

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA
METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
AMBIENTAL (ADA) DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO
COURO**

Bruna Sousa Ferreira
Administradora

JABOTICABAL/SP
2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA
METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
AMBIENTAL (ADA) DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO
COURO**

Bruna Sousa Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giroto Rebelato

Coorientadora: Profa. Dra. Luciana Maria Saran

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Campus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de Mestre
em Administração.

JABOTICABAL/SP

2017

F383d Ferreira, Bruna Sousa
Desenvolvimento de uma estrutura metodológica para Avaliação de
Desempenho Ambiental (ADA) do processo de fabricação do couro /
Sousa Ferreira. – – Jaboticabal, 2017
x, 139 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017
Orientador: Marcelo Giroto Rebelato
Coorientadora: Luciana Maria Saran
Banca examinadora: Marcílio Vieira Martins Filho, Edson Pinheiro
de Lima
Bibliografia

1. Avaliação do Desempenho Ambiental (ADA). 2. Curtume. 3.
Método EDIP. 4. Método IAHP. 5. Gestão Ambiental I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 658.56:502.13

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

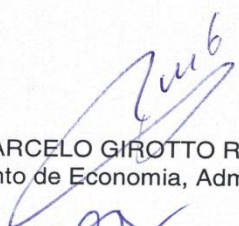
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL (ADA) DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO COURO

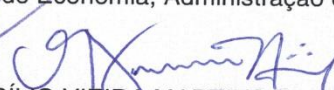
AUTORA: BRUNA SOUSA FERREIRA

ORIENTADOR: MARCELO GIROTTI REBELATO

COORDINADORA: LUCIANA MARIA SARAN

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ADMINISTRAÇÃO, área: GESTÃO DE ORGANIZAÇÕES AGROINDUSTRIAIS pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO GIROTTI REBELATO
Departamento de Economia, Administração e Educação / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. EDSON PINHEIRO DE LIMA - VIDEOCONFERÊNCIA
Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas / Pontifícia Universidade Católica do Paraná/PR

Jaboticabal, 06 de setembro de 2017

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

BRUNA SOUSA FERREIRA - nascida em 13 de janeiro de 1991 na cidade de Franca/SP. Especialista em Gestão Pública Municipal pela UNIRIO (2014) e MBA em Administração de Organizações pela FEA-RP/USP (2015). Bacharel em Administração pelo Centro Universitário Municipal de Franca - Uni-FACEF (2012).

Fez estágio no setor financeiro da empresa CHB Sistemas, por seis meses em 2010, e estágio no setor de consultoria da qualidade na Sabesp, por um ano e onze meses, em 2011-2012. Em 2012-2014, atuou como analista financeira da empresa Free Way Artefatos de Couro. Em 2014, foi assumiu o cargo de Oficial de Ensino e Pesquisa, no setor de compras e licitações do Centro Universitário Municipal de Franca – Uni-FACEF.

Em setembro de 2015 ingressou no Programa de Pós-graduação em Administração, nível de mestrado profissional, do Departamento de Economia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCAV/UNESP) sob a orientação do Prof. Dr. Marcelo Girotto Rebelato e da Profa. Dra. Luciana Maria Saran (coorientadora).

*“Tenho um lema: de esperança em
esperança. O mundo se desdobra aos
poucos.”*

Dom Paulo Evaristo Arns

Dedico esse trabalho aos meus padrinhos
João e Ana, pelo cuidado e amor
demostrado por mim desde que nasci!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelo seu amor imensurável e pelo Seu cuidado todo especial em todas as etapas da minha vida;

À minha mãe, padrasto e irmã, pelo apoio e incentivo aos estudos a mim dispensados, da graduação ao mestrado e, também por terem me dado dom da vida;

À família Ferreira, meus tios, primos e agregados, que sempre foram para mim exemplo de união, simplicidade e humildade, todos vocês foram responsáveis por sempre serem exemplos em minha vida;

Aos meus amigos e irmãos de alma, Amanda, Talita e Charly que foram meus anjos da guarda e meu apoio quando o mundo parecia cair. Não tenho palavras para expressar tudo o que significam para mim. Posso dizer com certeza que se não fosse pelo carinho e dedicação de vocês esta conquista não seria possível;

Ao André Gustavo de Brito Thomaz, amigo e parceiro de mestrado e de orientador, que foi uma pessoa muito importante nessa jornada;

À minha turma do Instituto Lumen, vocês são pessoas especiais que entraram em minha vida em 2017 e, vêm trazendo grandes descobertas, amizades, afinidades e muito amor e gratidão para minha vida;

Ao meu companheiro em parte dessa jornada, Gabriel Attadia, pelo carinho e força em todas as etapas, mesmo longe. Serei eternamente grata!

À família Attadia, pela ajuda quando mais precisei, com a paciência e acolhida como filha em parte dessa jornada;

Ao pessoal do Uni-FACEF pelo apoio contínuo e o entendimento em minhas ausências;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo Giroto Rebelato, por ter aceitado me orientar, sem ao menos me conhecer, que acreditou em meu trabalho, confiou em mim e que se colocou à disposição para me ajudar em todas as etapas deste trabalho;

À minha coorientadora, Prof. Dra. Luciana Maria Saran, pela valiosa ajuda na parte química, e aconselhamentos durante todo processo;

À Profa. Dra. Joana D'arc Félix de Sousa, pelo apoio de sempre, incentivo e inspiração. Sua ajuda com material e disponibilidade foram e serão sempre levados em consideração. Meu muito obrigada!

Aos colegas de mestrado e amigos para a vida, em especial a Rosana, Cléber, Willian, Priscila e Juliana, pela força e apoio em todas as etapas do trabalho;

Ao Eng. Leandro Malta Ferreira, pela ajuda com acesso ao material da CETESB, e orientações sobre o trabalho;

Ao Prof. Aldo Ometto e o Prof. Adriano Lucente por suas contribuições e orientações na fase de qualificação que me auxiliaram para o direcionamento do desenvolvimento deste trabalho;

Ao Túlio Tonin, pela ajuda nos dados do estudo e ajuda em todo processo de elaboração trabalho;

Por fim, agradeço a todos que, mesmo em sua mais breve passagem ou curta convivência me ofereceram sua contribuição, de qualquer natureza, para a realização deste trabalho. A vocês, o meu muito obrigado!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.2. Contextualização do Estudo	4
1.2.1. <i>Problema de Pesquisa</i>	5
1.3. Objetivos	6
1.3.1. <i>Objetivo Geral</i>	6
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	6
1.4. Justificativa	7
1.5. Estrutura do trabalho	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1. Avaliação do Desempenho Ambiental (ADA)	12
2.2. Métodos e ferramentas para a avaliação do desempenho ambiental	19
2.3. Indicadores de desempenho ambiental	28
3. INDÚSTRIA DE COURO: UMA ABORDAGEM DA PRODUÇÃO AOS RESÍDUOS	33
3.1. Indústria do Couro: produção e análise dos resíduos/subprodutos	35
3.2. Etapas do processo produtivo	39
3.2.1. <i>Conservação da pele</i>	41
3.2.2. <i>Ribeira</i>	41
3.2.2.1. <i>Pré-Remolho</i>	42
3.2.2.2. <i>Pré-descarne</i>	42
3.2.2.3. <i>Remolho</i>	43
3.2.2.4. <i>Depilação e caleiro</i>	43
3.2.2.5. <i>Descarne</i>	44
3.2.2.6. <i>Recorte</i>	44
3.2.2.7. <i>Divisão</i>	45
3.2.2.8. <i>Desencalagem</i>	45
3.2.2.9. <i>Purga</i>	45
3.2.3. <i>Curtimento</i>	46
3.2.3.1. <i>Píquel</i>	47
3.2.3.2. <i>Curtimento</i>	47

3.2.3.3. Enxugamento	48
3.2.3.4. Rebaixamento	48
3.2.4. <i>Pré-acabamento</i>	49
3.2.4.1. Neutralização.....	49
3.2.4.2. Recurtimento	50
3.2.4.3. Tingimento	50
3.2.4.4. Engraxe	51
3.2.4.5. Secagem	51
3.2.5. <i>Acabamento</i>	52
3.2.5.1. Condicionamento.....	52
3.2.5.2. Amaciamento.....	52
3.2.5.3. Estaqueamento	53
3.2.5.4. Recorte	53
3.2.5.5. Lixamento	53
3.2.5.6. Desempoamento	53
3.2.5.7. Impregnação.....	53
3.2.5.8. Acabamento	54
3.2.5.9. Prensagem	54
3.2.5.10. Medição	54
3.3. Resíduos do setor coureiro: panorama geral.....	54
3.4. Classificação e quantificação dos resíduos do setor curtumeiro	65
4. MÉTODO DE PESQUISA	73
4.1. Levantamento bibliográfico sobre ADA	75
4.2. Mapeamento e estudo das etapas do processo produtivo do couro	76
4.3. Inventário dos resíduos sólidos, efluentes líquidos, emissões gasosas e subprodutos gerados nas etapas produtivas na fabricação do couro.	76
4.4. Cálculo das contribuições potenciais das emissões, utilizando o método EDIP.....	77
4.4.1. <i>Potencial de aquecimento global</i>	78
4.4.2. <i>Potencial de depleção da camada de ozônio</i>	80
4.4.3. <i>Potencial formação de ozônio fotoquímico</i>	81
4.4.4. <i>Potencial de acidificação</i>	82
4.4.5. <i>Potencial de enriquecimento de nutrientes</i>	83

4.4.6. <i>Potencial de ecotoxicidade</i>	85
4.5. Descarte de categorias sem impacto ambiental	86
4.6. Normalização.....	86
4.7. Ponderação relativa entre critérios e alternativas ambientais.....	87
4.8. Desenvolvimento de um Índice de Desempenho Ambiental (I_{da}).....	90
4.9. Estudo dos multicasos (coleta de dados e aplicação da estrutura criada)	93
4.10. Quantificação dos resultados finais.....	94
5. ESTUDO MULTICASOS: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL EM TRÊS CURTUMES NA REGIÃO DE FRANCA/SP	95
5.1. Estudo multicasos: contexto investigado	95
5.2. Cálculo dos potenciais ambientais	97
5.3. Cálculo da normalização dos potenciais	99
5.4. Teste da estrutura metodológica: estudo multicasos	101
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	111
6.1. Contribuições Gerenciais.....	119
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	121
7.1. Limitações do trabalho e trabalhos futuros.....	123
REFERÊNCIAS.....	125

DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRUTURA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL (ADA) NOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DO COURO

RESUMO – Com aceleração da modernização e o enorme consumo de recursos, a emissão de substâncias perigosas vem se tornando um problema para a saúde ambiental. Com isso, as empresas vêm buscando soluções e ferramentas para minimizar esse risco ambiental. Deste modo, é de suma importância o estudo da indústria coureira, por ser uma grande produtora de resíduos e subprodutos de alto potencial de impacto ambiental pela grande quantidade de água e componentes químicos envolvidos em toda cadeia produtiva. O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma estrutura metodológica coerente e suficiente para a ADA aplicada na indústria coureira baseada nos aspectos referentes à estabilidade ambiental. O método de pesquisa utilizado neste estudo foi composto de dez etapas: i) levantamento bibliográfico sobre ADA; ii) mapeamento e estudo das etapas do processo produtivo do couro; iii) inventário dos resíduos sólidos, efluentes líquidos, emissões gasosas e subprodutos gerados nas etapas produtivas na fabricação do couro; iv) cálculo das contribuições potenciais das emissões, utilizando o método EDIP; v) descarte de categorias sem impacto ambiental; vi) normalização; vii) ponderação relativa entre critérios e alternativas ambientais; viii) desenvolvimento de um Índice de Desempenho Ambiental (I_{da}); ix) Estudo multicase (coleta de dados e aplicação da estrutura criada); e x) quantificação dos resultados finais. De posse dos resultados apresentados, foi realizado, então, o cálculo do Índice de desempenho ambiental (I_{da}) para as empresas estudadas, chegando-se a um resultado de 89,826% para a empresa A, 82,284% para a empresa B e 81,71% para empresa C, o que significa que porcentagem dada dos resíduos e subprodutos gerados por estas empresas apresentam destinação ambiental adequada em termos da metodologia ADA aplicada neste estudo. Apesar das empresas estudadas apresentarem diferentes resíduos com destinação considerados ambientalmente inadequados, há uma proximidade no Índice de desempenho ambiental (I_{da}). Tal fato se justifica, pois as três empresas estudadas apresentam uma destinação considerada adequada para a o lodo do caleiro, que é o resíduo com maior contribuição na formação do I_{da} . Dessa forma, a aplicação do I_{da} em indústrias coureiras, evidencia ser uma ferramenta adequada para a avaliação do desempenho ambiental com base nos potenciais ambientais, tendo em vista que seus resultados permitem aos gestores das empresas tomarem medidas corretivas em seus processos de fabricação e, assim, melhorarem o seu desempenho ambiental. É uma ferramenta que pode ser utilizada amplamente pelo setor curteiro para minimização dos riscos ambientais e melhorias na gestão ambiental empresarial.

Palavras-chave: Avaliação do Desempenho Ambiental (ADA). Curtume. Método EDIP. Método IAHP. Gestão Ambiental.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL STRUCTURE FOR ENVIRONMENTAL PERFORMANCE EVALUATION (EPE) IN LEATHER MANUFACTURING PROCESSES

ABSTRACT – With the acceleration of modernization and the enormous consumption of resources, the emission of hazardous substances has become a problem for environmental health. With this, companies have been seeking solutions and tools to minimize this environmental risk. In this way, the study of the hula industry is of great importance, as it is a great producer of waste and by-products with high potential of environmental impact due to the large amount of water and chemical components involved in any productive chain. The general objective of this work is to develop a coherent and sufficient methodological framework for the EPE applied in the tannery industry based on aspects related to environmental stability. The research method used in this study was composed of ten steps: i) bibliographic survey on EPE; ii) mapping and study of the stages of the leather production process; iii) inventory of solid wastes, liquid effluents, gaseous emissions and by-products generated in the production stages in the manufacture of leather; (iv) calculation of potential emission contributions using the EDIP method; v) disposal of categories without environmental impact; vi) standardization; vii) relative weighting between environmental criteria and alternatives; viii) development of an Environmental Performance Index (I_{ep}); ix) Case study (data collection and application of the structure created); and x) quantification of the final results. With the results presented, the calculation of the Environmental Performance Index (I_{ep}) was carried out for the companies studied, reaching a result of 89.826% for company A, 82.284% for company B and 81.71% % For company C, which means that given percentage of the residues and by-products generated by these companies present adequate environmental allocation in terms of the ADA methodology applied in this study. Although the studied companies present different waste with destination considered environmentally inadequate, there is a proximity in the Index of environmental performance (I_{ep}). This fact is justified, since the three companies studied have a destination considered suitable for the sludge of the *beamhouse*, which is the residue with the greatest contribution in the formation of I_{ep} . Thus, the application of Ida in the weeding industry, proves to be an adequate tool for the evaluation of the environmental performance based on environmental potentials, considering that its results allow the managers of the companies to take corrective measures in their manufacturing processes and, thus Improve their environmental performance. It is a tool that can be widely used by the tanning industry to minimize environmental risks and improve environmental management.

Keywords: Environmental Performance Assessment (EPA). Tannery. EDIP method, IAHP method. Environmental Management.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	<i>Acidification potential</i>
ACV	Análise do Ciclo de Vida
ADA	Avaliação do Desempenho Ambiental
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
BSC	<i>Balanced Scorecard</i>
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGA	Contabilidade de Gestão Ambiental
CICB	Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV	Compostos orgânicos voláteis
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DQO	Demanda química de Oxigênio
EDIP	<i>Environmental Design of Industrial Products</i>
EF	Fator de Equivalência
EPI	Indicadores de Desempenho Ambiental
EUA	Estados Unidos da América
ET	<i>Ecotoxicity potencial</i>
ETWA	<i>Acute Ecotoxicity in water</i>
ETWC	<i>Chronic Ecotoxicity in water</i>
ETSC	<i>Chronic Ecotoxicity in soil</i>
FAHP	<i>Fuzzy Analytical Hierarchy Process</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GA	Gestão Ambiental
GWP	Global warming potential
IAHP	<i>Improved Analytic Hierarchy Process</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	Indicadores de Condição Ambiental
ICChemE	Instituição de Engenheiros Químicos

IDA	Indicadores do Desempenho Ambiental
IDG	Indicadores de desempenho de gerenciamento
IDO	Indicadores de Desempenho Operacional
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MPE	Micro e Pequenas Empresas
NEP	<i>Nutrient enrichment potential</i>
NEPA	<i>National Environmental Policy Act</i>
ODP	<i>Ozone depletion potential</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
PEw	Impacto potencial por pessoa por ano
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
POCP	<i>Photochemical ozone creation potential</i>
RPM	Rotações por minuto
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SEM	Modelagem de equações estruturais
SGA	Sistemas de Gestão Ambiental
TKN	Nitrogênio Total Kjeldahl
UNIDO	<i>United Nations Industrial Development Organization</i>
VOC	<i>Volatile Organic Compound</i>
WMO	<i>World Meteorological Organisation</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de sistema de gestão ambiental para ISO 14.001:2015.	15
Figura 2. Metodologias mais comuns seguidas para implementação de ADA.	16
Figura 3. Cadeia produtiva de couro e derivados	33
Figura 4. Esquema da formação do complexo cromo-colágeno no processo de curtimento de couro.....	37
Figura 5. Fluxograma da fabricação de couros.	40
Figura 6. Visão geral de entrada / saída de um processo convencional de curtimento para bovinos (tonelada/ couro cru tratado).....	63
Figura 7. Resíduos sólidos gerados durante o processo coureiro	66
Figura 8. Limites do estudo de ADA no setor coureiro	74
Figura 9. Estrutura de análise hierárquica para ponderação dos resíduos e subprodutos gerados nos processos de fabricação do couro.	90
Figura 10. Abrangência geográfica do impacto ambiental.....	92
Figura 11. Ponderação do potencial impacto ambiental de cada resíduo/subproduto - $V_{(a)i}$	102
Figura 12. Gráfico da cobertura geográfica atingida pelos potenciais impactos ambientais	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Métodos de curtimento do couro bovino	36
Tabela 2. Cargas de contaminação em efluentes de curtumes por ton./pele processada.....	55
Tabela 3. Quantidade de alguns resíduos sólidos do curtume	59
Tabela 4. Critérios utilizados na cobertura geográfica dos resíduos.....	93
Tabela 5. Potenciais dos aspectos ambientais para os resíduos e subprodutos da indústria coureira	98
Tabela 6. Normalização dos Potenciais dos aspectos ambientais para os resíduos e subprodutos da indústria coureira.	100
Tabela 7. Peso relativo dos potenciais ambientais para cada resíduo e subproduto	103
Tabela 8. Quantidade absoluta (b_i) dos resíduos/subprodutos no processo de fabricação estudado	104
Tabela 9. Destinação e avaliação categórica dos resíduos e subprodutos da empresa A.....	106
Tabela 10. Destinação e avaliação categórica dos resíduos e subprodutos da empresa B e C.	107
Tabela 11. Resultados de $V_{(a)j}$, (b_i), (Q_i), (A_i), (k_i), I_{da} e percentual de participação no I_{da} geral para a empresa A.	108
Tabela 12. Resultados de $V_{(a)j}$, (b_i), (Q_i), (A_i), (k_i), I_{da} e percentual de participação no I_{da} geral para a empresa B.	109
Tabela 13. Resultados de $V_{(a)j}$, (b_i), (Q_i), (A_i), (k_i), I_{da} e percentual de participação no I_{da} geral para a empresa C.	110

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Quantidade de produtos utilizados no curtimento de peles bovinas.	56
Quadro 2. Quadro sintético dos principais aspectos e impactos ambientais do processo produtivo de curtumes	62
Quadro 3. Identificação da atividade produtiva, composição, impacto potencial e destinação dos resíduos e subprodutos da indústria coureira.....	70
Quadro 4. Quantidade e composição aproximada dos resíduos sólidos gerados durante o processo de transformação de peles	72
Quadro 5. Índices de Normalização EDIP	99

1. INTRODUÇÃO

Com aceleração da modernização e o enorme consumo de recursos energéticos, a emissão de substâncias perigosas vem se tornando um problema para a saúde ambiental e humana levando a uma ameaça à estabilidade social e ao desenvolvimento econômico sustentável (SONG; FISHER; CUI, 2016; ZUI *et al.*, 2017).

Atualmente, as questões ambientais avançaram na agenda política de muitos países com a crescente integração das políticas ambientais e econômicas. Diante isso, desponta a necessidade de desenvolver medidas para reunir as pressões ambientais das atividades econômicas para avaliar o desempenho ambiental. No entanto, a mensuração das pressões ambientais economicamente relevantes para criar resultados de resumo orientados para políticas é bastante limitada (MUNKSGAARD *et al.*, 2007).

Para contribuir para este panorama da Gestão Ambiental (GA) brasileira, em 2010, foi promulgada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305, considerada um avanço para a preservação ambiental. Esta tem como propósito a instituição do princípio da responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e população, o sistema da logística reversa, a obrigatoriedade da realização do gerenciamento dos resíduos pelo poder público, além do viés social da reciclagem, com participação formal de catadores em cooperativas organizadas. As indústrias terão que adotar, desenvolver e melhorar tecnologias limpas como maneira de minimizar o impacto ambiental (JABBOUR *et al.*, 2014).

Com isso, as empresas buscam minimizar o seu impacto ambiental por meio de produtos, processos e políticas que reduzam o consumo de energia e geração de resíduos, promovendo o uso de recursos naturais ambientalmente sustentáveis e que possa empregar sistemas de gestão ambiental. Destacando a implantação da NBR ISO 14.001, que consiste em implantação de boas práticas e ferramentas ambientais, da qualidade e empresariais, embasadas no ciclo contínuo do PDCA (planejar, executar, checar e agir) (FARIAS; GÓES; SILVA JÚNIOR, 2010).

É evidente que todos os processos industriais envolvem o consumo e a manipulação de energia e materiais, levando à produção de produtos, serviços, subprodutos e resíduos. Essa transformação física decorrente da industrialização

constitui a relação mais direta entre empresas e meio ambiente. Diante disso, Tyteca *et al.* (2002) fazem os seguintes questionamentos em seu estudo: “como a relação meio ambiente e empresa evolui ao longo do tempo? Como essas mudanças podem ser explicadas e como essa análise pode ajudar a chegar a informação aos formuladores de políticas públicas ambientais no governo e na indústria?”. Com isso, chega-se a conclusão que para responder a essas questões é necessário medir e analisar o desempenho ambiental das empresas (TYTECA *et al.*, 2002).

Com isso, as organizações são cada vez mais responsabilizadas por ações ambientais, como reflete o crescente número de leis, regulamentos e penalidades ambientais. Consequentemente, as organizações são cada vez mais induzidas a medir, controlar e divulgar seu desempenho ambiental. Para a eficácia dessa mensuração os indicadores de desempenho ambiental devem ser confiáveis para fornecer informações para a tomada de decisões, assegurando a consecução dos objetivos ambientais. Além disso, a alocação dos recursos limitados da organização para a resolução de problemas ambientais requer evidências convincentes que apoiem os benefícios de tais ações. O sistema de mensuração ambiental deve, portanto, ser capaz de fornecer informações sobre o custo de redução de riscos e sobre a medição dessa redução. (HENRI; JOURNEAULT, 2008).

Diante desses aspectos, há um grande interesse para mensurar o desempenho ambiental das empresas, mas é evidente que as metodologias de avaliação e utilização de indicadores ou índices necessitam de aprimoramento, apesar de vários estudos demonstrarem que vários indicadores de desempenho são ferramentas efetivas para melhorar as práticas empresariais e o desempenho organizacional (TRIERWEILLER *et al.*, 2014; HENRI; JOURNEAULT, 2008).

A avaliação do desempenho ambiental (ADA) é um processo interno e uma ferramenta de gerenciamento projetada para fornecer ao gerenciamento informações confiáveis e verificáveis de forma contínua para determinar se o desempenho ambiental de uma organização está cumprindo os critérios estabelecidos pela administração da organização (JASCH, 2000).

Com isso, segundo Jasch (2000), é necessário que a ADA seja um processo, comparável ao processo de sistemas de gestão ambiental, se a empresa contemplar

um sistema já estruturado, uso de indicadores que sejam aderentes a atividade exercida.

Para ADA as empresas devem ter em seu planejamento ambiental indicadores ambientais consolidados, e que sigam determinado padrão, permitindo a comparação na ADA entre empresas de um mesmo ramo de atividade ou setor de atuação. A crescente quantidade de estudos publicados atualmente sinaliza os esforços da academia para encontrar formas mais coerentes para estudar e interpretar o desempenho ambiental das atividades produtivas (ZEVIANI; RODRIGUES; REBELATO, 2013; OSTAD-AHMAD-GHORABI; ATTARI, 2013).

A forma mais adequada de compreender e melhorar o desempenho ambiental tem sido o foco de muitas organizações. Para tal objetivo ser alcançado é necessário administrar de modo eficaz os produtos e serviços que podem impactar o meio ambiente. Assim, a norma ISO 14.031 descreve a ADA como uma ferramenta de gestão para fornecer informações confiáveis para determinar se o desempenho ambiental da organização está adequado. A ADA pode auxiliar uma organização a identificar os aspectos ambientais, determinar quais aspectos serão tratados com relevância, estabelecer critérios e avaliar seu desempenho ambiental baseado nesses critérios (ABNT, 2015).

A ADA é um processo que visa facilitar decisões gerenciais sobre o desempenho ambiental de uma organização por meio da seleção de indicadores, coleta e análise de dados, avaliação de informações de acordo com critérios de desempenho ambiental, divulgação, revisão e aperfeiçoamento desse processo (ABNT, 2015)

Assim, as alternativas de mensuração ambiental são importantes para a busca de metas produtivas mais pareadas com os impactos ambientais, estabelecendo a necessidade de desenvolvimento de indicadores de desempenho ambiental, para expor os impactos das operações industriais ao meio ambiente (REBELATO; MADALENO; RODRIGUES, 2016).

A avaliação do aspecto ambiental é bastante complexa e deve considerar um grande número de fatores, pois existem muitos critérios subjetivos e torna-se impossível estabelecer um valor monetário para custos e benefícios intangíveis

como o valor de uma reserva natural ou o custo para o ambiente absorver poluentes (LOPES, 2015).

Atualmente, as empresas com processos altamente poluidores, com destaque as empresas relacionadas ao setor químico, mineração, petróleo, siderurgia, celulose e papel, geração de energia e transportes, estão adotando estratégias para mitigação do risco ambiental (EPELBAUM, 2013). Neste contexto, os curtumes, que são grandes consumidores de produtos químicos altamente poluentes, que tem como resultante dos processos resíduos orgânicos e metálicos descarregados com uma carga pesada de produtos orgânicos que exigem oxigênio e também inorgânicos potencialmente tóxicos podendo acarretar problemas ecológicos e na vida humana (SINGH; SINHA, 2005). Além disso, é um tipo de indústria com processos ultrapassados, em que pela imposição de novas leis deveriam se readequar com processos e tecnologias menos impactantes para o meio ambiente (FERRARI, 2015).

Todavia, atualmente há uma maior exigência dos mercados nacionais e internacionais que a indústria curtumeira produza produtos cada vez mais eficientes e se preocupem com a qualidade ambiental. O couro brasileiro tem forte influência econômica, uma vez é o segundo maior produtor mundial, com forte inserção nos segmentos calçadista, vestuário, automotivo e moveleiro (CICB, 2015).

A pesquisadora contribui juntamente com outros estudos que visam o desenvolvimento de diretrizes metodológicas e índices para avaliação do desempenho ambiental aplicadas à produção coureira, uma vez que essa indústria tem real valor econômico no país e regional, além do alto impacto ambiental. Vislumbra-se com esse estudo uma aplicabilidade da metodologia desenvolvida para ADA em outros setores empresariais e em pesquisas que possam avaliar ou implementar as atividades associadas à gestão ambiental e avaliação do desempenho ambiental.

1.2. Contextualização do Estudo

Nesse subitem foi abordada a estruturação do estudo com a caracterização do problema de pesquisa, este que o trabalho visa responder. São apresentados os objetivos: geral e específicos, assim como a justificativa da relevância da pesquisa

para a temática proposta. Por último a apresentação da estrutura do trabalho, com as divisões utilizadas.

1.1.1. Problema de Pesquisa

O curtume, como uma das indústrias mais antigas do mundo, congratulou sua importância social com o crescimento da população e a crescente necessidade de couro e seus produtos levaram ao estabelecimento de grandes curtimentos comerciais, que normalmente são considerados complexos industriais intensivos em poluição que geram águas residuais com carga amplamente variável e de alta resistência ambiental (DURAI; RAJASIMMAN, 2011).

A produção do couro, como setor agroindustrial possui uma das maiores intensidades tóxicas por unidade de produção, devido ao uso de grande carga de metais pesados para conservação e estabilidade da pele animal. Durante o processo de curtimento completo, pelo menos cerca de 300 kg de produtos químicos são adicionados por tonelada de pele. Por isso, os efluentes dos curtumes estão entre um dos perigosos poluentes. Os principais problemas são causados pela geração de grandes quantidades de resíduos de cromo, que também podem conter matéria orgânica e sais como cloretos, sulfatos e carbonatos, bem como amônia, detergentes, emulsionantes, bactericidas, fungicidas, corantes, proteínas da pele, cabelo, gordura e outros componentes. Além dos conteúdos de cromo, uma composição tão variada e complexa geralmente caracteriza esse lixo como um material potencialmente tóxico, de modo que ele deve ser descartado corretamente de forma a não causar efeitos adversos para saúde humana e ambiental (DURAI; RAJASIMMAN, 2011; ABREU; TOFFOLI, 2009; ABREU, 2006).

Deste modo, medir o desempenho ambiental pode levar à redução do impacto ambiental das operações e melhorar a qualidade dos processos e resultados do setor curtumeiro. Embora a difusão da temática a ADA, ainda é ausente um método específico para mensuração do desempenho ambiental, há uma necessidade reconhecida de indivíduos, organizações e sociedades para encontrar modelos, métricas e ferramentas para medir e gerenciar o desempenho ambiental das empresas (ESCRIG-OLMEDO *et al.*, 2017).

A maior problemática apontada pelo estudo é a elaboração de métricas e indicadores suficientes para comparabilidade entre empresas do mesmo setor, levando os aspectos ambientais, sendo este o pano de fundo deste estudo. Com isso, o estudo visa responder a seguinte questão: como elaborar uma estrutura metodológica para avaliar quantitativamente o desempenho ambiental da fabricação coureira?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma estrutura metodológica coerente e suficiente para a ADA aplicada na indústria coureira baseada nos aspectos referentes à estabilidade ambiental.

1.3.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos da presente pesquisa são:

- a) Fazer o levantamento bibliográfico em periódicos, livros e documentos da sobre avaliação do desempenho ambiental e indicadores de desempenho ambiental;
- b) Estudar os principais processos produtivos da indústria curtumeira;
- c) Identificar os resíduos e subprodutos em cada etapa do processo produtivo do couro;
- d) Escolher um método para determinar os impactos dos resíduos e subprodutos no meio ambiente;
- e) Determinar indicadores adequados para elaboração de estrutura metodológica;
- f) Determinar um mecanismo lógico de ADA da estrutura proposta para cálculo de um índice único de desempenho ambiental;
- g) Testar a estrutura metodológica em empresas do setor curtumeiro.

1.4. Justificativa

As práticas ambientais devem ser analisadas de forma a ultrapassar o discurso de práticas fragmentadas e sem aferições, identificando como estas incorporam a gestão ambiental em sua estrutura organizacional e nos processos produtivos. Com isso, esta avaliação demanda a mensuração das práticas e estas, ao serem sistematizadas possibilitam identificar o desempenho ambiental (ZEVIANI; RODRIGUES; REBELATO, 2013). Além disso, a evolução da gestão ambiental com suas vertentes caminha em harmonia com estudos acadêmicos, os quais propõem inovações, mecanismos de melhoria e modelos de monitoramento (JABBOUR *et al.*, 2014).

Com o exposto, os autores Godecke, Rodrigues e Naime (2012) relatam em seu estudo que novas pesquisas no setor curtumeiro fazem-se necessárias diante do predominante quadro de depleção ambiental, baixa ecoeficiência dos processos industriais, incipiente aproveitamento econômico dos resíduos e ainda mensuração do desempenho ambiental. Portanto, o setor curtumeiro, a despeito do impacto ambiental de suas operações, tem sido pouco estudado sobre visão de recursos, meio ambiente, e principalmente desempenho ambiental (GODECKE; RODRIGUES; NAIME, 2012).

Segundo Daddi, Nucci e Iraldo (2017), nos últimos anos, nos curtumes na Itália, as grandes grifes adotaram políticas ambientais fortes no gerenciamento da cadeia de suprimentos que exigem que os curtumes adotem gerenciamento, bem como ações tecnológicas para melhorar o desempenho ambiental dos produtos. Todos esses aspectos contribuíram para aumentar a conscientização ambiental dos empreendedores.

Como corroboram Aquim, Gutterres e Trierweiler (2010), diante a análise mundial, o couro bovino brasileiro contribui com aproximadamente 13,6% da produção mundial e é o segundo no ranking mundial de produtores de couro, sendo este o principal tipo de couro utilizado pelas indústrias de calçados, móveis, têxtil, dentre outras (AQUIM; GUTTERRES; TRIERWEILER, 2010; BIANCHIN, 2012; FAO, 2015).

O setor coureiro ou curtumeiro fortalece cada vez mais sua importância econômica para o país. É visto que a produção brasileira de couro cresceu mais de 43% em dez anos. Especialistas do setor acreditam que até 2020 a produção de couro do país irá crescer 2 milhões de peças (FAO, 2015), consequentemente a geração de resíduos é cada vez maior, por isso a necessidade da mensuração dos resíduos e subprodutos desse tipo de indústria. No Brasil, esse setor encontra-se instalados na região do Vale dos Sinos no Rio Grande do Sul, nas cidades de Franca, Jaú e Birigui no estado de São Paulo (COSTA, 2002).

A grande parte dos curtumes brasileiros usam tecnologias ultrapassadas e ineficientes métodos de produção, onde até mesmo em grandes curtumes o nível geral de tecnologia é baixo. É visto que o curtume usa quantidades consideráveis de produtos químicos, água e energia elétrica durante o ciclo de vida da produção de couro (FERRARI, 2015).

Segundo Abreu (2006), o setor curtumeiro é o principal usuário de resíduos da indústria da carne, apesar disso o setor é percebido como consumidor de recursos naturais e produtor de poluentes por metais pesados. O processamento de uma tonelada de couro cru ou salgado produz cerca de 200 kg de produto acabado, que contém 3 kg de cromo, 250 kg de resíduos sólidos não curtidos, 200 kg de resíduo curtido com 3 kg de cromo e 50.000 kg de águas residuais com 5 kg de cromo. Assim, apenas 20% da matéria-prima são convertidas em couro e mais de 60% do cromo está no resíduo sólido e líquido (ABREU; TOFFOLI, 2009).

O cromo é o segundo contaminante mineral inorgânico mais abundante em locais considerados contaminados ou áreas de risco ambiental, além disso, o cromo trivalente facilmente oxida para cromo hexavalente quando as condições de oxidação típicas estão presentes. A toxicidade de cromo depende principalmente da sua forma química. Os compostos de cromo trivalentes são muito menos tóxicos do que o cromo hexavalente, uma vez que o cromo hexavalente é conhecido por ser muito móvel e perigoso para a saúde humana por inalação, contato com a pele e ingestão, sendo altamente tóxico, cancerígeno e mutagênico para os organismos vivos, mesmo quando presente em concentrações muito baixas (ABREU; TOFFOLI, 2009).

Por isso é um grande risco ambiental o descarte inadequado dos resíduos e subprodutos do curtimento, pois podem apresentar os riscos de oxidação espontânea de cromo trivalente para cromo hexavalente nos despejos de ar livre, bem como os possíveis riscos de usar sapatos de má qualidade, em que o conteúdo de cromo não é controlado (KOLOMAZNIK *et al.*, 2008).

Diante esse cenário, estima-se que a geração de 220 mil toneladas de lodo de cromo ao ano no Brasil (SOUSA, 2015). Com isso, o setor coureiro é alvo de inquietações e críticas relativas aos impactos ambientais negativos que seus processos industriais produzem no meio ambiente. Nota-se que, mesmo já sendo regido por um grande conjunto de leis com vistas à regulação ambiental, ainda é necessário a adoção de ações e contramedidas que visam mitigar os efeitos prejudiciais dos resíduos e subprodutos ao meio ambiente.

O objetivo da avaliação do desempenho ambiental é fornecer aos decisores uma avaliação dos sistemas globais integrados produtivos em perspectivas de curto e longo prazo, a fim de ajudá-los a determinar quais ações devem ou não ser tomadas para melhoria da eficácia organizacional, aspectos ambientais e minimização das perdas de matérias-primas, que são custos que oneram a lucratividade (SINGH *et al.*, 2012).

Uma revisão mais atenta da literatura comprova, no entanto, a ausência de mecanismos que permitam a avaliação do desempenho ambiental dos curtumes. Mediante este contexto, tornam-se interessantes estudos setoriais cujo objetivo é na avaliação do desempenho ambiental bem como na construção de indicadores específicos para esta indústria.

Existe uma necessidade amplamente reconhecida de indivíduos, organizações e sociedades para encontrar modelos, métricas e ferramentas para articular em que medida e as formas em que as atividades atuais são insustentáveis (BEBBINGTON; BROWN; FRAME, 2007). Com isso, é evidente a necessidade de métodos de mensuração do desempenho ambiental do setor de transformação do couro.

Para isso, é necessário o desenvolvimento de metodologias robustas que permitem as empresas a medir todos os aspectos importantes da sustentabilidade. Com isso, vale a pena a definição das metas para alcançar a melhoria ambiental e,

em seguida, os indicadores apropriados devem ser identificados com base na sua materialidade (NESSA *et al.*, 2007; SINGH *et al.*, 2012).

Diante ao explanado, a aplicação de uma ADA auxilia para o conhecimento de cada etapa de cada processo de transformação a fim de identificar-se o conjunto de resíduos gerados de forma que se possam apontar seus efeitos no meio ambiente. Deste modo, é de suma relevância uma pesquisa que desenvolva uma metodologia para avaliar o desempenho ambiental das operações de fabricação coureira para possibilitar uma análise aguçada do impacto industrial sobre o bem-estar ambiental.

O estudo auxilia os tomadores de decisão do setor curtumeiro para utilização da ADA em seus processos, dos resíduos provenientes da produção em larga escala para usos alternativos, em consonância com todas as dimensões da sustentabilidade.

Além disso, este trabalho contribui em estudos acadêmicos posteriores sobre ADA envolvendo a avaliação do potencial de impacto ambiental, pois a em estudos de ADA ainda não existe um sistema teórico axiomatizado (SONG; FISHER; CUI, 2016). Com isso, é de suma importância desenvolver um sistema teórico científico, que possa ser utilizado de forma mais usual e uma série de métodos de avaliação universais baseados nesse sistema para o campo de avaliação do desempenho ambiental nos mais variados setores.

1.5. Estrutura do trabalho

Tendo em vista o objetivo aqui proposto, o presente trabalho será descrito em sete capítulos. O primeiro capítulo tem a introdução do estudo, e posteriormente a descrição da pesquisa, com o problema de pesquisa, os objetivos e justificativa. O segundo capítulo apresenta a revisão teórica sobre principais temas que permeiam este trabalho, quais sejam: a) avaliação do desempenho ambiental; b) Métodos de avaliação; c) Indicadores de ADA.

Posteriormente, o capítulo aborda a apresentação do processo produtivo e inventariação dos resíduos gerados do setor curtumeiro. Em seguida, o capítulo aborda a descrição da metodologia utilizada neste trabalho e as fases da pesquisa.

O quinto capítulo apresenta os resultados oriundos da aplicação da metodologia em três empresas do setor. O sexto capítulo aborda as discussões dos resultados do teste metodológico utilizando as três empresas do estudo multicase. Por fim, o último capítulo traz as considerações finais acerca do trabalho realizado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo foram abordados os conceitos da Avaliação do Desempenho Ambiental (ADA), com a principalmente definição dada pela NBR ISO 14.031:2015. Complementando foi apontado na literatura alguns métodos e ferramentas já utilizados em alguns estudos para a ADA, como os trabalhos de Luz *et al.* (2006), Sellitto *et al.* (2010), Silva e Amaral (2011), Almeida e Sellitto (2013), Zeviani *et al.* (2013), Andrade *et al.* (2013), Rebelato *et al.* (2014), Wangh e Gugar (2014), Hansen *et al.* (2015), Carvalho *et al.* (2015), Caiado, Quelhas e Lima (2015), Rodrigues *et al.* (2015), Reis e Sellitto *et al.* (2015), Carvalho, Sousa e Soto (2015), Duby *et al.* (2017), Navarajana e Haapalaa (2017), Lopez-Arraiza *et al.* (2017), dentre outros autores.

Neste sentido é visto a importância da aferição das práticas ambientais bem como a real mensuração de sua intensidade, amplitude e efetividade do estabelecimento de indicadores ambientais, como são vistos também nessa seção.

2.1. Avaliação do Desempenho Ambiental (ADA)

A Avaliação do Desempenho Ambiental (ADA) é um termo que já vem sendo bastante usado pela academia e pelas empresas. Suas primeiras referências surgiram em 1969, quando o *National Environmental Policy Act* (NEPA) promoveu nos EUA a utilização de processos sistêmicos de avaliação dos impactos ambientais (CAMPOS, 2001).

A ADA, segundo a ABNT ISO 14.031:2015 é um

“Processo para facilitar as decisões gerenciais com relação ao desempenho ambiental de uma organização por meio da seleção de indicadores, coleta e análise de dados, avaliando informações sobre o desempenho ambiental, relatando e comunicando e periodicamente, analisando criticamente e melhorando este processo” (ABNT, 2015).

Neste sentido, essa norma ainda cita que a ADA pode auxiliar na identificação dos aspectos ambientais, assim determinar quais destes serão tratados como significativos para estabelecer critérios adequados para o desempenho ambiental,

por fim avaliar o desempenho ambiental com base nesses critérios já definidos (ABNT, 2015).

Outra definição entende ADA como os resultados mensuráveis da gestão dos aspectos ambientais de uma organização apresentados através de indicadores. Estes podem ser confrontados com a política ambiental, os objetivos ambientais, as metas ambientais e outros requisitos de desempenho ambiental (ANTONOV; SELLITTO, 2011).

Contribuindo com essa definição, o desempenho ambiental pode ser definido como a informação oferecida por um conjunto de indicadores que permite comparar entre si, ou a partir de um referencial conceitual, os requisitos ambientais em áreas ou setores de uma empresa (SEARCY; KARAPETROVIC; MCCARTNEY, 2005).

Dias-Sardinha e Reijnders (2001) definem ADA como um processo para facilitar as decisões ambientais de uma organização através da seleção de indicadores, coleta e análise de dados, com os critérios pré-definidos, e posteriormente abrange a comunicação, revisão e melhorias periódicas deste processo.

A ADA é um processo contínuo de coleta e avaliação de dados e informações para fornecer uma avaliação atual do desempenho, bem como as tendências ao longo do tempo. Segundo Perotto *et al.* (2008) uma avaliação correta do desempenho ambiental decorre da escolha de dados brutos adequados e das relações entre dados brutos.

Nesse sentido, a ADA pode ajudar uma organização a identificar os aspectos ambientais, determinar quais aspectos serão tratados com relevância, estabelecer critérios e avaliar o desempenho ambiental baseado nesses critérios e com isso realizar um planejamento a longo prazo de metas de desempenho com o escopo de melhoria ambiental (HARIZ, 2013).

Sintetizando, a ADA permite evidenciar os pontos positivos e negativos dos resultados obtidos com a implantação de práticas ambientais mediante à comparação com requisitos ou condições preestabelecidas, bem como critérios para adoção do *benchmarking* interno e externo (REBELATO; RODRIGUES; MADALENO, 2015; CUNHA, 2010).

Para Perotto et al (2008), para avaliar o desempenho ambiental é necessário avaliar os aspectos ambientais, ou seja, elemento das atividades de uma organização ou produtos ou serviços que possam interagir com o meio ambiente. Alterações ao meio ambiente, adversas ou benéficas, resultantes total ou parcialmente de aspectos ambientais, são definidas como impactos ambientais. A relação entre aspectos ambientais e impactos é de causa e efeito, Além disso, um aspecto ambiental significativo é um aspecto ambiental que tem ou pode ter um impacto ambiental significativo.

A ADA é aplicável a qualquer tipo de organização, independentemente da dimensão, da estrutura organizacional, da atividade econômica, do país ou local de implantação, porém os indicadores deverão ser periodicamente avaliados, quer por pressão dos *stakeholders* ou questões de competitividade, ou ainda por via de regulamentação legal ou por força da política ambiental da organização (CUNHA, 2010).

Para a ADA, é necessário um levantamento de seus dados de entrada e saída dos insumos do processo produtivo, consistindo em uma fase em que os efeitos ou cargas ambientais gerados por um produto ou atividade durante o ciclo de vida são identificados e avaliados, mensurando as consequências por meio de indicadores do sistema de produto investigado (MORETTI, 2011).

Em 2015, com a atualização da ISO 14.001, teve algumas alterações relacionadas a compreensão do contexto da organização, com o escopo de gerenciar melhor o risco ambiental, dando maior ênfase nas partes interessadas relevantes com destaque do incentivo da liderança para promover a gestão ambiental, portanto o conceito de perspectiva do ciclo de vida torna-se mais intrínseco para influenciar e auxiliar na melhoria do desempenho ambiental das organizações. Essa dinâmica pode ser observada na Figura 4, em que se baseia no ciclo PDCA, em que a apuração das melhorias ambientais, quando planejadas podem ser determinadas com a análise periódica do desempenho ambiental (ABNT, 2015; FONSECA, 2015).

Dado o exposto, o modelo de avaliação da norma ISO 14.031 é baseado no ciclo PDCA, conforme apresenta a Figura 1. Para o ciclo PDCA, inicialmente é necessário o planejamento de como será essa avaliação do desempenho ambiental,

com isso é importante a seleção de ferramentas e indicadores eficientes e suficientes para análise do ciclo produtivo pretendido. No próximo passo é executar, que compreende na coleta de dados e resultados, em que consiste na formação de um inventário sólido, para uma avaliação de forma simples e entendimento para todos os níveis organizacionais. Posteriormente é necessário checar o sistema analisado, com a análise crítica e apontamentos de melhoria, para que a próxima etapa que é a agir seja efetiva.

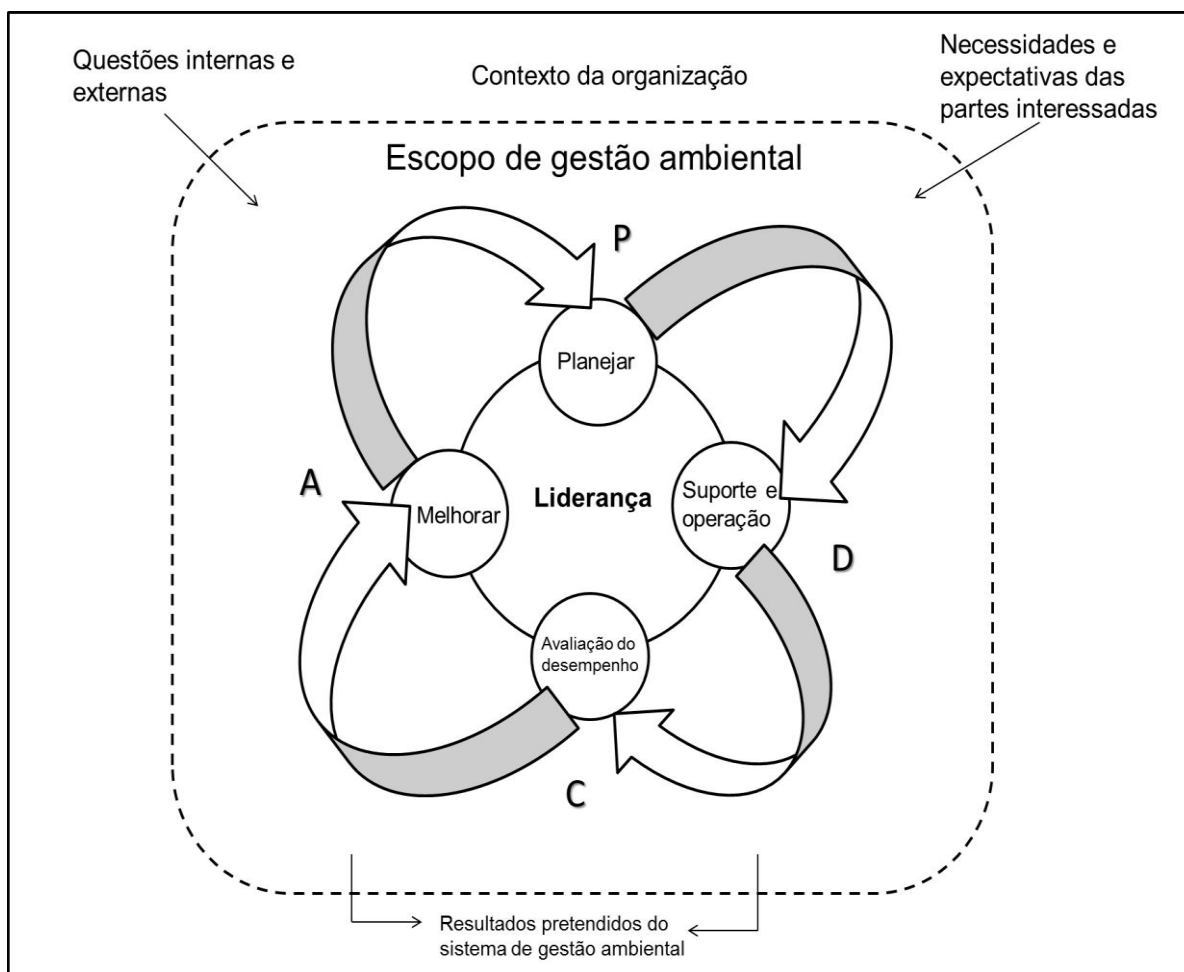


Figura 1. Modelo de sistema de gestão ambiental para ISO 14.001:2015.
Fonte: Adaptado de ABNT, 2015.

Segundo a NBR ISO 14031:2015, quatro princípios sustentam a ADA. São eles o princípio da relevância **da integralidade**, que consiste em permitir que todos os fatores/aspectos sejam abordados; da **consistência**; da **precisão**, pois as

informações precisam que sejam válidas no passado, no presente e no futuro; e da **transparência**.

O processo de ADA envolve a coleta de informações e a medição de como uma organização gerencia seus aspectos ambientais de forma contínua. Alguns conceitos e componentes da ADA foram aplicados há mais de uma década, enquanto a aplicação da ADA por organizações visa a obtenção de ecoeficiência. As ferramentas e os métodos utilizados principalmente para ADA são os Indicadores do Desempenho Ambiental (IDA), a Contabilidade de Gestão Ambiental (CGA), os Sistemas de Gestão Ambiental (SGA), a Análise do Ciclo de Vida (ACV) e a rotulagem ambiental, como apresenta a Figura 2. Essas ferramentas são apoiadas pelas normas ISO 14.000, para orientar como deve ser aplicado cada método que pode ser utilizado para a ADA (PAPADOPOULOS; GIAMA, 2007).

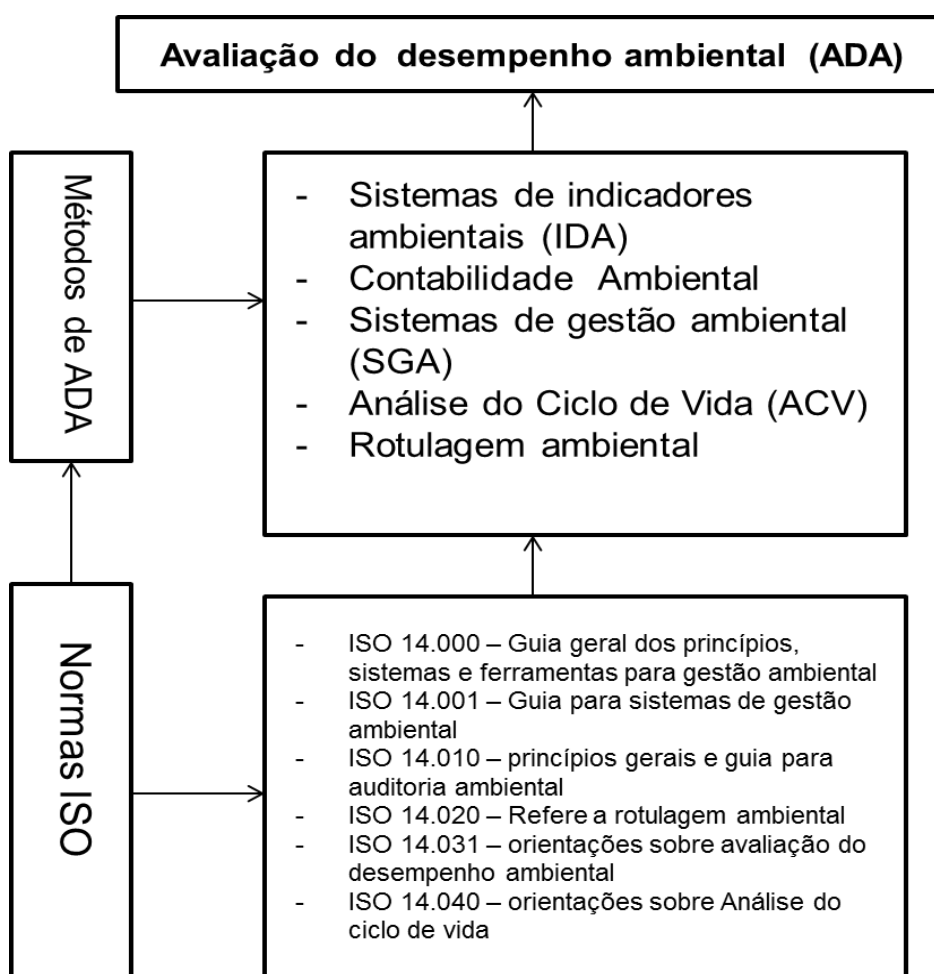


Figura 2. Metodologias mais comuns seguidas para implementação de ADA.
Fonte: Adaptado de Papadopoulos e Giama (2007).

Neste contexto, visto que algumas ferramentas podem ser usadas para fornecer informações adicionais para ADA, uma das mais utilizadas é a ACV. Todavia, enquanto a ADA se concentra em descrever continuamente o desempenho ambiental de uma organização, a ACV é uma primeira análise abrangente do estado de proteção ambiental (JASCH, 2000).

Atualmente, a busca de uma definição metodológica compartilhada da ADA incentivou os acadêmicos a buscar a melhor maneira de combinar a avaliação do ciclo de vida com análise de decisão multicritérios e os métodos de participação são amplamente apreciados pela sua capacidade de equilibrar e integrar essas tensões, fornecendo um foco holístico aos processos de tomada de decisão em contextos complexos, como a agropecuária. Os métodos de análise multicritério permitem a consideração de variados critérios conflitantes e alcançando decisões racionais, justificáveis e explicáveis, além de serem métodos participativos em processos de decisão. Muitos pesquisadores combinaram em seus estudos as ferramentas do ciclo de vida (individualmente ou em conjunto) com diferentes métodos multicritérios (DE LUCA *et al.*, 2017)

É evidente que as organizações estão cada vez mais preocupadas em gerenciar e melhorar seu desempenho ambiental. Com isso, é importante a organização mapear seu desempenho ambiental em relação do que permeia as políticas, objetivos e metas ambientais. Assim, segundo Almeida e Sellitto (2013) um sistema produtivo eficiente pede determinação de metas e controle do nível de desempenho ambiental almejado pela organização, cobrindo todo o ciclo de vida do produto.

O desempenho deve ser acompanhado por meio de medições e gerido por indicadores, que consistem em variáveis que resumem ou simplificam as informações relevantes de um sistema complexo. Com isso, uma avaliação de forma precisa é fruto da escolha de dados coletados adequadamente e a relação entre esses dados (PEROTTO *et al.*, 2008; ALMEIDA; SELLITTO, 2013).

Nesse contexto, os objetivos de produção devem ser alinhados com questões ambientais, com destaque para os indicadores de desempenho ambiental que não apenas mensurem o impacto ambiental, para que possibilitem o progresso do

desempenho ambiental dentro das organizações e propõe intervenções para melhorá-las (REBELATO; RODRIGUES; MADALENO, 2015).

O objetivo da avaliação ambiental pode variar consideravelmente, o que significa que a inclusão de vários processos e mecanismos nem sempre pode ser levada em consideração com as mesmas abordagens. Isso leva à necessidade de definir claramente qual é o escopo da avaliação e quais questões precisam ser respondidas, o que implica que diferentes instrumentos devem ser usados de acordo com cada caso (BASURKO; MESBAHI, 2014).

O requisito urgente para uma abordagem sistêmica da definição e medição de indicadores é dar uma maior ênfase, juntamente com o desenvolvimento de metodologias robustas que permitem aos países e empresas medir todas as referências importantes do aspecto ambiental (SINGH *et al.*, 2012).

Portanto, para que o desempenho ambiental organizacional possa ser facilmente medido e acompanhado é muito importante que se estruture indicadores de desempenho ambiental devidamente alinhados às estratégias, objetivos e metas da organização. Por isso, atualmente as empresas estão adotando medidas que visam prevenir ou mitigar os efeitos ao meio ambiente, seja para cumprir pela força da lei a legislação vigente, por pressões da sociedade, pela rentabilidade por uso de inovações verdes ou pela adequação a modelos mais sustentáveis (LOPES, 2015).

Um fator crítico do ADA é a fraca universalidade dos métodos de pesquisa de ADA, pois são diversas maneiras para elaboração dos constructos de avaliação. Conforme Searcy, Karapetrovic e McCartney (2005), verificam-se que na literatura atual sobre ADA, não há consenso absoluto sobre os temas ambientais que devem ser mensurados, além da falta de medidas robustas para cálculo do desempenho ambiental. No entanto, para Delai e Takahashi (2011), encontra-se algum grau de acordo em torno dos principais construtos apontados pela literatura: atmosfera, água, terra, energia e materiais. Algumas questões importantes tais como a biodiversidade, materiais perigosos e geração de resíduos perigosos, emissões perigosas à saúde humana e qualidade da água são fundamentais na medida em que são relacionados ao bem-estar humano, assim como à continuidade da vida nos ambientes naturais.

2.2. Métodos e ferramentas para a avaliação do desempenho ambiental

É possível encontrar na literatura especializada em desempenho ambiental, metodologias e ferramentas previamente desenvolvidas com a finalidade de avaliar o desempenho ambiental nas organizações. Estes trabalhos possuem duas vertentes: a qualitativa, que avalia através de mecanismos descritivos e a quantitativa, que mensura as práticas adotadas através de indicadores numéricos. Cabe ressaltar que dos artigos publicados em periódicos nacionais de 2007 a 2012, cerca de 80% apresentaram perfil qualitativo (ZEVIANI; RODRIGUES; REBELATO, 2013).

Um dos trabalhos pioneiros na área é a chamada metodologia emergética (contábil) proposta por Odum (1996). Trata-se de uma proposta quantitativa voltada as indústrias que avalia os impactos ambientais de operações produtivas a partir de índices ligados ao uso de recursos renováveis e não renováveis, aos serviços ambientais locais, aos serviços econômicos e à rentabilidade econômica do sistema avaliado. Para tanto os principais aspectos inferidos deste método são: 1) fatores sociais; 2) energia; 3) recursos naturais; 4) desperdício.

Dias-Sardinha, Reijnders e Antunes (2002) utilizam como ferramenta para ADA o Balanced Scorecard (BSC), que trás um viés estratégico para a análise. Se baseiam em quatro perspectivas: 1) financeira; 2) clientes; 3) Processos internos; e 4) aprendizagem e crescimento, que visam a prevenção da poluição, ecoeficiência, ecoinovação e (eco) ética e sustentabilidade são tipos de objetivos estratégicos ambientais. Os autores corroboram que o BSC tradicional pode permitir indicar o nível de desempenho social e ambiental que uma organização espera alcançar.

Utilizando o mesmo método de BSC, Al-Zwyalif (2017) propõe um método de mensuração do desempenho ambiental, vislumbrando a parte estratégica empresarial, com 4 indicadores, e 19 subitens com foco ambiental: 1) Perspectiva do cliente; 2) Perspectiva Financeira; 3) Perspectiva interna do processo; e 4) Perspectiva de aprendizagem e crescimento.

Com foco industrial Veleza e Ellenbecker (2001) propõem metodologia de mensuração de desempenho ambiental em empresas focada na produção e operações. Esta se baseia em seis aspectos de produção que integram vinte e dois

indicadores de desempenho. Os aspectos selecionados pelos autores constituem-se em: 1) energia e consumo de materiais; 2) meio ambiente natural; 3) justiça social e desenvolvimento comunitário; 4) desempenho econômico; 5) trabalhadores; e 6) produtos. O número de indicadores por aspecto é variável e todos os indicadores apresentam métrica em sua medição que analisados de maneira integrada geram um indicador final.

No mesmo ano, Li e Hui (2001) propõem uma metodologia quantitativa para a medição de desempenho ambiental de processos produtivos embasa na Análise do Ciclo de Vida do Produto. Os principais aspectos utilizados são: 1) resíduos sólidos; 2) efluentes líquidos; e 3) emissões gasosas. A mensuração se dá através de indicadores de impacto sob o meio ambiente e sob a saúde humana.

Com a utilização de métodos de ACV, Silva *et al.* (2015), analisam a fabricação de resina melamina-uréia-formaldeído e o desempenho ambiental dos resíduos, foi avaliada pela aplicação de dois métodos e sete categorias de impacto: CML e USEtox . As categorias analisadas foram: 1) depleção abiótica; 2) acidificação; 3) aquecimento global; 4) Eutrofização; 5) oxidação fotoquímica; 6) ecotoxicidade; e 7) toxicidade humana.

Morel *et al.* (2004) utilizam como método o AHP, para ponderar os indicadores para formação dos indicadores. Os autores abrangeram as atividades que gerem: 1) resíduos sólidos; 2) efluentes líquidos; 3) emissões atmosféricas; 4) necessidade de gestão para o atendimento a requisitos legais; e 5) recursos naturais.

Utilizando um método semelhante Shen, Muduli e Barve (2015), em seu estudo, utilizam o método de análise de hierarquia de processos (AHP) para avaliar as prioridades dos critérios escolhidos, e as organizações interessadas podem usá-lo como uma orientação processual para a implementação da gestão da cadeia de suprimentos verde (GCSV). Foram analisados quatro critérios, levando em conta dezoito subcritérios para melhor avaliação. Os critérios utilizados são: 1) Compromisso da alta administração; 2) Revisão ambiental inicial; 3) Abordagem de implementação apropriada; e 4) Melhoria contínua.

Luz, Sellitto e Gomes (2006) usaram também em seu estudo de ADA o método multicritério da AHP, utilizando para cálculo os indicadores são quantitativos

ou categóricos e possuem procedimentos padronizados de medição, constante no manual do SGA, quando ausente, foi calculado pelo índice de 1 a 5, com pesquisa realizada aos gestores. Para o estudo foi empregado 19 indicadores e 5 construtos: 1) resíduos sólidos; 2) efluentes; 3) emissões atmosféricas; 4) uso de recursos naturais; e 5) gestão ambiental.

Rodrigues *et al.* (2015a) propõem um método qualitativo voltados para indústrias organizado em nove aspectos: 1) gestão organizacional; 2) recursos humanos; 3) produto; 4) processo produtivo; 5) instalações físicas; 6) emissões; 7) desenvolvimento social; 8) desenvolvimento econômico financeiro; 9) mídia. Cada um dos nove aspectos estabelecidos compõe-se de um conjunto de indicadores julgado relevante para a avaliação pretendida, perfazendo um total de trinta e cinco indicadores. Após a observação e da coleta de evidências de cada indicador, pode-se classificá-lo dentro da escala de 0, 3, 5, sendo 5 a pontuação aos indicadores quando constatado a realização de práticas em conformidade com o ambientalmente adequado. Ao final se tem um somatório que, convertido a percentual, representa o indicador final da empresa.

Ainda neste formato industrial abrangente, Zeviani, Rodrigues e Rebelato (2013) apresentam um método qualitativo elaborado para avaliação de desempenho ambiental industrial embasado em quarenta e cinco indicadores direcionados em nove aspectos, sendo: 1) organizacional; 2) recursos humanos; 3) instalações físicas; 4) meio ambiente de entorno; 5) desenvolvimento social; 6) desenvolvimento econômico; 7) desempenho financeiro; 8) recursos naturais; 9) produto e mídia. Cada indicador tem uma métrica própria e a aplicação do método se dá através de roteiro qualitativo.

Com o foco na administração industrial, Reis e Sellitto (2015) propõem um modelo baseado na ISO 14.000, no método Ecoblock e no julgamento por escala categórica. Este é estruturado em 5 constructos, sendo: 1) emissões atmosféricas; 2) efluentes líquidos; 3) resíduos sólidos; 4) recursos naturais e energéticos; 5) atendimento a legislação. Os constructos devem ser distribuídos conforme o grau de importância dado pelo grupo focado. Na sequência, estes derivam em indicadores que são avaliados por um grupo focado através de uma escala de 0 a 100%.

Na mesma linha, Dubey et al. (2017) propõem um modelo que visa avaliar o impacto da cultura organizacional na ação da alta administração industrial sobre a reestruturação do processo produtivo visando melhor desempenho ambiental. Para tanto são utilizados os seguintes aspectos: 1) crenças da alta administração; 2) participação da alta administração; 3) fabricação reconfigurável; 4) cultura organizacional; 5) performance ambiental.

Em um formato direcionado a Micro e Pequenas Empresas (MPE) industriais Sellitto *et al.* (2010) apresentaram uma metodologia qualitativa baseada na promoção de avaliação do desempenho ambiental por meio da análise de indicadores que respondem a grandes áreas denominadas constructos. Seu objetivo é determinar e encerrar em um índice global o desempenho ambiental de uma operação industrial. Composto por cinco constructos: 1) emissões atmosféricas; 2) efluentes líquidos; 3) resíduos sólidos; 4) recursos naturais e gestão interna e; 5) atendimento e legislação e certificação, este se estrutura através da avaliação dos indicadores por especialistas da área que os classificarão a realidade da empresa em uma escala de 1 a 5 que convertidos, irão gerar um resultado final de escala entre 0% e 100%. Este método deixa claro as prioridades de ação da organização e os constructos de maior impacto.

Visando o mesmo tipo de empresas, Seiffert (2008) propõe uma metodologia para análise do desempenho ambiental de Micro e Pequenas Empresas (MPE) de variados segmentos, apresenta uma metodologia qualitativa baseada na promoção de avaliação do desempenho ambiental por meio da análise de indicadores que respondem a grandes áreas denominadas constructos. Seu objetivo é determinar e encerrar em uma somatória global o desempenho ambiental, para auxiliar na implementação de sistemas ambientais. Composto por sete constructos: 1) efluentes; 2) emissões atmosféricas; 3) resíduos sólidos; 4) recursos naturais; 5) barulho e vibrações; 6) emergência e riscos; e 7) outros. Tem como estrutura a avaliação da importância dos impactos ambientais e a extensão do impacto em local, regional ou local, e a classificação da gravidade em alto médio e baixo. Posteriormente foi realizada a categorização de frequência de impactos e aspectos ambientais, baixo representado pelo número 10, médio pelo número 20 e alto equivalente ao número 30, e assim a somatória foi dado parâmetros de

insignificante, quando a soma é menor que 50, moderado quando a soma é entre 50 e 70, e crítica quando a somatória é acima de 70 pontos.

Já Rebelato, Madaleno e Rodrigues (2014) propõe uma metodologia quantitativa voltada para o processo produtivo de indústrias sucroalcooleiras. Trata-se da avaliação de desempenho ambiental por meio do levantamento dos resíduos e subprodutos gerados no processo produtivo e sua composição físico-química. A partir deste levantamento estabelece-se um quadro comparativo entre destinação ideal da legislação com destinação realizada pela indústria. Desta metodologia podem-se inferir os seguintes constructos: 1) resíduos sólidos; 2) efluentes líquidos; 3) emissões gasosas; e 4) atendimento a legislação.

Seguindo a mesma linha de métodos específicos para determinado setor, Carvalho, Sousa e Soto (2015) desenvolveram um método qualitativo específico para suinocultura podendo ser estendido para outros manejos de animais. Com base na identificação dos principais itens ambientais que devem compor o SGA para esta atividade, elaborou-se um questionário com 8 questões (uma para cada item). Após a apuração das respostas estabelece-se peso de 0 a 10 com base no impacto ambiental potencial do item apurado. Com base no somatório de pontos avalia-se a organização. Os principais aspectos inferidos são: 1) compostagem de carcaça e placenta; 2) resíduos sólidos; 3) tecnologia; 4) licença e certificação; 5) gestão de recursos hídricos; 6) biodigestor; 7) compras ecoeficientes; 8) outorga de uso e captação de água e lançamento de efluentes.

Além dos métodos apresentados voltados a indústria e pecuária, pode-se também encontrar na literatura métodos focados no setor de serviços. A partir da estrutura da metodologia SBP, Almeida e Sellitto (2013) propõem um método voltado principalmente à prestadoras de serviço. Aplicado em uma instituição de ensino para validação, este método foi organizado através sete constructos com prioridades ponderadas por um grupo focal, sendo: 1) poluição sonora; 2) poluição atmosférica; 3) efluentes líquidos; 4) resíduos sólidos; 5) recursos naturais; 6) influência na vida selvagem; 7) influência no micro clima. Os constructos se ramificam em 35 indicadores que devem ser avaliados pelos consumidores da prestação de serviço. Ao final tem-se um quadro de hierarquia de constructos que

seve de base para tomada de decisão de prioridades de ação, melhorando o desempenho ambiental da organização.

Para novos projetos, encontra-se o método Battelle. Este consiste em um sistema com foco central em projetos de recursos hídricos. Desenvolvido pelo laboratório Battelle Columbus nos EUA a partir de setenta e oito parâmetros quantificáveis, este apresenta quatro aspectos centrais: 1) ecologia; 2) contaminação ambiental; 3) estética; e 4) interesse humano. A avaliação de dá em uma escala de 0 (qualidade extremamente ruim) a 1 (muito bom). Após esta análise os parâmetros são multiplicados pelo grau de importância atribuído a cada um e o resultado de cada multiplicação é somando obtendo-se um índice geral. Após a avaliação da realidade encontrada, avaliam-se as possíveis melhorias mediante a implantação de um novo projeto. O resultado da subtração do índice com projeto para o índice sem projeto dará o índice final deste método (WAGH; GUJAR, 2014).

Como análise de métodos focados, Caiado, Quelhas e Lima (2015), propõem um método de avaliação de sustentabilidade tem por base o método de análise de processo – MAP baseado em cinco etapas adaptadas para abarcar os três aspectos da sustentabilidade: 1) econômico; 2) social; e 3) ambiental. Ao final tem-se quadro com aspectos local, regional de global dos itens social, econômico e ambiental para todos os *stakeholders*. Através deste quadro, criam-se indicadores de análise para cada *stakeholder* que analisará os indicadores com base na escala de *Linkert* para avaliar o grau de influência e importância deste item. Para finalizar junta-se os dados estatisticamente para análise.

Navarajana e Haapalaa (2017) estudaram a ADA da Sinterização a Laser de Metal Direto através do Análise Exergica, em que utilizam o indicador agregado ReCiPe 2008 para análise do potencial de aquecimento global, com a avaliação de 18 pontuações de indicadores intermediários como exemplo a depleção de ozônio, toxicidade humana e radiação ionizante e três pontuações de indicadores *endpoint*, como saúde humana, ecossistema e recursos. Resultado mostra a ineficiência com a qual as entradas para o processo são utilizadas, porque é necessário entender melhor a qualidade da utilização dos recursos no ciclo de vida do produto.

Os autores Sueyoshi e Goto (2010) em seu estudo buscam alinhar o desempenho ambiental, operacional e financeiro de empresas industriais do Japão.

Para a avaliação foi utilizado o método DEA (*Data Envelopment Analysis*). Tais fatores de desempenho são expressos por uma expressão percentual entre 0% e 100%, onde 100% indica o melhor desempenho e 0% indica o pior desempenho. Para estudo ambiental, utilizam cinco medidas: 1) estrutura de governança para proteção ambiental; 2) esforço corporativo para proteção de poluição; 3) esforço corporativo para aprimorar atividades de reciclagem; 4) esforço corporativo para produzir produtos de proteção ambiental; e 5) esforço corporativo para prevenir o aquecimento global e as mudanças climáticas no âmbito do Protocolo de Quioto. Este estudo conclui que as grandes empresas têm capacidades gerenciais para melhorar seu desempenho operacional e ambiental.

Lopez-Arraiza *et al.* (2017) analisam o ADA da construção de pequenas embarcações. Em seu estudo faz a comparação de desempenho de embarcações de dois materiais distintos, levando em conta 3 categorias: 1) Saúde humana; 2) Ecossistemas; e 3) Recursos.

Noya *et al.* (2017) fizeram um estudo de avaliação ambiental de um sistema de cultivo de porcos na Espanha. O quadro padrão da ACV foi seguido para avaliar o desempenho ambiental do processo global. Foram selecionadas seis categorias de impacto: 1) mudanças climáticas, 2) acidificação terrestre; 3) eutrofização de água doce; 4) eutrofização marinha; 5) ocupação de terras agrícolas; e 6) depleção de fósfil.

Seguindo o método de ACV, Saraiva, Souza e Valle (2017 – *In Press*) realizaram um estudo de avaliação de desempenho ambiental do gerenciamento de resíduos da cidade do Rio de Janeiro, propondo ainda que a matéria orgânica poderia ser utilizada como geradora de energia elétrica, como consequência diminuiria os riscos ambientais e supriria um dos problemas do país que é a questão energética. Os indicadores utilizados foram: 1) Mudança ; 2) Potencial de depleção de ozônio; 3) Partículas; 4) Formação oxidante fotoquímica; 5) Eutrofização marinha; 6) Acidificação; e 7) Toxicidade humana.

Algumas metodologias convergem dois métodos para cálculo de ADA, como em estudo de Mohammadi *et al.* (2013) que combinou os métodos de ACV e o DEA, para aplicação do ADA em fazendas de soja, para cálculo para a análise do aquecimento global por meio das emissões de CO₂.

Com estudo também voltado para a área agrícola, os pesquisadores Zarei, Kazemi e Marzban (2017) calculou para produção de pepino e tomate o desempenho ambiental utilizando o método CML 2001, que é para calcular o ACV do produto. As categorias avaliadas foram: 1) depleção abiótica; 2) acidificação; 3) eutrofização; 4) potencial de aquecimento global; 5) depleção da camada de ozônio; 6) toxicidade humana; 7) ecotoxicidade aquática de água doce; 8) Ecotoxicidade aquática; 9) ecotoxicidade terrestre; 10) oxidação fotoquímica; e 11) indicador cumulativo de demanda de exergia (CExD).

Huerta, Guereca e Lozado (2016) analisam os impactos ambientais em sistemas intensivos e extensivos de produção de carne nos trópicos mexicanos. O método utilizado foi de ACV, por meio do ReCiPe *Midpoint*. Foram consideradas as seguintes categorias: 1) alterações climáticas; 2) toxicidade humana; 3) acidificação terrestre; 4) eutrofização de água doce; 5) eutrofização marinha; 6) ecotoxicidade terrestre; 7) ocupação da terra agrícola; 8) depleção de água; 9) depleção de fósforo; 10) formação fotoquímica oxidante; 11) ecotoxicidade de água doce; e 12) ecotoxicidade marinha.

Usando método de análise multicritério *fuzzy* para analisar o desempenho ambiental de uma indústria de alimentos, Pipatprapa, Huang e Huang (2016) utilizam a modelagem de equações estruturais (SEM) para estimar relações causais usando uma combinação de dados estatísticos e hipóteses causais qualitativas e o Processo de hierarquia analítica difusa (FAHP), utilizado para projetar para situações a subjetividade afeta o processo de decisão e podem ser quantificados usando uma escala numérica que prioriza alternativas. Foi proposto 11 itens de construção que definem três critérios (gerenciamento de qualidade, orientação de mercado e capacidade de inovação) que afetam o desempenho ambiental. Os subcritério consiste em: 1) design de qualidade; 2) política de qualidade; 3) garantia de qualidade ; 4) controle de qualidade; 5) melhoria da qualidade; 6) orientação ao cliente; 7) orientação do concorrente; 8) interação- Orientação de função; 9) inovação de processo; 10) conhecimento e competência; e 11) suporte organizacional. Uma escala de *Likert* de nove pontos foi utilizada para comparar entre os critérios e a escala variou de 1 = "Igualmente importante" para 9 = "Extremamente importante".

Rebelato *et al.* (2017) apresentaram em seu estudo uma análise de desempenho ambiental de um pequeno negócio brasileiro da indústria de fundição, por meio da ponderação quantitativa do impacto ambiental referente a cada resíduo/subproduto pelo método IAHP, em que foi analisado dos resíduos apontados aos impactos no solo, água e ar.

Por outro lado, apesar das metodologias existentes da literatura, existem empresas que optam pela criação de sistemas próprios, adaptados à sua realidade específica. O mesmo se aplica a seleção dos aspectos que ramificarão em indicadores que sustentarão a avaliação do desempenho ambiental da organização (TAHIR; DARTON, 2010).

Vale destacar que os métodos de desempenho ambiental também devem levar em conta as singularidades dos produtos e dos processos. Deste modo, cada processo de produção tem aspectos específicos a serem considerados para a seleção dos indicadores ambientais mais adequados, que abranja os aspectos definidos no objetivo e escopo, para que seja de forma eficaz a definição e análise do inventário do produto.

Segundo os autores Song, Fisher e Cui (2016), a literatura relevante corrobora que a teoria e o método de avaliação do desempenho ambiental com grandes dados ainda podem ser significativamente melhorados em pelo menos três aspectos:

1. O sistema teórico tradicional da axiomatização da avaliação do desempenho ambiental precisa ser melhorado. Deve ser estabelecido um sistema de avaliação de desempenho ambiental científico, perfeito e viável, adaptável a grandes dados, de modo que a avaliação do desempenho ambiental possa ser conduzida de forma mais precisa em termos de colaboração com o aumento dos dados dos indicadores, podendo fornecer informações oportunas e precisas para o gerenciamento ambiental e de tomada de decisões nesse âmbito;
2. Um sistema de avaliação de desempenho ambiental que usa dados importantes baseia-se em diferentes campos científicos, incluindo ciência de gestão, ciência da computação, estatística e ciência ambiental, e processos de avaliação específicos envolvem a melhoria e

integração dos métodos DEA, AVC e inteligência artificial. Decidir as maneiras pelas quais selecionar, estender, combinar e testar esses métodos é a chave para melhorar o coeficiente de confiança da avaliação.

3. As informações não estruturadas devem ser coletadas, organizadas, agrupadas e resumidas durante os processos de avaliação para minimizar a perda de informações. Além disso, quando, após o tratamento, grandes dados expressam condições de amostras infinitas e indicadores finitos, as regras sobre a homogeneidade da amostra devem ser configuradas e a homogeneização deve ser aplicada a amostras não homogêneas por meios viáveis.

Novos modelos estendidos devem ser projetados com base em teorias de avaliação de desempenho ambiental tradicionais e métodos para construir o sistema de teoria e método de avaliação de desempenho ambiental usando grandes dados. Isso requer a identificação efetiva e o sequenciamento completo de uma grande quantidade de dados, uma análise da relação entre resultados indesejáveis e entre entradas e resultados desejáveis, o processamento de informações dinâmicas e não estruturadas, uma medição efetiva de dados imprecisos e instáveis, uma tecnologia de homogeneização para dados não-homogêneos e a consideração da avaliação de desempenho combinada que pode fazer uso múltiplo de insumos. Depois de verificar a aplicabilidade, a confiabilidade e a estabilidade de tal sistema de teoria e método (SONG; FISHER; CUI, 2016).

2.3. Indicadores de desempenho ambiental

Os indicadores são usados para descrever a grande quantidade de dados ambientais de uma empresa de forma abrangente e concisa (JASCH, 2000). De acordo com os autores Delai e Takahashi (2008) “[...] mensurar a sustentabilidade é imprescindível para inseri-la no processo de decisão de todos os níveis organizacionais. Essa mensuração pode ser feita por meio de índices ou conjunto de indicadores”.

São parâmetros aplicados principalmente para definir dados absolutos de material e energia despendida em relação a outras variáveis, a fim de aumentar o valor informacional dos dados quantitativos, assegurando a comparação entre os dados (JASCH, 2000; PEROTTO *et al.*, 2008).

Os indicadores de desempenho ambiental servem como parâmetro para verificar se as emissões estão dentro dos padrões exigidos pela legislação, assim como se esses e outros aspectos produtivos obedecem às normas ambientais internas das empresas, estabelecidas por um plano de objetivos e metas. Os indicadores são também usados para que os *stakeholders* acompanhem o desempenho de uma organização (GUIMARÃES *et al.*, 2017).

De acordo com ISO 14.031, os indicadores de desempenho ambiental devem ser divididos da seguinte forma.

1. Indicadores de Desempenho Ambiental (EPI): expressão específica que fornece informações sobre o desempenho ambiental de uma organização, que são divididas em:
 - Indicadores de desempenho de gerenciamento (IDG): que fornecem informações sobre os esforços de gerenciamento para influenciar o desempenho ambiental de uma organização; e
 - Indicadores de Desempenho Operacional (IDO): indicador de desempenho ambiental que fornece informações sobre o desempenho ambiental das operações de uma organização;
2. Indicadores de Condição Ambiental (ICA): expressão específica que fornece informações sobre as condições locais, regionais, nacionais ou globais do meio ambiente.

Conforme Jasch (2000), os indicadores desempenho ambiental são principalmente aplicados para definir dados absolutos sobre as entradas e saídas de um sistema produtivo e podem ser utilizados para aumentar o valor informativo de dados quantitativos. Nesse sentido, os indicadores ambientais têm os seguintes propósitos:

- Comparação do desempenho ambiental ao longo do tempo;
- Destaca potenciais de otimização;
- Derivação e busca do alvo ambiental, para melhorias;

- Identificação de oportunidades de mercado e potenciais de redução de custos;
- Avaliação do desempenho ambiental entre empresas (*benchmarking*)
- Ferramenta comunicacional para relatórios ambientais;
- Instrumento de *feedback* para informação e motivação da força de trabalho; e
- Suporte técnico para normas de gestão ambiental, como a ISO 14.001.

A maior força dos indicadores ambientais está na análise numérica de tendências e comparações periódicas. Sujeito a uma avaliação regular e controle de metas, os indicadores ambientais podem destacar as tendências adversas através do controle ambiental, adotando sistemas de alertas ambientais (JASCH, 2000).

Segundo Perotto *et al.* (2008), os indicadores apoiarão as organizações na quantificação e na elaboração do relatório dos desempenhos ambientais, com isso, é necessário associar um ou mais indicadores a cada aspecto ambiental. Os indicadores permitem classificar e resumir os dados relativos aos aspectos ambientais, devolvendo uma imagem imediata e representativa da situação da empresa em relação à sua situação ambiental, conforme com o contexto local da organização, diante os objetivos e limite de estudo definido.

Esses autores ainda relatam que os indicadores devem abordar os impactos ambientais mais significativos, em que a empresa pode influenciar diretamente por meio de suas operações, gerenciamento, atividades, produtos e serviços, além de devem ser sensíveis suficiente para refletirem mudanças significativas nos impactos ambientais. Esses valores são essenciais, pois representam o termo de referência para todas as futuras avaliações de desempenho ambiental.

A utilização dos indicadores é necessária para a tomada de decisão na empresa, principalmente no que tange o cumprimento das normas, legislação e da estratégia organizacional traçada. Estes também reforçam a otimização dos recursos limitados para a resolução dos problemas ambientais, bem como possibilitam a reflexão em busca de melhorias das práticas de negócio e desempenho organizacional (HENRI; JOURNEAULT, 2008).

Em 2002, a Instituição de Engenheiros Químicos (IChemE) publicou um conjunto de indicadores de sustentabilidade para medir a sustentabilidade das

operações dentro da indústria. O IChemE fornece formulários de relatórios padrão e tabelas de conversão. Esta estrutura é menos complexa e orientada para o impacto ambiental. No entanto, o quadro favorece fortemente os aspectos ambientais, bem como indicadores quantificáveis que podem não ser práticos em todas as práticas operacionais, por exemplo, nas fases iniciais do ciclo de vida de um projeto (ICHEME, 2002).

O Índice de desempenho ambiental, ou em inglês *Environmental Performance Index* (EPI), aborda a necessidade de avaliar o desempenho das políticas na redução dos riscos ambientais na saúde humana e na promoção da vitalidade do ecossistema e na gestão de recursos naturais. O EPI centra-se nos resultados atuais sobre o terreno em um conjunto básico de questões ambientais monitoradas. O EPI baseia-se numa abordagem de proximidade a alvo que mede o desempenho do país em relação a um objetivo absoluto estabelecido por acordos internacionais, normas nacionais ou consenso científico. Todas as variáveis são normalizadas em uma escala de 0 a 100, o valor mínimo de zero caracteriza o pior cenário. Os pesos são retirados de mecanismos estatísticos ou por especialistas em consultoria (BÖHRINGERA; JOCHEM, 2007).

Os principais métodos de indicadores de avaliação de desempenho ambiental foram desenvolvidos em sua maioria em países da Europa, como os métodos: CML 2002, Eco-indicator 99, EDIP 97 e EDIP 2003, EPS 2000, Impact 2002+, MEEuP e ReCiPe. Os métodos LUCAS e TRACI têm origem na América do Norte e o método LIME foi desenvolvido pelo Japão. Os métodos mais recentes, USEtox e IMPACT World+, foram desenvolvidos por grupos de pesquisadores de todo o mundo, o demonstra uma tentativa de globalização quanto à aplicação desses métodos (MENDES; BUENO; OMETTO, 2015) .

Em seu estudo, Song, Jian-Lin e Cui (2016) afirmam a maioria dos estudos de ADA enfoca principalmente os métodos específicos de avaliação do desempenho ambiental e seus domínios específicos de aplicação, sem chegar a conclusões sobre como medir o desempenho ambiental precisamente, e ainda não foi elaborado um estudo teórico, científico, específico e fortemente operacional.

Muitas vezes para a avaliação do desempenho ambiental os critérios e indicadores são em conjunto quantitativos e qualitativos e sua integração

harmoniosa é um desafio. O desafio que se coloca é dupla: a quantificação de indicadores qualitativos e homogeneizar todas as avaliações indicador em uma escala comparável uniforme (OPHER; SHAPIRA; FRIEDLER, 2017).

Sintetizando, a mensuração do desempenho ambiental e integração ao sistema de medição de desempenho das empresas não é tarefa fácil devido à complexidade intrínseca a esse conceito multifacetado. Tarefa que se torna ainda mais complicada quando não há consenso sobre o que e quem deve ser avaliado. No entanto, é fundamental incorporar verdadeiramente a mensuração ambiental das empresas, a fim de abraçar as oportunidades e gerir o risco derivado dela e contribuir para o desenvolvimento sustentável de toda a sociedade (DELAÍ; TAKAHASHI, 2011).

Desta maneira, os esforços estão cada vez mais dedicados a resolver problemas em programas de indicadores, como a falta de transparência, foco primário em medidas padrão, a capacidade preditiva limitada de indicadores selecionados e a falta de orientação na implementação dos indicadores (SEARCY; KARAPETROVIC; MCCARTNEY, 2005). Desta forma, sem muito consenso, muitos autores apresentam na literatura variados modelos e ferramentas para identificar e avaliar práticas de desempenho ambiental.

3. INDÚSTRIA DE COURO: UMA ABORDAGEM DA PRODUÇÃO AOS RESÍDUOS

A indústria de couro é integrante de diferentes cadeias produtivas. É dependente da pecuária de corte e dos frigoríficos, que fornecem sua principal matéria-prima, que é a pele animal. A indústria compõe-se especialmente dos curtumes, que fabricam o couro, e fornece para diferentes indústrias, que utilizam o couro como um de seus insumos, como as indústrias de calçados e artefatos, vestuário, móveis e automobilística, como ilustra a Figura 3 (LEAL, 2007).

Corroborando com o exposto acima, segundo IBGE (2016) durante o primeiro trimestre de 2016 a maior parte das peles recebidas pelos curtumes no Brasil teve procedência de matadouros e frigoríficos, que responderam juntas por 89,5% do total apurado no período.

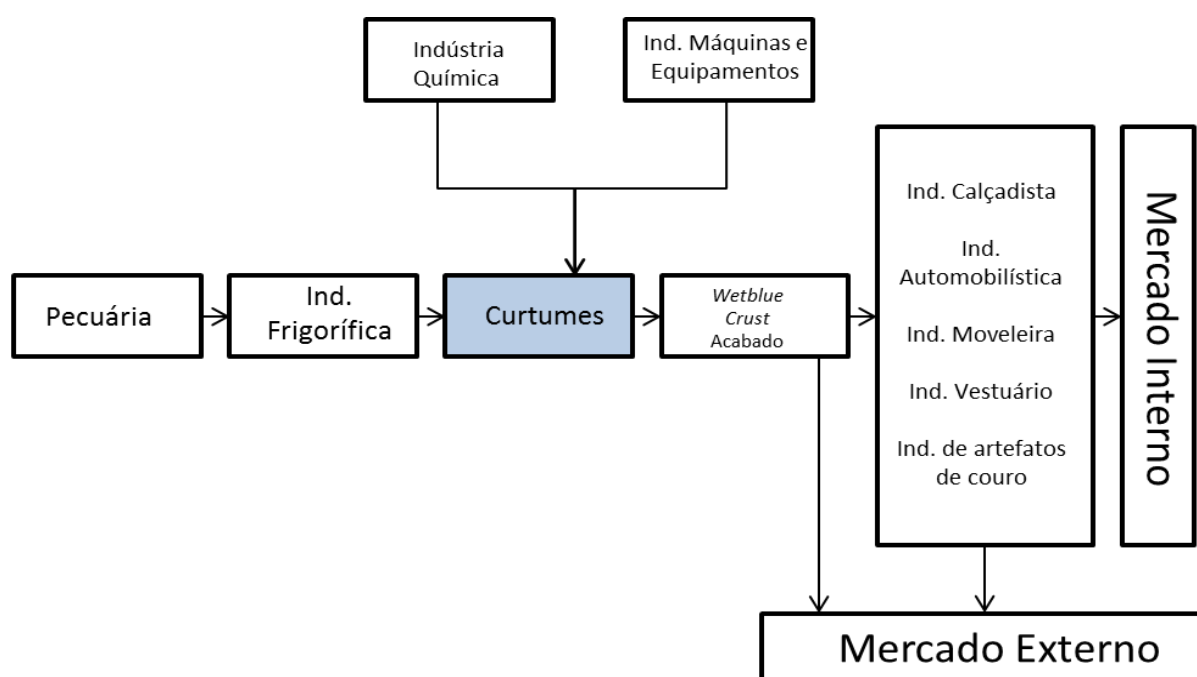


Figura 3. Cadeia produtiva de couro e derivados
Fonte: Adaptado de Leal (2007).

É evidente que a indústria de couros e peles é um dos principais subsetores agropecuários com um elevado potencial para o desenvolvimento socioeconômico e impacta positivamente no desenvolvimento rural, criação de riqueza e emprego (KHAN; HOSSIN; AKBOR, 2015).

Com grande importância para o setor, o Brasil possui o segundo maior rebanho bovino do mundo, ultrapassado apenas pela Índia (SCHLESINGER, 2010). O Brasil é o segundo maior produtor de carne bovina, com cerca de 9.470 milhões de toneladas em 2016 (USDA, 2017), e ainda é o maior exportador e o detentor do maior rebanho comercial de bovinos de corte do mundo, com efetivo de 215,2 milhões de cabeças em 2015 (IBGE, 2016).

Desde modo, seguindo os mesmos parâmetros econômicos, pois é uma cadeia produtiva interdependente, conforme relatório da FAO (2015), o Brasil é o terceiro maior produtor mundial, com a produção em 2014 de aproximadamente de 43 milhões de pele/couro, ficando atrás apenas da China e da Índia, com 51 milhões e 46 milhões, respectivamente (BAIN & COMPANY, 2014; FAO, 2015). Estima-se que em 2017 o crescimento da produtividade em curtumes será de aproximadamente 5% (CICB, 2016).

O Brasil é o terceiro maior país que mais exporta couros e peles no mundo. Em 2013, teve um ganho de aproximadamente 2 bilhões de dólares (FAO, 2015) e exportou principalmente para a China, Hong Kong, Itália e Estados Unidos (CICB, 2016), mostrando sua grande importância para a economia brasileira.

Quanto às importações de couros e peles do Brasil em 2016, foi comprado do mercado externo US\$ 30,87 milhões, representando um crescimento de 58,8% em relação a 2015. Já as exportações brasileiras de couros e peles, somaram US\$ 2,033 bilhões no mesmo período, o que resulta em um superávit de mais de US\$ 2 bilhões na balança comercial de couros do país. Para 2017, a previsão das vendas de couros compreende um crescimento de 5% em área. (CICB, 2016).

Estima-se que do couro produzido no Brasil, cerca 70% é exportado e o restante é vendido para indústria nacional, principalmente para a calçadista, que é a quarta maior produtora do mundo, com cerca de 183 milhões de pares no ano de 2013, ficando atrás da China, Itália e México (FAO, 2015; BAIN & COMPANY, 2014).

Enquanto os países em desenvolvimento detêm mais de 78% do rebanho bovino mundial, eles produzem em conjunto aproximadamente de 64% do número de peles, ou 57% da produção total em peso (EIPPCB, 2013). No Brasil, existem tentativas por meio de políticas de desenvolvimento do setor curtumeiro para a adoção de medidas que desestimulam a exportação de couro *wetblue* (couro recém-

curtido, com aspecto azulado devido à adição de cromo do curtimento), como meio de preservar a geração de valor agregados pelas indústrias, para assim estimular o uso da tecnologia e a incorporação do o ciclo completo de produção para estimular a competitividade. Visto ainda que algumas medidas vão de cobrança de impostos até proibição de exportação de peles cruas (BAIN & COMPANY, 2014).

Além do prejuízo no valor agregado, o Brasil como exportador de *wetblue*, pode-se ter várias consequências ambientais, uma vez que as primeiras etapas de transformação do couro são consideradas mais poluentes na cadeia produtiva, além de ter um grande consumo de recursos hídricos (BAIN & COMPANY, 2014).

3.1. Indústria do Couro: produção e análise dos resíduos/subprodutos

O grande uso de produtos de couro é justificado pelos benefícios em relação a outras matérias-primas. É visto que a pele animal tratada tem alta capacidade se adequar a qualquer forma, boa resistência ao atrito, maior vida útil, permite a transpiração e aceita muitos tipos de acabamento (GORINI; CORREA; SILVA, 2000).

A indústria coureira lida com o processo em que peles de animais crus são convertidas em couro. Durante este processo, o couro é feito resistente à deterioração biológica, estabilizando a estrutura de colágeno da pele, usando produtos químicos naturais ou sintéticos (SCHJOLDEN, 2000; CASTRO, 2011).

No processo de coureiro, as peles bovinas, são colocadas em contato com as substâncias curtentes, em que deslocam a água intercelular e combinam com as fibras da matriz do colágeno, desenvolvendo a resistência ao calor, a degradação microbiana, enzimática e a hidrólise, além de proporcionar flexibilidade e estabilidade ao couro. O agente curtente mais usado atualmente é o cromo (Cr), com mais de 95% de uso nas indústrias curtumeiras do Brasil, conforme Tabela 1 (SANTOS et al., 2002; CASTRO, 2011; MALEK; HACHEMI; DIDIER, 2009).

ANOS	PRODUÇÃO DE COUROS	AO CROMO	PART. (%) CROMO	AO TANINO	PART. (%) TANINO
1992	23,00	19,55	85,02	3,25	14,11
1993	24,00	20,19	84,12	3,55	14,79
1994	26,00	22,68	87,22	3,01	11,59
1995	27,00	23,97	88,79	2,68	9,91
1996	28,50	25,10	88,07	2,80	9,81
1997	29,10	26,64	91,56	2,18	7,50
1998	30,20	28,13	93,13	1,87	6,19
1999	31,30	28,00	94,00	1,51	4,83
2000	32,50	31,01	95,43	1,10	3,39
Var.92/00(%)	41,30	58,60		(66,02)	

Tabela 1. Métodos de curtimento do couro bovino
Fonte: Santos *et al.* (2002).

A tecnologia de fabricação do couro requer várias etapas de processamento, com adições sequenciais de produtos químicos, alternando com lavagens e processos mecânicos para estabilização da matriz de colágeno, proteção da degradação e putrefação, ataque enzimático e estresses termomecânicos (JOSEPH; NITHYA, 2009). O processo de transformação da pele animal pode variar, pela alta dependência do produto final a ser obtido, porém o sistema mais usado é o por batelada e com o sistema de tambores rotativos, denominados no Brasil de fulões, que consistem em grandes recipientes cilíndricos, normalmente de madeira nobre conservada, em que as dimensões podem variar de 1 a 5 metros de altura e largura, com capacidades variando de alguns quilogramas até 20 toneladas ou mais, e com rotação de 2 a 12 rpm, conforme processo e necessidade (STOOP, 2003; SAUER, 2006).

O processo de curtimento pelo cromo é mais utilizado devido ao menor tempo utilizado e menor custo de produção, quando comparado com outros agentes curtentes minerais e/ou vegetais. A substância mais utilizada é o sulfato básico de cromo trivalente (Cr_2O_3), que possibilita uma maior resistência a matriz do colágeno existente na pele, em que a Figura 4 ilustra a ligação do cromo com o colágeno por meio dos grupos de carboxilas livres dos aminoácidos das proteínas, em que resulta uma ligação covalente muito estável (CASTRO, 2011; JOSEPH; NITHYA, 2009; MALEK; HACHEMI; DIDIER, 2009).

O $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ ioniza-se, formando uma substância que penetra na pele crua a um pH abaixo de 3,0, acontecendo a fixação do cromo na proteína da pele por meio dos grupos carboxílicos livres, formando assim uma estrutura estável. Para acertar o pH, é acrescentado o bórax que fixa o cromo nas fibras do couro (ABREU; TOFFOLI, 2003).

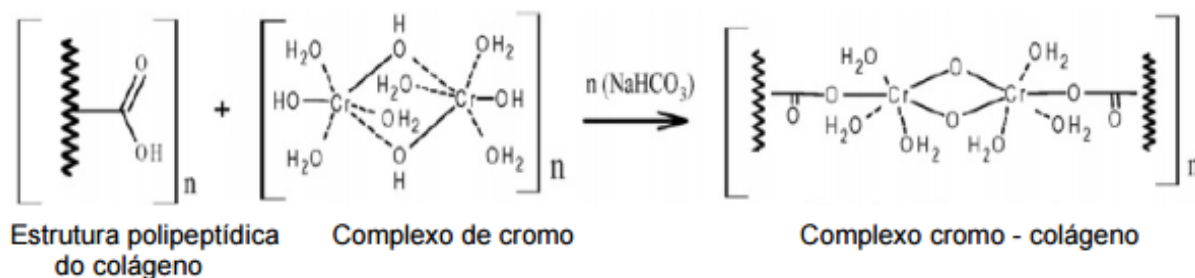


Figura 4. Esquema da formação do complexo cromo-colágeno no processo de curtimento de couro

Fonte: Malek, Hachemi; Didier (2009) e Castro (2011).

O pH básico do sulfato de cromo é determinante no processo de curtimento do couro, pela sua importância na difusão do sal e a fixação do cromo na pele, no entanto o sal mais utilizado é com a basicidade de 33% ou menos, evitando um curtimento superficial. Todavia, estima-se que mais de 60% do sal de cromo utilizado no processo converta em resíduo sólido (CASTRO, 2011), assim tornando um grande problema ambiental, uma vez que o Cr é considerado uma substância tóxica para a saúde ambiental e humana, no qual é responsável por 40% da poluição gerada por esse composto.

Segundo Santos *et al.* (2002) e Ferrari (2015), os curtumes podem ser caracterizados de acordo com o estágio de processamento do couro, como explicitado abaixo:

- Curtume de *wetblue*: Desenvolve o primeiro processamento de couro, qual seja, logo após o abate, o couro salgado ou em sangue é despelado, graxas e gorduras são removidas e há o primeiro banho de cromo e o couro passa a exibir um tom azulado e molhado.
- Curtume Integrado – Realiza todas as operações, processando desde o couro cru até o couro acabado.

- Curtume de Semiacabado – Utiliza como matéria-prima o couro *wetblue* e o transforma em couro *crust* (semiacabado).
- Curtume de Acabamento – Transforma o couro *crust* em couro acabado.

Um fator que influencia na competitividade do couro é quanto a qualidade da pele, e no Brasil infelizmente a problemática da qualidade desta matéria prima tem gerado várias discussões, pois a falta de qualidade do couro brasileiro acaba gerando uma desvalorização frente ao mercado internacional. Segundo Contador Júnior (2004), a produtividade do couro brasileiro é muito baixa, na qual apenas 8,6% do couro produzido é de primeira qualidade, e mais de 77% é abaixo da quarta qualidade.

A pele de baixa qualidade onera os custos de produção e prejudica o meio ambiente, porque essas peles necessitam de correções nas áreas afetadas por lesões e defeitos, ocasionadas por riscos, cicatrizes, perfurações e pontas não aproveitáveis na produção de couros, com a necessidade de uma maior quantidade utilizada de material e insumos (SOUSA, 2015; CORRÊA, 2001).

Como meio de reverter esse quadro, foi criado programas desde 1996, como da parceria a *United Nations Industrial Development Organization* (UNIDO) e Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil (CICB), juntamente com o SEBRAE Nacional, na qual foi criado um Programa para Melhoria do Couro, que teve a adesão de técnicas simples por parte de pecuaristas, no transporte dos animais e no processamento dos curtumes, pretendendo a redução das perdas evitáveis, que custam US\$ 1 bilhão anuais à cadeia produtiva. Dentre os resultados obteve uma redução de couros furados de 40% para apenas 5% (RUPPENTHAL, 2001; CICB, 2015; SOUSA, 2015).

Esse programa é um sucesso, conduzido em dezenove estados, mobilizou entre os anos de 2004 e 2006, 500 mil pecuaristas, 18 mil trabalhadores em esfolagem e 1.080 universitários, que atuaram como multiplicadores de informações técnicas para pequenos criadores (CICB, 2015).

As atividades curtumeiras enfrentam um grande problema ambiental, uma vez que somente 20 a 25% do peso da matéria prima bruta inicial se transforma em pele

acabada, e o restante dos insumos utilizados geram uma grande quantidade de resíduos sólidos (PACHECO-BLANCO; COLLADO-RUIZ; CAPUZ-RIZO, 2015).

3.2. Etapas do processo produtivo

A conversão de peles em couro geralmente é feita em duas etapas. A primeira etapa envolve o processamento de couro cru salgado molhado em couro semiacabado. O produto deste passo de processamento é chamado de couro *wetblue*. A segunda etapa do processamento envolve a conversão de *wetblue* em couro acabado para produção de artefatos de couro. As entradas diretas incluem peles, produtos químicos, água e as saídas principais são o couro acabado, as águas residuais e os resíduos sólidos. As águas residuais muitas vezes são descarregadas sem nenhum tratamento e resíduos sólidos descartados em lixões ou aterros domésticos, prática realizada principalmente em países subdesenvolvidos (JOSEPH; NITHYA, 2009).

O processo de curtimento do couro, como mostrado na Figura 5, tem quatro principais etapas, que é o pré-curtimento, curtimento, pós-curtimento e acabamento, que pode ser dividido em pré-acabamento e acabamento final. A primeira etapa tem como objetivo limpar a pele, assim como eliminar todos os pelos e condicionar para o curtimento, dando a elasticidade e flexibilidade necessária a pele. O curtimento é o processo que dá a pele o caráter inerte frente aos agentes externos, onde é realizado a penetração dos princípios ativos para ajuste do pH entre a pele e os agentes curtentes, na qual posteriormente procura-se favorecer a reação das moléculas curtentes com a estrutura proteica da pele, e o acabamento confere a pele o aspecto desejado para a fabricação do artefato de couro, conforme cliente e empresa exige (PACHECO-BLANCO; COLLADO-RUIZ; CAPUZ-RIZO, 2015; AQUIM; GUTTERRES; TESSARO, 2004; FERRARI, 2015).

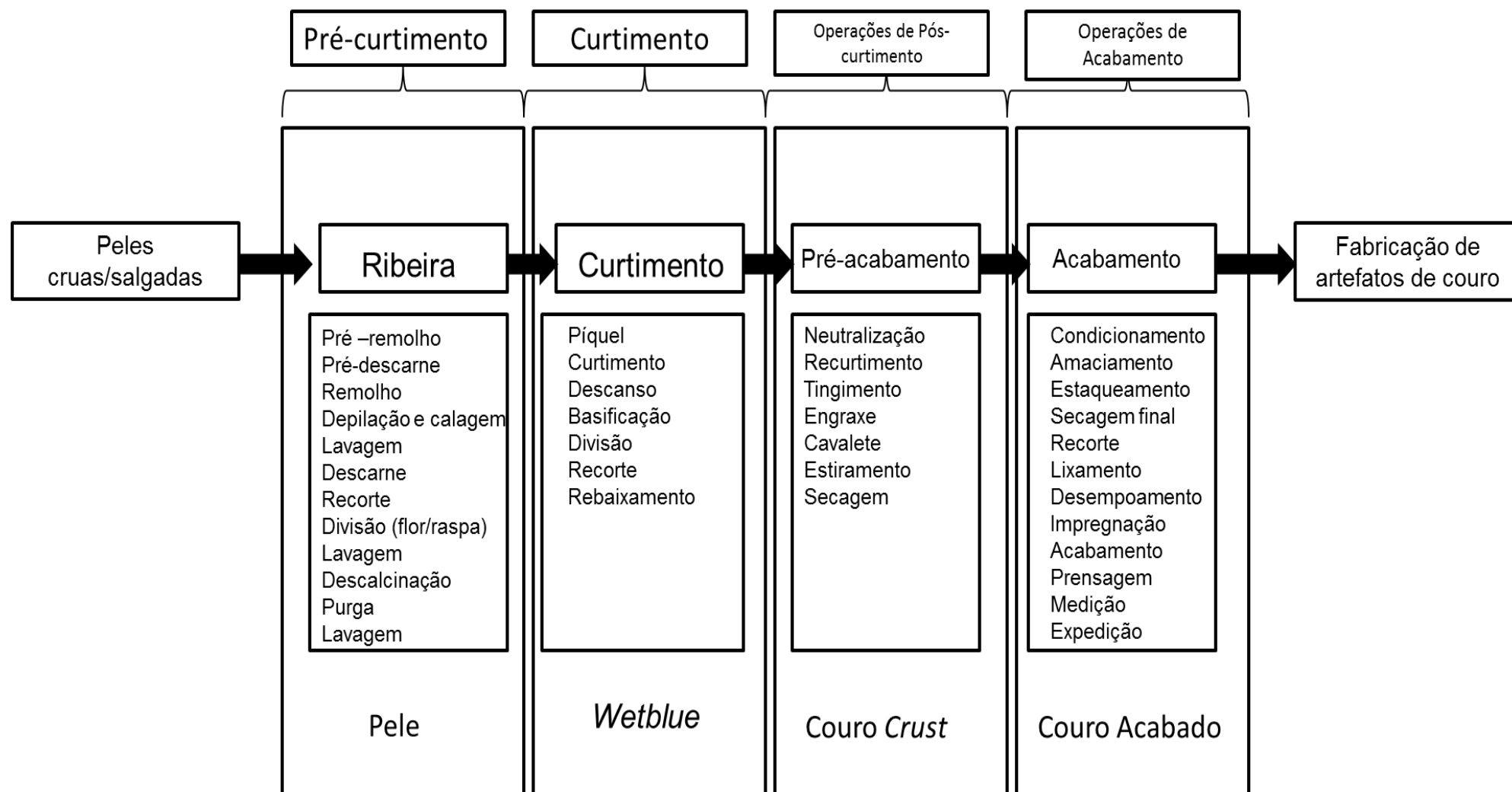


Figura 5. Fluxograma da fabricação de couros.

Fonte: Elaborado pela autora baseado em Aravindhan *et al.*(2007) e Ferrari (2015).

Como supracitado, as peles sofrem operações mecânicas como descarte, divisão, enxugamento, rebaixamento, estiramento, vácuo, lixamento, amaciamento, prensagem e medição, e por processos químicos que utilizam a água como difusor dos produtos químicos, como, remolho, caleiro, desengalagem, purga, desengraxe, piquelagem, curtimento, neutralização, recurtimento, tingimento, engraxe, acabamento (GOMES, 2007).

3.2.1. Conservação da pele

Após o abate do animal, para início da preparação do couro, realiza-se a operação de esfolagem que é a remoção da pele do animal dividida em quatro zonas: cabeça, ombros, flancos e grupão. Essa pele é denominada como pele verde ou fresca, que contém aproximadamente 65% de água (SOUSA, 2015).

Como trata de uma pele fresca e sem nenhuma defesa a agentes externos, quando precisa de transporte ou estocagem ou serão utilizadas quatro horas após o abate, as peles devem ser lavadas na salmoura, seguindo a salga seca para provocar a desidratação e eliminar possíveis variáveis de putrefação (SOUSA, 2015; ABREU, 2006; AQUIM; GUTTERRES; TESSARO, 2004). Em alguns casos, a conservação também é feita por meio de resfriamento, secagem, ou ainda, pesticidas, antes da aplicação do sal, como tratamento auxiliar.

Segundo Ruppenthal (2001), mesmo a etapa de conservação da pele seja de suma importância para o processo curtumeiro, poucas tecnologias ou inovações foram implementadas. Além disso, a conservação das peles com a impregnação do sal é desvantajoso para o meio ambiente, porque quando descartado sem tratamento faz aumentar a pressão osmótica do efluente, impedindo o crescimento de algumas espécies de peixes.

3.2.2. Ribeiro

As peles que chegam ao curtume são muitas vezes salgadas, para preservar o couro durante o transporte e armazenamento, nas quais elas precisam ser lavadas para remover o sal e sujeira, bem como resíduos e sangue do abate. Em seguida, os

couros são colocados em grandes banhos com cal e sulfeto de sódio, a fim de remover o pelo da pele e abrir a estrutura da fibra ou poros. Após a calagem, as peles são tomadas através de uma máquina de divisão que remove a carne do lado da carne do couro. Em seguida, eles são lavados, e antes que fiquem prontos para o processo de curtimento em si, os couros são tratados com enzimas e o pH é ajustado (SCHJOLDEN, 2000).

O processo da ribeira é responsável pelo alto consumo de água, uma vez que tem a função de limpar o couro, remover o cabelo e prepará-lo para o processo de curtimento. As operações que compreendem o processo da ribeira que usam grande quantidade de água são: pré-imersão, remolho, depilação/calagem, enxágue, descarnar, descalcinação e purga, junto com as lavagens entre os processos para uma melhor eliminação de impurezas e produtos químicos da pele crua ou salgada (AQUIM; GUTTERRES; TRIERWEILER, 2010).

A operação de pré-curtimento é essencial porque é a etapa que realiza a limpeza e remoção dos materiais não proteicos, com isso diminuindo o risco de degradação da pele animal (CASTRO, 2011) e preparando para o curtimento, para dar a estabilidade necessária ao couro.

3.2.2.1. Pré-Remolho

É o processo de lavagem das peles salgadas tem como objetivo de limpeza do cloreto de sódio aplicado para conservação e a hidratação parcial das peles, bem como retirar parte do sangue e facilitar a remoção de proteínas não estruturais (sem colágeno) e sujeira para preparar as peles para tratamento posterior (NAZER; AL-SA'ED; SIEBEL, 2006; GAMBÁ, 2012). Segundo Claas e Maia (1994), é um estágio que é realizado com cerca de 200% da massa de peles e com duração de dez minutos a uma hora, determinado segundo estado de conservação da pele.

3.2.2.2. Pré-descarne

É a operação mecânica executada na máquina de descarnar, que tem como escopo cortar a parte inferior da pele (restos de carne), carnal, gordura ou fibras não

aproveitáveis deixados na esfolia. Gera um resíduo que pode gerar um lucro quando vendido para indústrias de gelatina ou ração animal, além da economia de produtos químicos, esses resíduos são chamadas de aparas não caleadas (CLAAS; MAIA, 1994).

3.2.2.3. Remolho

Esta fase umedece a pele e limpa a partir de excrementos, sangue, proteínas e carboidratos solúveis (FARENZENA *et al.*, 2005). Segundo Claas e Maia (1994) é um processo que tem como foco a reposição de água, no menor espaço de tempo, além da limpeza das peles, com a eliminação das impurezas, proteínas e materiais interfibrilares. A duração dessa etapa pode durar até 48 horas, na qual fica sujeita ao estado de conservação da pele.

Na maioria das vezes a água originada dessa etapa é ligeiramente alcalinizada e contém algum tipo de desinfetante, para auxiliar na remoção das sujeiras, sangue, sal e sebo (RUPPENTHAL, 2001). Em suma, é um processo destinado a remover os produtos químicos em excesso e substituição da água da pele (FARENZENA *et al.*, 2004).

É uma etapa muito aquosa, com cerca de 300% do peso da pele, chegando a 800% em peles secas. A porcentagem de água utilizada do processo é aproximadamente de 12% do volume total e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em torno de 5% do total do efluente (RUPPENTHAL, 2001), devido a preservação dos couros crus em sua umidade, e eliminando a sujidade, estrume, sangue, conservantes (cloreto de sódio, bactericidas) etc. (VERHEIJEN *et al.*, 1996).

3.2.2.4. Depilação e caleiro

Considerada uma das fases mais importantes do processo de curtimento, bem como muito poluente. Tem como finalidade a retirada dos pelos e da epiderme. As peles são tratadas com sulfeto de sódio a 3% contendo 25% de sulfureto e 3% de cal hidratada (hidróxido de cálcio) num flutuador (fulão) a 200% (solução constituída por 2 litros de água por kg de peles processadas). O sulfito polpa o cabelo e a

epiderme, a cal é usada como um tampão para manter o pH em cerca de 13, o que faz com que as peles inchem, a rede de fibras de colágeno se abram, e que ajuda a remoção das proteínas não estruturais, e, também, saponifica as gorduras (NAZER; AL-SA'ED; SIEBEL, 2006; RUPPENTHAL, 2001; CLAAS; MAIA, 1994).

É um banho em fulões com agitação periódica de cerca de 20 horas em uma solução de água, sulfeto de sódio e cal hidratada. O sulfeto de sódio, em meio alcalino, destrói os pelos (RUPPENTHAL, 2001).

De acordo com Claas e Maia (1994) esse processo é altamente poluidor, pois os sistemas de depilação com destruição dos pelos é responsável pela carga poluidora dos efluentes. Ruppenthal (2001) afirma que os sulfetos acrescentados nesse processo podem se transformar facilmente em gás sulfídrico (H_2S) pela ação de microrganismos e ácidos. Além disso, o H_2S é tóxico e com a presença de oxigênio e bactérias, transforma em ácido sulfúrico (H_2SO_4), muito tóxico a vida aquática e a vida humana.

3.2.2.5. *Descarne*

Etapa em que as peles são despojadas de carne (remoção da camada subcutânea) manualmente ou por máquinas (STOOP, 2003). É a operação que tem como objetivo eliminar os resíduos ainda restantes no couro (CLAAS; MAIA, 1994). Denomina como descarne a remoção do tecido adiposo e sebo existentes na face interna da pele. Esses materiais são removidos, dando o nome de pelanca, na qual podem tornar um subproduto, transformados em cola de gelatina ou outros tipos de cola, ou até mesmo em sabão, graxas e velas (RUPPENTHAL, 2001). Esses resíduos quando não subutilizados podem flotar na superfície dos corpos receptores, prejudicando a vegetação aquática.

3.2.2.6. *Recorte*

O recorte é uma etapa simples e muitas vezes manual, em que tem como objetivo aparar e remover apêndices da pele (CLAAS; MAIA, 1994; SAUER, 2006).

3.2.2.7. Divisão

É a etapa mecânica que divide ou racha a pele em camadas, horizontalmente no sentido da sua superfície. O número de camadas depende da espessura escolhida. Na maioria das vezes são duas camadas, denominadas de: flor, para elaboração de produtos mais nobres e a raspa, tido como subproduto (RUPPENTHAL, 2001; CLAAS; MAIA, 1994).

Essa divisão pode variar de etapa, como pode ser realizada em estágio de caleiro, de píquel ou até mesmo após o curtimento (SCHJOLDEN, 2000).

3.2.2.8. Desencalagem

Esse processo que visa a remoção e neutralização de substâncias alcalinas. O primeiro passo é baixar o grau de acidez, já que na depilação chega a um pH de 13, passando para 8, neutralizando a cal da pele desencaleada (CLAAS; MAIA, 1994; STOOP, 2003).

Este processo remove da pele o que foi depositada ou quimicamente combinado substâncias alcalinas. Tem como objetivo permear as fibras de colágeno para facilitar a penetração dos agentes curtidores (VERHEIJEN et al., 1996).

Esse processo tem duração de 20 minutos a 2 horas, e o volume do banho é de 20% a 30% de água em relação a massa das peles. São usados os compostos: sais de amônia, ácidos fracos e bissulfito de sódio (CLAAS; MAIA, 1994).

3.2.2.9. Purga

Os couros desamarrados, carnudos e alcalinos são neutralizados com enzimas, semelhantes aos encontrados no sistema digestivo, para remover os restos de cabelo, degradar as proteínas e remover o restante de sangue e gordura. Além disso, a pele torna-se mais permeável ao ar e à água. Durante este processo as raízes e os pigmentos dos pelos são removidos. Os couros tornam-se um pouco mais suaves por este tratamento enzimático (VERHEIJEN et al., 1996).

Esse passo é realizado por meio de enzimas pancreáticas. As proteínas da pele são parcialmente hidrolisadas e as raízes de sujeira, gordura e cabelos presentes são dissolvidas. Para obter condições de curtimento, as peles têm que ser manipulados com enzimas sem inchar a pele. Por conseguinte, são tratados com uma solução aquosa de ácidos e sal. Além disso, cerca de 0,03 - 2 por cento em peso de fungicidas e bactericidas são adicionados (STOOP, 2003).

Ou seja, a purga é o estágio que visa a limpeza da estrutura fibrosa por ação de enzimas, que destroem materiais queratinos os, gorduras, bulbos, dentre outros. Essa etapa muitas vezes é realizada junto com a desengalgação e leva de 45 a 90 minutos (CLAAS; MAIA, 1994).

Depois para preparação da pele é feito um tratamento com ácido sulfúrico e cloreto de sódio para atingir um pH de equilíbrio de 2,8-3,0. As peles em conserva são tratadas com sulfato de cromo básico 6-8% do peso da pele, usando 100-150% de água como o meio para lavagem (SUNDAR; MURALIDHARAN, 2002).

3.2.3. Curtimento

É o processo que transforma as peles, pré-tratadas na ribeira em estáveis e imputrescíveis. Geralmente o sal mais utilizado é com o cromo, pelo tempo relativamente curto do processo e pela qualidade adicionada ao couro. Geralmente o composto mais utilizado é o sulfato básico de cromo na forma trivalente ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$) (PACHECO, 2005). Esse composto dá um aspecto azulado à pele curtida, razão do reconhecimento do couro *wetblue*.

Na fase de curtimento, as peles são tratados com um agente que desloca a água intercelular e combina com as fibras de colágeno aumentando sua resistência ao calor, hidrólise e degradação microbiana. Curtimento estabiliza o colágeno, no qual os taninos se unem com a proteína da pele para formar couro. Embora os sais de cromo sejam os taninos mais utilizados, também podem utilizar taninos vegetais e sintéticos (NAZER; AL-SA'ED; SIEBEL, 2006).

3.2.3.1. Píquel

A etapa chamada de píquel tem como objetivo conservar e preparar a pele para o curtimento. É um processo salino ácido que visa preparar as fibras colágenas para uma melhor penetração dos agentes curtente. O pH final varia com o tipo de curtimento que se emprega (CLAAS; MAIA, 1994; RUPPENTHAL, 2001).

O banho de píquel é realizado no fulão, é composto de 6 a 10% de cloreto de sódio, 1,0 a 1,5% de ácido sulfúrico e de 60 a 100% de água. E para ajudar na conservação, poderá ser aplicado 0,5 a 1,0% de ácido fórmico (CLAAS; MAIA, 1994).

3.2.3.2. Curtimento

O curtimento converte a pele ou o couro cru em um material estável que seca para uma forma flexível sem putrefação e torna-se adequado para uma ampla variedade de aplicações finais (DIXIT *et al.*, 2015).

O curtimento pode ser feito com agentes de curtimento vegetal, como casca de quebracho ou extrato de acácia, ou quimicamente com cromo. Após as operações da ribeira, a pele recebe o agente curtidor, que proporciona a estabilização da estrutura de colágeno, podendo ser chamada de couro, e se o curtimento foi realizado com os sais de cromo, o couro é descrito como *wet blue* por devido a sua umidade e coloração (AQUIM; GUTTERRES; TRIERWEILER, 2010; SCHJOLDEN, 2000).

Após as etapas anteriores, o pH é baixo são adicionados sais de cromo (Cr^{3+}), assim para fixação do cromo, o pH é aumentado lentamente através da adição de uma base. O processo de curtimento com cromo baseia-se na ligação cruzada de íons de cromo com grupos carboxilo livres no colágeno, transformando a pele em couro resistente a bactérias e altas temperaturas (STOOP, 2003).

Nos processos usuais, são usados quantidades em torno de 2 a 3% de Cr_2O_3 com banho de 50% de água em relação a massa de peles (CLAAS; MAIA, 1994).

Depois de se verificar a penetração de cromo examinando a seção transversal, o pH do banho de curtimento é aumentado para 3,8 a 4,2 usando uma solução alcalina (geralmente MgO) a 10%. A duração do curtimento cromado varia de 4 a 24 horas (SUNDAR; MURALIDHARAN, 2002; STOOP, 2003; NAZER; AL-SA'ED; SIEBEL, 2006).

A pele curtida a cromo contém cerca de 2 a 3% em peso seco de Cr^{3+} . Além disso, o couro cromado é superior ao couro curtido por taninos vegetais devido à sua suavidade, alta estabilidade térmica e água e menos tempo consumindo no processamento (DIXIT *et al.*, 2015).

O resultado dessa etapa é o couro denominado *wetblue*, pela sua umidade e coloração. Este couro, após o processo de curtimento ao cromo, tem cerca de 40 por cento de matéria seca.

O cromo é o grande problema de poluição ambiental para os curtumes, por ser considerado como um contaminante classe I (perigoso) e ainda possui características de fácil oxidação, e assim transformar em cromo hexavalente, que é altamente tóxico para o meio ambiente e a vida humana. Existem vários estudos realizados nesse setor, todavia, não se desenvolveu ainda uma alternativa ao curtimento cromado, que se igualasse à eficiência de custos e desempenho (RUPPENTHAL, 2001).

3.2.3.3. Enxugamento

O enxugamento consiste em uma operação mecânica, realizada na máquina de enxugar, que tem como objetivo remover o excesso de água dos couros. Após essa atividade, os couros são deixados em descanso por até 24 horas para adquirem a espessura normal (CLAAS; MAIA, 1994; SAUER, 2006).

3.2.3.4. Rebaixamento

O rebaixamento consiste em equalizar a espessura da pele curtida. É um processo mecânico, realizado na máquina de rebaixar ou rebaixadeira, que resulta uma espécie de pó ou farelo, que pode ser chamado de serragem. Ambientalmente,

esse resíduo sólido é muito problemático devido ao grande volume gerado, porque o couro brasileiro tem muitas ranhuras e defeitos, além de conter o cromo, já que é um rejeito advindo do couro curtido (CLAAS; MAIA, 1994; RUPPENTHAL, 2001).

3.2.4. Pré-acabamento

Há muitas maneiras de dar ao couro curtido um acabamento ou resultado final dependendo dos desejos do cliente e/ou a qualidade do couro (STOOP, 2003). Visa complementar o curtimento a fim de dar características específicas como tração, impermeabilidades, maciez, toque, elasticidade, flexibilidade, dentre outros.

O acabamento pode ser subdividido em pré-acabamento e acabamento. A função do pré-acabamento é definir a qualidade exigida para o artigo final. Esta operação compreende: a) desacidificação do couro; b) recurtimento com agentes curtidores; c) amaciamento com óleos, que é importante para dar suavidade ao produto; e d) tingimento (SCHJOLDEN, 2000).

O pré-acabamento é a etapa que origina o couro chamado de *crust*, que têm alguns estágios de operações físico-mecânicas, bem como a aplicação de alguns polímeros termoplásticos, manualmente ou por meio de máquinas específicas. Estas operações têm a finalidade de dar algumas das propriedades físicas finais aos couros (PACHECO, 2005; DIXIT *et al.*, 2015).

As etapas até o pré-acabamento são chamadas de parte molhada do processo de transformação do couro, por envolverem banhos e lavagens das peles e liberarem resíduos líquidos (GANEM, 2007).

3.2.4.1. Neutralização

A neutralização é o processo que tem como objetivo a eliminação por meio de produtos químicos suaves a eliminação dos ácidos livres que porventura ainda existentes nos couros de curtimento cromado ou formados durante o armazenamento (CLAAS; MAIA, 1994; STOOP, 2003). O volume do banho varia de 80 a 100% da massa do couro.

Para dar o acabamento ao couro, é necessário que tenha sido previamente neutralizado para evitar problemas de corrosão de metais e irritações cutâneas dos operadores (VERHEIJEN *et al.*, 1996).

Segundo Claas e Maia (1994) os agentes deverão ser sempre na ordem de 1% da massa do couro, a pele é umedecida e a quantidade de ácido ainda presente no couro é neutralizada pela adição de agentes alcalinos, no qual podem ser:

- Sais de ácidos fracos: bicarbonato de sódio, carbonato de sódio, bórax, etc.;
- Agentes complexantes: polifosfatos, acetatos, formiatos, etc.; e
- Sais de taninos sintéticos: sais de tanino sintético na forma de sais de amônio ou de sódio.

3.2.4.2. Recurtimento

O recurtimento é realizado para aumentar a eficiência do curtimento, com isso adiciona-se um novo lote de cromo trivalente (VERHEIJEN *et al.*, 1996).

Segundo Stoop (2003), para a confecção de couro de alta qualidade, os cortes são recurtidos com sais de cromo e/ou com taninos vegetais. No entanto deverá dar uma série de características e propriedades ao couro, de acordo com sua finalidade (RUPPENTHAL, 2001).

O banho utilizado deve ser de 100 a 150% sobre a massa de peles do processo, no entanto a porcentagem do curtente utilizado dependerá das características que deverão ser atingidas e o tipo de agente utilizado (CLAAS; MAIA, 1994).

3.2.4.3. Tingimento

O tingimento é o processo que dá a cor escolhida para o produto final. Geralmente são utilizados corantes de caráter químico aniônico e caráter químico catiônico (CLAAS; MAIA, 1994; SAUER, 2006).

Segundo Sauer (2006) os corantes mais empregados nos curtumes são os corantes ácidos, básicos, diretos e reativos, em que proporcionam uma cor intensa,

porém existe a prerrogativa do aumento na toxicidade dos efluentes, que podem ser liberados no final do processo, que em grande escala causam uma poluição ambiental de alto risco.

O volume do banho depende do grau do tingimento pretendido, uma vez que quanto maior o volume do banho, mais leve será o tingimento. Além da quantidade do corante utilizado dependerá da indicação do fabricante (CLAAS; MAIA, 1994).

3.2.4.4. Engraxe

O engraxe é o processo, que tem como finalidade de lubrificar e proteger as fibras do couro, para maior maciez e toque conforme desejado (RUPPENTHAL, 2001).

Essa etapa serve para envolver as fibras do couro pelo material do engraxe, que oferecem lubrificação, evitando o acúmulo destas durante a secagem (CLAAS; MAIA, 1994).

Os materiais utilizados podem ser óleos de origem animal, vegetal ou mineral, e quanto às especificações químicas, podem ser iônicos (catiônicos ou aniônicos) ou não iônicos. Bem como, o volume do banho varia de 50 a 100%, dependendo do percentual do óleo utilizado (CLAAS; MAIA, 1994).

3.2.4.5. Secagem

O processo da secagem tem como objetivo reduzir o teor de água do couro. O couro final deverá apresentar um teor de umidade de cerca de 15%, configurada por uma água quimicamente ligada às proteínas e pela água dos capilares finos existentes na pele bovina. Deverá ter essa água, apesar da secagem, porque as peles têm que manter as características essenciais do couro (RUPPENTHAL, 2001; STOOP, 2003).

A secagem visa à eliminação do excesso de água que a pele apresenta após o último processo no fulão. Porém, inicialmente os couros são acavaletados, assumindo uma umidade de 70%. Após isso, o couro passa por um processo

mecânico, na máquina de enxugar, para redução do teor de água de 70% para 50% (CLAAS; MAIA, 1994).

Assim, passa por outra etapa de secagem complementar, que pode variar de métodos mais ultrapassados, para tecnologias de alta frequência ou a vácuo, em que o couro deverá chegar ao teor de umidade próximo a 15% (RUPPENTHAL, 2001; AMORIM; VARGAS; DE JESUS, 2014).

3.2.5. Acabamento

O acabamento final, as peles curtidas são finalizadas conforme desejadas pelo cliente. São usados corantes e óleos umectantes para obter o enchimento, suavidade e cor apropriadas. É a etapa que confere ao couro as características finais de maciez, toque, elasticidade, toque, cor, brilho e propriedades físico-mecânicas, dando o aspecto definitivo (CLAAS; MAIA, 1994; STOOP, 2003).

O acabamento final não é realizado com água propriamente, ou seja, um processo “seco”, e sim pela deposição de camadas superficiais de cobertura a base de polímeros e resinas sobre o couro (AQUIM; GUTTERRES; TRIERWEILER, 2010).

3.2.5.1. Condicionamento

O condicionamento visa a reumidificação das peles, elevando-a para aproximadamente 30%, por meio da máquina de reumectar ou câmara úmida (CLAAS; MAIA, 1994).

3.2.5.2. Amaciamento

Essa etapa é realizada de maneira mecânica, e serve para amaciar o couro, quando uma maior flexibilidade e conferir a aparência e atributos finais da pele acabada (CLAAS; MAIA, 1994; RUPPENTHAL, 2001).

3.2.5.3. Estaqueamento

O estaqueamento é um processo mecânico que visa ganhar área no couro, tirando parte da elasticidade, mas esse processo depende do emprego final da pele (CLAAS; MAIA, 1994).

3.2.5.4. Recorte

É uma atividade rudimentar do processo coureiro, na qual é realizada de forma manual com facas, em que são realizadas as possíveis correções da forma do couro, com a retirada de dobras do processo, ou partes inaproveitáveis, buscando uma uniformidade da peça (CLAAS; MAIA, 1994).

3.2.5.5. Lixamento

Segundo Claas e Maia (1994), esse processo é mecânico realizado na máquina de lixamento, em que são realizadas as possíveis correções na flor do couro, a fim de eliminar os defeitos e nivelar a massa de estuco (AMORIM; VARGAS; DE JESUS, 2014).

3.2.5.6. Desempoamento

Estágio do acabamento final que visa a eliminação do pó do lixamento por meio mecânico (CLAAS; MAIA, 1994). Esse processo muitas vezes é realizado junto com o lixamento, com equipamentos já acoplados (AMORIM; VARGAS; DE JESUS, 2014).

3.2.5.7. Impregnação

O processo de impregnação é feito pela aplicação de polímeros termoplásticos sobre a superfície do couro, com a finalidade de preenchimento dos espaços vazios entre a camada flor e a camada reticular da pele, suscitando a

junção das mesmas (CLAAS; MAIA, 1994). Podem ser realizadas por meio mecânico ou manualmente.

3.2.5.8. Acabamento

A etapa do acabamento é onde averigua os aspectos definitivos do couro. Esse pode ser melhorado com aplicação de materiais ligantes, amaciantes, engraxantes e de pigmentação, vislumbrando um melhor brilho, maciez, toque, dentre outras características (CLAAS; MAIA, 1994).

3.2.5.9. Prensagem

A prensagem é o processo mecânico que confere ao couro as principais características almejadas, como lustro, brilho, gravação na flor e adesão do acabamento em geral (CLAAS; MAIA, 1994).

3.2.5.10. Medição

É o ultimo processo, que tem como verificação da área total da pele. Essa operação geralmente é de forma mecânica (CLAAS; MAIA, 1994).

3.3. Resíduos do setor coureiro: panorama geral

A indústria de curtumes está entre as indústrias mais poluentes em termos de volume e a complexidade do tratamento da descarga de efluentes. Principais produtos químicos utilizados para a fabricação de couro são sal, carga orgânica (DBO e DQO), matéria inorgânica, sólidos suspensos, amônia, *Nitrogênio Total Kjeldahl* (TKN), sulfureto, cromo, cloreto de sódio, metais pesados, dentre outros, como apresenta a Tabela 2, que apresenta a carga média da poluição dos resíduos sólidos, sob os aspectos normais. Os efluentes de curtumes também são caracterizados por uma alta geração de águas residuais na faixa de 30-35 L/Kg pele/peles processo com um pH variável, alta concentração de sólidos suspensos,

DBO, cromo, DQO e sulfetos, bem como baixa biodegradabilidade. As águas residuais geradas pelos processos de curtimento, calagem e decapagem em particular, bem como pelos outros processos, contém quantidades elevadas de cromo e sais químicos dissolvidos (DURMAZ; ÇINER, 2017; CHOWDHURY *et al.*, 2013; ANANIAS; PACCA, 2009). Deste modo, levando em consideração o potencial poluidor de um curtume que processa 3.000 peles/dia é equivalente ao de uma população de 85.000 habitantes (FERRARI, 2015).

Parâmetro	Consumo de água	DQO	DBO	SS	Cr ³⁺	S ²⁻	TKN	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Óleos e graxas	TDS
Quantidade por ton./pele	m ³	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
Ribeira	7-25	120-160	40-60	70-120		2-9	9-14	120-150	5-20	5-8	200-300
Curtimento	1-3	10-20	3-7	5-10	2-5		0-1	20-60	30-50	1-2	60-120
Pós-curtimento	4-8	15-40	5-15	10-20	1-2		1-2	5-10	10-40	3-8	40-100
Acabamento	0-1	0-10	0-4	0-5							
Total	12-37	145-230	48-86	85-155	3-7	2-9	10-17	145-220	45-110	9-18	300-520

TDS: Sólidos Totais dissolvidos

SS: Sólidos Suspensos

Tabela 2. Cargas de contaminação em efluentes de curtumes por ton./pele processada. Fonte: Adaptado de EIPPCB (2013).

Além disso, a indústria curtumeira depende do pedido dos pedidos dos clientes, no entanto, quantidade de produtos químicos utilizados varia significativamente com a especificação do produto final, tipo de peles tratadas e o processo escolhido. Tem-se uma gama grande de dados sobre produtos químicos para esse setor. Geralmente os produtos usados são produtos químicos inorgânicos, como sulfureto de sódio, Hidróxido de cálcio, ácidos, carbonatos, sulfitos e sulfatos, e os produtos químicos orgânicos padrão são ácidos orgânicos e seus sais. Cerca de 20 a 50% do peso da pele são substâncias inorgânicas e, cerca de 3 a 40% como produtos químicos orgânicos (EIPPCB, 2013). Além disso, no processo de curtimento do couro, a pele consome cerca de 60 a 80% do cromo utilizado, sendo que o restante é liberado dentro do efluente (LOPES, 2015).

A maior variação é na quantidade dos agentes de curtimento utilizados, como demonstrado no Quadro 1.

Produto Químico consumido	Quantidade Aprox. (%)
Produtos químicos inorgânicos padrão (sem sal de cura, ácidos, bases, sulfetos, químicos contendo amônia)	40
Padrão orgânico, não mencionado abaixo (ácidos, bases, sais)	7
Químicos de curtimento (cromo, vegetais e agentes de curtimento alternativos)	23
Agentes de gordura (detergentes, sabões, etc.)	8
Solventes e auxiliares	4
Produtos químicos de acabamento (pigmentos, produtos químicos para efeitos especiais, aglutinantes e agentes reticulantes)	10
Solventes orgânicos	5
Tensioativos	1
Biocidas	0,2
Enzimas	1
Outros	0,8

Quadro 1. Quantidade de produtos utilizados no curtimento de peles bovinas.

Fonte: EIPPCB, 2013.

Nas etapas iniciais, do batimento do couro ao remolho, a poluição do típico processo coureiro é com cloreto de sódio resultante da preservação de couros crus, no qual eventualmente, uma tonelada de couros crus, necessita de 300 a 400 kg de sal para a sua conservação. Assim, 70% de poluição salina no curtume vêm dessa etapa produtiva. Assim como, tem uma quantidade de resíduos (sulfeto e cal) não absorvidos pelas peles no processo de calagem. O terceiro ponto são os pelos quebrados, a epiderme e na proteína não estrutural, do processo da calagem e remolho aumentam o teor de DQO e BOD na água, o que leva à poluição e propaga os microrganismos gerando uma super nutrição. Além disso, o nitrogênio-amina produzido a partir de calagem e outras etapas posteriores podem levar ao desenvolvimento de um sistema anaeróbico tóxico que podem matar as bactérias dos afluentes (HU *et al.*, 2011).

Conforme Hu *et al.* (2011), os compostos tensioativos não iônicos utilizados como emulsionantes, agentes dispersantes e agentes gordurosos para o couro

chamados de etoxilatos de alquilfenol (APE), foi limitado o uso pela União Europeia devido à sua alegada toxicidade, à sua fraca biodegradabilidade e à sua bioacumulação.

O processamento de uma tonelada de pele salgada gera somente 200 a 250 kg de couros acabados, que equivale a uma eficiência média de 22,5%, gerando aproximadamente 600 kg de resíduos sólidos, o que comprova que o setor curtumeiro é um potencial poluidor, no qual pode gerar inúmeros impactos ambientais que devem ser repensados, analisados e minimizados (ALVES; BARBOSA, 2013).

Segundo Rao *et al.* (2003), estima-se que globalmente, o efluente líquido de processamento de couro é de 300-500 bilhões litros. Isto origina dois grandes problemas para a indústria do couro: a disponibilidade de água de boa qualidade e a necessidade de tratamento das quantidades de efluentes, o que requer grandes investimentos em plantas de estações de tratamento. Transpondo esses valores em abastecimento de água para a população, esse volume pode representar o consumo hídrico da cidade de São Paulo por 80 dias. Ou seja, o consumo brasileiro dos recursos hídricos, visto que o Brasil detém aproximadamente 13% da produção mundial de couro representaria o abastecimento em 10 dias para a maior cidade do país. Esses gastos ambientais são sem contar com o consumo de substâncias químicas que fica em uma proporção de 1:1 (FARENZENA *et al.*, 2004).

Para um curtume médio, estima-se que 40.000 toneladas de produtos químicos básicos e 15.000 toneladas de cromo na forma de sulfato de cromo são usados anualmente (CHOWDHURY *et al.*, 2013). Tal como é uma indústria que consome grandes quantidades de água, por ter várias etapas do processo produtivo no meio aquoso. Aproximadamente de 30 a 50 litros de água são necessários para cada quilograma de pele processada, no qual consiste no pré-curtimento de 15 a 25 litros/kg de pele processada; a operação de curtimento de 1 a 5 litros/kg; e pós-curtimento de 2 a 5 litros/kg de pele processada. E as lavagens de pele contribuem com 11 a 15 litros/kg de pele processada, ou seja, as operações de pré-curtimento e curtimento contribuem com cerca de 57% do consumo de água no processamento de couro e as lavagens em 35%, como mostrado no Quadro 1 (SAUER, 2006; RAO *et al.*, 2003).

Grande quantidade de água é usada no processo de curtimento do qual 90% da água é descarregada como efluente, assim como, no processo de curtimento de cromo 40% de sais de cromo não é utilizado, permanecendo como resíduos sólidos e líquidos, causando uma séria ameaça para o meio ambiente (CHOWDHURY *et al.*, 2013; ABREU; TOFFOLI, 2003).

A preocupação quando a esse resíduo industrial é que o estado reduzido do Cr (III) forma precipitados insolúveis sob condições neutras e levemente ácidas, porém tem alto potencial de oxidação a Cr (VI) na forma de cromato (CrO_4^{2-}) ou bicromato (CrO_4^-), que muitas são formados após o processamento do couro. O íon do cromato é altamente solúvel e altamente tóxico a vida humana e ecológica (ABREU; TOFFOLI, 2003).

No entanto, o cromo é um micronutriente essencial necessário para o crescimento de muitos microorganismos para a manutenção do metabolismo normal de glicose, colesterol e ácidos graxos. O cromo é encontrado em todas as fases do ambiente, incluindo ar, água e solo. Naturalmente ocorrendo no solo, Cr varia de 10 a 50 mg/kg dependendo do material parental. Na água doce, as concentrações de Cr geralmente variam de 0,1 a 117 $\mu\text{g/L}$, enquanto que os valores para a água do mar podem variar de 0,2 a 50 $\mu\text{g/L}$. O cromo é um elemento que ocorre naturalmente encontrado em muitos alimentos e água potável, assim, faz o seu caminho para o corpo principalmente a partir de ingestão dietética (SAKTHIVEL; AYYASAMY; HEMALATHA, 2016).

Em contrapartida, a oxidação do Cr (III) para Cr (IV), este último que é altamente cancerígeno. A concentração de Cr (VI) no efluente gerado pelos curtumes encontra-se na faixa de 10-200 ppm. A existência do cromo nesse estado de oxidação pode ajudar no processo de nitrificação de ambientes aquáticos e produz um aumento substancial de matéria orgânica e ainda pode ser carcinogênico, mutagênico e alergênico. Segundo Sauer (2006) o limite é usualmente estabelecido em 0,05 ppm.

Afere-se que são geradas aproximadamente 800 mil toneladas de aparas cromadas por ano no mundo e cada pele curtida são geradas de 3 a 6 kg de serragem de rebaixamento. Esse resíduo é altamente poluidor, pois já passou pelo

processo de cromatização, e muitas vezes descartado em lixões ou aterros domésticos (KIPPER, 2013).

Conforme relatório da CETESB da Decisão de Diretoria nº 145/2010/P, de 11 de maio de 2010, resíduos de aparas de couro e de pó de rebaixadeira oriundos do curtimento ao cromo podem ser gerenciados como resíduos não perigosos e serem destinados a aterros de resíduos não perigosos, desde que teores de cromo hexavalente sejam inferiores a 1,0 mg/kg e o aterro para destinação final destes resíduos seja devidamente licenciado pela CETESB, para o recebimento de resíduos não perigosos, ou ainda comprovar por meio da realização de ensaio de lixiviação em, no mínimo, 3 amostras representativas do resíduo e pela determinação de cromo total no extrato obtido que o limite de 5,0 mg/L, dando um carácter de mais solto a exigência legal do meio ambiente (CETESB, 2010).

Todavia, segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 de 17 de março de 2005, é permitido o lançamento de efluentes em corpos de água com uma concentração de 0,5 mg/L de cromo total (CONAMA, 2005).

Os resíduos sólidos gerados nos curtumes podem ser sumarizados em: resíduos não curtidos como carnaça, aparas não caleadas, aparas caleadas e aparas do couro dividido; resíduos sólidos curtidos, que consiste em aparas do couro curtido, pó de lixadeira e serragem da operação de rebaixamento; e o lodo gerado na estação de tratamento de efluentes, como mostra Tabela 3, com as respectivas quantidades aproximadas dos resíduos gerados (ANANIAS; PACCA, 2009; BRITO *et al.*, 2002).

Resíduo	Quantidade Kg/Ton. pele salgada	% água
Sal	60	30-35
Aparas Caleadas e não caleadas	120	60-75
Carnaça	70-230	80
Aparas curtidas ao cromo	115	40
Farelo de rebaixadeira	99	40
Pó de lixadeira	2	15
Aparas de couro acabado	32	14
Lodo da ETE	300-400	60-70

Tabela 3. Quantidade de alguns resíduos sólidos do curtume
Fonte: Adaptado de Claas e Maia (1994).

Assim como, Brito et al. (2002) afirmam que o resíduo farelo da rebaixadeira e o pó da lixadeira, contribuem com aproximadamente 180 kg resíduo/tonelada de pele *in natura* processada. Analisando a composição química dos resíduos de couro curtidos ao cromo, encontram os seguintes valores: sólidos totais 700 g.kg^{-1} , sólidos totais voláteis 890 g.kg^{-1} , carbono total 495 g.kg^{-1} , sólidos totais fixos 110 g.kg^{-1} , nitrogênio total Kjeldahl 110 g.kg^{-1} e cromo total 32 g.kg^{-1} (BRITO et al., 2002).

Segundo Ananias e Pacca (2009) nos curtumes, o resíduo atmosférico não pode ser descartado, porque além dos vapores dos banhos que saem dos fulões, com as reações químicas, principalmente quando estes são abertos para retirada do material após as etapas do processo produtivo, tem também a geração de odores, que ocorre especialmente na decomposição de matéria orgânica presente nos resíduos e efluentes, e a emissão de gases de efeito estufa proveniente dos aterros de disposição final dos resíduos.

Assim como, os poluentes atmosféricos provocam odores característicos do curtume, que podem ser representados por solventes e orgânicos, resultado da combinação de amônia, gás sulfídrico, compostos voláteis, subprodutos aminados e solventes orgânicos, principalmente nas etapas da ribeira e acabamento (RODRIGUES; SOUZA; SOUSA, 2010; STOOP, 2003).

O poluente gasoso também pode ser encontrado no processo de acabamento, com os COVs que podem ser gerados por meio dos solventes orgânicos utilizados nas lacas, assim como a água em suspensão para auxiliar na disseminação dos corantes e os sólidos particulados das operações de lixamento, rebaixamento e remoção de pó (PICCIN, 2013; GANEM, 2007).

Segundo Sousa (2015), a degradação biológica de cargas poluentes orgânicas existentes em efluentes líquidos das indústrias de couros pode ocorrer em aerobiose ou em anaerobiose. Em meio aeróbio, os produtos finais do processo são CO_2 , $(\text{NO}_3)^-$, $(\text{SO}_4)^{2-}$. No caso de anaerobiose são formados CO_2 , CH_4 , NH_3 , e H_2S , em que essas misturas gasosas eliminam um odor desagradável e apresenta toxidez, o que constitui um dos motivos a favor da depuração aeróbica destes tipos de efluentes.

Segundo Contador Júnior (2004), os principais resíduos gerados no acabamento de couros são os efluentes e as emissões atmosféricas, cerca de 30%

dos materiais utilizados precipitam na forma de névoa condensada no local da pulverização e de ar de exaustão na planta de tratamento. O uso de solventes, conforme esse autor gera o problema de toxicidade e odor, já que uma emulsão de laca pode conter usualmente cerca de 50% de solvente. A Quadro 2 resume os principais aspectos e impactos ambientais do processo produtivo de curtumes e indica a legislação ambiental básica a ser cumprida.

É importante ressaltar ainda, que as principais águas residuais das operações do pós-curtimento e de acabamento contém certo teor de cromo (enxugamento e recurtimento), sais variados (neutralização), cores diversas, consequência dos corantes utilizados (tingimento), muitos à base de anilina, corantes ácidos e azo-corantes e temperatura elevada, exigida para o processo.

De acordo com Vendrameto, Giannetti e Brusteins (2001) 95% da etapa com maior produção de resíduos do processamento do couro ocorre até a etapa do semiacabado (*wetblue*), no entanto a água após principalmente o processo da ribeira contém inúmeros contaminantes e é rica em elementos orgânicos, que deveriam passar por algum rigoroso tratamento para reaproveitamento ou descarte nos efluente, mas devido seu alto custo e falta de controle e fiscalização dos órgãos ambientais, esses resíduos são dispostos *in natura*.

A Figura 6 fornece uma visão aproximada dos fluxos de entrada e saída em um curtume com processo convencional (cromo), como já explanado, cada uma tonelada de pele crua, apenas de 200 a 250 kg se transforma em couro acabado, gerando mais de 75% do peso em resíduo, sem contar com os produtos utilizados no proceso. É consumido cerca de 50 m³ de água, e gerado 730 kg de resíduos sólidos para cada tonelada analisada. Além das emissões na atmosfera por meio de produtos químicos, decomposição orgânica e queima de lenha para aquecimento da caldeira.

Etapa Básica do Processo	Poluição	Aspecto ambiental - Emissão	Impacto Ambiental Potencial	Enquadramento Legal Principal (para Estado de São Paulo)
Conservação e armazenamento de peles	1. Ar 2. Hídrica 3. Solo/Materiais sólidos	1. NH ₃ e COVs 2. Eventuais líquidos eliminados das peles 3. Alguns pedaços de peles e sal com matéria orgânica	1. Odor – incômodo ao bem estar público 2. Prejuízo à qualidade dos corpos d'água 3. Eventual contaminação do solo e águas subterrâneas	<u>Poluição do ar:</u> - Art. 2º e 3º. Inciso V do Decreto 8.486/76 com redação dada pelo Decreto 15.425/80 - Art. 33 do Decreto 8.486/76 com redação dada pelo Decreto 15.425/80 <u>Poluição Hídrica:</u> - Art. 18 ou 19 – A do Decreto 8.486/76 com redação dada pelo Decreto 15.425/80 - Art. 34 da Resolução do CONAMA 357/05, alterada pela Resolução CONAMA 397/08 - Atendimento aos padrões de qualidade do corpo receptor, de acordo com sua classe, constantes nas legislações estadual e federal vigentes; - Observação: para lançamento de efluentes em corpos de água de classes 2 e 3 há necessidade de atendimento à Resolução SMA nº 3 de 22/02/2000. <u>Poluição do solo/Materiais sólidos industriais:</u> - Art. 51 a 55 do Decreto 8.486/76 com redação dada pelo Decreto 15.425/80
Ribeira	1. Ar 2. Hídrica 3. Solo/Materiais sólidos	1. H ₂ S, NH ₃ e COVs 2. Banhos residuais de tratamento das peles e águas de lavagens intermediárias – carga orgânica e produtos químicos (sulfeto, sais diversos e outros) 3. Carnaça, pelo, aparas/recortes e raspas de peles sem e com produtos químicos	1. Odor – incômodo ao bem estar público 2. Prejuízo à qualidade dos corpos d'água 3. Eventual contaminação do solo e águas subterrâneas	
Curtimento	Hídrica	1. Banho residual de curtimento das peles – carga orgânica e produtos químicos (cromo, taninos, sais diversos e outros)	1. Prejuízo à qualidade dos corpos d'água	
Acabamento	1. Ar 2. Hídrica 3. Solo/Materiais sólidos	1. COVs dos solventes dos produtos aplicados 2. Banhos residuais de tratamento de couros – carga orgânica e produtos químicos (cromo, taninos, corantes, óleos e outros) 3. Pó/farelo/serragem de rebaixadeira, recortes de couros curtidos, semiacabados e acabados, pó de lixadeira, resíduos de produtos de acabamento (tinta, corantes e resinas).	1. Odor – incômodo ao bem estar público 2. Prejuízo à qualidade dos corpos d'água 3. Eventual contaminação do solo e águas subterrâneas	

Nota: (1) NH₃ = gás amônia / COVs = compostos orgânicos voláteis / H₂S = gás sulfídrico

Quadro 2. Quadro sintético dos principais aspectos e impactos ambientais do processo produtivo de curtumes
Fonte: Adaptado de Ferrari (2015).

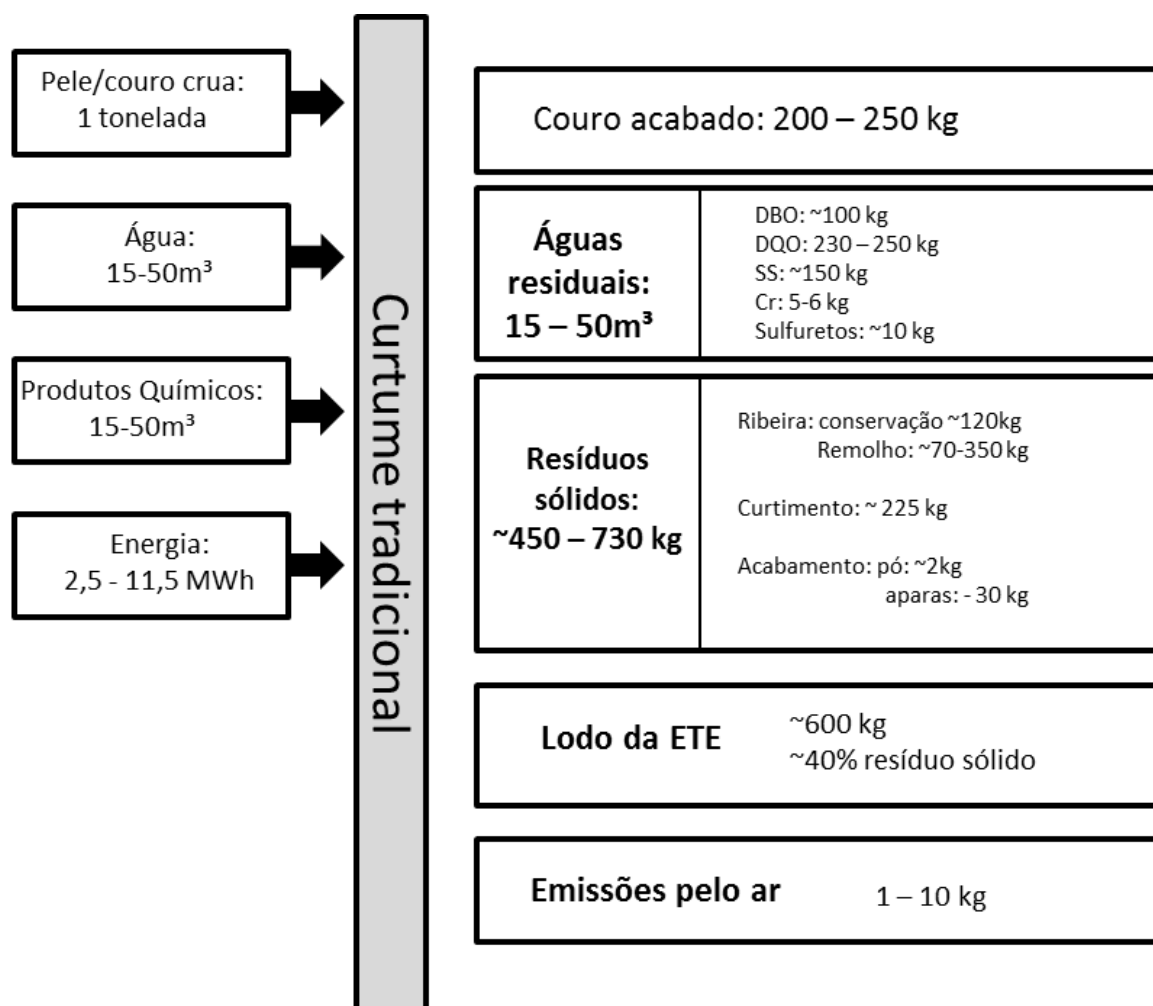


Figura 6. Visão geral de entrada / saída de um processo convencional de curtimento para bovinos (tonelada/ couro cru tratado)

Fonte: Adaptado de EIPPCB (2013).

Além do grande consumo de água, o consumo de energia elétrica é alto, em que a média varia de 2600 a 11700 kwh/por tonelada de pele salgada. Essa variação depende dos equipamentos usados, tipo de tecnologia adotada, tipo de tratamento dos efluentes e de práticas de eficiência energética (GANEM, 2007).

Outra displicência quanto aos desperdícios do couro inicia-se na criação do gado, pois a pele fica com muitos defeitos, levando a um pequeno aproveitamento final do couro, mesmo com a fase de divisão da espessura. Segundo Vendrameto, Giannetti e Brustei (2001), foram perdidos cinco bilhões e seiscentos milhões de dólares na última década no Brasil, que equivale 18 milhões de peles bovinas jogadas fora, devido ao baixo aproveitamento do couro cru brasileiro.

Em estudo de Abreu e Toffoli (2003), citam que há uma elevada concentração de metais pesados (cromo, zinco, cádmio e chumbo) em águas e sedimentos dos rios da região industrial de Franca e São Joaquim da Barra (SP), pertencentes à Bacia do Rio Sapucaí-Mirim. É evidente que essa poluição ambiental é relacionada ao cluster couro-calçadista da região, em que contêm cerca de 25 curtumes, 8 fábricas de acabamento de couro e 450 indústrias calçadistas. Nas análises laboratoriais foi constatado teores de cromo total que variam de 17.800 µg/g a 242.425 µg/g nos sedimentos.

Em estudo de Avelar, Roma e Longo (1997), foi encontrado alguns metais pesados, como cromo, zinco, cádmio, chumbo e cobre em águas e sedimentos dos rios da região de Franca/SP, pertencentes a Bacia do Rio Sapucaí-Mirim. Essa região se destaca principalmente pelas indústrias couro-calçadistas, atribuindo então esse resultado pela contaminação dos resíduos dessas indústrias.

Vislumbrando o cenário do setor curtumeiro, é visto que os proprietários de indústrias de curtumes não estão muito preocupados com a saúde humana e a segurança ambiental. Conforme UNIDO (2010), as questões ambientais alertando os empresários do ramo nas últimas décadas, uma vez que lidar corretamente com os resíduos de curtumes é caro e tem afetado as políticas públicas dos países, para adequações demandadas visando a sustentabilidade a nível global.

O alto consumo de água é devido ao tratamento de couro em múltiplas etapas aquosas do processo com descargas descontínuas, tornando esta uma atividade industrial que gera grande quantidade de efluentes que, por sua vez, requerem custos de investimento e operacionais significativos para o seu tratamento, para satisfazer os parâmetros de emissão exigida pela legislação ambiental (GUTTERRES *et al.*, 2010).

O tratamento de águas residuais e resíduos de curtumes representam um grave problema ambiental e tecnológico. De fato, após o tratamento convencional os efluentes ainda não atendem aos limites exigidos, pelo menos para alguns parâmetros como DQO, salinidade, amônia e surfactantes (DURMAZ; ÇINER, 2017). Deste modo, mesmo com o tratamento dos efluentes, um grande problema ambiental é a disposição desses resíduos, pois a tendência das exigências ambientais é o enrijecimento, com o escopo de proteção ecológica

3.4. Classificação e quantificação dos resíduos do setor curtumeiro

As principais descargas de águas residuais originam-se do processamento úmido, ou seja, na etapa da ribeira e curtimento. As águas das operações de ribeira são fortemente alcalinas e esbranquiçadas, devido a cal em excesso, e ainda alta carga orgânica, como sebo, pelos, tecido muscular, gordura e sangue, em suspensão. Em solução na água residual, sais (sulfeto, sulfato, cloreto, sódio, cálcio, amônio), proteínas e aminoácidos, bem como, tensoativos, amins e eventualmente alguns conservantes ou biocidas e inseticidas. Como produto dessa etapa produtiva pode se obter sebo, graxa ou gordura, porém, tais efluentes apresentam concentrações elevadas de sólidos em suspensão, proteínas dissolvidas e pH ácido (FERRARI, 2015).

Na segunda grande etapa do processo produtivo, os efluentes tem coloração turva, de cor verde escura, que apresentando um pH ácido e altas concentrações de DQO e DBO. São provenientes das operações de píquel e curtimento contêm, especialmente, sal, ácidos minerais, orgânicos, cromo, proteínas, fortuitamente, alguns fungicidas (FERRARI, 2015).

No acabamento, as principais águas residuais geralmente têm cromo das etapas de recurtimento e enxugamento, sais, cores diversas, consequência dos corantes e pigmentos utilizados e temperatura mais elevada.

Diante isso, Sousa (2015) corrobora que processamento de peles salgadas em couros acabados, produz na faixa de 900 a 1200 kg de resíduos sólidos por tonelada de pele salgada, nos quais são compostos por cloreto de sódio, aparas caleadas e não caleadas, carnaça, serragem ou farelo da rebaixadeira, aparas de couros curtidos, pó de lixadeira, aparas de couros semiacabados e acabados, e lodos da estação de tratamento de efluentes (lodo de caleiro, lodo de cromo e lodo de recurtimento), como mostra a Figura 7.

No Quadro 3, elenca os resíduos e subprodutos do processamento do couro, identificando atividade produtiva, composição, impacto potencial e destinação dos resíduos e subprodutos deste setor.



Figura 7. Resíduos sólidos gerados durante o processo coureiro

Fonte: Sousa (2015).

Resíduo ou subproduto	Atividade	Composição	Impacto potencial	Destinação
Batimento do couro salgado	Produção	Resíduo rico em matéria orgânica e muito salubre, composta por restos de animais, inseticidas, biocidas e Cloreto de Sódio (NaCl). Contém alto teor de DBO e DQO.	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais e/ou águas subterrâneas, e odor desagradável.	Lodo de caleiro. É possível o reaproveitamento do cloreto de sódio.
Aparas Não Caleadas	Produção	Resíduo rico em substâncias minerais que podem ser hipoclorito de sódio, tensoativos (detergentes, que podem ser fenólicos – nonilfenoletoxilado - álcoois graxos sulfatados, organo fosfatados – 0,1-0,2%), enzimas ou produtos enzimáticos. Alto teor de gordura e proteínas, que aumentam o teor de DBO e DQO.	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais e/ou águas subterrâneas, e odor desagradável.	Lodo de caleiro. As gorduras/sebo são reaproveitadas em indústrias de fabricação de sabão, gelatina e ração animal.
Aparas Caleadas	Produção	Resíduo rico em substâncias minerais (bactericida, sulfeto de sódio ou sulfidrato de sódio ou glicolato de sódio ou ácido mercapto-acético, óxido de cálcio (cal), aminas, tensoativo, soda cáustica, enzimas e sulfeto de hidrogênio). Alto teor de gordura e proteínas, que aumentam o teor de DBO e DQO.	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais e/ou águas subterrâneas, e odor desagradável.	Lodo de caleiro. As gorduras/sebo são reaproveitadas em indústrias de fabricação de sabão, gelatina e ração animal.
Carnaça	Produção	Resíduo rico em substâncias minerais (bactericida, sulfeto de sódio ou sulfidrato de sódio ou glicolato de sódio ou ácido mercapto-acético, óxido de cálcio (cal), aminas, tensoativo, soda cáustica, Ácido metanóico, sulfeto de hidrogênio, amônia e enzimas). Alto teor de gordura e proteínas, que aumentam o teor de DBO e DQO.	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais e/ou águas subterrâneas, e odor desagradável.	Lodo de caleiro. As gorduras/sebo são reaproveitadas em indústrias de fabricação de sabão, gelatina, cola e ração animal.
Serragem de Wetblue	Produção	Composto rico em fósforo, potássio, cálcio, boro, sulfatos, cromo trivalente e cromo total. Além de óleos de graxas, que é composto por vários tipos de metais como zinco, chumbo, ferro, manganês, níquel, molibdênio, cobre, enxofre.	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais e/ou águas subterrâneas.	Aterro industrial; ou produção de placas ou quadros de fibras de couro aglomeradas ou prensadas (paredes divisórias, isolante térmico e acústico); ou solas e palmilhas para calçados; ou recouros.

Aparas de Wet-Blue	Produção	Composto rico em fósforo, potássio, cálcio, boro, sulfatos, cromo trivalente e cromo total. Além de óleos de graxas, que é composto por vários tipos de metais como zinco, chumbo, ferro, manganês, níquel, molibdênio, cobre, enxofre.	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais e/ou águas subterrâneas.	Aterro industrial; ou produção de placas ou quadros de fibras de couro aglomeradas ou prensadas (paredes divisórias, isolante térmico e acústico); ou solas e palmilhas para calçados; ou recouros;
Pó de Lixadeira	Produção	Composto rico em fósforo, potássio, cálcio, boro, sulfatos, cromo trivalente e cromo total. Além de óleos de graxas, que é composto por vários tipos de metais como zinco, chumbo, ferro, manganês, níquel, molibdênio, cobre, enxofre.	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais e/ou águas subterrâneas.	Aterro industrial; ou produção de placas ou quadros de fibras de couro aglomeradas ou prensadas (paredes divisórias, isolante térmico e acústico); ou solas e palmilhas para calçados; ou recouros.
Aparas de Couros Acabados	Produção	Composto rico em corantes, fósforo, potássio, cálcio, boro, sulfatos, cromo trivalente e cromo total. Além de óleos de graxas, que é composto por vários tipos de metais como zinco, chumbo, ferro, manganês, níquel, molibdênio, cobre, enxofre.	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais e/ou águas subterrâneas.	Aterro industrial; ou produção de placas ou quadros de fibras de couro aglomeradas ou prensadas (paredes divisórias, isolante térmico e acústico); ou solas e palmilhas para calçados; ou recouros.
Resíduos de Pintura	Produção	Composto por corantes (principalmente corantes ácidos e azo corantes) e solventes.	Resíduo sólido potencialmente poluente via atmosfera, solo e águas superficiais e/ou águas subterrâneas.	Lodo do recurtimento.
Cinzas da Caldeira	Produção	Composto por dióxido de silício, óxido de alumínio, óxido de ferro, óxido de potássio, óxido de sódio, óxido de magnésio, óxido de cálcio, óxido de manganês, óxido sulfúrico, trióxido de fósforo e óxido de estrôncio.	Resíduo sólido potencialmente poluente via atmosfera (particulados), solo e águas superficiais e/ou águas subterrâneas.	Lixo doméstico.

Gordura	Produção	Composto por gordura animal	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais.	São reaproveitadas em indústrias de fabricação de sabão, ou de óleo animal.
Limpeza de pisos e equipamentos	Produção	Efluente de características não uniforme apresentando pH desde muito ácido até muito alcalino, podendo estar contaminado com resíduos químicos do processo produtivo, como cromo, sulfetos, inseticidas e outros.	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais e/ou águas subterrâneas.	Todos os tipos de lodo, para estação de tratamento de efluentes (ETE).
Lodo de Caleiro	Produção	Resíduo rico em carga orgânica, contendo amônio, nitratos, nitrogênio total, carbono e aminoácidos, assim como fósforo e potássio. Composto por magnésio, enxofre, sulfatos, cálcio, sódio, ferro, manganês, boro, cádmio, amônio, chumbo, níquel e óleos e graxas, que é composto por vários tipos de metais como zinco, chumbo, ferro, manganês, níquel, molibdênio, cobre, enxofre.	Resíduo sólido potencialmente poluente via atmosfera, solo e águas superficiais e / ou águas subterrâneas.	Para estação de tratamento de efluentes (ETE), depois deve ser desaguado em centrífuga ou prensado em filtro prensa e colocados em sacos plásticos, os quais são colocados em tambores plásticos ou metálicos. Os tambores devem ser colocados em paletes. Para descarte adequado em aterros industriais.
Lodo de Cromo	Produção	Resíduo rico em carga orgânica, contendo amônio, nitratos, nitrogênio total, carbono e aminoácidos, assim como fósforo e potássio. Composto por cromo trivalente e cromo total, magnésio, enxofre, sulfatos, cálcio, sódio, ferro, manganês, boro, cádmio, amônio, chumbo, níquel e óleos e graxas, que são compostos por vários tipos de metais como zinco, chumbo, ferro, manganês, níquel, molibdênio, cobre, enxofre.	Resíduo sólido potencialmente poluente via atmosfera, solo e águas superficiais e / ou águas subterrâneas.	Para estação de tratamento de efluentes (ETE), depois deve ser desaguado em centrífuga ou prensado em filtro prensa e colocados em sacos plásticos, os quais são colocados em tambores plásticos ou metálicos. Os tambores devem ser colocados em paletes. Para descarte adequado em aterros industriais.

Lodo de Recurtimento	Produção	Resíduo rico em carga orgânica, contendo amônio, nitratos, nitrogênio total, carbono e aminoácidos, assim como fósforo e potássio. Composto por cromo trivalente e cromo total, corantes, magnésio, enxofre, sulfatos, cálcio, sódio, ferro, manganês, boro, cádmio, amônio, chumbo, níquel e óleos e graxas, que são compostos por vários tipos de metais como zinco, chumbo, ferro, manganês, níquel, molibdênio, cobre, enxofre.	Resíduo sólido potencialmente poluente via atmosfera, solo e águas superficiais e / ou águas subterrâneas.	Para estação de tratamento de efluentes (ETE), depois deve ser desaguado em centrífuga ou prensado em filtro prensa e colocados em sacos plásticos, os quais são colocados em tambores plásticos ou metálicos. Os tambores devem ser colocados em palettes. Para descarte adequado em aterros industriais.
Lâmpadas	Todos os Setores	Compostas por mercúrio além de cádmio, chumbo, manganês, níquel, zinco e ferro.	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais e / ou águas subterrâneas.	Aterro doméstico.
Pilhas e baterias	Todos os Setores	Resíduos que contém metais pesados como níquel, zinco, cádmio e manganês.	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais e / ou águas subterrâneas.	Aterro doméstico.
Gases caldeira	Produção	Constituído por NO _x , CO, CO ₂ , H ₂ O, CH ₄ e SO ₂	Gases potencialmente poluentes via atmosfera.	Sem tratamento.
Emissões gasosas da ribeira	Produção	Composto por amoníaco, sulfeto de hidrogênio e gás metano.	Gases potencialmente poluentes via atmosfera.	Sem tratamento.
Sucatas ferrosas	Produção	Resíduos que contém metais ferrosos e não ferrosos como alumínio, cobre, bronze, níquel, zinco, ferro, molibdênio.	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais e / ou águas subterrâneas.	Aterro Industrial ou logística reversa pelo fornecedor.
Emissões gasosas do acabamento	Produção	Resíduo composto principalmente por corantes e solventes.	Resíduo sólido potencialmente poluente via solo e águas superficiais e / ou águas subterrâneas.	Sem tratamento.

Quadro 3. Identificação da atividade produtiva, composição, impacto potencial e destinação dos resíduos e subprodutos da indústria coureira

Fonte: Elaborado pela autora

Um fator crítico é a mensuração da caracterização exata dos resíduos, pois deve levar em conta as diversas tecnologias e métodos adotados, que traz uma particularidade muito grande para esse ramo agroindustrial, uma vez que as empresas que demandam couro como matéria-prima, muitas vezes ainda são artesanais e/ou tem várias sazonalidades. Com o objetivo de mensuração dos resíduos gerados, o Quadro 4 mostra os resíduos e/ou subprodutos da produção do setor coureiro, com suas respectivas quantidades geradas.

	RESÍDUOS	CONSTITUIÇÃO APROXIMADA	QUANTIDADE GERADA
1	Batimento do couro salgado	Umidade: 35,0,0 % Resíduo Seco: 65,0 %	70 kg/ton. pele salgada
2	Aparas Não Caleadas	Umidade: 62,0 % pH: 7,5 a 7,8 Proteínas: 61,6 % (base seca) Gorduras: 36,0 % (base seca) Substâncias Minerais: 2,4 % (base seca) Resíduo Seco: 38,0 %	50 kg/ton. pele salgada
3	Aparas Caleadas	Umidade: 75,0 % pH: 11,5 a 13,0 Proteínas: 90,0 % (base seca) Gorduras: 1,2 % (base seca) Substâncias Minerais: 8,8 % (base seca) Resíduo Seco: 25,0 %	90 kg/ton. pele salgada
4	Carnaça	Umidade: 80,0 % pH: 11,5 a 13,0 Proteínas: 45,0 % (base seca) Gorduras: 30,0 % (base seca) Substâncias Minerais: 25,0 % (base seca) Resíduo Seco: 20,0 %	200 kg/ton. pele salgada
5	Serragem de <i>Wetblue</i>	Umidade: 40,0 % pH: 3,5 a 4,0 Cromo (Cr2O3): 2,5 a 4,0 % (base seca) Proteínas: 85,6 % (base seca) Gorduras: 2,3 % (base seca) Resíduo Seco: 60,0 %	110 kg/ton. pele salgada
6	Aparas de <i>Wetblue</i>	Umidade: 55,0 % pH: 3,5 a 4,0 Cromo (Cr2O3): 2,5 a 5,5 % (base seca) Proteínas: 86,8 % (base seca) Gorduras: 3,4 % (base seca) Resíduo Seco: 45,0 %	120 kg/ton. pele salgada
7	Pó de Lixadeira	Umidade: 17,0 % pH: 3,5 a 4,2 Cromo (Cr2O3): 3,0 a 4,0 % (base seca) Proteínas: 53,0 % (base seca) Gorduras: 6,0 % (base seca) Resíduo Seco: 83,0 %	3,0 kg/ton. pele salgada

8	Aparas ou Retalhos de Couros Semiacabados e Acabados	Umidade: 14,0 % pH: 3,5 a 4,2 Cromo (Cr2O3): 2,5 a 3,5 % (base seca) Proteínas: 62,0 % (base seca) Gorduras: 7,4 % (base seca) Resíduo Seco: 86,0 %	115 kg/ton. pele salgada
9	Resíduos de Pintura	São resíduos diversos, a base de resinas, solventes, e pigmentos coloridos (alguns metais pesados, substâncias orgânicas e corantes).	2,0 kg/ton. pele salgada
10	Cinzas da Caldeira	Substâncias Minerais: 100,0 % (base seca)	5,0 kg/ton. pele salgada
11	Gordura	Gorduras: 100,0 % (base seca)	20 kg/ton. pele salgada
12	Limpeza de pisos e equipamentos	Materiais diversos (base seca)	1 kg/ton. pele salgada
13	Lodo de Caleiro	Umidade: 82,0 % pH: 12,5 Sulfeto (S2-): 0,5 a 2 % (base seca) Cromo (Cr2O3): 0,0 % (base seca) Proteínas: 2,0 % (base seca) Gorduras: 3,0 % (base seca) Matéria Orgânica: 52 % (base seca) Sólidos (60 °C): 41,0 %	375 kg/ton. pele salgada
14	Lodo de Cromo	Umidade: 60,0 % pH: 9,4 Sulfeto (S2-): 0,0 % (base seca) Cromo (Cr2O3): 2,5 a 5,0 % (base seca) Proteínas: 0,8 % (base seca) Gorduras: 1,0 % (base seca) Matéria Orgânica: 28 % (base seca) Sólidos (60 °C): 79,0 %	32 kg/ton. pele salgada
15	Lodo de Recurtimento	Umidade: 58,0 % pH: 5,0 a 5,5 Sulfeto (S2-): 0,0 % (base seca) Cromo (Cr2O3): 2,5 a 4,0 % (base seca) Proteínas: 0,4 % (base seca) Gorduras: 8,0 % (base seca) Matéria Orgânica: 38 % (base seca) Sólidos (60 °C): 82 %	23 kg/ton pele salgada
16	Lâmpadas	Da indústria em geral	4 ⁻⁵ kg/ton. pele salgada
17	Pilhas e baterias	Da indústria em geral	0,0001 kg/ton. pele salgada
18	Gases caldeira	Caldeira	2,5 kg/ton. pele salgada
19	Emissões gasosas da ribeira	Gases oriundos das peles NH ₃ e COVs	5,5 kg/ton. pele salgada
20	Sucatas ferrosas	Da indústria em geral	0,025kg/ton. pele salgada
21	Emissões gasosas do acabamento	Solventes, tintas e outros produtos provenientes do acabamento, biocidas e COVs.	9,75 kg/ton. pele salgada

Quadro 4. Quantidade e composição aproximada dos resíduos sólidos gerados durante o processo de transformação de peles

Fonte: Elaborado pela autora baseado em Claas e Maia (1994) e Sousa (2015).

4. MÉTODO DE PESQUISA

Quanto ao escopo deste estudo três apontamentos devem ser feitos. Primeiramente, a fronteira do estudo ateve-se às etapas industriais do processamento do couro, excluindo-se as etapas de pastagem do gado e processamento da carne e também as etapas de distribuição e comercialização intermediária e final. Em virtude disso, para o cálculo dos potenciais de impacto ambientais desta indústria foram considerados os resíduos e os subprodutos gerados exclusivamente por suas operações produtivas.

Neste contexto, a Figura 8, a partir do retângulo foi traçado o limite do estudo, em que foi agrupado em 4 seções, que consistem em: preservação de couro, curtimento e acabamento, gerenciamento do resíduo e disposição, deixando fora da análise todos processos preliminares ao processo de transformação do couro, assim como, as etapas de distribuição e comercialização do couro, quer dizer que, para o cálculo dos potenciais ambientais do método EDIP (*Environmental Design of Industrial Products*) desta indústria foram considerados os resíduos e os subprodutos gerados exclusivamente por suas operações produtivas.

No *output* do processo, foi elencado a emissões na atmosfera, solo e água, levando em conta as categorias de análise ambiental do método EDIP – aquecimento global, depleção de ozônio, acidificação, enriquecimento de nutrientes, formação de ozônio fotoquímico e ecotoxicidade, onde a explanação foi realizada nos subitens 4.4.1 a 4.4.6 deste capítulo.

Como toda empresa, as entradas do sistema são as matérias-primas, insumos, água, energia e outros, porém os *inputs* do sistema não serão analisados neste estudo.

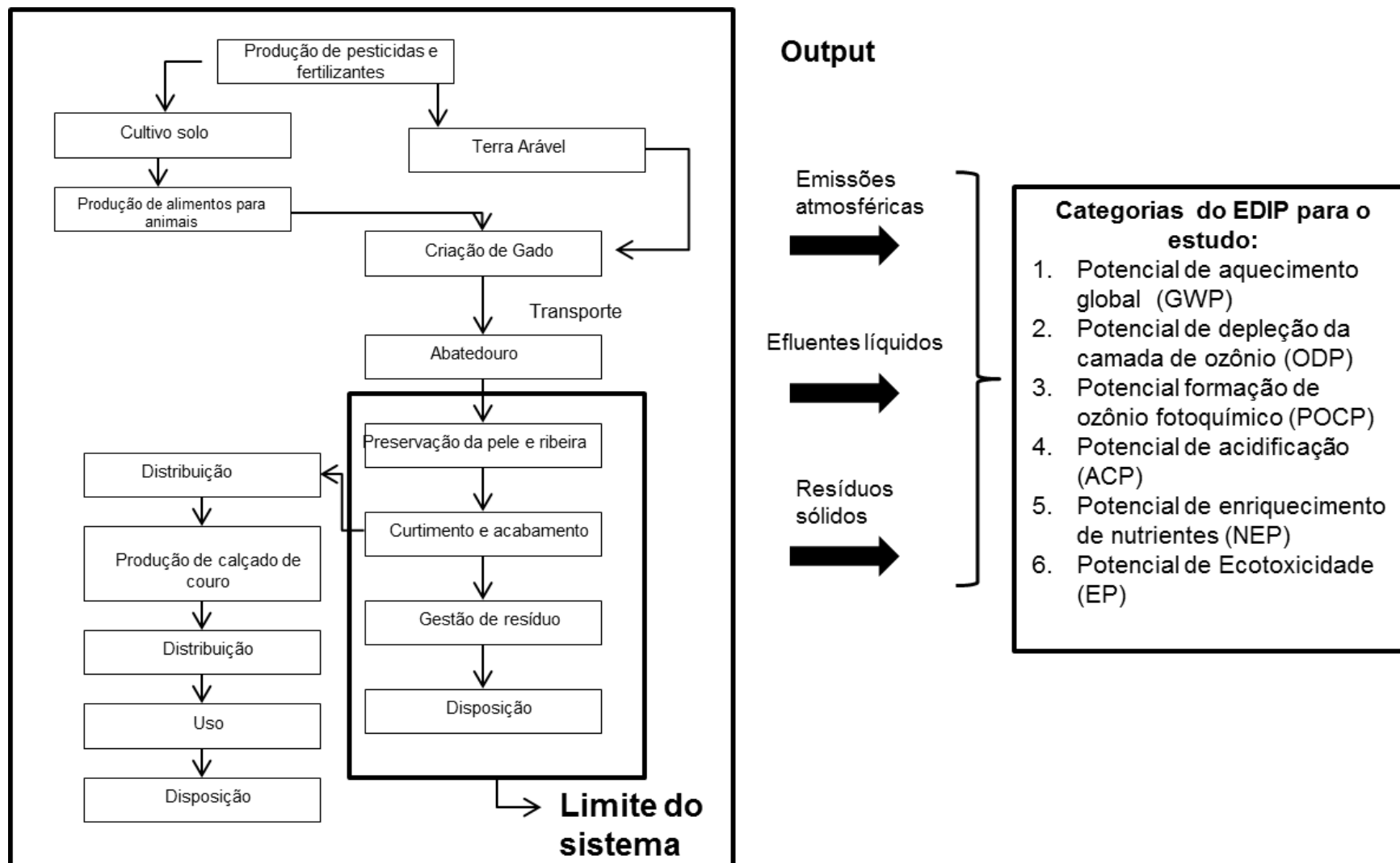


Figura 8. Limites do estudo de ADA no setor coureiro
 Fonte: Elaborado pela autora.

Em segundo lugar, é importante elucidar que para este trabalho foi utilizada a definição de “resíduo” para qualquer emissão proveniente de atividades produtivas, seja um efluente líquido, um resíduo sólido ou uma emissão gasosa (FIPA, 2007).

Já para ser considerado um “subproduto”, qualquer emissão resultante de um processo produtivo cujo principal objetivo não seja a sua produção e deve atender às seguintes condições: i) existir a certeza de posterior utilização ou comercialização; ii) poder ser utilizado diretamente, sem qualquer outro processamento que não seja o da prática industrial normal; iii) a emissão ser parte integrante de um processo produtivo; e iv) a emissão cumprir os requisitos relevantes como produto em matéria ambiental e de proteção da saúde e não acarretar impactos globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana, face à posterior utilização específica (APA, 2015). Assim como o resíduo, um subproduto pode ser considerado poluente, tendo em vista que um material poluente é uma substância ou material que não acomoda em um sistema natural em caso de introdução em uma quantidade acima da capacidade de assimilação do sistema natural.

O terceiro ponto é a adoção para o trabalho a definição de Ribeiro *et al.* (2015) para o qual um resíduo/subproduto pode ser considerado tóxico caso contenha elementos químicos que não sejam biologicamente essenciais ou que sejam biologicamente essenciais, mas está presente em concentrações altas ou em um estado de oxidação que é anormal para os organismos. Neste contexto, elementos como cádmio, mercúrio, chumbo, arsênio, cromo e níquel são exemplos de elementos considerados tóxicos ambientalmente.

O método de pesquisa utilizado neste estudo foi composto de dez etapas, a saber:

4.1. Levantamento bibliográfico sobre ADA

Para esta etapa utilizou-se uma pesquisa de caráter qualitativo, com levantamento de dados da literatura acerca dos temas de interesse para a pesquisa. Como instrumento de coleta de dados foi realizada uma análise documental dos

textos publicados nas bases de dados como *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar* e livros técnicos sobre a temática em estudo.

A partir desta etapa foram identificados os conceitos envolvidos na ADA, um levantamento de métodos já utilizados na literatura em outros setores industriais e um estudo de indicadores para escolha de um mecanismo suficiente de ADA para um curtume, as premissas que devem compor um constructo de ADA, os principais resíduos gerados na indústria estudada e suas destinações e possíveis impactos a eles associados.

4.2. Mapeamento e estudo das etapas do processo produtivo do couro

Essa etapa realizada o mapeamento de todas as etapas do processo de transformação do couro para compreensão do processo produtivo e caracterização dos resíduos e subprodutos de cada atividade geradora, tal como quantidade produzida e alocação final.

Foram realizadas duas visitas em uma planta industrial completa do setor coureiro, localizado na região de Franca/SP. A escolha do curtume visitado se deu pelo critério conveniência e receptividade da empresa em participar da pesquisa.

Também, foi realizado um levantamento bibliográfico em artigos científicos, periódicos e material técnico sobre as etapas produtivas do processamento do couro, bem como, o levantamento documental das leis e normas que regem o setor, a observação direta do processamento do couro, além de entrevistas com os especialistas da área de curtimento e setor químico industrial.

4.3. Inventário dos resíduos sólidos, efluentes líquidos, emissões gasosas e subprodutos gerados nas etapas produtivas na fabricação do couro.

A etapa de inventário contempla o levantamento, compilação e quantificação das entradas e saídas do sistema produtivo, englobando a análise do consumo de recursos naturais e suas emissões para o solo, atmosfera e água. Os dados foram apresentados de forma agregada, calculada por resíduo e subproduto encontrado.

Foi realizada uma determinação da composição físico-química de cada resíduo e/ou subproduto identificado, para a descrição do sistema de produtivo

investigado e um inventário de seus dados de entrada e saída dos insumos do processo produtivo, possibilitando a avaliação do desempenho ambiental.

As emissões liberadas para o meio ambiente e os recursos extraídos a partir do ambiente ao longo de todo processo produtivo são agrupados em um inventário, em que é mensurado o volume de materiais consumidos e as quantidades de emissões poluentes ao meio ambiente que podem ser agrupados por processo, por fases do ciclo de produção, por consumo, tipo de local emissão ou local final do resíduo ou subproduto. O ciclo de produção poderá dar variadas finalidades para entradas do fluxo produtivo, e assim como resultado do inventário ter variadas substâncias com características físico-químicas distintas agrupadas (UNEP/SETAC, 2011).

Para a caracterização físico-química dos subprodutos e resíduos utilizou-se revisão bibliográfica junto a base de dados *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar*, livros, materiais técnicos, documentos coletados em indústrias curtumeiras, na Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e com especialistas do setor analisado.

4.4. Cálculo das contribuições potenciais das emissões, utilizando o método EDIP

Neste estudo, a avaliação de impacto foi realizada com base nas categorias e indicadores propostos pelo método *Environmental Design of Industrial Products* (EDIP). O método EDIP é *midpoint*, ou seja, orientado para o problema ou método clássico de avaliação de impacto. A escolha feita foi por ser um método consagrado para mensuração dos impactos ambientais. Este método escolhido foi desenvolvido para apoiar análises ambientais durante o desenvolvimento de produtos industriais e fornecer fatores de caracterização diferenciados (MENDES; BUENO; OMETTO, 2015).

As categorias do EDIP 97 se dividem em impacto global, regional e local. As categorias que o estudo abrange são: aquecimento global, depleção de ozônio, acidificação, enriquecimento de nutrientes, formação de ozônio fotoquímico e ecotoxicidade, conforme ilustrado na Figura 8. Para este trabalho, tem como

limitação somente a mensuração dos aspectos ambientais do EDIP, não contemplando os aspectos da toxicidade humana.

No estudo, serão analisadas as seguintes categorias inerentes ao método EDIP:

4.4.1. Potencial de aquecimento global

A atmosfera terrestre absorve parte da energia emitida como radiação infravermelha da Terra em direção ao espaço, e assim aquecida. Este efeito estufa natural que leva ao aquecimento da atmosfera tem sido aumentado com certeza nos últimos séculos pelas atividades humanas que levaram à acumulação de compostos como CO₂, N₂O, CH₄ e halocarbonos na atmosfera. A contribuição humana mais importante para o impacto do aquecimento global é atribuída à combustão de combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás natural (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 2000)

As consequências do aquecimento global causado pelo homem podem incluir temperaturas médias globais aumentadas e mudanças climáticas repentinas regionais. Mas o aquecimento global é um impacto que afeta o meio ambiente em escalas globais.

Os critérios do método EDIP para elencar as substâncias que contribuem para o aquecimento global geralmente seguem as recomendações do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), exceto quando de são as substâncias indiretas para o efeito estufa, na qual o EDIP inclui de compostos orgânicos voláteis (VOCs ou COVs) e monóxidos de carbono (CO) possíveis e previsíveis oxidar para CO₂. Aplica-se apenas se os gases são originários de recursos fósseis (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 2000).

O método EDIP, no entanto, vai além da recomendação do IPCC para incluir a contribuição dos compostos orgânicos, devido à sua inevitável degradação ao CO₂ na atmosfera. Com isso, para cada emissão de CO₂ é importante verificar se é uma adição líquida de CO₂ à atmosfera ou simplesmente uma manipulação de parte do ciclo de carbono biogeoquímico natural (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 2000).

A substância deve ser caracterizada como causadora de efeito estufa e precisar ser um gás, nas condições normais de pressão e temperatura e ter ao menos essas características:

- Ser capaz de absorver a radiação infravermelha e ser estável no ambiente com um tempo de vida útil de anos até séculos; ou
- Ser de origem fóssil e convertida em CO₂ sobre a degradação da atmosfera.
- Deve-se definir a escala de tempo que se quer calcular o potencial de aquecimento global. É indicado utilizar a escala de 100 anos, a não ser que tenha uma razão de ser outra escala.

Neste contexto, para o cálculo do potencial de aquecimento global foi feito no horizonte de 100 anos. A lista de substâncias que contribuem para o aquecimento global é pequena, porém exaustiva. Por conseguinte, não é necessário na prática verificar se uma substância cumpre os critérios para decidir se é considerado como potencial para o aquecimento global é suficiente a consulta da lista de equivalência de fatores apresentada em Wenzel, Hauschild e Alting (2000, p. 247).

Para calcular o aquecimento global é necessário multiplicar a magnitude da emissão com seu fator de equivalência existente na base de dados do EDIP, conforme [1].

$$EP(gw) = Q \cdot EF(gw) \quad [1]$$

Onde o valor de Q equivale a quantidade de resíduo ou subproduto gerado na etapa produtiva. O EF é o fator de equivalência, já calculado pela base de dados do EDIP, que segue a seguinte fórmula:

$$EF(gw)_i = GWP_i = \frac{\text{Contribuição de aquecimento global do gás (i) por T anos}}{\text{Contribuição de CO}_2 \text{ para o aquecimento global por T anos}} \quad [2]$$

O potencial de aquecimento global é uma medida de uma determinada quantidade de gás do efeito estufa (GEE) contribui para o aquecimento global. Para o método EDIP, a medida utilizada é a quantidade de dióxido de carbono equivalente ou gás carbônico equivalente (CO₂ eq) (OMETTO, 2005).

4.4.2. Potencial de depleção da camada de ozônio

O ozônio estratosférico é vem se rompendo como consequência das emissões de halocarbonos (gases contendo cloro e bromo – CFCs, HCFCs) produzidas pelo homem. Principalmente desde 1985 vem se falando muito sobre o buraco da camada de ozônio, ou depleção cada vez mais acentuada da camada de ozônio, causando uma maior intensidade da radiação ultravioleta, que é altamente danosa para a vida ecológica e vida humana (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 2000).

O potencial de depleção na cama de ozônio mensura os danos causados à camada de ozônio por produtos químicos clorados e bromados. O modelo de caracterização foi desenvolvido pela *World Meteorological Organisation* (WMO) e define o potencial de depleção de ozônio de diferentes gases em relação ao clorofluorocarbono-11 (CFC-11). O potencial de depleção da camada de ozônio tem impacto em escala global.

Deste modo, para a substância ser impactante nessa categoria dela deve ser:

- Ser gás em temperaturas normais atmosféricas;
- Conter Cloro ou Bromo; e
- Ser estável na atmosfera por uma longa vida útil que pode ser anos ou séculos, permitindo que seja transportado até a atmosfera.

A lista de substâncias que contribuem para a depleção da camada de ozônio é pequena, porém exaustiva. Por isso, não é necessário na prática verificar se uma substância cumpre os critérios para decidir se é considerado como potencial para o a depleção da camada de ozônio, é suficiente a consulta da lista de equivalência de fatores apresentada em Wenzel, Hauschild e Alting (2000, p. 249-250).

Para calcular o potencial de depleção da camada de ozônio é necessário multiplicar a magnitude da emissão com seu fator de equivalência existente na base de dados do EDIP, conforme abaixo.

$$\mathbf{EP(od) = Q. EF (od)} \quad [3]$$

Onde o valor de Q equivale a quantidade de resíduo ou subproduto gerado na etapa produtiva. O EF é o fator de equivalência, já calculado pela base de dados do EDIP, que segue a seguinte fórmula:

$$EF (od)i = ODPi = \frac{\text{Contribuição de depleção da camada de ozônio pelo gás (i)}}{\text{Contribuição de depleção da camada de ozônio pelo CFC11}} \quad [4]$$

Deve-se definir a escala de tempo em que se quer calcular a depleção da camada de ozônio. É indicado utilizar a escala infinita (∞), a não ser que tenha uma razão de ser outra escala. O gás que representa o potencial de depleção da camada de ozônio é o CFC11 ($CFCI_3$).

4.4.3. *Potencial formação de ozônio fotoquímico*

Quando alguns solventes ou COVs são lançados na atmosfera, e eles vão degradando em poucos dias. Essa reação envolve a oxidação, que ocorre com a influência da luz solar. Na presença de óxidos de nitrogênio (NO_x), ozônio pode ser formado. Os óxidos de nitrogênios não são consumidos durante a formação de ozônio, porém tem uma catalisação parecida, chamada de formação de ozônio fotoquímico (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 2000).

Os COVs afetam especialmente a troposfera, que é a região mais perto da atmosfera. As principais fontes de COVs são os tipos de transporte que usam a gasolina ou diesel como combustível e os solventes orgânicos (como tintas). Esse potencial tem impacto regional e local.

O ozônio é um gás de meia vida na troposfera por poucas semanas, e o ozônio formado na troposfera não consegue subir para a estratosfera e leva a depleção da camada de ozônio. Apesar de o ozônio ter uma vida curta, a concentração de ozônio na troposfera pode ser mais elevada que 1% a maior parte do ano no hemisfério norte, onde a concentração de ozônio na troposfera é constante (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 2000).

O ozônio ataca componentes orgânicos em plantas e animais ou materiais expostos ao ar livre, que pode levar em problemas respiratórios e de perda de

produtividade na agricultura. Além disso, os óleos brutos em geral contêm centenas de componentes que cumprem o critério das substâncias que formam o ozônio fotoquímico.

A importância do NO_x para a formação de ozônio é indicado pelos dois conjuntos de fatores de equivalência que são usados, ou seja, um para as emissões de COVs que ocorrem em áreas com baixa concentração de NO_x e para as emissões que ocorrem em áreas com alta concentração. A fronteira entre as duas classes é a emissão anual de NO_x de 10 ppbv ou 0,02 mg/m³ sobre áreas rurais. Por conseguinte, para calcular o potencial, deve-se determinar se a emissão ocorre em áreas com alta ou baixa concentração de NO_x .

Para calcular o potencial de formação de ozônio fotoquímico é necessário multiplicar a magnitude da emissão com seu fator de equivalência existente na base de dados do EDIP apresentada em Wenzel, Hauschild e Alting (2000, p. 252-253), conforme fórmula 5.

$$\text{EP(po)} = Q \cdot \text{EF (po)} \quad [5]$$

Onde o valor de Q equivale a quantidade de resíduo ou subproduto gerado na etapa produtiva. O EF é o fator de equivalência, já calculado pela base de dados do EDIP, que segue a seguinte fórmula:

$$\text{EF (po)}_i = \text{POCPI} = \frac{\text{Contribuição de formação de ozônio fotoquímico pelo gás (i)}}{\text{Contribuição de formação de ozônio fotoquímico pelo C}_4\text{H}_4} \quad [6]$$

A substância de referência para cálculo da formação do ozônio fotoquímico é o etileno (C_2H_4). O fator de equivalência recomendado é calculado em uma escala de tempo de 4 -5 dias do gás na atmosfera.

4.4.4. Potencial de acidificação

Conforme Wenzel, Hauschild e Alting (2000), quando alguns ácidos e outros compostos podem ser convertidos em ácidos são emitidos para atmosfera e

depositados na água e no solo, que em adição com o hidrogênio pode levar a redução do pH e aumentar a acidez.

Acidificação pode ser causada por emissões no solo, água e atmosfera. Não se tem um modelo aceito internacionalmente que padroniza os fatores de equivalência para acidificação. O cálculo do fator de equivalência das substâncias é baseado no número de íons de hidrogênio que teoricamente podem ser liberados diretamente ou depois de uma reação com o meio ambiente. A emissão de ácidos orgânicos não é considerada como acidificação (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 2000).

O cálculo do fator de caracterização de acidificação de uma substância é baseado no número de íons de hidrogênio que podem ser liberados pela substância no ambiente, seja de forma direta ou após diversas conversões.

Para calcular o potencial de acidificação é necessário multiplicar a magnitude da emissão com seu fator de equivalência existente na base de dados do EDIP, apresentada em Wenzel, Hauschild e Alting (2000, p. 255), para cálculo conforme Fórmula 7.

$$EP(ac) = Q \cdot EF(ac) \quad [7]$$

Onde o valor de Q equivale a quantidade de resíduo ou subproduto gerado na etapa produtiva. O EF é o fator de equivalência, já calculado pela base de dados do EDIP. Com isso, para auxiliar, foi criado um fator local que o valor varia de 0 a 1.

O potencial de acidificação é variável, pois depende de cada ecossistema analisado, com isso depende do fator local. Para o cálculo da acidificação, a substância que é referência é o dióxido de enxofre (SO₂).

4.4.5. *Potencial de enriquecimento de nutrientes*

É o impacto nos ecossistemas por substâncias que contêm nitrogênio (N) e fósforo (P) excessivo. Esse problema pode ser causado pela agricultura com uso de fertilizantes e pelo óxido de nitrogênio em processos de combustão.

Para consideração do composto, deve-se checar se a substância encontrada contém disponível nitrogênio ou fósforo em sua composição. O Hidrogênio Livre (H_2) não pode ser considerado.

As consequências são que em ecossistemas aquáticos, o aumento de nutrientes pode levar a falta de oxigênio nas camadas inferiores, e devido o crescimento demasiado de algas, tem-se como consequência a decomposição destas no fundo. Já no solo, a consequência são ecossistemas pobres em nutrientes que vão desaparecendo com a adição do nitrogênio.

Uma das maiores fontes de nitrogênio na água é devido aos insumos agrícolas que são ricos em nitrogênio, além dos óxidos de nitrogênio gerados pela combustão. Já o fósforo tem como principal fonte geradora o esgoto urbano e efluente industrial (OMETTO, 2005).

A avaliação do impacto é realizada com base no nitrogênio, sendo unidade de referência a quantidade de N. No caso do fosforo, a unidade de medida é o P. Mas existe a mensuração pelo efeito sinérgico de N e P, denominado de *ne*.

O enriquecimento de nutrientes é causado em emissões no ar, água e solo, sendo que seus efeitos tem a escala regional e local.

Para calcular o potencial de enriquecimento de nutrientes é necessário multiplicar a magnitude da emissão com seu fator de equivalência existente na base de dados do EDIP, conforme [8], [9] e [10].

$$EP(N) = Q \cdot EF(N) \quad [8]$$

$$EP(P) = Q \cdot EF(P) \quad [9]$$

$$EP(ne) = Q \cdot EF(ne) \quad [10]$$

Para o cálculo do potencial conjunto de N e P, como o N se apresenta nos organismos aquáticos, geralmente dezesseis vezes mais que o P, com isso o peso do potencial do P é calculado como 16 vezes maior, sendo como unidade de referência o nitrato (NO_3^- eq.), que é a medida preferencial para uso conjunto das substâncias supracitadas.

4.4.6. *Potencial de ecotoxicidade*

As emissões de substâncias químicas para o ambiente podem causar efeitos nos organismos, bem como na estrutura e funcionamento do ecossistema por meio da sua ação tóxica. É um potencial em que a relação causa-efeito é muito complexa pois envolve toda análise físico-química dos resíduos/subprodutos gerados, e com isso considera desde o resíduo com alto risco ambiental até o baixo risco, além disso, é um potencial que analisa outros aspectos distintos dos anteriores apontados (POTTING; HAUSCHILD, 2005; WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 2000).

O impacto eco toxicológico de uma substância pode por um lado ser considerado como resultado das suas propriedades toxicológicas, e por outro da exposição ao alvo. O impacto do potencial depende não apenas das quantidades liberadas, mas também do destino da substância no ambiente, ou seja, distribuição entre os compartimentos ambientais, biodegradação e capacidade de acumulação na biota (POTTING; HAUSCHILD, 2005). Esse potencial de impacto afeta o meio ambiente de forma regional e local.

Se as concentrações de substâncias perigosas para o ambiente causadas pela emissão forem suficientemente elevadas, os efeitos tóxicos podem ocorrer logo que as substâncias forem liberadas, essa forma de efeito tóxico é chamada ecotoxicidade aguda. Os efeitos tóxicos que não são extremamente letais e que aparecem pela primeira vez após exposição repetida ou prolongada à substância são chamados de ecotoxicidade crônica. A ecotoxicidade crônica pode ser causada por substâncias com baixa biodegradabilidade, ou seja, substâncias persistentes (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 2000).

No entanto, os impactos podem ser avaliados de acordo com os efeitos das emissões na água, chamado de modo crônico ou agudo e no solo, de modo crônico (OMETTO, 2005).

Para calcular o potencial de ecotoxicidade é necessário multiplicar a magnitude da emissão com seu fator de equivalência existente na base de dados do EDIP, conforme abaixo.

$$\text{EP(etwa)} = Q. \text{ EF (etwa) para ecotoxicidade aguda na água} \quad [11]$$

$$\text{EP(etwc)} = Q. \text{ EF (etwc) para ecotoxicidade crônica na água} \quad [12]$$

$$\text{EP(etsc)} = Q. \text{ EF (etsc) para ecotoxicidade crônica no solo} \quad [13]$$

O potencial de ecotoxicidade é medido em metros cúbicos (m³) por compartimento analisado. Isso corresponde ao volume do compartimento que a emissão poderá estar diluída para obter a concentração da substância. Os fatores de caracterização da ecotoxicidade são apresentados em Wenzel, Hauschild e Alting (2000, p. 261-263).

4.5. Descarte de categorias sem impacto ambiental

Após o inventário e cálculo dos potenciais de impacto ambiental, serão apuradas as categorias sem impacto para o meio ambiente, e estas serão descartadas para o teste metodológico proposto.

A categoria depleção da camada de ozônio (ODP) não foi considerada para esse estudo, porque foram verificadas as substâncias emitidas e nenhuma teve equivalência conforme método EDIP (tabela de referência em Wenzel, Hauschild e Alting (2000), p. 249), pois os resíduos e subprodutos do curtume não contêm substâncias como CFCs, HCFCs, halons e gases contendo brometos e cloretos.

4.6. Normalização

Os potenciais de impacto são expressos em unidades complexas e refletem os impactos ambientais de uma maneira que não corresponde diretamente a problemas perceptíveis ou a ameaças prevalentes antes da normalização. Nesse contexto, a normalização oferece uma situação de referência da pressão sobre o meio ambiente para cada categoria de impacto ambiental (SLEESWIJKA *et al.*, 2008; UNEP/SETAC, 2011).

Na normalização é comum que os potenciais de impacto sejam comparados com uma unidade comum para todas as categorias, ou seja, é o cálculo das magnitudes relativas para apresentar os resultados em uma forma adequada para a ponderação final e tomada de decisão.

Em síntese, é colocar as categorias de impacto em uma mesma base para facilitar a análise dos dados, uma vez que no inventário as categorias têm suas unidades de cálculo específicas, e com a normalização é possível colocar em uma referência comum.

Vale ressaltar, que os valores da normalização são os cálculos dos resíduos do curtume a nível Brasil, para posteriormente ser quantificado em um índice que será usado para avaliação do desempenho ambiental do setor.

Essa etapa utilizou o método EDIP 97 para a normalização, que segundo Wenzel, Hauschild e Alting (2000), utiliza o consumo de recursos e os impactos potenciais que a sociedade impõe ao ambiente a cada ano. O fator de equivalência é baseado em pessoas, isto é, impacto potencial por pessoa por ano – PE_w .

4.7. Ponderação relativa entre critérios e alternativas ambientais

A ponderação são os pesos relativos atribuídos a diferentes categorias de impacto e consumo de recursos. Em resumo, define como junção de resultados já previamente calculados para alcançar uma única medida total do impacto ambiental do sistema estudado e assim interpretar e analisar os dados (WESTKÄMPER; ALTING; ARNDT, 2000; OLIVEIRA; CRISTOBAL; SAIZAR, 2016). Ou seja, são ponderados entre si variados impactos tendo como resultado final um valor relativo das alternativas e categorias elencadas para cálculo do impacto ambiental total do sistema estudado.

O processo de ponderação consiste em multiplicar os fatores de ponderação pelo resultado da normalização para cada categoria de impacto. A ponderação é frequentemente aplicada sob a forma de fatores de ponderação lineares ou métodos de análise multivariada, ou seja, no estudo será utilizado o IAHP (MENOUI, 2011).

Neste estudo, para a ponderação dos potenciais, foi utilizado o método IAHP (*Improved Analytic Hierarchy Process*, ou análise hierárquica de processos melhorada), que consiste em uma variante do método de *Análise Hierárquica de Processos* (AHP) proposto por Saaty em 1991.

O AHP fundamenta-se na decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho.

A estrutura se dá por comparações paritárias que são obtidas através da normalização. A partir destas comparações por pares, as prioridades calculadas pelo AHP capturam medidas subjetivas e objetivas e demonstram a intensidade de domínio de um critério sobre o outro. Essa foi a forma racional encontrada para lidar com os julgamentos.

Segundo Saaty (1994), o benefício do método é que, como os valores dos julgamentos das comparações paritárias são baseados em experiência, intuição e também em dados físicos, o AHP pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão.

O método AHP original requer uma comparação em pares de várias alternativas em relação a cada um dos atributos e uma comparação por pares dos próprios atributos. Esse método sistemático de tomada de decisão é muito utilizado para organizar todas as camadas de estrutura e fornece uma clara apresentação do conhecimento (CHANG; LEE; H., 2014). O tamanho e o número das matrizes de comparação aumentam à medida que o número de alternativas e/ou atributos aumenta (RAO, 2013). Isso pode ser considerado um dos principais problemas com a técnica convencional de AHP, onde ocorre um aumento quadrático no número de comparações, dependendo do número de alternativas (mais precisamente, $[n \times (n-1) / 2]$) (ZHANG, 2015)

O IAHP foi escolhido por poder lidar eficientemente com atributos objetivos. Neste método, uma matriz de comparação é construída usando uma escala de importância relativa (ZHANG, 2015), que propõe uma maneira sistemática de normalizar os valores dos atributos e a conversão de valores subjetivos em valores objetivos (RAO, 2013). Como corrobora Li *et al.* (2013) em seu estudo que o IAHP tem três vantagens: consistência nas matrizes de comparação; eficácia de extração de informação; e método prático para implementação.

O fator de ponderação para um impacto ambiental deve refletir a gravidade do efeito potencialmente causado pelo impacto e as possíveis consequências deste

efeito em relação aos outros efeitos ambientais encontrados na normalização (WENZEL; HAUSCHILD; ALTING, 2000)

O peso de cada índice de avaliação determinado por meio do IAHP permite que as pessoas saibam que o julgamento da matriz é muito mais consistente e, ao mesmo tempo, pode resolver as dificuldades na determinação das escalas tradicionais e na consistência na verificação da matriz de julgamento (XIULIN; DAWEI, 2014).

O cálculo da ponderação realizada pelo método IAHP se deu em duas fases: i) avaliação de desempenho das alternativas à luz dos critérios, ou seja, inicialmente foi definido o ordenamento dos critérios em função da grandeza do impacto, como estabelecido pelo método EDIP 97 (STRANDDORF; HOFFMANN; SCHMIDT, 2005), para os construtos de aquecimento global, depleção de ozônio, acidificação, enriquecimento de nutrientes, formação de ozônio fotoquímico e ecotoxicidade. ii) avaliação dos critérios à luz do objetivo geral, deste modo, como alternativas da avaliação do impacto, foi utilizado cada um dos vinte e um resíduos encontrados no processo de transformação do couro. Os critérios de avaliação foram utilizados para cálculo dos potenciais ambientais elencados e como comparação das alternativas foi realizada uma comparação pareada dos potenciais calculados previamente no inventário e normalização.

Essa metodologia pode ser exemplificada como ilustra a Figura 9. Os potenciais de impactos constituem os critérios de avaliação, onde foram utilizados como alternativas na ponderação de pares os oito potenciais ambientais (aquecimento global, depleção de ozônio, acidificação, enriquecimento de nutrientes, formação de ozônio fotoquímico, ecotoxicidade aguda na água, ecotoxicidade crônica na água e ecotoxicidade crônica no solo), com as alternativas que são cada um dos vinte e um resíduos e subprodutos gerados durante o processo de fabricação da indústria coureira, calculados previamente.

O método IAHP foi aplicado por meio do software *MindDecider* (<http://www.minddecider.com>), em que apresenta uma opção interessante que é habilitar a função "auto resolver dependências", sendo que esta opção reduz o número de perguntas com base nos significados de correlação inseridos anteriormente. De acordo com Roodchenko e Banin (2015), se o usuário entrar nas

seguintes proporções durante a comparação em pares: $X < Y$ e $Z > Y$, a função "auto resolver dependências" faz uma suposição lógica de que $X < Z$. Alternativamente, quando for inserido: $X < Y$ e $Y = Z$, a função "auto resolver dependências" formula que $X < Z$. Assim, dependendo de uma ordem de comparação, a função "auto resolver dependências" pode reduzir o número de solicitações até quase linear no caso mais apropriado (ROODCHENKO; BANIN, 2015).

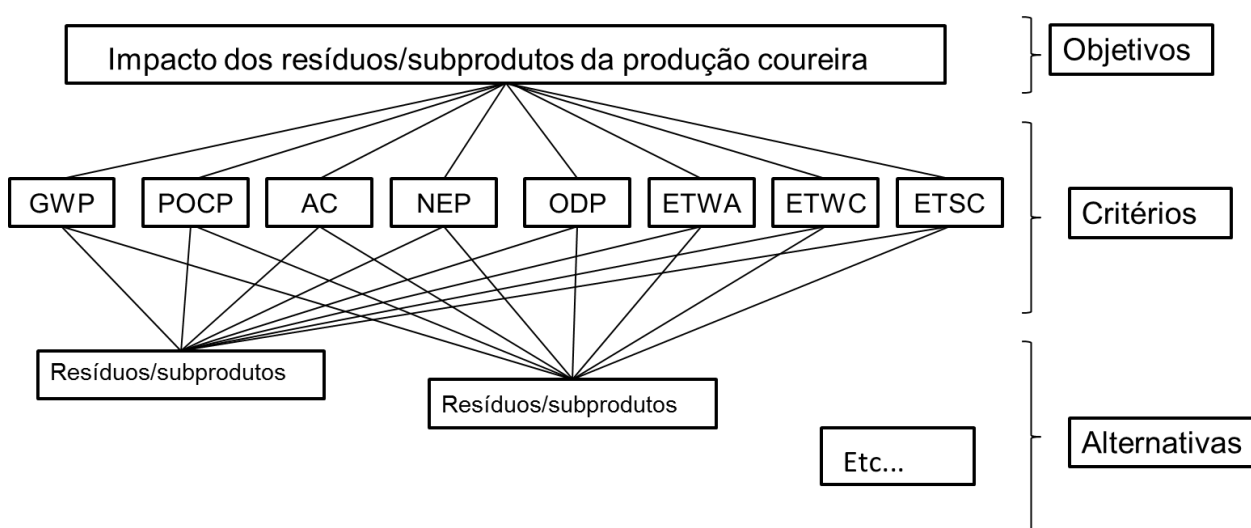


Figura 9. Estrutura de análise hierárquica para ponderação dos resíduos e subprodutos gerados nos processos de fabricação do couro.

Fonte: Elaborado pela autora.

4.8. Desenvolvimento de um Índice de Desempenho Ambiental (I_{da})

Nesta etapa criou-se um único índice que representasse o desempenho ambiental de uma empresa curtumeira. Pretendeu-se formalizar a agregação dos indicadores formando um índice global para oscilar entre 0 e 100%, de modo a tornar possível a comunicação e comparação do desempenho entre empresas.

Foi desenvolvido o índice para representar, em valor de porcentagem, se a destinação dos resíduos e/ou subprodutos na fabricação curtumeira está ambientalmente adequada.

A fórmula geral para o I_{da} é expressa por [14]:

$$Ida = \sum_{i=1}^n \left(\frac{(V(a))_i Q_i A_i}{(\sum_{j=1}^n (V(a))_j Q_j A_j)} K_i \right) \times 100 \quad [14]$$

Onde:

- a) n - número de resíduos gerados no processo produtivo considerado, identificados no inventário.
- b) $V_{(a)i}$ - peso relativo do potencial impacto ambiental de cada resíduo/subproduto. O cálculo desta variável se deu em duas fases: i) inicialmente foram definidos os potenciais de impacto ambiental para cada resíduo e subproduto a partir das categorias de potenciais de aquecimento global, potencial de depleção da camada de ozônio, potencial formação de ozônio fotoquímico, potencial de acidificação, potencial de eutrofização e potencial de ecotoxicidade propostos no método EDIP 97 desenvolvido por Wenzel, Hauschild e Alting (2000). Com isso, para cada substância foram calculados os fatores de equivalência. O potencial impacto ambiental de um resíduo/subproduto é, portanto, calculado pela somatória da multiplicação do fator de equivalência de cada substância que o compõe pela quantidade da substância presente no resíduo/subproduto. Com isso, foram calculados os seis potenciais de impacto ambiental: potencial de aquecimento global, potencial de depleção da camada de ozônio, potencial formação de ozônio fotoquímico, potencial de acidificação, potencial de eutrofização e potencial de ecotoxicidade para cada resíduo e subproduto; ii) para a ponderação quantitativa dos potenciais de impacto ambiental dos resíduos/subprodutos aplicou-se o método IAHP. Desta forma, os dados referentes aos potenciais de impacto ambiental de cada resíduo/subproduto calculados pelo método EDIP 97 foram, então, aplicados no software *MindDecider* e o resultado obtido refere-se ao peso relativo de cada resíduo e subproduto ($V_{(a)i}$).
- c) Q_i - quantidade relativa de cada resíduo ou subproduto. Esta variável identifica a participação, em porcentagem, que cada resíduo ou subproduto apresenta relativo à quantidade total de resíduos e

subprodutos gerados pela indústria curtumeira brasileira, considerando o período de um ano correspondente a estimativa do ano de 2016. É expressa pela fórmula 15:

$$Qi = \frac{bi}{\sum_{j=1}^n bj} \times 100 \quad [15]$$

Onde, b_i representa a quantidade absoluta de resíduo ou subproduto i gerado pela indústria considerada.

d) A_i - impacto da cobertura geográfica relativa de cada resíduo ou subproduto, expressa por pela fórmula 16:

$$Ai = \frac{xi}{\sum_{j=1}^n xj} \times 100 \quad [16]$$

Em que, x é igual a um valor, entre 1 e 3, definido conforme a cobertura geográfica que o impacto de cada resíduo/subproduto pode alcançar, como mostrado na Tabela 4 e Figura 10.

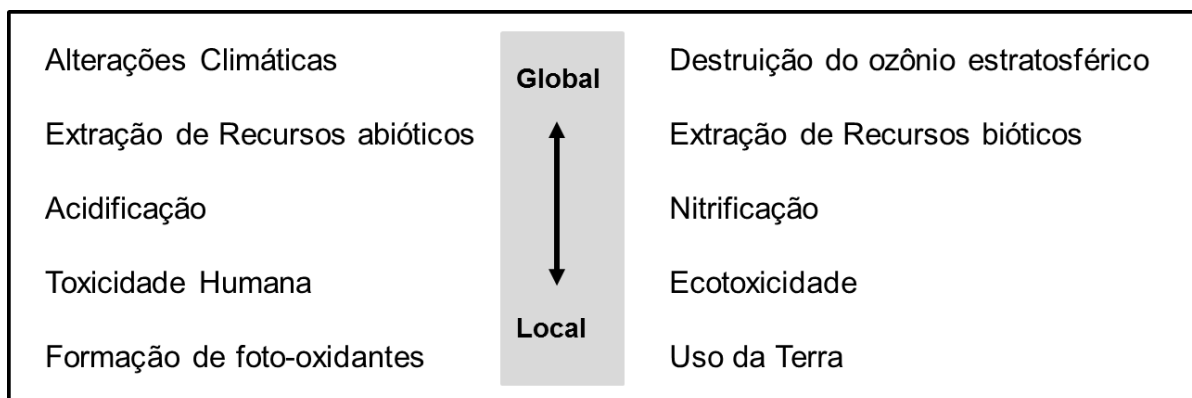


Figura 10. Abrangência geográfica do impacto ambiental.
Fonte: UNEP/SETAC, 2011.

x	1	2	3
Critério	O impacto é local, os efeitos afetam o local de produção e seus arredores.	O impacto é regional, é relevante para além dos arredores do local de produção.	O impacto é estratégico, podem ter consequências relevantes com cobertura em âmbito nacional ou global.

Tabela 4. Critérios utilizados na cobertura geográfica dos resíduos

Fonte: Adaptado de REBELATO *et al.*, 2017.

e) k_i - avaliação categórica da destinação final realizada pela empresa a ser analisada para cada resíduo e subproduto, uma vez que podem ser empregados meios adequados ou inadequados para esta destinação. É atribuído o valor 1 para destinação considerada ambientalmente adequada e o valor 0 para destinação considerada ambientalmente inadequada.

4.9. Estudo dos multicasos (coleta de dados e aplicação da estrutura criada)

Foram escolhidos três curtumes completos/integrados, ou seja, que realizam todas as etapas de transformação do couro, na região de Franca/SP. A escolha deu-se pela disponibilidade e pela conveniência da pesquisadora. A escolha do tipo de curtume deu-se porque o curtume completo possui um melhor campo para análise, assim como, detêm etapas produtivas, principalmente da ribeira e curtimento, que são etapas de maior risco ambiental.

A coleta de dados da pesquisa foi realizada de duas maneiras:

- 1) Visita *in loco* em uma das empresas, em que durante a visita foram vistas todas as etapas produtivas e seus respectivos resíduos/subprodutos e possível descarte, e ao final fornecido o plano de gerenciamento de resíduos sólidos da empresa, esse documento que foi elaborado para cumprimento de exigência do órgão regulador ambiental. Foi realizada também uma entrevista não estruturada com o responsável químico da empresa visitada, para coleta de dados pertinentes ao processo produtivo do curtume;

- 2) As outras duas empresas, os documentos relacionados com o gerenciamento de resíduos foram fornecidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), por meio dos processos de licenciamento ambiental, em que sua renovação é obrigatória a cada dois anos. Dando assim todo suporte para a etapa de inventário e quantificação de resíduos inerentes ao processo produtivo.

4.10. Quantificação dos resultados finais

Esta etapa foi realizada através da análise dos dados obtidos e cálculo dos parâmetros necessários para a formação do I_{da} .

5. ESTUDO MULTICASOS: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL EM TRÊS CURTUMES NA REGIÃO DE FRANCA/SP

Neste capítulo serão apresentados os resultados do presente estudo, abrangendo: o estudo multicasos identificando o contexto das empresas estudadas, o cálculo dos potenciais ambientais do EDIP 97 para os resíduos e subprodutos gerados na fabricação de couro e o teste da estrutura metodológica para avaliação de desempenho ambiental, como base os potenciais de aquecimento global, depleção de ozônio, acidificação, enriquecimento de nutrientes, formação de ozônio fotoquímico, ecotoxicidade aguda na água, ecotoxicidade crônica na água e ecotoxicidade crônica dos potenciais impactos do processo produtivo do couro.

5.1. Estudo multicasos: contexto investigado

Para o desenvolvimento deste estudo, foi realizado um estudo em três empresas da indústria curtumeira, em que foram realizadas duas visitas *in loco* em uma das empresas estudadas, durante o ano de 2016 pela pesquisadora. Os dados do inventário das outras duas empresas estudadas foram coletados por meio de documentos relacionados com o gerenciamento de resíduos foram fornecidos pela CETESB, principalmente documentos de licenciamento ambiental. Os contextos investigados das empresas estudadas estão apresentados a seguir.

Para fins de confidencialidade, as empresas estudadas foram denominadas empresa A, empresa B e empresa C.

Empresa A

A empresa A é um curtume fundado na década de 1960. Com uma unidade instalada na cidade São Sebastião do Paraíso, interior do Estado de Minas Gerais, Brasil. Essa cidade fica aproximadamente 75 km de Franca/SP.

Este curtume faz parte de um grupo que contempla todas as etapas da cadeia carne, couro e calçado. Neste sentido, o frigorífico do grupo é o principal fornecedor da pele animal para o curtume. Uma grande vantagem é que essas empresas estão localizadas na mesma cidade, facilitando o processo logístico, consequentemente diminuição de custos de produção e transporte.

Tem uma área construída de cerca de dez mil metros quadrados e área total de trinta mil metros, dividido em produção e escritório administrativo, e possui em seu quadro funcional cerca de 135 funcionários em toda. Em 2016, esse curtume produziu cerca de 4.600 toneladas de peles acabadas, suprimindo a necessidade do grupo para produção de calçado e móveis, e ainda exportando parte da produção.

A visita nessa empresa foi realizada em novembro/2016 e contou com a presença do químico responsável do curtume. Essa visita se realizou a partir da observação do local estudado e reunindo informações documentais da empresa, como o plano de resíduos sólidos contemplando todas as informações do ciclo produtivo, com seus respectivos resíduos e subprodutos, quantidades geradas e a disposição no meio ambiente.

Empresa B

A empresa B é curtume fundado na cidade de Franca/SP em 1886. Foi o pioneiro a instalar-se na região de Franca, sendo seguido posteriormente por outras empresas do mesmo ramo.

Em 1924 o curtume foi vendido, e adotou algumas melhorias de tecnologias para a época. Em 1943, aumentaram a produção de 20 para 120 couros/dia. Em meados da década de 40, era um curtume muito conhecido no cenário Brasileiro. Em 1977, a empresa aumentou para 450 couros/dia. Nessa mesma época, a empresa passou por uma série de melhorias fortalecendo as negociações com vários clientes nacionais e internacionais.

Atualmente esse curtume está instalado no distrito industrial francano, com uma capacidade produtiva de 1500 couros/dia acabados e em 2016, teve a produtividade de 240 mil peles acabadas. Com um parque Industrial composto de uma área total de 53.000 metros quadrados e uma área construída de 30.000 metros quadrados. Esse curtume possui frota própria para o transporte rodoviário de seus produtos acabados e um quadro de 300 funcionários no quadro funcional.

Os dados do gerenciamento de resíduos sólidos deste curtume foram consultados no processo de licenciamento ambiental do mesmo fornecido pela

CETESB, do ano de 2016, que foi a última solicitação de licenciamento da planta produtiva.

Empresa C

A empresa C é um curtume fundado na década de 1919. Sendo um dos primeiros curtumes na cidade de Franca/SP. Atualmente conta com três unidades produtivas e duas unidades administrativas e de expedição.

A matriz está localizada no distrito industrial de Franca, com aproximadamente 16 mil metros quadrados construídos em um terreno de 24 mil metros quadrados, com a capacidade de processamento de 2.000 peles/dia, ou seja, 10.000 m² couros/dia. Em 2016, sua produção ficou em 1 milhão de peles acabadas. A maior parte da produção das peles estão focadas para o mercado interno, para atender as indústrias de calçados, estofados automotivos, moveleiro e artefatos de couro. Porém também tem foco na exportação de couros semiacabados e acabados.

Os dados do gerenciamento de resíduos sólidos deste curtume foram consultados no processo de licenciamento ambiental do mesmo fornecido pela CETESB, do ano de 2015, que foi a última solicitação de licenciamento da planta produtiva.

5.2. Cálculo dos potenciais ambientais

Nessa etapa do estudo foi calculado cada potencial de impacto das categorias ambientais do EDIP para cada resíduo do processo produtivo do couro. Para o estudo o cálculo dos potenciais as quantidades de resíduos foi estimadas conforme produção a nível Brasil de peles. Em 2016, a produção de peles foi de 44 milhões de peles acabadas, ou seja, 495.000 toneladas de pele acabada, ou seja, 1.980.000 toneladas de pele salgada para o ano de 2016.

Após isso, foi identificada a composição físico-química de todos resíduos e subprodutos. De posse desses dados, foi possível identificar a nível do Brasil, a quantidade de cada substância presente no total dos resíduos e subprodutos identificados no setor coureiro.

RESÍDUOS		GWP g CO ₂ /g	POCP g C ₂ H ₄ /g	AC g SO ₂ ^{-eq} /g	NEP g NO ₃ ⁻ /g	EP (etwa)	ET EP (etwc)	EP (etsc)
1	Batimento do couro salgado	0	0	0	0	0	0	0
2	Aparas Não Caleadas	0	0	0	0	0	0	0
3	Aparas Caleadas	0	0	25280028977	1,4414E+10	3,1307E+13	6,3562E+13	0
4	Carnaça	0	0	56665897104	1,4414E+10	6,6797E+13	1,3562E+14	0
5	Serragem de <i>Wetblue</i>	2,0328E+11	4065600000	1,07007E+11	2,1922E+11	7,0833E+11	7,0833E+12	106390872
6	Aparas de <i>Wetblue</i>	2,4394E+11	4878720000	1,17378E+11	2,4239E+11	7,0833E+11	8,9791E+12	134095839
7	Pó de Lixadeira	6652800000	133056000	2652929697	5415986756	1,5408E+10	1,5408E+11	2326312,4
8	Aparas de Couros	2,3377E+11	4675440000	1,12151E+11	2,3071E+11	5,7684E+11	5,7684E+12	86290173
9	Resíduos de Pintura	0	396000000	0	0	49500000	118800000	194040000
10	Cinzas da Caldeira	0	0	348480000	6610585617	3987758244	2,4012E+11	923314,99
11	Gordura	0	0	0	0	0	0	0
12	Limpeza de pisos e equipamentos	0	7920000	854426,492	1027394,28	3987758244	3,987E+10	4487315
13	Lodo de Caleiro	1,9404E+12	38808000000	3,37981E+11	6,2495E+11	2,0968E+10	2,0969E+11	1,135E+09
14	Lodo de Cromo	6,2093E+10	1241856000	15037039236	1,239E+11	7,8514E+11	5,1821E+12	1,023E+09
15	Lodo de Recurtimento	5,313E+10	1062600000	15826849451	3,9971E+10	1,6011E+11	5,3252E+11	39866428
16	Lâmpadas	0	0	0	0	41944894,3	310119685	214134,44
17	Pilhas e baterias	0	0	0	0	182129508	1830799080	11509,344
18	Gases caldeira	8,9595E+10	61132500	420750000	1032075000	0	0	0
19	Emissões gasosas da ribeira	0	27720000	13028400000	1,4414E+10	9,801E+12	1,9899E+13	0
20	Sucatas ferrosas	0	0	49445,97755	713468,25	639168750	1590187502	31835925
21	Emissões gasosas do acabamento	0	792000000	0	0	74250000	178200000	291060000

Tabela 5. Potenciais dos aspectos ambientais para os resíduos e subprodutos da indústria coureira .

Fonte: Elaborado pela autora.

5.3. Cálculo da normalização dos potenciais

O cálculo da normalização é realizado com base no cálculo dos potenciais como apresentado na Tabela 5 dividido pelo índice apresentado no Quadro 5 a seguir, em que cada constructo tem uma equivalência estabelecida pelo método EDIP para que tenha uma única referência para facilitar a próxima etapa que é a ponderação.

Categoria de Impacto ambiental	Unidade	Normalização
Aquecimento global	g CO ₂ - eq/pessoa /ano	8.700.000
Formação de ozônio fotoquímico	g C ₂ H ₄ -eq/pessoa/ano	22.000
Acidificação	g SO ₂ -eq/pessoa/ano	59.000
Enriquecimento de nutrientes	g NO ₃ ⁻ -eq/pessoa/ano	95.000
Ecotoxicidade água aguda (etwa)	m ³ água/pessoa/ano	23.300
Ecotoxicidade água crônica (etwc)	m ³ água/pessoa/ano	282.000
Ecotoxicidade solo crônico (etsc)	m ³ solo/pessoa/ano	771.000

Quadro 5. Índices de Normalização EDIP

Fonte: Elaborado pela autora.

Após os cálculos da normalização, para cada potencial foi apontado um resíduo que representa um maior impacto por pessoa por ano. Os resíduos como o batimento de couro salgado, aparas não caleadas e gordura foram considerados como não impactantes para o meio ambiente, segundo a inventariação dos dados e substâncias encontradas, conforme o EDIP não causa impacto na saúde ambiental.

	RESÍDUOS	GWP	POCP	AC	NEP	EP (etwa)	EP (etwc)	EP (etsc)
1	Batimento do couro salgado	0	0	0	0	0	0	0
2	Aparas Não Caleadas	0	0	0	0	0	0	0
3	Aparas Caleadas	0	0	428.475	151.731	1.343.627.423	225.396.171	0
4	Carnaça	0	0	960.439	151.731	2.866.812.630	480.913.518	0
5	Serragem de <i>wetblue</i>	23.366	184.800	1.813.682	2.307.594	30.400.250	25.117.937	138
6	Aparas de <i>wetblue</i>	28.039	221.760	1.989.454	2.551.452	30.400.250	31.840.859	174
7	Pó de Lixadeira	765	6.048	44.965	57.010	661.270	546.368	3
8	Aparas de Couros Acabados	26.870	212.520	1.900.862	2.428.549	24.757.186	20.455.405	112
9	Resíduos de Pintura	0	18.000	0	0	2.124	421	252
10	Cinzas da Caldeira	0	0	5.906	69.585	171.148	851.505	1
11	Gordura	0	0	0	0	0	0	0
12	Limpeza de pisos e equipamentos	0	360	14	11	171.148	141.383	6
13	Lodo de Caleiro	223.034	1.764.000	5.728.497	6.578.435	899.920	743.575	1.473
14	Lodo de Cromo	7.137	56.448	254.865	1.304.228	33.697.069	18.376.089	1.326
15	Lodo de Recurtimento	6.107	48.300	268.252	420.751	6.871.752	1.888.383	52
16	Lâmpadas	0	0	0	0	1.800	1.100	0
17	Pilhas e baterias	0	0	0	0	7.817	6.492	0
18	Gases caldeira	10.298	2.779	7.131	10.864	0	0	0
19	Emissões gasosas da ribeira	0	1.260	220.820	151.731	420.643.777	70.563.830	0
20	Sucatas ferrosas	0	0	1	8	27.432	5.639	41
21	Emissões gasosas do acabamento	0	36.000	0	0	3.187	632	378

Tabela 6. Normalização dos Potenciais dos aspectos ambientais para os resíduos e subprodutos da indústria coureira.
Fonte: elaborada pela autora.

5.4. Teste da estrutura metodológica: estudo multicaseos

Para a avaliação do desempenho ambiental baseado no potencial de aquecimento global, depleção de ozônio, acidificação, enriquecimento de nutrientes, formação de ozônio fotoquímico, ecotoxicidade aguda na água, ecotoxicidade crônica na água e ecotoxicidade crônica das empresas estudadas foi utilizado o índice I_{da} expresso na fórmula [14].

Ressalta-se que para o cálculo dos potenciais ambientais do EDIP partiu-se do pressuposto que cada um deles teve exposição direta indevida (sem tratamento prévio) no ambiente. Para exemplificar, na comparação em pares dos resíduos lodo do curtume e lodo do recurtimento com relação ao NEP, partiu-se da ideia de que ambos foram lançados diretamente no solo. Neste caso, o lodo do curtume apresentou uma proporção de 15:1, ou seja, dada à sua composição, o lodo do caleiro é quinze vezes mais impactante para o enriquecimento de nutrientes quando lançada no solo do que o lodo do recurtimento.

A Tabela 7 apresenta, em ordem crescente, os valores de peso relativo do potencial impacto ambiental de cada resíduo/subproduto - $V_{(a)j}$. Esse índice foi calculado usando o software *MindDecider*, conforme mostra Figura 11.

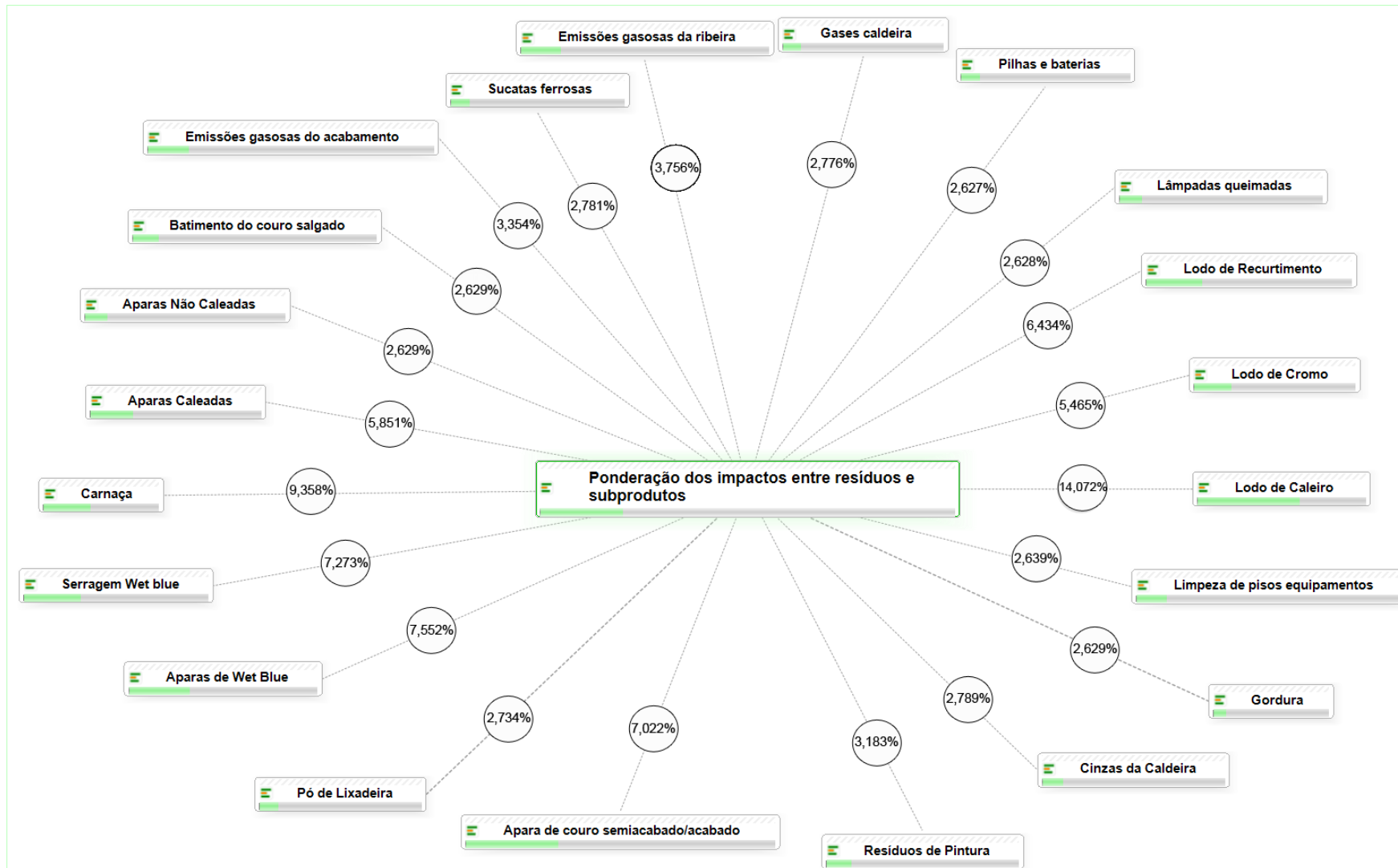


Figura 11. Ponderação do potencial impacto ambiental de cada resíduo/subproduto - $V_{(a)i}$.
 Fonte: Elaborado pela autora de acordo com *Software MindDecider*.

RESÍDUOS/SUBPRODUTOS	$V_{(a)i}$ (%)
Pilhas e baterias	2,627
Lâmpadas	2,628
Batimento do couro salgado	2,629
Aparas Não Caleadas	2,629
Gordura	2,629
Limpeza de pisos e equipamentos	2,639
Sucatas ferrosas	2,700
Cinzas da Caldeira	2,709
Pó de Lixadeira	2,734
Gases caldeira	2,776
Resíduos de Pintura	3,103
Emissões gasosas do acabamento	3,354
Emissões gasosas da ribeira	3,796
Lodo de Cromo	5,485
Aparas Caleadas	5,851
Lodo de Recurtimento	6,434
Aparas de Couros Acabados	7,022
Serragem de <i>wetblue</i>	7,273
Aparas de <i>wetblue</i>	7,552
Carnaça	9,358
Lodo de Caleiro	14,072
TOTAL	100,000

Tabela 7. Peso relativo dos potenciais ambientais para cada resíduo e subproduto
 Fonte: Elaborado pela autora

Os próximos passos consistiram, para cada resíduo/subproduto, nos seguintes cálculos: i) quantidade relativa (Q_i), calculada a partir da quantidade absoluta (b_i) dos resíduos/subprodutos no processo de fabricação estudado de cada empresa, como apresenta a Tabela 8; e ii) cobertura geográfica relativa (A_i). Por fim, foi identificada a destinação final de cada resíduo e subproduto produzido pelas empresas estudadas.

Resíduos/subprodutos	Curtume A	Curtume B	Curtume C
	Quantidade absoluta (b_i) (Ton./Ano)	Quantidade absoluta (b_i) (Ton./Ano)	Quantidade absoluta (b_i) (Ton./Ano)
Pilhas e baterias	0,01	0,01	0,05
Lâmpadas	0,1	0,01	0,1
Batimento do couro salgado	1290,6	756,0	1100,0
Aparas Não Caleadas	230,5	282,6	350,0
Gordura	18,0	33,0	72,0
Limpeza de pisos e equipamentos	56,5	10,8	26,4
Sucatas ferrosas	28,1	15,0	0,1
Cinzas da Caldeira	14,4	12,0	39,6
Pó de Lixadeira	17,8	2,5	1,3
Gases caldeira	46,1	69,1	75,0
Resíduos de Pintura	36,9	13,5	15,0
Emissões gasosas do acabamento	44,9	105,3	73,1
Emissões gasosas da ribeira	101,4	27,0	165,0
Lodo de Cromo	135,3	180,0	160,0
Aparas Caleadas	921,0	748,7	640,0
Lodo de Recurtimento	54,3	38,0	390,0
Aparas de Couros Acabados	35,4	97,5	51,5
Serragem de <i>wetblue</i>	86,0	130,4	75,8
Aparas de <i>wetblue</i>	93,8	169,6	82,6
Carnaça	180,5	330,4	720,0
Lodo de Caleiro	1005,5	1080,0	1200,0
Total Resíduo/subproduto	4397,2	4101,4	5237,6

Tabela 8. Quantidade absoluta (b_i) dos resíduos/subprodutos no processo de fabricação estudado

Fonte: Elaborado pela autora

Dados: CETESB e Visitas *in loco*.

A cobertura geográfica alcançada é importante para o I_{da} , deste modo, para cálculo do índice geral dos três curtumes estudados foi utilizado os mesmos valores de A_i , pois estão localizados em regiões próximas. Na Figura 12, apresenta que 57% dos resíduos considerados impactam regionalmente. Assim como, quase 25% dos impactos influenciam uma área nacional ou global.

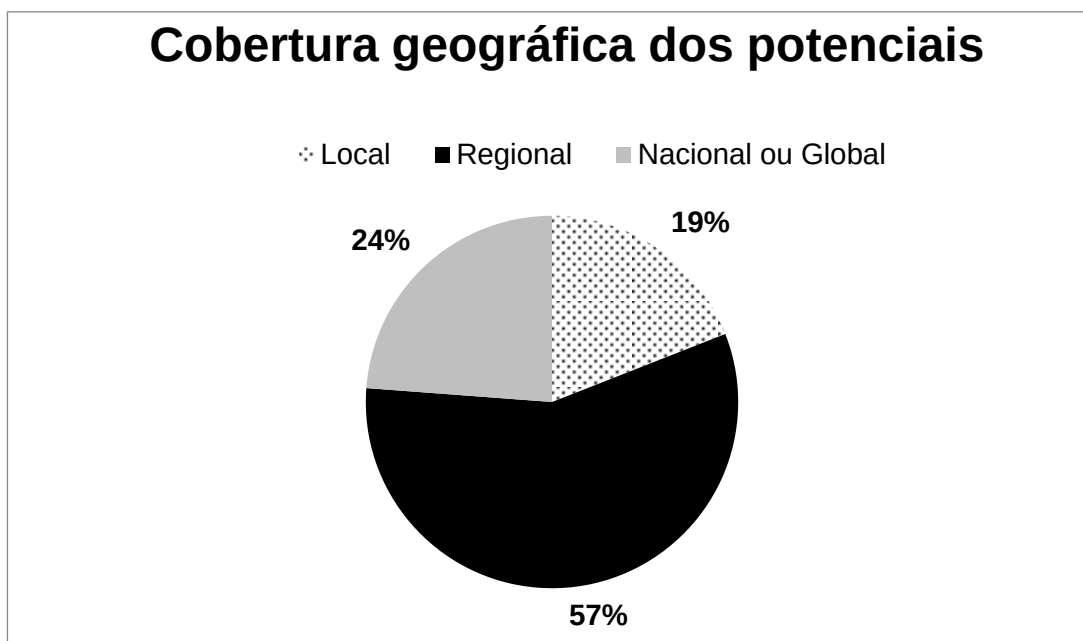


Figura 12. Gráfico da cobertura geográfica atingida pelos potenciais impactos ambientais

Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 9 apresenta a identificação dos resíduos e subprodutos, a destinação efetuada pela empresa A e a avaliação categórica de cada destinação (k_i). Desta maneira, na avaliação categórica (k_i) dos resíduos/subprodutos da empresa A atribuiu-se um valor igual a zero para os gases provenientes de lenha da caldeira, resíduos de pintura, emissões gasosas do acabamento, emissões gasosas da ribeira, aparas de couros acabados, serragem de *wetblue* e aparas de *wetblue*. Os demais resíduos e subprodutos apresentaram destinação consideradas ambientalmente adequadas.

Resíduos / Subprodutos	Destinação da empresa – Empresa A	K _i
Pilhas e baterias	Aterro Industrial Classe II	1,000
Lâmpadas	Aterro Industrial Classe II	1,000
Batimento do couro salgado	Aterro Industrial Classe II	1,000
Aparas Não Caleadas	Comercialização	1,000
Gordura	Comercialização	1,000
Limpeza de pisos e equipamentos	Aterro Industrial Classe II	1,000
Sucatas ferrosas	Comercialização	1,000
Cinzas da Caldeira	Aterro Industrial Classe II	1,000
Pó de Lixadeira	Aterro Industrial Classe II	0,000
Gases caldeira	Emissões no Ar	0,000
Resíduos de Pintura	Aterro Industrial Classe II	0,000
Emissões gasosas do acabamento	Emissões no Ar	0,000
Emissões gasosas da ribeira	Emissões no Ar	0,000
Lodo de Cromo	Aterro Industrial Classe I	1,000
Aparas Caleadas	Comercialização	1,000
Lodo de Recurtimento	Aterro Industrial Classe I	1,000
Aparas de Couros Acabados	Aterro Industrial Classe II	0,000
Serragem de <i>wetblue</i>	Aterro Industrial Classe II	0,000
Aparas de <i>wetblue</i>	Aterro Industrial Classe II	0,000
Carnaça	Comercialização	1,000
Lodo de Caleiro	Aterro Industrial Classe II	1,000

Tabela 9. Destinação e avaliação categórica dos resíduos e subprodutos da empresa A

Fonte: elaborado pela autora.

A Tabela 10 apresenta a identificação dos resíduos e subprodutos, a destinação efetuada pelas empresas B e C e a avaliação categórica de cada destinação (k_i). Desta maneira, na avaliação categórica (k_i) dos resíduos/subprodutos das empresas B e C atribuíram-se um valor igual a zero para os gases provenientes de lenha da caldeira, resíduos de pintura, emissões gasosas do acabamento, emissões gasosas da ribeira, aparas de couros acabados, serragem de *wetblue*, aparas de *wetblue*, lodo de cromo e lodo do recurtimento. Os demais resíduos e subprodutos apresentaram destinação consideradas ambientalmente adequadas.

Resíduos / Subprodutos	Destinação da empresa – Empresa B e C	K _i
Pilhas e baterias	Aterro Industrial Classe II	1,000
Lâmpadas	Aterro Industrial Classe II	1,000
Batimento do couro salgado	Aterro Industrial Classe II	1,000
Aparas Não Caleadas	Comercialização	1,000
Gordura	Comercialização	1,000
Limpeza de pisos e equipamentos	Aterro Industrial Classe II	1,000
Sucatas ferrosas	Comercialização	1,000
Cinzas da Caldeira	Aterro Industrial Classe II	1,000
Pó de Lixadeira	Aterro Industrial Classe II	0,000
Gases caldeira	Emissões no Ar	0,000
Resíduos de Pintura	Aterro Industrial Classe II	0,000
Emissões gasosas do acabamento	Emissões no Ar	0,000
Emissões gasosas da ribeira	Emissões no Ar	0,000
Lodo de Cromo	Aterro Industrial Classe II	0,000
Aparas Caleadas	Comercialização	1,000
Lodo de Recurtimento	Aterro Industrial Classe II	0,000
Aparas de Couros Acabados	Aterro Industrial Classe II	0,000
Serragem de <i>wetblue</i>	Aterro Industrial Classe II	0,000
Aparas de <i>wetblue</i>	Aterro Industrial Classe II	0,000
Carnaça	Comercialização	1,000
Lodo de Caleiro	Aterro Industrial Classe II	1,000

Tabela 10. Destinação e avaliação categórica dos resíduos e subprodutos da empresa B e C.

Fonte: elaborado pela autora.

Após a ponderação relativa no *Software MindDecider*, foi possível calcular o Índice de desempenho ambiental (I_{da}) das três empresa estudadas. Os resultados de $V_{(a)i}$, (b_i) , (Q_i) , (A_i) , (k_i) , I_{da} e percentual de participação no I_{da} geral para cada resíduo e subproduto da empresa A são apresentados na Tabela 11.

Resíduos/ subprodutos	Ponderação o relativa ($V_{(a)i}$) (%)	Quantidade absoluta (b_i) (Ton./Ano)	Quantidade relativa (Q_i) (%)	Cobertura geográfica Relativa (A_i) (%)	Avaliação categórica (k_i)	I_{da} (%)	Participação no I_{da} (%)
Pilhas e baterias	2,627	0,014	0,000	0,047	1,000	0,000	0,000
Lâmpadas	2,628	0,137	0,003	0,047	1,000	0,001	0,001
Batimento do couro salgado	2,629	1290,576	29,350	0,023	1,000	6,194	6,916
Aparas Não Caleadas	2,629	230,460	5,241	0,023	1,000	1,106	1,235
Gordura	2,629	18,045	0,410	0,023	1,000	0,087	0,097
Limpeza de pisos e equipamentos	2,639	56,540	1,286	0,047	1,000	0,545	0,608
Sucatas ferrosas	2,700	28,110	0,639	0,023	1,000	0,001	0,000
Cinzas da Caldeira	2,709	14,420	0,328	0,047	1,000	0,143	0,159
Pó de Lixadeira	2,734	17,760	0,404	0,070	0,000	0,000	0,000
Gases caldeira	2,776	46,092	1,048	0,070	0,000	0,000	0,000
Resíduos de Pintura	3,103	36,874	0,839	0,070	0,000	0,000	0,00
Emissões gasosas do acabamento	3,354	44,940	1,022	0,070	0,000	0,000	0,000
Emissões gasosas da ribeira	3,796	101,402	2,306	0,070	0,000	0,000	0,000
Lodo de Cromo	5,485	135,341	3,078	0,047	1,000	2,710	3,026
Aparas Caleadas	5,851	921,020	20,946	0,047	1,000	19,674	21,968
Lodo de Recurtimento	6,434	54,331	1,236	0,047	1,000	1,276	1,425
Aparas de Couros Acabados	7,022	35,350	0,804	0,047	0,000	0,000	0,000
Serragem de <i>wetblue</i>	7,273	85,987	1,955	0,047	0,000	0,000	0,000
Aparas de <i>wetblue</i>	7,552	93,803	2,133	0,047	0,000	0,000	0,000
Carnaça	9,358	180,455	4,104	0,047	1,000	6,165	6,884
Lodo de Caleiro	14,072	1005,507	22,867	0,047	1,000	51,658	57,680
TOTAL	100,000	4397,165	100,000	1,000		89,826	100,00

Tabela 11. Resultados de $V_{(a)i}$, (b_i), (Q_i), (A_i), (k_i), I_{da} e percentual de participação no I_{da} geral para a empresa A.

Fonte: Elaborado pela autora.

Após a ponderação relativa no Software *MindDecider*, foi possível calcular o Índice de desempenho ambiental (I_{da}) das três empresa estudadas. Os resultados de $V_{(a)i}$, (b_i), (Q_i), (A_i), (K_i), I_{da} e percentual de participação no I_{da} geral para cada resíduo e subproduto da empresa B são apresentados na Tabela 12.

Resíduos/ subprodutos	Ponderação relativa ($V_{(a)i}$) (%)	Quantidade absoluta (b_i) (Ton./Ano)	Quantidade relativa (Q_i) (%)	Cobertura geográfica Relativa (A_i) (%)	Avaliação categórica (K_i)	I_{da} (%)	Participação no I_{da} (%)
Pilhas e baterias	2,627	0,010	0,000	0,047	1,000	0,000	0,000
Lâmpadas	2,628	0,009	0,000	0,047	1,000	0,000	0,000
Batimento do couro salgado	2,629	756,000	18,433	0,023	1,000	3,386	4,117
Aparas Não Caleadas	2,629	282,599	6,890	0,023	1,000	1,266	1,539
Gordura	2,629	33,040	0,806	0,023	1,000	0,148	0,180
Limpeza de pisos e equipamentos	2,639	10,800	0,263	0,047	1,000	0,097	0,118
Sucatas ferrosas	2,700	15,000	0,366	0,023	1,000	0,001	0,000
Cinzas da Caldeira	2,709	12,000	0,293	0,047	1,000	0,111	0,135
Pó de Lixadeira	2,734	2,542	0,062	0,070	0,000	0,000	0,000
Gases caldeira	2,776	69,120	1,685	0,070	0,000	0,000	0,000
Resíduos de Pintura	3,103	13,500	0,329	0,070	1,000	0,000	0,000
Emissões gasosas do acabamento	3,354	105,300	2,567	0,070	0,000	0,000	0,000
Emissões gasosas da ribeira	3,796	27,000	0,658	0,070	0,000	0,000	0,000
Lodo de Cromo	5,485	180,000	4,389	0,047	0,000	0,000	0,000
Aparas Caleadas	5,851	748,678	18,254	0,047	1,000	14,925	18,146
Lodo do Recurtimento	6,434	37,996	0,926	0,047	0,000	0,000	0,000
Aparas de Couros Acabados	7,022	97,458	2,376	0,047	0,000	0,000	0,000
Serragem de <i>wetblue</i>	7,273	130,435	3,180	0,047	0,000	0,000	0,000
Aparas de <i>wetblue</i>	7,552	169,565	4,134	0,047	0,000	0,000	0,000
Carnaça	9,358	330,396	8,056	0,047	1,000	10,534	12,808
Lodo de Caleiro	14,072	1080,000	26,332	0,047	1,000	51,781	62,957
TOTAL	100,000	4101,448	100,000	1,000		82,284	100,00

Tabela 12. Resultados de $V_{(a)i}$, (b_i), (Q_i), (A_i), (k_i), I_{da} e percentual de participação no I_{da} geral para a empresa B.

Fonte: Elaborado pela autora.

Após a ponderação relativa realizada com o Software *MindDecider*, foi possível calcular o Índice de desempenho ambiental (I_{da}) das três empresas estudadas. Os resultados de $V_{(a)i}$, (b_i), (Q_i), (A_i), (k_i), I_{da} e percentual de participação no I_{da} geral para cada resíduo e subproduto da empresa C são apresentados na Tabela 13.

Resíduos/ subprodutos	Ponderação relativa ($V_{(a)i}$) (%)	Quantidade absoluta (b_i) (Ton./Ano)	Quantidade relativa (Q_i) (%)	Cobertura geográfica Relativa (A_i) (%)	Avaliação categórica (K_i)	I_{da} (%)	Participação no I_{da} (%)
Pilhas e baterias	2,627	0,050	0,001	0,047	1,000	0,000	0,000
Lâmpadas	2,628	0,120	0,002	0,047	1,000	0,001	0,001
Batimento do couro salgado	2,629	1100,000	21,002	0,023	1,000	3,998	4,894
Aparas Não Caleadas	2,629	350,000	6,682	0,023	1,000	1,272	1,557
Gordura	2,629	72,000	1,375	0,023	1,000	0,262	0,320
Limpeza de pisos e equipamentos	2,639	26,400	0,504	0,047	1,000	0,193	0,236
Sucatas ferrosas	2,700	0,100	0,002	0,023	1,000	0,000	0,000
Cinzas da Caldeira	2,709	39,600	0,756	0,047	1,000	0,297	0,363
Pó de Lixadeira	2,734	1,340	0,026	0,070	0,000	0,000	0,000
Gases caldeira	2,776	75,000	1,432	0,070	0,000	0,000	0,000
Resíduos de Pintura	3,103	15,000	0,286	0,070	0,000	0,000	0,000
Emissões gasosas do acabamento	3,354	73,125	1,396	0,070	0,000	0,000	0,000
Emissões gasosas da ribeira	3,796	165,000	3,150	0,070	0,000	0,000	0,000
Lodo de Cromo	5,485	160,000	3,055	0,047	0,000	0,000	0,000
Aparas Caleadas	5,851	640,000	12,219	0,047	1,000	10,354	12,674
Lodo de Recurtimento	6,434	390,000	7,446	0,047	0,000	0,000	0,000
Aparas de Couros Acabados	7,022	51,460	0,983	0,047	1,000	0,000	0,000
Serragem de wetblue	7,273	75,760	1,446	0,047	0,000	0,000	0,000
Aparas de wetblue	7,552	82,640	1,578	0,047	0,000	0,000	0,000
Carnaça	9,358	720,000	13,747	0,047	1,000	18,630	22,804
Lodo de Caleiro	14,072	1200,000	22,911	0,047	1,000	46,692	57,151
TOTAL	100,000	5237,60	100,000	1,00		81,71	100,00

Tabela 13. Resultados de $V_{(a)i}$, (b_i), (Q_i), (A_i), (k_i), I_{da} e percentual de participação no I_{da} geral para a empresa C.

Fonte: Elaborado pela autora.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas as discussões dos resultados acerca dos resultados demonstrados no capítulo 5 e as contribuições gerenciais por que do presente estudo.

Pelos resultados apresentados é possível observar que os resíduos com maior peso relativo $V_{(a)i}$ (%) são lodo do caleiro (14,072%), carnaça (9,358%), aparas de *wetblue* (7,552%), Serragem de *wetblue* (7,273%), aparas de couros acabados (7,022%), lodo de Recurtimento (6,434%), aparas caleadas (5,851%), lodo de Cromo (5,485%), emissões gasosas da ribeira (3,796%) e emissões gasosas do acabamento (3,354%).

Verifica-se que para a empresa A, os resultados apresentados na Tabela 11, o lodo do caleiro é o resíduo com maior $V_{(a)i}$ ($V_{(a)i}$ =14,072%) e que a quantidade relativa (Q_i) produzida corresponde a aproximadamente 22,867% da quantidade absoluta de resíduos e subprodutos. Além disso, apresenta uma participação relativa de 57,680% no I_{da} final da empresa A. Já para a empresa B, apresentada na tabela 12, a o lodo do caleiro apresenta $V_{(a)i}$ ($V_{(a)i}$ =14,072%) e que a quantidade relativa (Q_i) produzida corresponde a aproximadamente 26,332% da quantidade absoluta de resíduos e subprodutos. Além disso, apresenta uma participação relativa de 62,957% no I_{da} final da empresa B. Para a empresa C, apresentada na tabela 13, a vinhaça obteve o maior $V_{(a)i}$ ($V_{(a)i}$ =14,072%) e sua quantidade relativa (Q_i) produzida corresponde a aproximadamente 22,911% da quantidade absoluta de resíduos e subprodutos. Além disso, apresenta uma participação relativa de 57,151% no I_{da} final da empresa C.

Dessa forma, o lodo do caleiro apresentou maior potencial de toxicidade ambiental e maior participação relativa na formação do I_{da} para as 3 empresas estudadas. Tal fato se justifica devido à quantidade de lodo do caleiro gerado ser de aproximadamente 375 kg por tonelada de pele salgada que entra no sistema produtivo, sendo o resíduo com maior representatividade. Segundo Ferrari (2015), o lodo do caleiro é impactante ambiental também pela grande quantidade de cal (~2,0-4,5%), sulfeto de sódio (~1,0-2,5%), sulfidrato de sódio, soda cáustica, aminas, ácido mercaptoacético, glicolato de sódio, e mais recentemente, enzimas e/ou seus preparados na sua composição.

Além disso, foi o resíduo mais impactante para os cálculos de potencial de aquecimento global, formação de ozônio fotoquímico, potencial de acidificação e enriquecimento de nutrientes.

Para o potencial de aquecimento global, para o lodo do caleiro, os resultados são consequências da grande quantidade de matéria orgânica, liberando grande quantidade de CO_2 e CH_4 pelos processos de decomposição. Além desse resíduo, outro que é importante citar é os gases das caldeiras, onde a emissão não é controlada, ou ao menos não existe filtro da emissão dos gases para atmosfera. Os gases mais emitidos por esse resíduo são o CO , CO_2 , N_2O e CH_4 , e principalmente o óxido nitroso (N_2O) o fator de equivalência é aproximadamente de 12 vezes maior que o gás metano (CH_4), esse que o fator de equivalência a é vinte cinco vezes maior que o dióxido de carbono (CO_2). Além disso, o resultado desse resíduo é equivalente a 223 mil cidadãos comuns vivendo no ambiente normal.

Já para a formação de ozônio fotoquímico, o lodo do caleiro foi o destaque, em razão das substâncias como formaldeído, inseticidas e outras substâncias para conservação da pele animal, que após o processo da ribeira, é jogado junto aos resíduos do caleiro. Além da degradação biológica gerando grande quantidade de gás metano, dióxido e monóxido de carbono. Nesse sentido, para este potencial o lodo do caleiro tem a equivalência de impacto ambiental equivalente a 1,76 milhões de pessoas.

Para o cálculo do potencial de acidificação do estudo, o lodo do caleiro é destaque devido a quantidade de resíduo gerada, e em sua composição contém um alto índice de *Nitrogênio Total Kjeldahl* (TKN), que pode ser oxidado em amônia que é considerado o maior fator de equivalência das substâncias elencadas no EDIP 97. Neste sentido, é visto que além do nitrogênio total, foi identificado nitratos, com alto potencial em oxidar para amônia. Bem como, o processo utiliza em suas etapas grande quantidade de sulfatos e enxofre. Em razão disso, a normalização do potencial de acidificação, o lodo do caleiro tem como equivalência de 5,72 milhões de pessoas por ano.

Corroborando com os outros potenciais, o resíduo com maior impacto voltado para o enriquecimento de nutrientes também é o lodo do caleiro, devido a

composição rica em nitratos, fósforo, amônia, nitrogênio total. Para a normalização do enriquecimento de nutrientes, o lodo do caleiro tem como impacto de aproximadamente 6,5 milhões de pessoas por ano. Evidencia-se que os resíduos do curtume são altamente contribuintes para a acidificação e enriquecimento de nutrientes devido a grande quantidade de amônia, cloretos e sulfatos no processo produtivo.

O segundo resíduo com maior $V_{(a)i}$ para as 3 empresas estudadas é a carnaça ($V_{(a)i} = 9,358\%$), que apresenta 6,884% da empresa A, 12,808% para empresa B e 22,804% para a empresa C de participação da formação do I_{da} total.

Essas diferenças do I_{da} total entre essas empresas é consequência da quantidade do resíduo carnaça que cada empresa produz, pois na empresa A a quantidade gerada declarada é de 180 toneladas, já na empresa B a quantidade é de 330 toneladas e a maior quantidade gerada é pela empresa C, com 720 toneladas.

O potencial que mais impacta a carnaça é a ecotoxicidade aguda na água e ecotoxicidade crônica na água tiveram resultados semelhantes, devido a grande quantidade gerada do resíduo carnaça e das substâncias: Sulfeto de Sódio (Na_2S), Hidrogenossulfureto de Sódio ($NaSH$) e Sulfeto de hidrogênio (H_2S), muito utilizados nos processos iniciais de produção do couro.

Como já discutido na revisão teórica, a cal, amônia e sulfeto de sódio utilizados no processo coureiro são considerados altamente poluidores (LOPES, 2015). Corroborando com esse autor, para os indicadores de ecotoxicidade aguda na água, o grande destaque de impacto é o resíduo carnaça, contém grande quantidade de produtos químicos impactantes para os ecossistemas, além da grande quantidade produzida no ciclo produtivo coureiro. Na normalização, esse resíduo representa 2,8 bilhões de pessoas por ano, ou seja, quase metade dos habitantes do planeta vivendo normalmente, ou seja, de altíssimo risco ambiental. Esse resíduo vem seguido das aparas caleadas que representam aproximadamente 1,3 bilhões de habitantes. O mesmo cenário se repete para ecotoxicidade crônica na água, pois o resíduo carnaça, que é o destaque do cálculo, equivale 480 milhões de pessoas/ano.

O terceiro, quarto e quinto resíduo com maior peso relativo ($V_{(a)i} = 7,552\%$, $7,273\%$ e $7,022\%$ respectivamente) são as aparas de *wetblue*, serragem de *wetblue* e aparas de couros acabados com participação de $0,00\%$ no I_{da} final calculado para todas as empresas estudadas. Isso por que a avaliação categórica (k_i) foi o valor 0, que significa que a disposição do material não é a adequada no meio ambiente pela empresa estudada. O pó de lixadeira com ($V_{(a)i} = 2,734 \%$), também tem participação de $0,00\%$ no I_{da} geral, pois como os outros resíduos supracitados, a avaliação categórica (k_i) foi o valor 0.

Todas as três empresas fazem a disposição final desses resíduos em aterro industrial Classe II, ou seja, para resíduos não perigosos, mas esses resíduos contêm cromo em sua composição, que é um dos metais pesados mais tóxicos, que pela produção do couro pode entrar em águas residuais e também pode ser facilmente absorvida por organismos vivos. Entre as diferentes espécies de cromo (+2 Para +6), Cr (VI) é o estado mais tóxico e cancerígeno, enquanto os compostos Cr (III) geralmente não são cancerígenos humanos, com isso o tratamento e disposição adequada de materiais que contém esse metal pesado é de suma importância antes de descarregar o meio ambiente (TASEIDIFAR *et al.*, 2017).

Os resíduos sólidos e a escória produzidos durante os processos de fabricação de couro, quando descartados incorretamente em aterros sanitários, podem ser outra fonte potencial de exposição ao cromo (LEŚNIEWSKA; GONTARSKA; ODLEWSKA-ŻYŁKIEWICZ, 2017).

Conforme decisão da Diretoria da CETESB nº 145/2010/P, libera a disposição de aparas, serragem e pó de couros curtidos em aterros industriais classe II, se comprovado que uma amostra que os teores de cromo (VI) sejam inferiores de $1,0 \text{ mg/kg}$. Porém, segundo a NBR 10.004 (2004), as aparas de couro e serragem de pós de couro curtidos ao cromo tem características de periculosidade tóxica, e deveriam ser dispostos em aterros industriais classe I, que são para resíduos perigosos para vida ambiental e humana. Porém para este estudo, aparas de couros acabados, serragem de *wetblue*, aparas de *wetblue* e pó de lixadeira, foram considerados que os curtumes estudados fazem a disposição desse resíduo de forma inadequada.

Além disso, o resíduo aparta de *wetblue*, o impacto que ele gera é equivalente 28 mil pessoas/ano para o GWP, 221 mil pessoas/ano para POCP, 1,9 milhões de pessoas/ano para AC, 2,5 milhões de pessoas/ano NEP, 30 milhões de pessoas/ano para etwa, 31 milhões pessoas/ano para etwc e 173 pessoas/ano para etsc. Para resíduo serragem de *wetblue*, o impacto que ele gera é equivalente 23 mil pessoas/ano para o GWP, 184 mil pessoas/ano para POCP, 1,8 milhões de pessoas/ano para AC, 2,3 milhões de pessoas/ano NEP, 30 milhões de pessoas/ano para etwa, 25 milhões pessoas/ano para etwc e 137 pessoas/ano para etsc. Para as aparas de couros acabados o impacto que ele gera é equivalente 26 mil pessoas/ano para o GWP, 212 mil pessoas/ano para POCP, 1,9 milhões de pessoas/ano para AC, 2,4 milhões de pessoas/ano NEP, 24 milhões de pessoas/ano para etwa, 20 milhões pessoas/ano para etwc e 111 pessoas/ano para etsc. Por último, o resíduo pó de lixadeira representa, equivalente 764 pessoas/ano para o GWP, 6 mil pessoas/ano para POCP, 44 mil de pessoas/ano para AC, 57 mil de pessoas/ano NEP, 661 mil de pessoas/ano para etwa, 546 mil pessoas/ano para etwc e 3 pessoas/ano para etsc.

Com esses dados, é visto que o maior impacto para aparas de couros acabados, serragem de *wetblue*, aparas de *wetblue* e pó de lixadeira é principalmente a ecotoxicidade, principalmente para a ecotoxicidade aguda na água e ecotoxicidade crônica na água, pois os resíduos de curtumes são altamente tóxicos e perigosos para a vida ecológica devido ao alto teor de metais pesados, especialmente o Cr (III e VI) (SZUBA; LORENC-PLUCIŃSKA, 2017 - *in press*).

O sexto resíduo com maior peso relativo ($V_{(a)i} = 6,434\%$) é o lodo do recurtimento, com participação de 1,425% no I_{da} final calculado para a empresa A. Já as empresas B e C a contribuição para o I_{da} geral foi de 0%, pois a avaliação categórica (k_i) foi o valor 0, pois nestas empresas a disposição desse tipo de lodo é realizado em aterro industrial classe II, e a composição físico-química desse resíduo contém vários metais pesados, com destaque ao cromo, chumbo, níquel, cádmio, cobre, ferro, magnésio, além da grande quantidade de nitrogênio total, que pode oxidar em amônia, contribuindo para acidificação do solo e potencial de enriquecimento de nutrientes, com isso conclui-se que a disposição do resíduo por essas duas empresas é inadequado, gerando risco ambiental.

Para o lodo do cromo, o peso relativo foi de $V_{(a)i} = 5,485\%$, sendo este o mesmo caso do lodo do recurtimento, pois participação de 3,026% no I_{da} final calculado para a empresa A. Todavia, para as empresas B e C a contribuição para o I_{da} geral foi de 0%, pois a avaliação categórica (k_i) foi o valor 0, pois nestas empresas a disposição desse tipo de lodo é realizado em aterro industrial classe II, uma vez que a correta destinação segundo a ABNT 10.004 (2004) deveria ser aterro industrial classe I. Essa disposição correta muitas vezes não ocorre pelo alto custo para transporte desses resíduos para o aterro adequado.

Essa disposição no meio ambiente de forma incorreta do lodo do cromo e do recurtimento como ocorre nos curtumes B e C, contém concentrações elevadas de metais pesados como Cromo, Arsênio, Níquel, Cobalto, Cobre, Zinco, Ferro, Cádmio devido ao uso de sal de cromo básico com diferentes sintanos, corantes, pigmentos, agentes impregnantes no processo de curtimento. Estes metais pesados são muito prejudiciais, devido à sua natureza não biodegradável, longa vida biológica e seu potencial para se acumular em sistemas biológicos (JUEL; MIZAN; AHMED, 2017).

Outro resíduo que tem alta contribuição são as aparas caleadas, com peso relativo ($V_{(a)i} = 5,851\%$), porém a quantidade gerada desse resíduo é alta, levando à uma alta contribuição para o I_{da} geral. Assim, este resíduo tem com participação de 21,968% no I_{da} da empresa A, 18,146% no I_{da} da empresa B e 12,571% no I_{da} da empresa C.

Os resíduos gases caldeira, emissões gasosas do acabamento e emissões gasosas da ribeira, têm a soma do peso relativo de $V_{(a)i} = 9,926$ e para todas as empresas analisadas a contribuição para o I_{da} geral foi de 0%, pois a avaliação categórica (k_i) foi o valor 0, apesar a legislação pertinente não se opõe à liberação de gases de combustão diretamente para a atmosfera, todos os gases receberam uma nota zero na avaliação categórica (k_i). Isto é devido ao fato de que os gases são resíduos categorizados como gases com efeito de estufa e, portanto, podem contribuir para o efeito indesejável do aquecimento global, acidificação, ecotoxicidade e enriquecimento de nutrientes e acidificação do solo.

Os gases da caldeira são formados principalmente por CO, CO₂ e NO_x. Com o cálculo da normalização apurou que a nível Brasil, o potencial de aquecimento global é equivalente a 10.298 pessoas/ano, para o potencial de formação de ozônio

fotoquímico equivalente a 2.778 pessoas/ano, para acidificação 7.131 pessoas/ano e para enriquecimento de nutrientes 10.863 pessoas/ano. Para as emissões do acabamento o impacto maior é para a formação do ozônio fotoquímico, pela utilização de solventes, com equivalência de 36 mil pessoas/ano.

Para emissões da ribeira o maior impacto é a acidificação, pois é um resíduo rico metano e amônia, além de pode conter substâncias odorosas, como sulfetos (EIPPCB, 2013). Assim, para a normalização da acidificação este resíduo representa 220 mil pessoas/ano, assim como enriquecimento de nutrientes equivalem a 151 mil pessoas. Para ecotoxicidade aguda na água, equivalem a 420 milhões de pessoas/ano e ecotoxicidade crônica na água 705 milhões de pessoas/ano.

Os resíduos de acabamento/pintura o peso relativo $V_{(a)j} = 3,103\%$ do total, mas para todas as empresas a contribuição para o I_{da} geral foi de 0%, pois a avaliação categórica (k_i) foi o valor 0, pois nestas empresas a disposição desse tipo de resíduo é em aterro industrial classe II, já que a correta destinação deveria ser aterro industrial classe I, pois os corantes são moléculas orgânicas recalcitrantes considerados um dos poluentes mais perigosos devido à dificuldade de remoção do sistema devido à sua estabilidade e natureza não biodegradável, e estima-se que durante o processo de tingimento do couro cerca 10 a 15% do corante é perdido no efluente (GOSWAMI; PHUKAN, 2017; SENÖZ, 2017)

As cinzas da caldeira tem baixa participação para o impacto ambiental, e, além disso, a avaliação categórica (k_i) é conderada 1, ou seja, ambientalmente correta, descartada como outros resíduos em aterro industrial classe II, podem possuir elementos químicos que podem apresentar funções biológicas manganês e mercurio, mas a quantidade é pequena para todas empresas, não apresentando impacto significativo.

O resíduo resultante do batimento do couro salgado com tem peso relativo ($V_{(a)j} = 2,629\%$), que tem como principais resultantes inseticidas que influenciam para a ecotoxicidade, alta carga de matéria orgânica em conjunto com sal (NaCl). Com participação de 6,916% no I_{da} final calculado para a empresa A, 4,117% para a empresa B e 4,894% para empresa C. Esse resíduo pode levar a salinização dos efluentes e do solo, com isso deve ser descartado em aterros industriais classe ou reaproveitados no processo, principalmente o sal.

Desta maneira, os resíduos anteriormente mais impactantes (lodo de caleiro, carnaça, aparas de *wetblue*, serragem de *wetblue*, aparas de couros acabados, lodo de recurtimento, aparas caleadas e lodo de cromo) são responsáveis por 63,047% do peso relativo aos potenciais ambientais do EDIP, referente aos resíduos/subprodutos da produção coureira.

Cabe ressaltar que com os cálculos realizados, foi apontado que o processo produtivo do couro, nenhum resíduo contribuiu para o potencial de depleção da camada de ozônio, pois na composição dos resíduos analisados e na literatura não apontou nenhum tipo de resíduo que contém CFCs, HCFCs, halons e gases persistentes que contém bromo e cloro, ou seja, nenhuma teve equivalência conforme método EDIP (tabela de referência em Wenzel, Hauschild e Auting (2000), p. 249). Consequentemente não influenciou para os cálculos da normalização. Nota-se que o processo curtumeiro não tem contribuição para a categoria a depleção da camada de ozônio.

Pela análise dos resultados apresentados nas Tabelas 11, 12 e 13 é possível verificar que os demais resíduos da indústria coureira estudados apresentam pequena participação no peso relativo ($V_{(a)i}$) e possuem pequena ou nenhuma participação na formação I_{da} final. Entretanto, destaca-se alguns resíduos como as sucatas ferrosas, gordura e limpeza de pisos e equipamentos, as lâmpadas queimadas e pilhas e baterias, que são potenciais poluidores se destinados de forma inadequada.

De posse dos resultados apresentados, foi realizado, então, o cálculo do Índice de desempenho ambiental (I_{da}) para as empresas estudadas, chegando-se a um resultado de 89,826% para a empresa A, 82,284% para a empresa B e 81,71% para empresa C, o que significa que porcentagem dada dos resíduos e subprodutos gerados por estas empresas apresentam destinação ambiental adequada em termos da metodologia ADA aplicada neste estudo.

Essa diferença entre o desempenho ambiental, principalmente da empresa A para as demais empresas é que os lodos do cromo e do recurtimento tem uma destinação correta, como exige a ABNT NBR 10.004 (2004). Além de algumas variações dos resíduos gerados durante o processo produtivo.

Apesar das empresas estudadas apresentarem diferentes resíduos com destinação consideradas ambientalmente inadequadas, há uma proximidade no Índice de desempenho ambiental (I_{da}). Tal fato se justifica, pois as três empresas estudadas apresentam uma destinação considerada adequada para a o lodo do caleiro, que é o resíduo com maior contribuição na formação do I_{da} .

6.1. Contribuições Gerenciais

O Índice de desempenho ambiental (I_{da}) foi desenvolvido para representar, em valor percentual, a adequação da destinação dos resíduos e subprodutos gerados nas atividades de fabricação coureira.

Em etapas do desenvolvimento do índice I_{da} , permitiu-se identificar os pesos relativos dos resíduos com destinação inadequadas do processo produtivo do couro, com isso essa metodologia utilizada pode criar mecanismos de melhoria e de monitoramento para as empresas do setor analisado. Permitindo assim a criação de metas ambientais que podem ser melhoradas a cada período estimado, salienta-se que é de suma importância a análise periódica dos potenciais ambientais, além de criação de mecanismos para melhor mensuração dos resíduos e subprodutos gerados no processo produtivo.

Dessa forma, a aplicação do índice I_{da} em empresas da indústria coureira, evidencia ser uma ferramenta adequada para a avaliação do desempenho ambiental com base nos potenciais ambientais, tendo em vista que seus resultados permitem aos gestores das empresas tomarem medidas corretivas em seus processos de fabricação e, assim, melhorarem o seu desempenho ambiental.

Ademais, o processamento de peles e peles também gera subprodutos, que encontram podem ser utilizados em diversos setores industriais, como a produção de alimentos para *pets* e animais, produtos químicos finos, incluindo os usados em fotografia e cosméticos, condicionamento e fertilizantes do solo, por isso, a mensuração adequada desses resíduos pode trazer um benefício financeiro aliado com ambiental, pois com a utilização da ADA devem-se criar metas para melhoria do indicador, e um meio disso acontecer é pelo reaproveitamento e venda dos subprodutos do processo produtivo coureiro.

Esse método do trabalho tem como escopo descomplicar a mensuração dos resíduos e subprodutos que devem ser avaliados como objetivo de análise e assim, ter a oportunidade de por meio de um índice único avaliar o desempenho ambiental da empresa. No entanto, é fundamental incorporar verdadeiramente a ADA nas empresas, para gerir melhor as oportunidades e gerir o risco derivado delas, e consequentemente contribuir para o desenvolvimento sustentável de toda a sociedade.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como finalidade realizar um estudo multicase sobre avaliação de desempenho ambiental, com base no potencial ambiental, em três empresas da indústria curtumeira brasileira. Para alcançar tal finalidade, foi desenvolvido um Índice desempenho ambiental (I_{da}) que apresenta, em valor percentual, a adequação da destinação dos resíduos e subprodutos gerados nas atividades de fabricação da indústria curtumeira.

O método desenvolvido apoia-se na relação em que na medida em que a empresa aumentar os esforços de gestão ambiental melhor será a classificação de eficiência da adequação ambiental das destinações dadas aos resíduos e subprodutos gerados no processo produtivo. O método desenvolvido baseia-se no pressuposto de que a medida da eficiência do esforço de gerenciamento ambiental de uma empresa será diretamente proporcional à classificação de eficiência da adequação ambiental de uma empresa.

O índice I_{da} foi formulado pela combinação das seguintes variáveis: i) ponderação relativa dos potenciais ambientais estabelecidos pelo EDIP 97 de cada resíduo/subproduto gerado no processo de fabricação curtumeira; ii) a quantidade relativa de cada resíduo/subproduto que foi gerada na empresa estudada no período correspondente à produtividade do setor de 2016; iii) cobertura geográfica relativa que cada resíduo/subproduto pode alcançar; e iv) avaliação de adequação da destinação final de cada resíduo/subproduto praticada pela empresa.

A ponderação do impacto relativo à saúde ambiental dos resíduos e subprodutos gerados no processo da fabricação curtumeira mostrou se tratar de uma questão complexa, uma vez que os resíduos/subprodutos possuem significativas diferenças em sua composição tanto física quanto química, apresentando, portanto, distintos efeitos nocivos à saúde ambiental.

Em uma análise mais pontual dos pesos relativos aos potenciais de impactos ambientais, com os resultados apresentados é possível observar que os resíduos com maior peso relativo $V_{(a)j}$ (%) são lodo do caleiro (14,072%), carnaça (9,358%), aparas de *wetblue* (7,552%), Serragem de *wetblue* (7,273%), aparas de couros acabados (7,022%), lodo de recurtimento (6,434%), aparas caleadas (5,851%), lodo de Cromo (5,485%), emissões gasosas da ribeira (3,796%) e emissões gasosas do

acabamento (3,354%). Assim, oito dos vinte e um resíduos e subprodutos representam 63,047% do peso relativo aos potenciais ambientais do EDIP, referente aos resíduos/subprodutos da produção coureira.

Referente à destinação dos resíduos/subprodutos pelas empresas estudadas, 10 resíduos apresentaram destinação ambientalmente inadequadas: pó de lixadeira, gases caldeira, resíduos de pintura, emissões gasosas do acabamento, emissões gasosas da ribeira, aparas de couros acabados, serragem de *wetblue* e aparas de *wetblue* (para as empresas A, B e C) e o lodo de cromo e lodo de recurtimento (para as empresas B e C).

Com isso, a empresa A obteve um índice I_{da} de 89,826% o que significa que 89,826% dos resíduos e subprodutos possuem destinação considerada ambientalmente adequada sob a ótica ambiental. A empresa B apresentou um I_{da} de 82,284% o que significa que 82,284% dos resíduos e subprodutos gerados por esta empresa apresentam destinação ambiental adequada. A empresa C apresentou um I_{da} de 81,71%, o que significa que 81,71 % dos resíduos e subprodutos gerados por esta empresa apresentam destinação ambiental adequada. Somente 10,174% para a empresa A, 17,716% para a empresa B e 18,29% para a empresa C obtiveram destinação inadequada. Ressalta-se que o resultado bastante favorável à empresa quanto à adequação ambiental da alocação de seus resíduos/subprodutos.

Dentre as contribuições deste trabalho, está o levantamento das principais características do processo produtivo curtumeiro e o potencial de aquecimento global, potencial de depleção da camada de ozônio, potencial formação de ozônio fotoquímico, potencial de acidificação, potencial de eutrofização e potencial de ecotoxicidade para cada resíduo e subproduto. Além disso, foi possível a criação de um índice para o cálculo do potencial de desempenho ambiental exclusivo para a avaliação do desempenho ambiental de indústrias curtumeiras. Este índice pode ser utilizado tanto para o levantamento pontual quanto para o acompanhamento do desempenho ambiental no que tange à saúde ambiental de uma empresa ao longo do tempo. Além disso, o I_{da} pode ser utilizado para a comparação entre as práticas de destinação de resíduos/subprodutos entre empresas da indústria curtumeiras distintas.

Com o estudo também foi possível apontar os principais resíduos/subprodutos gerados pela indústria coureira. A identificação dos resíduos/subprodutos geradores de impacto à saúde ambiental na fabricação do couro promove uma busca por soluções que torne a sua fabricação mais viável sob os pontos de vista econômico e ambiental. Essa otimização da produção curtumeira torna-se um imenso desafio para as indústrias, dada a grande quantidade de resíduos/subprodutos gerados.

Esse conceito é um ponto crucial para o bom desenvolvimento dos negócios e da sociedade, sendo que é inviável progredir em um ambiente deteriorado. Além disso, também contribui para a eficiência operacional da indústria e redução dos custos de produção, promovendo também uma melhora da imagem da empresa perante seus *stakeholders*.

7.1. Limitações do trabalho e trabalhos futuros

Verifica-se, assim, uma lacuna de métodos de ADA originados na América Latina, e mais especificamente no Brasil, o que implica na ausência de procedimentos de caracterização direcionados ao contexto brasileiro, havendo assim uma oportunidade para pesquisas nessa área do conhecimento e a participação de especialistas brasileiros em projetos de alcance global na temática da avaliação do desempenho ambiental.

Outra limitação, porém de ordem prática é a mensuração dos aspectos ambientais em curtumes, devido a dificuldade da medição dos resíduos, pela falta de preparo e disponibilidade dos gestores, além da falta de fiscalização e legislação branda dos órgãos fiscalizadores. Além de ser um setor conhecido pelas mazelas ambientais, todavia, sem muitas cobranças e exigências.

Além disso, essa mensuração dos resíduos é agravada porque o couro é um material usado na fabricação de uma variedade de produtos, e essas diferentes aplicações exigem diferentes tipos de couro, consequentemente uma gama variada de materiais. Outrossim, o indicador proposto I_{da} foi estabelecido para a indústria curtumeira e não pode ser usado para outros setores.

Denota-se também a importância de estabelecerem-se modelos que retratem com maior afinco métodos padronizados para ADA, visto que, não há um consenso na literatura e há escassez de estudos específicos para este tipo análise, onde na literatura

foi visto que muitas vezes há o uso de uma ACV em conjunto com um método de decisões multicritério.

Dada a relevância do tema, a avaliação do desempenho ambiental do setor curtumeiro, com base no cálculo dos potenciais de ADA, pode ser ampliado para cálculo dos impactos na saúde humano do setor, onde poderá ser adotado um estudo para cálculo da toxicidade humana.

Além disso, o cálculo do desempenho ambiental pode ser estendido para a abrangência desde os processos preliminares (criação do gado e frigoríficos) até a distribuição final dos produtos (calçados e artefatos de couro), levando em conta toda cadeia produtiva.

REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR 10004**. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Rio de Janeiro, p. 77. 2004.

ABNT. **NBR ISO 14040 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Rio de Janeiro, p. 21. 2009.

ABNT. **ABNT NBR ISO 14.001: Sistemas de Gestão Ambiental-Especificação e Diretrizes para Uso**. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Rio de Janeiro, p. 41. 2015.

ABNT. **ABNT NBR ISO 14031 - Gestão ambiental – avaliação de desempenho ambiental – diretrizes**. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Rio de Janeiro, p. 38. 2015.

ABREU, M. A. **Reciclagem do resíduo de cromo da indústria do curtume como pigmentos cerâmicos**. 2006. 169 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo.

ABREU, M. A.; TOFFOLI, S. M. Caracterização de resíduo de cromo para fins de reciclagem na indústria cerâmica. **Anais do 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, João Pessoa, 15 a 18 jun 2003. p. 725-739.

ABREU, M.; TOFFOLI, S. Characterization of a chromium-rich tannery waste and its potential use in ceramics. **Ceramics International**, 2009. p. 2225-2234.

ALMEIDA, T. S. M.; SELLITTO, M. A. Avaliação do desempenho ambiental de uma Avaliação do desempenho ambiental de uma. **Produção**, jul/set 2013. p. 625-636.

ALVES, V. C.; BARBOSA, A. S. Práticas de gestão ambiental das indústrias coureiras de Franca-SP. **Gestão & Produção**, São Carlos, 2013. p. 883-898.

AL-ZWYALIF, I. M. Using a Balanced Scorecard Approach to Measure Environmental Performance: A Proposed Model. **International Journal of Economics and Finance**, 9, n. 8, 2017. p. 118-126.

AMORIM, L. L. G.; VARGAS, K. P.; DE JESUS, E. H. A. Análise de eficiência do sistema de lodo ativado no tratamento de efluentes de um curtume na cidade de Uberlândia - MG. **Anais do V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Belo Horizonte, 24 a 27 nov 2014. p. 1-15.

ANANIAS, E. A.; PACCA, S. A. Tecnologias Ambientais para Curtumes e sua Adequação como Projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). **Anais do 2º International Workshop Advances in cleaner production**, São Paulo, 20 a 22 maio 2009. p. 1-10.

ANTONOV, P.; SELLITTO, M. A. Avaliação de Desempenho Ambiental: Estudo de Caso na Indústria Papeleira. **Revista Produção Online**, Florianópolis, 11, n. 4, 2011. p. 1059-1085.

APA. Agência Portuguesa do ambiente - Critérios gerais para classificação de subproduto, Lisboa, 2015. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Resíduos/Desclassificacao%20Resíduos/CriteriosGeraisClassificacaoSubproduto.pdf>. Acesso em: 10 jun 2017.

AQUIM, P. M.; GUTTERRES, M.; TESSARO, I. Indústria do Couro - Análises químicas da peça e do banho nos processos de ribeira e curtimento. **Anais do II Congresso Brasileiro de Termodinâmica aplicada**, 26 a 29 Set. 2004. p. 1-8.

AQUIM, P. M.; GUTTERRES, M.; TRIERWEILER, J. O. Assessment of water management in tanneries: State of RioGrande do Sul case study. **J Soc Leather Technol Chem**, v. 94, 2010. p. 253–258.

ARAVINDHAN, R. et al. A chemo-enzymatic pathway leads towards zero discharge tannin. **Journal of Cleaner Production**, n. 13-14, setembro 2007. p. 1217-1227.

AVELAR, W. E.; ROMA, F.; LONGO, L. L. Poluição por metais pesados na bacia do rio Sapucaí-Mirim (NE do estado de São Paulo), pela Indústria do Couro. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Ribeirão Preto, v. 40, março 1997. p. 205-212.

BAIN & COMPANY. **Potencial de diversificação da indústria química Brasileira - Relatório 4: Químicos para couro**. Bain & Company; Gas Energy; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Rio de Janeiro, p. 34 p. 2014.

BASURKO, O. C.; MESBAHI, E. Methodology for the sustainability assessment of marine technologies. **Journal of Cleaner Production**, 68, 2014. p. 155-164.

BEBBINGTON, J.; BROWN, J.; FRAME, B. Accounting technologies and sustainability assessment models. **Ecological Economics**, 2007. p. 224-236.

BIANCHIN, L. **Atributos químicos e especiação de cromo em solo com aplicação de resíduos de curtume e carbonífero em experimento de campo**. Dissertação (Mestrado). 127 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

BÖHRINGERA, C.; JOCHEM, P. E. P. Measuring the immeasurable — A survey of sustainability indices. **Ecological Economics**, 63, n. 1, 2007. p. 1-8.

BRITO, A. L. F. et al. Processo de codisposição de resíduos sólidos industriais de curtume. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 7, jul/set/out/dez 2002. p. 144-150.

CAIADO, R. G. G.; QUELHAS, O. L. G.; LIMA, G. B. A. Avaliação de Desempenho em Sustentabilidade Organizacional: proposta de adaptação do método de análise de processo. **Sistemas & Gestão**, 2015. p. 270-285.

CAMPOS, L. M. S. **SGADA - Sistema de Gestão e avaliação de desempenho ambiental: uma proposta de implementação**. 2001. 247 f. Tese (Doutorado em Engenharia da Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

CARVALHO, B. V.; SOUSA, A. P. M. E.; SOTO, F. R. M. Avaliação de sistemas de gestão ambiental em granjas de suínos. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 10, 2015. p. 164-171.

CASTRO, I. A. **Resíduo de couro 'Wet Blue' após extração do cromo: uso como fertilizante nitrogenado em plantação de eucalipto**. 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) Universidade Federal de Lavras - UFLA. Lavras.

CETESB. **Decisão de Diretoria nº 145/2010/P, de 11 de maio de 2010**.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). São Paulo, p. 13. 2010.

CHANG, D.; LEE, C. K. M.; H., C. Review of life cycle assessment towards sustainable product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 83, 2014. p. 48-60.

CHOWDHURY, M. et al. Treatment of leather industrial effluents by filtration and coagulation processes. **Water Resources and Industry**, v. 1, set 2013. p.11-22.

CICB. Centro das Indústrias de Curtume do Brasil (CICB). **CICB**, 2015. Disponível em: <<http://www.cicb.org.br/>>. Acesso em: 20 Dezembro 2016.

CICB. **Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil. O Resultado Final das Exportações de Couro em 2016**. Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil (CICB). Brasília, p. 7. 2016.

CLAAS, I. C.; MAIA, R. A. M. **Manual Básico de resíduos industriais de curtume**. 1. ed.. ed. Porto Alegre: Senai/RS, 1994.

CONAMA. **Resolução Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005**. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. Brasília, p. 27. 2005.

CONTADOR JÚNIOR, O. **Tecnologia e proteção ambiental nas indústrias do couro e calçados na região de Jaú – SP**. 2004. 173 f. Dissertação (Mestrado em

desenvolvimento regional e meio ambiente).Centro Universitário de Araraquara. Araraquara.

CORRÊA, A. R. O complexo coureiro-calçadista Brasileiro. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, set. 2001. p. 65-92.

COSTA, A. B. **Estudo da Competitividade de cadeiras integradas no Brasil: impactos das zonas de livre comércio – Cadeia: Couro Calçados**. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, p. 78. 2002. Nota Técnica Final.

CUNHA, J. M. O. L. **Avaliação do Desempenho Ambiental de uma Cadeia de Abastecimento – Estudo de Caso de uma Indústria do Sector Automóvel**. 2010. 125 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos). Universidade de Aveiro. Aveiro.

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**, 2017. p. 157-164.

DE LUCA, A. I. et al. Life cycle tools combined with multi-criteria and participatory methods for agricultural sustainability: Insights from a systematic and critical review. **Science of The Total Environment**, v. 595, 2017. p. 352-370.

DELAI, I.; TAKAHASHI, S. Uma proposta de modelo de referência para mensuração da sustentabilidade corporativa. **RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental**, 2008. p. 19-40.

DELAI, I.; TAKAHASHI, S. Sustainability measurement system: a reference model proposal. **Social Responsibility Journal**, 7, n. 3, 2011. p. 438-471.

DIAS-SARDINHA, I.; REIJNDERS, L. Environmental Performance Evaluation and Sustainability Performance Evaluation of Organizations: an Evolutionary Framework. **Eco-management and auditing**, 2001. p. 71-79.

DIAS-SARDINHA, I.; REIJNDERS, L.; ANTUNES, P. From Environmental Performance Evaluation to Eco-Efficiency and Sustainability Balanced Scorecards. **Environmental Quality Management**, 2002. p. 51-64.

DIXIT, S. et al. Toxic hazards of leather industry and technologies to combat threat: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, 15 jan 2015. p. 39-49.

DUBEY, R. et al. Explaining the impact of reconfigurable manufacturing systems on environmental performance: The role of top management and organizational culture. **Journal of Cleaner Production**, 141, 2017. p. 56-66.

DURAI, G.; RAJASIMMAN, M. Biological Treatment of Tannery Wastewater - A Review. **Journal of Environmental Science and Technology**, 2011. p. 1-17.

DURMAZ, U.; ÇINER, F. Treatability of Tannery Wastewater by Electrocoagulation Process. **Periodicals of Engineering and Natural Sciences**, v. 5, 2017. p. 245-250.

EIPPCB. **European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Tanning of Hides and Skins**. European Union: European Commission's Joint Research Centre; Institute for Prospective Technological Studies; Sustainable Production and Consumption Unit; European IPPC Bureau, 2013.

EPELBAUM, M. Sistemas de gestão ambiental. In: VILELA JÚNIOR, A.; DEMAJOROVIC, J. **Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafio e perspectivas para as**. 3. ed. ed. São Paulo: Editora Senac, 2013. p. 115-146.

ESCRIG-OLMEDO, E. et al. Measuring Corporate Environmental Performance: A Methodology for Sustainable Development. **Business Strategy and the Environment**, 2017. p. 142-162.

FAO. **World statistical compendium for raw hides and skins, leather and leather footwear 1998-2014**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, p. 141. 2015.

FARENZENA, M. et al. Curtumes:do desperdício à sustentabilidade. **Anais do II Congresso Brasileiro de Termodinâmica Aplicada**, 26 a 29 set 2004. p. 1-8.

FARENZENA, M. et al. Tanneries: from Waste to Sustainability. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 48 especial, jun 2005. p. 281-289.

FARIAS, L. G. Q.; GÓES, A. O. S.; SILVA JÚNIOR, A. C. Gestão ambiental e tecnologias Ambientais: Práticas e benefícios em uma indústria alimentícia no sul da Bahia. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, 4, 2010. p. 80-91.

FERRARI, W. A. **Guia Técnico Ambiental de Curtumes**. 2. ed. ed. São Paulo: CETESB, 2015.

FIPA. Boletim informativo da Federação das Indústrias Portuguesas Agro-Alimentares. **Fipa**, 2007. Disponível em: <www.fipa.pt/pdf/fipaflash95.pdf>. Acesso em: 10 jun 2017.

FONSECA, L. M. C. M. ISO 14001:2015: An improved tool for sustainability. **Journal of Industrial Engineering and Management**, 2015. p. 37-50.

GAMBA, V. S. **Avaliação do lodo de curtume como fonte de nutrientes para o crescimento inicial de eucalipto**. 2012. 93 f. Dissertação (mestrado em Ciência

Florestal). Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” (UNESP). Botucatu.

GANEM, R. S. Curtumes: aspectos ambientais. **Estudo: Consultoria Legislativa - Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados**, 2007. p. 1-17.

GODECKE, M. V.; RODRIGUES, M. A. S.; NAIME, R. H. Resíduos De Curtumes: Estudo das Tendências de Pesquisa. **Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 2012. p. 1357-1378.

GOMES, F. C. **Avaliação da qualidade do couro de bovinos de diferentes sistemas de produção na perspectiva do desenvolvimento local**. 2007. 93 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Local). Universidade Católica Dom Bosco. Campo Grande.

GORINI, A. P. F.; CORREA, A. R.; SILVA, C. V. D. G. F. A indústria calçadista de Franca. **BNDES Setorial - Área de Operações Industriais 1 - AO 1**, Franca, Dezembro 2000. p. 1-20.

GOSWAMI, M.; PHUKAN, P. Enhanced adsorption of cationic dyes using sulfonic acid modified activated carbon. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, 2017. p. 3508–3517.

GUIMARÃES, C. E. et al. Avaliação do Desempenho Ambiental do Aproveitamento do Biogás em Fecularias de Mandioca no Estado do Paraná. **Desenvolvimento em questão**, 2017. p. 171-202.

GUTTERRES, M. et al. Water reuse in tannery beamhouse process. **Water reuse in tannery beamhouse process**, v. 18, novembro 2010. p.1545-1552.

HARIZ, S. . B. L. . Assessment of environmental management system performance in the Algerian companies certified ISO 14001. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, 2013. p.228-243.

HAUSCHILD, M. Z.; WENZEL, H. Life Cycle Design—A Route to the Sustainable Industrial Culture? **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, jan 1999. p. 393-396.

HAUSCHILD, M.; JESWIET, J.; ALTING, L. From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, 54, 2005. p. 1-21.

HENRI, J.; JOURNEAULT, M. Environmental performance indicators: An empirical study of Canadian manufacturing firms. **Journal of Environmental Management**, 2008. p. 165-176.

HU, J. et al. Ecological utilization of leather tannery waste with circular economy model. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, Jan/Fev 2011. p. 221–228.

HUERTA, A. R.; GÜERECA, L. P.; LOZANO, M. R. S. Environmental impact of beef production in Mexico through life cycle assessment. **Resources, Conservation and Recycling**, 109, 2016. p. 44–53.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE: Estatística da Produção Pecuária - junho 2016**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Brasília, p. 47. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PPM: Rebanho bovino alcança a marca recorde de 215,2 milhões de cabeças, mas produção de leite cai 0,4%. **Sala de Imprensa - notícias**, 2016. Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias.html?view=noticia&id=1&idnoticia=3268&busca=1&t=ppm-rebanho-bovino-alcanca-marca-recorde-215-2-milhoes-cabecas-producao-leite>>. Acesso em: 20 janeiro 2017.

ICHEME, I. O. C. E. **The Sustainability Metrics: Sustainable Development Progress Metrics recommended for use in the Process Industries**. Institution of Chemical Engineers - IChemE. London, p. 30. 2002.

IEMI, I. D. E. E. M. I. **Estudo do Setor de Curtumes**. IEMI. São Paulo, p. 68. 2013.

ISO 14.044, I. O. F. S. **ISO 14.044 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines**. International Organization for Standardization (ISO). Genebra, p. 46. 2006.

JABBOUR, A. B. L. S. et al. Brazil's new national policy on solid waste: challenges and opportunities. **Clean Technologies and Environmental Policy**, 16, janeiro 2014. p. 7-9.

JASCH, C. Journal of Cleaner Production. **Environmental performance evaluation and indicators**, v. 8, fev 2000. p. 79-88.

JOSEPH, K.; NITHYA, N. Material flows in the cycle of leather. **Journal of Cleaner Production**, v.17, maio 2009. p. 676-682.

JUEL, M. A. I.; MIZAN, A.; AHMED, T. Sustainable use of tannery sludge in brick manufacturing in Bangladesh. **Waste Management**, 60, 2017. 259-269.

KHAN, W.; HOSSIN, M. E.; AKBOR, M. J. Leather Industry in Bangladesh: A Systematic Literature Review. **Asian Business Review**, v. 5, 2015. p. 111-118.

KIPPER, E. **Tratamento Enzimático e produção de biogás por resíduos sólidos de curtume**. 2013. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

KOLOMAZNIK, K. et al. Leather waste—Potential threat to human health, and a new technology of its treatment. **Journal of Hazardous Materials**, 2008. 514-520.

LEAL, O. B. R. **Análise Técnica, Econômica e de Tendências da Indústria do Couro Brasileira e da sua Relação com a Indústria Química**. 2007. 175 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio De Janeiro. Rio de Janeiro.

LI, C. P.; HUI, I. K. Environmental Impact Evaluation Model for Industrial Process. **Environmental Management**, v. 27, 2001. p. 729-737.

LI, F. et al. Improved AHP Method and Its Application in Risk Identification. **Journal of Construction Engineering and Management**, março 2013. p. 312-320.

LOPES, R. R. **Cenário sobre os resíduos de cortume no brasil**. 2015. 35 f. Monografia (Especialização em Engenharia da Produção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa.

LOPEZ-ARRAIZA, A. et al. Caracterización y validación mecánica de biocomposites para la construcción de pequeñas embarcaciones. Análisis del ciclo de vida. **Materiales Compuestos**, 2017. p. 1-4.

LUZ, L. M. et al. Aplicação e utilização da Análise do Ciclo de Vida na indústria. **Espacios**, 32, n. 4, 2011. p.28-30.

LUZ, S. O. C.; SELLITTO, M. A.; GOMES, L. P. Medição de desempenho ambiental baseada em método multicriterial de apoio à decisão: estudo de caso na indústria automobilística. **Gestão & Produção**, 2006. p. 557-570.

MALEK, A.; HACHEMI, M.; DIDIER, V. New approach of depollution of solid chromium leather waste by the use of organic chelates: Economical and environmental impacts. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, out. 2009. p. 156-162.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Produção**, 2015. p. 160-175.

MOHAMMADI, A. et al. Potential greenhouse gas emission reductions in soybean farming: a combined use of Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 54. 2013. p. 89-100.

MOREL, E. P. et al. Medição de desempenho ambiental em fabricação utilizando um. **Anais do XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção**, Florianópolis, 03 a 05 nov 2004. p. 1-8.

MORETTI, T. V. **Método de avaliação da estrutura de inventários de ciclo de vida: análise para casos brasileiros**. 2011. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba.

MUNKSGAARD, J. et al. An environmental performance index for products reflecting damage costs. **Ecological Economics**, 2007. p. 119-130.

NAGARAJANA, H. P. N.; HAAPALAA, K. R. Environmental performance evaluation of direct metal laser sintering through exergy analysis. **Procedia Manufacturing**, 2017. p. 957 – 967.

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, 2006. p. 64-74.

NESSA, B. et al. Categorising tools for sustainability assessment. **Ecological Economics**, 2007. p. 498-508.

NOTARNICOLA, B. et al. Progress in working towards a more sustainable agri-food industry. **Journal of Cleaner Production**, 2012. p. 1-8.

NOYA, I. et al. Life Cycle Assessment of pig production: A case study in Galicia. **Journal of Cleaner Production**, 142, 2017. p. 4327-4338.

ODUM, H. T. **Environmental Accounting. Emery and environmental decision making**. Nova York: John Wiley and Sons, 1996.

OLIVEIRA, A.; CRISTOBAL, S.; SAIZAR, C. Análisis de ciclo de vida ambiental, económico y social: una herramienta para la evaluación de impactos y soporte para la toma de decisiones. **INNOTECH Gestión**, 7, 2016. p. 20-27.

OMETTO, A. R.. **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, exergia e energia**. 2005. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia) Universidade de São Paulo (USP). São Carlos.

OPHER, T.; SHAPIRA, A.; FRIEDLER, E. A comparative social life cycle assessment of urban domestic water reuse alternatives. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 2017. p. 1–16.

OSTAD-AHMAD-GHORABI, M. J.; ATTARI, M. Advancing environmental evaluation in cement industry in Iran. **Journal of Cleaner Production**, 2013. p. 23-30.

PACHECO, J. W. F. **Curtumes (Série P + L)**. 1. ed. ed. São Paulo: CETESB, 2005.

PACHECO-BLANCO, B.; COLLADO-RUIZ, D.; CAPUZ-RIZO, S. Identification of impacts of stages and materials on life cycle of footwear. **DYNA - Universidad Nacional de Colombia**, Medellin, Fev. 2015. p. 134-141.

PAPADOPOULOS, A. M.; GIAMA, E. Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building. **Building and Environment**, v. 42, 2007. p. 2178-2187.

PEROTTO, E. et al. Environmental performance, indicators and measurement uncertainty in EMS context: a case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, março 2008. p. 517-530.

PICCIN, J. S. **Resíduo sólido da indústria coureira como adsorvente alternativo de corantes**. 2013. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

PIPATPRAPA, A.; HUANG, H. H.; HUANG, C. H. A Novel Environmental Performance Evaluation of Thailand's Food Industry Using Structural Equation Modeling and Fuzzy Analytic Hierarchy Techniques. **Sustainability**, v. 8, n. 3, p. 2016. p. 246.

POTTING, J.; HAUSCHILD, M. **Background for spatial differentiation in LCA impact assessment - The EDIP2003 methodology**. Danish Ministry of the environment. Copenhagen, p. 293. 2005.

RAO, J. R. et al. Recouping the wastewater: a way forward for cleaner leather processing. **Journal of Cleaner Production**, 2003. p. 591–599.

RAO, R. V. **Decision Making in the Manufacturing Environment Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods**. Londres: Springer-Verlag London, v. 1. ed. , 2013.

REBELATO, M. G. et al. Environmental performance analysis: foundry industry case report. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 28, 2017. p. 248-263.

REBELATO, M. G. et al. Environmental performance assessment (EPA): a case study in a graphic company. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, 28, 2017. p. 593-608.

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L.; RODRIGUES, A. M. Ponderação do impacto ambiental dos resíduos e subprodutos da produção industrial sucroenergética. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, 2013. p. 392-415.

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L.; RODRIGUES, A. M. Proposta de Indicadores para Avaliação do Desempenho Ambiental dos Processos Produtivos de Usinas

Sucroenergéticas. **4º International Workshop - Advances in Cleaner Production**, São Paulo, 2013. p. 1-10.

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L.; RODRIGUES, A. M. Avaliação Do Desempenho Ambiental dos Processos Industriais de Usinas Sucroenergéticas: um Estudo na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. **Revista de Administração da UNIMEP**, v. 12, n. 3, 2014. p. 122-151.

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L.; RODRIGUES, A. M. Análise do desempenho ambiental das usinas sucroenergéticas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. **Engenharia Sanitária Ambiental**, jul/set 2016. p. 579-591.

REBELATO, M. G.; RODRIGUES, A. M.; MADALENO, L. L. Environmental Performance Assessment of Industrial Processes in Sugar Power Plants: A Proposed Methodological Framework. **Modern Environmental Science and Engineering**, 2015. p. 53-63.

REIS, J. A.; SELLITTO, M. A. Avaliação de desempenho ambiental de um fabricante de máquinas. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, 2015. p. 1589-1599.

RIBEIRO, A. P. et al. Effects of contamination with toxic metals on the environmental quality of Sepetiba Bay (SE Brazil): The case of Ingá Company. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, 2015. p. 538-551.

RODRIGUES, A. M. et al. Avaliação de Desempenho Ambiental Industrial: Elaboração de umreferencial metodológico. **Revista Produção Online**, v. 15, 2015. p. 101-134.

RODRIGUES, T. D.; SOUZA, J. M.; SOUSA, M. M. Indústria do couro: aspectos, impactos e plano de melhoria ambiental para um curtume no interior do estado de goiás. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 6, 2010. p. 1-12.

ROODCHENKO, S. V.; BANIN, A. MindDecider theory. **personal communication**, 2015.

RUPPENTHAL, J. E. **Perspectivas do setor couro do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 259 f. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

SAATY, T. L. Fundamentals of decision making and prority theory with the analytic hierachy process. Pittsburgh, PA: RWS Publications, 1994.

SAKTHIVEL, M.; AYYASAMY, P. M.; HEMALATHA, N. Biotransformation of chromium (Cr-VI to Cr III) from tannery effluent using bacteria and fungi.

International Journal of Advanced Research in Biological Sciences, v. 3, n. 11, 2016. p. 68-79.

SANTOS, A. M. M. M. et al. Panorama do setor de couro no Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, set 2002. p. 57-84.

SARAIVA, A. B.; SOUZA, R. G.; VALLE, R. A. B. Comparative lifecycle assessment of alternatives for waste management in Rio de Janeiro – Investigating the influence of an attributional or consequential approach. **Waste Management**, 2017 - In press.

SAUER, T. **Tratamento de efluentes de curtume através do processo combinado de degradação fotocatalítica seguida por adsorção em carvão ativado**. 2006. 279 f. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

SCHJOLDEN, A. Leather tanning in India: Environmental regulations and firms compliance. **F I L Working Papers**, v. 21, 2000. p. 1-63.

SCHLESINGER, S. **Onde pastar? O gado bovino no Brasil**. 1. ed. ed. Rio de Janeiro: FASE, 2010.

SEARCY, C.; KARAPETROVIC, S.; MCCARTNEY, D. Designing sustainable development indicators: analysis for a case utility. **Measuring Business Excellence**, v. 9, 2005. p. 33-41.

SEIFFERT, M. E. B. Environmental impact evaluation using a cooperative model for implementing EMS (ISO 14001) in small and medium-sized enterprises. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 14, 2008. p. 1447-1461.

SELLITO, M. A.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G. M. Modelagem para avaliação de desempenho ambiental em operações de manufatura. **Gest. Prod**, São Carlos, v. 17, 2010. p. 95-109.

SENÖZ, G. M. L. Removal of basic dyes from wastewater by using natural zeolite: kinetic and equilibrium studies. **Technological Applied Sciences**, 12, n. 3, 2017. p. 130-139.

SHEN, L.; MUDULI, K.; BARVE, A. Developing a sustainable development framework in the context of mining industries: AHP approach. **Resources Policy**, v. 46, 2015. p. 15-26.

SILVA, D. A. L. et al. Environmental performance assessment of the melamine-ureaformaldehyde formaldehyde (MUF) resin manufacture: a case study in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, 2015. p. 299-307.

SILVA, R. R.; RODRIGUES, F. T. R. L. Análise do Ciclo de Vida e da Logística Reversa como Ferramentas de Gestão Sustentável: o caso das embalagens Pet. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, SC, 7, 2015. p. 44-58. ISSN: 2175-8018.

SINGH, R. K. et al. An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecological Indicators**, 2012. p. 281-299.

SINGH, S.; SINHA, S. Accumulation of metals and its effects in Brassica juncea (L.) Czern.(cv. Rohini) grown on various amendments of tannery waste. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 2005. p. 118-127.

SLEESWIJKA, A. W. et al. Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000. **Science of The Total Environment**, 2008. p. 227 – 240.

SONG, M. L.; FISHER, R. W. J. L.; CUI, L. B. Environmental performance evaluation with big data: theories and methods. **Annals of Operations Research**, 2016. p. 1-14.

SOUSA, J. D. A. F. **Apostila Peles, Couros e Resíduos – Os Curtumes No Brasil**. Franca: Apostila disponibilizada para os alunos do curso de curtimento na ETEC Professor Carmelino Corrêa Júnior, 2015.

STOOP, M. L. M. Water management of production systems optimised by environmentally oriented integral chain management: case study of leather manufacturing in developing countries. **Technovation**, 2003. p. 265–278.

STRANDDORF, H. K.; HOFFMANN, L.; SCHMIDT, A. **Impact categories, normalisation and weighting in LCA**: Updated on selected EDIP97-data. Copenhagen: Danish Ministry of the environment, v. Environmental news No. 78, 2005.

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Measurement of a linkage among environmental, operational, and financial performance in Japanese manufacturing firms: A use of Data Envelopment Analysis with strong complementary slackness condition. **European Journal of Operational Research**, 2010. p. 1742-1753.

SUNDAR, V. J. . R. J. R.; MURALIDHARAN, C. Cleaner chrome tanning — emerging options. **Journal of Cleaner Production**, 2002. p. 69-74.

SZUBA, A.; LORENC-PLUCIŃSKA, G. Field proteomics of Populus alba grown in a heavily modified environment – An example of a tannery waste landfill. **Science of The Total Environment**, 2017 - in press.

TAHIR, A. C.; DARTON, R. C. The Process Analysis Method of selecting indicators to quantify the sustainability performance of a business operation. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 16-17, 2010. p. 1598-1607.

TASEIDIFAR, M. et al. Removal of heavy metal ions from water using ion flotation. **Environmental Technology & Innovation**, v. 8, novembro 2017. p. 182–190.

TRIERWEILLER, A. C. et al. Gestão ambiental: levantamento da produção científica brasileira em periódicos de Engenharia de Produção. **Produção**, v. 24, abr-jun 2014. p. 435-450.

TYTECA, D. et al. Corporate Environmental Performance Evaluation: Evidence from the MEPI Project. **Business Strategy and the Environment**, 2002. p. 1-13.

UNEP/SETAC. **Towards a Life Cycle Sustainability Assessment: Making informed choices on products**. UNEP/SETAC, 2011.

UNIDO. **United Nations Industrial Development Organization. Future Trends in the World Leather and Leather Products Industry and Trade**. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Viena, p. 120. 2010.

USDA. United States Department of Agriculture - Foreign Agricultural Service. **United States Department of Agriculture (USDA)**, 2017. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home/statsByCountry>>. Acesso em: 20 janeiro 2016.

VELEVA, V.; ELLENBECKER, M. Indicators of sustainable production: framework and methodology. **Journal of Cleaner Production**, 2001. p. 519-549.

VERHEIJEN, L. et al. Management of Waste from Animal Product Processing. **Food and Agriculture Organization of the United NationsUnited States (U.S. Agency for International Development), World Bank Livestock, Environment and Development (LEAD) Initiative**, Países Baixos, jan 1996.

WAGH, C. H.; GUJAR, M. G. The Environmental Impact Assessment by Using the Battelle Method. **International Journal of Science and Research (IJSR)**, 3, n. 7, 2014. p. 82-86.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M.; ALTING, L. **Environmental Assessment of Products: Methodology, tools and case studies in product development**. 2. ed. ed. Copenhagen: Kluwer Academic Publishers, 2000.

WESTKÄMPER, E.; ALTING; ARNDT. Life Cycle Management and Assessment: Approaches and Visions Towards Sustainable Manufacturing (keynote paper). **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 49, 2000. p. 501-526.

XIULIN, S.; DAWEI, L. An Improvement Analytic Hierarchy Process and Its Application in Teacher Evaluation. **Fifth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications**, 2014.

ZAREI, M. Z.; KAZEMI, N.; MARZBAN, A. Life cycle environmental impacts of cucumber and tomato production in open-field and greenhouse. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 2017 - In press.

ZEVIANI, C. H.; RODRIGUES, A. M.; REBELATO, M. G. Levantamento da Produção Científica Brasileira em Gestão Ambiental Empresarial em periódicos da área de administração entre 2007 e 2012. **Anais do IX Congresso Virtual Brasileiro - Administração (CONVIBRA)**, 2013.

ZHANG, M. Application and Research of Improved AHP Model in Employment of College Student. **The Open Cybernetics & Systemics Journal**, 2015. p. 1212-1217.

ZUI, X. et al. Environmental Performance Index at the Provincial Level for China 2006–2011. **Ecological Indicators**, v. 75, abr 2017. p. 48-56.