                                 |                |                |        |          |               |
| 12. Tratamento de resíduos                                                                                                                                                              |                |                |        |          |               |
| 13. Couro certificado como biodegradável                                                                                                                                                |                |                |        |          |               |
| 14. Substituir o couro por outros materiais (ex.algodão, poliéster, PVC)                                                                                                                |                |                |        |          | Material?     |

Versão em inglês:

| Leather environmental practices<br>(1) I totally disagree, (2) Partially disagree, (3) Neutral (4) Partially agree, (5) I totally agree | Reliability |               |           |           | Specialist: |           |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------|-----------|-----------|-------------|-----------|--|
|                                                                                                                                         |             | Applicability |           | Adherence | Author:     |           |  |
|                                                                                                                                         |             |               |           |           |             |           |  |
|                                                                                                                                         |             |               | Effective |           |             |           |  |
| Comments                                                                                                                                |             |               |           |           |             |           |  |
| 1. Environmental protection laws of countries                                                                                           |             |               |           |           |             |           |  |
| 2. Environmental audits                                                                                                                 |             |               |           |           |             |           |  |
| 3. Sustainability Certificates/Seals                                                                                                    |             |               |           |           |             |           |  |
| 4. Transparency and traceability of hides                                                                                               |             |               |           |           |             |           |  |
| 5. Use of non-salted hides                                                                                                              |             |               |           |           |             |           |  |
| 6. Sulfide replacement or recycling                                                                                                     |             |               |           |           |             |           |  |
| 7. Preservation and reuse of hair                                                                                                       |             |               |           |           |             |           |  |
| 8. Reuse of untanned trimming                                                                                                           |             |               |           |           |             |           |  |
| 9. Reuse of fat                                                                                                                         |             |               |           |           |             |           |  |
| 10. Chromium replacement or recycling                                                                                                   |             |               |           |           |             |           |  |
| 11. Reuse of tanned trimmings                                                                                                           |             |               |           |           |             |           |  |
| 12. Wastes treatment                                                                                                                    |             |               |           |           |             |           |  |
| 13. Leather certified as biodegradable                                                                                                  |             |               |           |           |             |           |  |
| 14. Replace leather with other materials (e.g. cotton, polyester, PVC)                                                                  |             |               |           |           |             | Material? |  |

## APÊNDICE B - Roteiro das entrevistas do estudo de caso (Artigo 5)

### ESTUDO DE CASO - CURTUME ITALIA [PORTUGUÊS]

***Explicar para o participante o conceito de Economia Circular [narrow, slow, close e regenerate]***

*Considerando os novos cenários de preocupações quanto a sustentabilidade das operações/ economia circular, favor comentar os itens abaixo comparando os processos tradicionais de curtimento versus as novas tendências de economia circular*

**0. Formação, resumo do histórico profissional até a função atual (identificação não necessária para as análises).**

**1. CONTEXTO: Contexto de preocupações dos impactos ambientais: comportamento das partes interessadas e a adoção da EC. [narrow, slow, close e regenerate].**

- Sociedade
- mídia/imprensa
- regulações/legislação
- governo local e nacional
- cliente primário e cliente final
- fornecedor das peles, insumos e infraestrutura
- profissionais do setor
- acionistas:

**2. Modificações no GERENCIAMENTO em direção aos princípios de EC: evolução de processos, ferramentas e tecnologias para geração do ambiente circular [narrow, slow, close e regenerate].**

- Gerenciamento de entradas (insumos): água, químicos, embalagens.
- Gerenciamento da produção (processos e ferramentas): movimentar, receber, armazenar, processamento, rendimento, entrega. [PCP (co/subprodutos) imagens de satélite para viabilizar a compra de peles]
- Gerenciamento das saídas: produto, co/subprodutos, water/solid waste.
- Novas tecnologias utilizadas em direção a EC?

**3. Principais projetos de EC da empresa e setor: dificuldades e estímulos. [narrow, slow, close e regenerate].**

- Cite e comente projetos de EC conduzidos pela empresa.
- Quais as principais dificuldades que a empresa possui na transição para a EC? E para o setor?
- Quais os principais estímulos para a empresa adotar a EC? E para o setor?

## ESTUDO DE CASO - CURTUME ITALIA [ITALIANO]

***Spiegare al partecipante il concetto di Economia Circolare [stretto, lento, chiudere e rigenerare]***

*Considerando i nuovi scenari di preoccupazioni riguardanti la sostenibilità delle operazioni / economia circolare, si prega di commentare gli elementi sottostanti confrontando i processi conciarli tradizionali con le nuove tendenze dell'economia circolare*

**0. Scolarizzazione, sintesi della storia professionale fino alla funzione attuale (identificazione non necessaria per l'analisi).**

**1. CONTESTO: Contesto delle preoccupazioni di impatto ambientale: comportamento degli stakeholder e adozione della CE.**

- Società
- Media/Stampa
- Regolamenti/Legislazione
- Governo locale e nazionale
- Cliente primario e cliente finale
- Fornitore di pelle, ingressi e infrastrutture
- Professionisti
- Azionariato:

**2. Cambiamenti nella GESTIONE verso i principi della CE: evoluzione dei processi, degli strumenti e delle tecnologie per la generazione dell'ambiente circolare.**

- Gestione degli input: acqua, prodotti chimici, imballaggi.
- Gestione della produzione (processi e strumenti): movimentare, ricevere, immagazzinare, elaborare, resa, consegna. [Immagini satellitari PCP (co/sottoprodotti) per consentire l'acquisto di pellicce]
- Gestione degli output: prodotto, co/sottoprodotti, acqua/rifiuti solidi.
- Nuove tecnologie utilizzate per la CE?

**Tre di loro. Principali progetti comunitari dell'azienda e del settore: difficoltà e stimoli. [stretto, lento, chiudere e rigenerare].**

- Citare e commentare i progetti CE condotti dall'azienda.
- Quali sono le principali difficoltà che l'azienda incontra nel passaggio alla CE? E l'industria?
- Quali sono i principali incentivi per l'azienda ad adottare la CE? E l'industria?

## CASE STUDY - CURTUME ITALIA [ENGLISH]

***Explain to the participant the concept of Circular Economy [narrow, slow, close and regenerate]***

*Considering the new scenarios of concerns regarding the sustainability of operations / circular economy, please comment on the items below comparing traditional tanning processes versus new trends in circular economy.*

**0. Education, summary of professional history up to the current function (identification not necessary for analysis).**

**1. CONTEXT: Context of environmental impact concerns: stakeholder behavior and the adoption of CE.**

- society
- media/press
- regulations/legislation
- local and national government
- primary customer and end customer
- supplier chain, inputs, and infrastructure
- industry professionals
- Shareholders

**2. Changes in MANAGEMENT towards the principles of CE: evolution of processes, tools and technologies for the generation of the circular environment.**

- Management of inputs: water, chemicals, packaging.
- Production management (processes and tools): logistic, store, processing, performance, deliverables.
- Management of outputs: product, co/by-products, water/solid waste.
- New technologies used towards CE?

**3. Main CE PROJECTS of the company and sector: motivations and difficulties.**

- Cite and comment on EC projects conducted by the company.
- What are the main difficulties that the company has in the transition to EC? What about the industry?
- What are the main incentives for the company to adopt EC? What about the industry?