

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS - CÂMPUS ITUMBIARA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

WASHINGTON COSTA DE FREITAS

**CURTIMENTO DO COURO: REVISÃO DE LITERATURA E
DETERMINAÇÃO DE CROMO EM AMOSTRAS DE COURO *WET BLUE***

ITUMBIARA-GO

2023



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Washington Costa de Freitas

Matrícula: 20192040030080

Título do Trabalho: Curtimento do couro: Revisão de literatura e determinação de cromo em amostras de couro *Wet blue*.

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2** ou **3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara-GO, 29/08/2023
Local Data

Washington Costa de Freitas

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

WASHINGTON COSTA DE FREITAS

**CURTIMENTO DO COURO: REVISÃO DE LITERATURA E
DETERMINAÇÃO DE CROMO EM AMOSTRAS DE COURO *WET BLUE***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca examinadora do Curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Licenciado em Química.

Área de Concentração: Análise Química

Orientadora(a): Profa. Dra Tatiana Aparecida Rosa da Silva.

ITUMBIARA-GO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F866c Freitas, Washington Costa de
 Curtimento do couro: revisão de literatura e determinação
 de cromo em amostras de couro wet blue. / Washington Costa de
 Freitas. -- Itumbiara, 2023.
 59p. : il.

 Trabalho de conclusão de curso (Licenciado em Química) -
 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás,
 Câmpus Itumbiara, 2023.

 Orientadora: Prof^a. Dra. Tatiana Aparecida Rosa da Silva.

 1. Couros - Indústria. 2. Couro - Análise. 3. Curtimento
 - Couro. I. Título. II. Sil, Tatiana Aparecida Rosa da. III.
 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 66.01

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey / Câmpus Itumbiara
Bibliotecária: Rosiane Gonçalves de Lima CRB1/1684

WASHINGTON COSTA DE FREITAS

**CURTIMENTO DO COURO: REVISÃO DE LITERATURA E
DETERMINAÇÃO DE CROMO EM AMOSTRAS DE COURO WET BLUE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Licenciatura em Química
do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás (IFG), Câmpus Itumbiara,
como parte dos requisitos para a conclusão do Curso
de Licenciatura em Química e obtenção do título de
licenciado em Química.

Área de concentração: Análise Química.

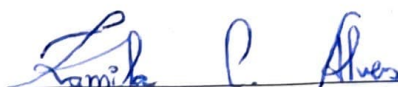
Aprovada em 26 de junho de 2023.



Prof. Dra. Tatiana Aparecida Rosa da Silva
Orientadora
IFG – Câmpus Itumbiara



Prof. Dra. Blyeny Hatalita Pereira Alves
IFG Câmpus Itumbiara



Prof. Esp. Kamila Correia Alves
IFG Câmpus Itumbiara

Itumbiara - GO
2023

*“Um pouco de ciência nos afasta de Deus.
Muito, nos aproxima”. (Louis Pasteur)*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me rege em toda caminhada, me dando força e sabedoria para seguir meus sonhos sem desistir e erguer minha cabeça em momentos difíceis.

Agradeço em especial a minha mãe, Maria Aparecida da Costa, que sempre acredita em mim e me forneceram todo apoio e meios possíveis para completar meus estudos, me incentivando a nunca parar. Obrigado por estar ao meu lado em todos os momentos da vida e sendo minha base para tudo.

Agradeço a minha esposa, Michele Cristie da Silva Pains, que decidiu compartilhar a vida dela comigo nessa jornada tão insistente de crescimento, sem você meus dias não seriam os mesmos e eu não estaria onde estou, aprendi muito e amadureci bastante, só tenho admiração por tudo que passamos. Tenho admiração pela família que nos tornamos.

A todos da família que torceram e vibraram comigo em cada momento, que estão ali sempre que preciso e foram fundamentais para a minha criação.

Agradeço a minha orientadora, Prof^a. Dra Tatiana Aparecida Rosa da Silva, pelo conhecimento que foi compartilhado, por dividir essa experiência e aprendizado proporcionado.

Aos professores e toda equipe acadêmica que estiveram comigo em toda jornada durante o curso, e aos colegas que compartilharam de alguma forma seus conhecimentos.

Agradeço aos amigos que passaram e fizeram morada no meu caminho, que me apoiaram e me deram forças para continuar, ao meu amigo Robson, que me serviu de inspiração para decidir escolher esse curso.

CURTIMENTO DO COURO: REVISÃO DE LITERATURA E DETERMINAÇÃO DE CROMO EM AMOSTRAS DE WET BLUE

Washington Costa de Freitas
Prof^a. Dra Tatiana Aparecida Rosa da Silva

RESUMO

Devido aos impactos negativos e à necessidade de modernização, surge a viabilidade da adoção de técnicas alternativas de curtimento de couro, em substituição ao uso tradicional do cromo III, visando a redução dos impactos ambientais e à saúde, modernização das linhas de produção, geração de empregos e preservação ambiental. A indústria de couro no Brasil é composta principalmente por curtumes de pequeno porte, concentrados nas regiões sul e sudeste, com uma tendência de deslocamento para o centro-oeste. O curtimento é a etapa mais importante do processo de produção do couro, sendo o sulfato de cromo III amplamente utilizado como agente curtidor. No entanto, a indústria enfrenta desafios econômicos e de concorrência, levando a uma pressão por redução de custos e ao fechamento de mercados, resultando na migração de algumas indústrias para outras regiões do país. A pesquisa adota uma abordagem quantitativa-qualitativa, buscando compreender as razões por trás dos fenômenos estudados sem se preocupar com números. Foi realizada revisão de literatura e análises de impacto ambiental para explorar o uso do cromo no curtimento do couro, além de investigar a concentração desse elemento nas amostras e os resíduos gerados durante o processo. A análise dos resultados sobre o curtimento do couro com cromo aborda eficiência, segurança, saúde e impacto ambiental, considerando regulamentos governamentais e padrões da indústria. Conclui-se que os resíduos de couro estão dentro dos limites legais e que não representariam riscos ao solo e a saúde humana. A análise bibliográfica e do experimento identificou que o curtimento do couro com cromo é eficaz, porém gera resíduos tóxicos e apresenta riscos ambientais e à saúde. A busca por alternativas sustentáveis é uma tendência, mas desafios de eficácia e custo precisam ser consideradas, enquanto a conformidade com regulamentações e a segurança dos trabalhadores devem ser garantidas.

Palavras-chave: Cromo, Couro, Curtimento, Análises, Recurtimento.

LEATHER TANNING: LITERATURE REVIEW AND CHROMIUM DETERMINATION IN WET BLUE SAMPLES

Washington Costa de Freitas
Profa. Dra Tatiana Aparecida Rosa da Silva

ABSTRACT

Due to the negative impacts and the need for modernization, the feasibility of adopting alternative leather tanning techniques arises, replacing the traditional use of chromium III, aiming at reducing environmental and health impacts, modernizing production lines, generating jobs and environmental preservation. The leather industry in Brazil is mainly composed of small-sized tanneries, concentrated in the south and southeast regions, with a tendency to shift to the center-west. Tanning is the most important step in the leather production process, and chromium III sulfate is widely used as a tanning agent. However, the industry faces economic and competition challenges, leading to pressure for cost reduction and the closing of markets, resulting in the migration of some industries to other regions of the country. The research adopts a quantitative-qualitative approach, seeking to understand the reasons behind the studied phenomena without worrying about numbers. A literature review and environmental impact analysis were carried out to explore the use of chromium in leather tanning, in addition to investigating the concentration of this element in the samples and the residues generated during the process. The analysis of results on chrome leather tanning addresses efficiency, safety, health and environmental impact, considering government regulations and industry standards. It is concluded that leather residues are within the legal limits and that they would not represent risks to the soil and human health. Bibliographic and experiment analysis identified that leather tanning with chromium is effective, however it generates toxic residues and poses environmental and health risks. The search for sustainable alternatives is a trend, but challenges of effectiveness and cost need to be considered, while regulatory compliance and worker safety must be ensured.

Keywords: Chrome, Leather, Tanning, Analysis, Retanning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01-	Couro Wet blue.....	13
Figura 02 -	Distribuição de estabelecimento curtidores por região em 2016.....	18
Figura 03 -	Cadeia do colágeno durante o curtimento.....	22
Figura 04 -	Sistema redox do cromo.....	26
Figura 05-	Amostras preparadas para teste.....	36
Figura 06 -	Amostras após adicionados os ácidos.....	37
Figura 07 -	Adicionada água até marcação de 200ml.....	37
Figura 08 -	Após adicionar ácido fosfórico e iodeto de potássio.....	38
Figura 09-	Ponto de Viragem.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Produção de couro no Brasil por região em 2016.....	18
Tabela 02 - Concentrações médias de cromo no ambiente.....	25
Tabela 03 - Artigos selecionados - Tratamento de resíduos de couro.....	40
Tabela 04 - Artigos selecionados - Tratamento de resíduos de couro.....	41
Tabela 05 - Resultado da titulação das amostragens do Cromo.....	46
Tabela 06 - Conversão de medidas.....	47

LISTA DE SIGLAS

FIERGS - Federação das Indústrias do Estado de Rio Grande do Sul.

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas.

BNDES- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.

Na_2S - Sulfeto de Sódio

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ - Hidróxido de cálcio

Ca- Cálcio

$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - sulfato de amônio

NaHSO_3 - Bissulfito de sódio

Cr - Cromo

LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu\text{g/L}$ - Micrograma por Litro.

E^0 - Potencial Padrão Elétrico.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 Justificativa	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 O Curtimento do Couro no Brasil.....	17
2.1.1 Processo de curtume do couro.....	19
2.1.2 Tipos de Cromo Utilizados.....	24
2.1.3 Impactos ambientais e medidas de controle.....	29
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 Determinação experimental de cromo.....	33
3.1.1 Materiais, Aparelhagem e Reagentes Utilizados.....	33
3.1.2 Coleta de amostras de couro.....	34
3.1.3 Preparação das amostras para análise.....	34
3.1.4 Descrição da execução do preparo da amostra.....	36
3.1.5 Realização da análise titrimétrica.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1 Revisão de literatura.....	40
4.1.1 Tratamento de resíduos de couro.....	41
4.1.2 Danos que o cromo causa no meio ambiente.....	43
4.2 Plano de gerenciamento de resíduos sólidos industriais.....	44
4.3 Determinação experimental de cromo e cálculo em amostras selecionadas.....	44
4.4 Teor de cromo aceita pela legislação.....	46
4.5 Concentração de cromo e os riscos de contaminação.....	48
4.6 Utilização promissora de EDTA.....	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

As primeiras histórias registradas do surgimento e evolução humana registram a sua inteligência ao usar peles de animais para proteção contra o frio e o meio ambiente. No entanto, devido ao microrganismo ativado, as peles frescas sofrem um processo de decomposição muito rápido quando o animal morre, tornando-se quebradiças, inutilizáveis após um curto período de tempo. Para tornar qualquer coisa a partir daí mais permanente, o processo teve que ser aprimorado. Com o passar do tempo e novos conhecimentos adquiridos, o processo de curtimento foi se transformando cada vez mais, dando origem a novos usos como sapatos, móveis e enfeites (RIBA, 2007).

Devido a esses fatores, tornou-se imperativo aprimorar o processo de conservação do couro, conforme destacado por Riba (2007). Consequentemente, o couro passou a adquirir diversas formas e ser utilizado em novas aplicações, como calçados, móveis e objetos de decoração.

Conforme estabelecido pela lei nº11.211, de 19 de dezembro de 2005, o termo "couro" é definido como a pele de animal que passa pelo processo químico e mecânico de curtimento até se tornar um produto final (BRASIL, 2005). De acordo com Pacheco (2014), o processo de curtimento é essencial para transformar a pele animal em couro, conferindo-lhe durabilidade, resistência a ataques de microrganismos e rasgos, além de proporcionar uma textura mais elástica. Os métodos de curtimento mencionados incluem o curtimento com alume, o curtimento vegetal e o curtimento com cromo.

Segundo CETESB (2015), alguns impactos negativos são destacados ao longo do processo de produção do couro. A preocupação com o bem-estar animal é mencionada, uma vez que os animais são abatidos sem exigências rigorosas dos compradores, levando a condições inadmissíveis de criação e até mesmo a tratamentos cruéis. Além disso, há o impacto ambiental associado à produção de couro, que pode resultar na contaminação de solos, água e lençóis freáticos devido aos produtos químicos utilizados no processo de curtimento. Outros impactos incluem o aumento no consumo de energia, o uso excessivo de água e a emissão de gases de efeito estufa. Em relação à saúde humana, o processo de produção do couro pode acarretar problemas respiratórios e outros danos. O desperdício

durante o processo é outro aspecto importante a ser registrado, com subprodutos como o excesso de peles sendo descartados em aterros sanitários.

Em concordância com CETESB (2015), o processo de curtimento do couro utilizando cromo é uma técnica eficiente e moderna que foi desenvolvida no século XIX e continua sendo amplamente utilizada pelas indústrias devido ao seu custo-benefício e alta produtividade. Até o momento, nenhum método proposto em estudos apresentou eficácia e resultados semelhantes, com o mesmo custo, para substituir esse processo.

O uso de cromo (Cr) no curtimento é essencial para transformar peles de animais em um produto resistente à biodegradação. O sulfato de cromo III ($Cr_2(SO_4) \times H_2O$), também conhecido como sal de cromo, é o composto utilizado nesse processo. Ele confere consistência à pele, garantindo a conservação do produto e tornando-o imputrescível, além de conferir características difíceis de serem obtidas com outros reagentes, sendo praticamente insubstituível. No entanto, é importante ressaltar que o uso de sais de cromo no curtimento pode ser prejudicial à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente quando há exposição excessiva a altas concentrações durante o processo (FARIA, 2017).

O curtimento de couro pode ser usado nos produtos orgânicos e minerais, sendo que o mais utilizado é os sais de cromo onde são transformados em “*Wet Blue*”.

Wet Blue é o nome do produto obtido após o curtimento com cromo do couro salgado, representado na figura 01. O Curtume de Wet Blue – Desenvolve o primeiro processamento de couro, qual seja, logo após o abate, o couro salgado ou em sangue é despelado, graxas e gorduras são removidos e há o primeiro banho de cromo e o couro passa a exibir um tom azulado e molhado (FARIA, 2017).

Figura 01: Couro Wet blue



Fonte: De autoria própria.

O processo de curtimento de peles de animais possui quatro etapas principais: os processos de ribeira, o curtimento, o recurtimento e o acabamento, os processos variam muito de acordo com necessidades de cada empresa e cliente (RIBA, 2007)

Este estudo busca estabelecer as bases necessárias para fornecer informações e revisão de literatura sobre o processo de produção industrial do couro. Serão abordados os parâmetros exigidos por lei para o uso do cromo III na produção, bem como as vantagens no mercado que se preocupam com o meio ambiente. Além disso, será explorada a importância da modernização das linhas de produção, com o intuito de criar empregos para a sociedade e minimizar o impacto ambiental. Por fim, serão consideradas linhas de estudo que garantam a preservação ambiental e reduzam o desgaste causado por esse processo industrial.

Em concordância com Gherard-Goldeinstein (1990), os resíduos químicos gerados pelo processo de curtimento com cromo podem ser altamente tóxicos tanto para o meio ambiente quanto para os trabalhadores da indústria do couro. Esses resíduos incluem produtos químicos como sulfato de sódio, hidróxido de sódio e ácido sulfúrico, que têm potencial de contaminar o solo e a água. Além disso, a exposição a esses produtos químicos pode levar a problemas de saúde, como irritação da pele, problemas respiratórios e até câncer.

Para mitigar esses impactos ambientais e de saúde, pesquisadores têm explorado novas técnicas de curtimento de couro que sejam menos prejudiciais. Conforme FEAM (2002), algumas dessas técnicas incluem o uso de taninos vegetais, que são mais naturais e

menos tóxicos, e o uso de produtos químicos alternativos, como o alumínio e taninos vegetais.

Como proposto neste estudo, é importante criar bases de informações e revisão de literatura sobre o processo de produção industrial do couro. Isso inclui compreender os parâmetros exigidos por lei para o uso do cromo III na produção, identificar as vantagens de se preocupar com o meio ambiente no mercado e promover a modernização das linhas de produção. Também é fundamental estabelecer linhas de estudo que visem minimizar o desgaste ambiental causado por esse processo de curtimento em cromo.

A questão problema deste estudo é “Qual é a viabilidade da adoção de técnicas alternativas de curtimento de couro, em substituição ao uso tradicional do cromo III, visando a redução dos impactos ambientais e à saúde, modernização das linhas de produção, geração de empregos e preservação ambiental e está centrada na viabilidade da adoção de técnicas alternativas de curtimento de couro, em substituição ao uso tradicional do cromo III. Considerando os impactos negativos associados ao processo convencional, como a contaminação ambiental, os riscos à saúde dos trabalhadores e a necessidade de modernização das linhas de produção, surge a necessidade de explorar alternativas que minimizem tais impactos.

Nesse contexto, questiona-se se a implementação de técnicas sustentáveis de curtimento, como o uso de taninos vegetais e outros produtos químicos alternativos, é viável para reduzir o desgaste ambiental, gerar empregos e garantir a preservação ambiental. Essa investigação busca contribuir para a construção de bases de informações e revisão de literatura sobre o processo de produção industrial do couro, fornecendo subsídios para a adoção de práticas mais sustentáveis na indústria do couro.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar levantamento bibliográfico sobre o uso do cromo em curtume e sua importância, trazendo informações sobre os danos causados pela toxicidade deste elemento químico no meio ambiente. Procedendo também a análise da quantidade de cromo em amostras de couro.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Buscar as espécies e os níveis de cromo emitidos pelos curtumes, bem como suas transformações e impactos;
- Realizar uma revisão de literatura sobre o uso de cromo nos processos de curtimento de couro *wet blue*;
- Fazer um levantamento das legislações ambientais a serem seguidas por empresas de curtumes;
- Estimar em pequena escala, levando em conta identificar o teor de cromo presente nas amostras de couro, verificando se estão dentro dos parâmetros aceitáveis, além de investigar os resíduos gerados durante o processo de curtimento.
- Determinar experimentalmente a concentração de cromo no banho de curtimento em uma indústria de couro;

1.2 Justificativa

As indústrias de couro desempenham um papel histórico na sociedade, sendo uma das atividades mais antigas registradas. Atualmente, além de produzir peles curtidas para diversos setores, como vestuário, calçados, automóveis, móveis e equipamentos de proteção, os curtumes também aproveitam os resíduos da pecuária de corte como matéria-prima. No entanto, o uso indiscriminado do cromo no processo de curtimento do couro tem consequências ambientais e para a saúde humana.

Com o intuito de alertar a sociedade sobre esses danos, este estudo busca descrever a situação atual do uso de cromo nos curtumes, evidenciando suas consequências, bem como explorar alternativas ecológicas adotadas pela indústria para minimizar seu impacto ambiental. A abordagem contemporânea sobre o elemento químico cromo e seu uso na indústria de couro justifica-se diante da necessidade de compreender suas implicações ambientais e encontrar soluções sustentáveis.

Além disso, diante do avanço da legislação ambiental e dos alertas científicos, é importante avaliar o teor de cromo na indústria de curtumes, examinar sua emissão e efeitos no meio ambiente, além de investigar o tratamento dos banhos e a presença de cromo em

amostras utilizadas no processo, contribuindo assim para a busca por práticas mais sustentáveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O Curtimento do Couro no Brasil

Em âmbito global, o couro assume um papel integral em várias cadeias de produção, sendo intrinsecamente ligado à pecuária de corte e aos frigoríficos, que são as principais fontes de sua matéria-prima. Ele desempenha um papel essencial em diversas indústrias, abrangendo setores como calçados, artefatos, vestuário, móveis e automóveis. A produção de couro é primordialmente conduzida por curtumes, que fornecem o material em diferentes estágios de processamento, desde o couro salgado, mais básico e com menor valor agregado, até o produto final acabado, de maior valor agregado e pronto para uso (ABDI, 2011).

No contexto brasileiro, o couro encontra sua principal aplicação na indústria de calçados, um setor de significativa tradição no país e de notável relevância econômica. Esse segmento engloba quatro categorias distintas de indústrias: calçados (sejam de couro ou materiais sintéticos), artefatos de couro (como bolsas, pastas e cintos), curtumes e componentes destinados à produção de artefatos e calçados (SEBRAE/BA, 2017).

Segundo os dados do IBGE (2019), houve um aumento de 11,15% no abate de gado bovino de 2008 a 2018. No ano de 2018, foram abatidos um total de 31.901.239 bovinos, resultando em uma quantidade total de 1.885.369.204 quilogramas de carne de boi. Esse incremento também se traduziu em um crescimento na produção de couro, que não apenas supre a demanda da indústria nacional, mas também é destinado às exportações.

A indústria do couro é composta por mais de 310 estabelecimentos de curtimento e desempenha um papel significativo no âmbito econômico. Ela movimenta mais de 3 bilhões de dólares anualmente e tem presença em mais de 80 países por meio de suas exportações. Além disso, ela tem impacto social ao oferecer emprego a mais de 40 mil pessoas, e possui implicações ambientais, uma vez que gera um volume considerável de resíduos (CICB, 2017).

Durante o processo de transformar as peles em couro, cerca de 40% do material submetido ao curtimento é desperdiçado como resíduos sólidos (ABREU, 2006). Os resíduos provenientes do curtimento ao cromo são classificados pela ABNT como perigosos de acordo com a norma NBR 10004 de 2004. É calculado que cerca de 90% dos estabelecimentos de

curtimento utilizam o óxido de cromo como agente de curtimento devido ao seu custo reduzido e às características que confere ao couro (SCOPEL, et al., 2018; BACARDTI, et al., 2015).

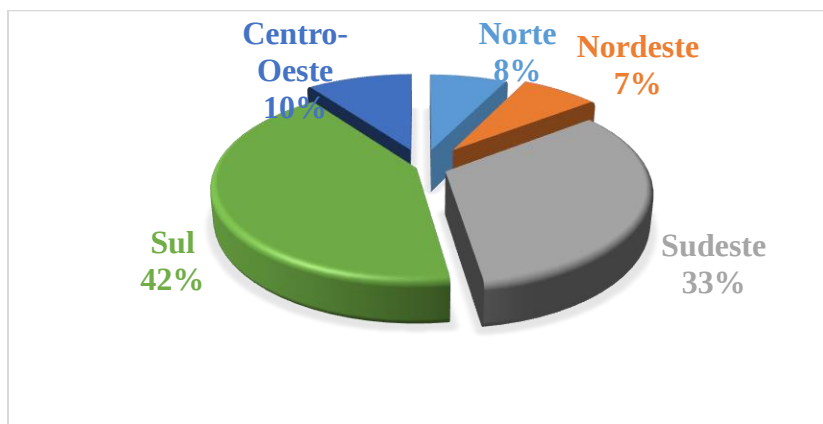
A produção e a indústria de couros concentram-se principalmente nas regiões sul e sudeste do país, conforme mostrado na Tabela 1 e na Figura 2 abaixo, havendo uma tendência atual de deslocamento para um novo polo no centro-oeste, devido à localização dos rebanhos e frigoríficos, além dos incentivos e condições favoráveis nessa região (CICB,2017).

Tabela 01: Produção de couro no Brasil por região em 2016.

Curtumes por regiões		
Regiões	2016	
	Unidades produtivas	Participação (em %)
Norte	19	7,3%
Nordeste	19	7,3%
Sudeste	86	33,1%
Sul	110	42,3%
Centro-Oeste	26	10%
Brasil	260	100%

Fonte: De autoria própria, baseado: IEMI.

Figura 02: Distribuição de estabelecimento curtidores por região em 2016.



Fonte: De autoria própria, baseado: IEMI.

O processamento de couro é uma atividade importante em muitos países e vem crescendo significativamente em países em desenvolvimento cujas economias são voltadas para o setor agrônomo e a produção de couro tem se deslocado da Europa e Estados Unidos para o Extremo Oriente e América do Sul, especialmente China, Brasil, Índia, Coreia do Sul e Argentina. Nos países do leste europeu, a produção de couro também aumentou, especialmente o wet blue. Entre eles, destacam-se a busca por mão de obra de menor custo e as políticas ambientais mais rígidas dos países produtores tradicionais (DAMIÃO; FERREIRA, 2020).

As exportações de couro do Brasil totalizaram US\$ 155,8 milhões em novembro de 2016, um aumento de 7,8% em relação ao mês correspondente de 2015. Medido por área, o volume exportado em novembro foi de 1,0 milhões de metros quadrados. Os dados são da Secretaria de Comércio Exterior do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e foram analisados pelo Centro de Informações Empresariais do Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil (CICB).

Em novembro de 2016 também foram 77 compradores no País ao longo do ano. A ordem dos países exportadores é a seguinte: o estado do Rio Grande do Sul está em primeiro lugar com total de 21,3%, São Paulo com 20,7%, seguido por Goiás 15%, Paraná 9,1% e Ceará 7,3% (CICB).

2.1.1 Processo do Curtimento do Couro

De acordo com a NBR 10004 de 2004 o processo de curtimento do couro é uma série de etapas complexas que transformam peles de animais em couro durável e flexível, evitando a decomposição e conferindo-lhe características desejáveis. Conforme citado por especialistas no campo, "o processo de curtimento é crucial para transformar as peles cruas em um material resistente e versátil" (BACARDTI, *et al.*, 2015).

No processo de curtimento do couro, são empregados tanto os curtimentos vegetais quanto os minerais. Os curtimentos vegetais utilizam taninos extraídos de plantas, os quais possuem propriedades que interagem com o colágeno presente no couro. (FARIA, 2017).

Já o curtimento mineral é amplamente utilizado e baseia-se principalmente no uso de Sulfato de Cromo. Esse composto transforma o cromo em sua forma trivalente, conhecida como Cromo III, conferindo maior resistência ao couro e estabilidade química. Quando o

curtimento é realizado com taninos vegetais, o couro recebe a denominação de "*Wet Blue*" (FARIA, 2017).

Segundo Faria (2017), o teor de cromo aceitável no couro está em uma faixa de 3 a 4%, garantindo assim a qualidade e as propriedades desejadas do material. A escolha entre os métodos de curtimento vegetal ou mineral depende das características específicas que se deseja obter no couro final, levando em consideração fatores como resistência, estabilidade e finalidade do produto.

O processo começa com a etapa de cura e preparação, na qual, como destacado por Scopel, *et al.* (2018) "as peles são tratadas imediatamente após o abate para evitar a deterioração precoce". Isso pode envolver o uso de produtos químicos conservantes ou o resfriamento das peles.

Uma etapa fundamental é a limpeza das peles, onde, de acordo com o estudo do IBGE (2019) a remoção de sujeira e gordura é crucial para garantir a qualidade final do couro.

O processo de ribeira compreende um pré-remolho para remover impurezas e o excesso de sal da pele, permitindo o crescimento de microrganismos. Em seguida, ocorre a depilação e o caleiro, nos quais os pelos dérmicos são removidos por meio do uso de sulfeto de sódio (Na_2S) (CETESB, 2015).

No caleiro, o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) é adicionado, e a pele passa pelo processo de descarne, separando a parte superior, conhecida como flor, da parte inferior, chamada de raspa. O couro é produzido a partir da flor (FARIA, 2017).

Em seguida, ocorre a desencalagem, que consiste na remoção parcial ou integral do cálcio (Ca) absorvido pela pele durante a etapa do caleiro. Essa remoção é realizada utilizando agentes químicos, como sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, bissulfito de sódio (NaHSO_3), ácido bórico (H_3BO_3) ou ácidos orgânicos (EDUARDO, 2019).

Dentro desse processo, há um subprocesso chamado purga, que envolve a limpeza da estrutura fibrosa para a remoção da queratina. Esse processo é realizado por meio de enzimas presentes no pâncreas bovino e suíno, ou preparados enzimáticos obtidos a partir de culturas de fungos. O píquel é utilizado para preparar as fibras de colágeno, facilitando a penetração dos agentes e tornando o processo mais eficiente. Para o curtimento com cromo (Cr), o pH da pele deve ser ajustado para 2,5 a 2,8, e o couro é armazenado por até seis meses para proteção contra bactérias (MARCELO, 2019).

Segundo Riba (2007), a indústria do couro está constantemente em busca de substituições mais sustentáveis para o uso do cromo no curtimento, realizando estudos incansáveis para reduzir os impactos ambientais associados a esse elemento.

O acabamento molhado consiste na neutralização do couro com ácidos, seguido pelo recurtimento para conferir características específicas, como firmeza e facilidade de acabamento. Nessa etapa, o couro é tingido com corantes e recebe tratamentos de engraxe para amaciar o material. (FARIA, 2017).

A secagem do couro é realizada de acordo com as exigências do cliente e as especificações da empresa, com redução da umidade entre 60% a 15%. Em seguida, ocorre o amaciamento para soltar as fibras internas, proporcionando maior flexibilidade ao couro. (FARIA, 2017).

Após a etapa de secagem e amaciamento, o couro é submetido ao processo de lixamento para corrigir eventuais defeitos na superfície da flor. Em seguida, uma máquina é utilizada para remover o pó gerado durante esse processo. Por fim, o couro passa pelo acabamento final, que envolve uma série de processos para conferir características como brilho, textura, permeabilidade, resistência à fricção e solidez à luz (MARCELO, 2019).

Dessa forma, todo o processo de curtimento do couro compreende uma série de etapas e procedimentos, desde a preparação dos animais até o acabamento. A busca por alternativas sustentáveis ao uso do cromo na indústria do couro é uma preocupação constante, visando reduzir o impacto ambiental e promover a sustentabilidade em toda a cadeia produtiva (RIBA, 2007).

Após o curtimento, a fase de secagem é crucial para remover a umidade, conforme mencionado pelo SEBRAE/BA (2017). Isso é essencial para prevenir o desenvolvimento de mofo e deterioração subsequente.

No processo de engraxamento e acabamento, o couro pode ser tratado para obter características específicas, ainda de acordo com SEBRAE/BA (2017). Ainda afirmam que "esse estágio permite a personalização do couro de acordo com os requisitos da indústria".

O couro é inspecionado e selecionado antes do corte e costura, como discutido por Pacheco (2015) isso garante que apenas o couro de alta qualidade seja utilizado para produtos finais, conforme também em consonância com a NBR 10004 de 2004.

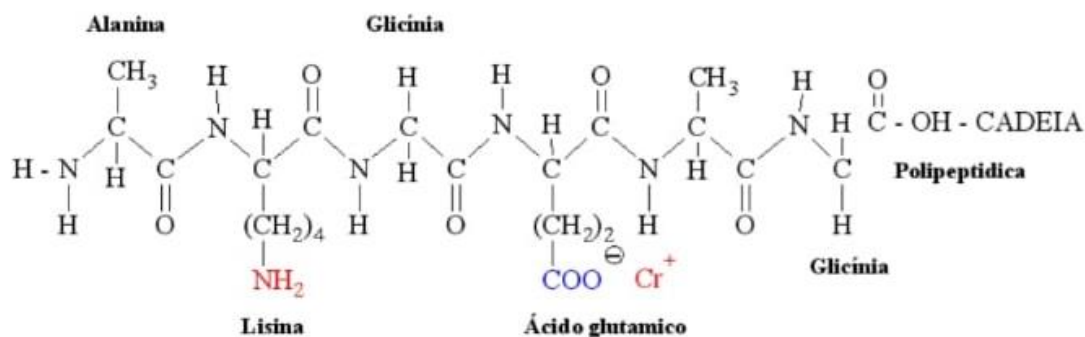
Quando a pele precisa aguardar por mais de 12 horas, é necessário submetê-la ao processo de cura, que envolve a desidratação da pele com camadas de sal, aumentando sua vida útil por meses (PACHECO, 2015).

O couro é caracterizado como a pele que é submetida a uma sequência de procedimentos envolvendo limpeza, estabilização através de técnicas de curtimento e finalização. Esses procedimentos são conhecidos como ribeira, curtimento e acabamento, sendo que este último é subdividido em pré-acabamento e acabamento definitivo. (PACHECO, 2015).

Durante o processo, o colágeno, principal proteína da pele, é fixado por um agente curtidor, conferindo às peles resistência e proteção contra a putrefação. O sulfato de cromo III, um sal de cromo III, é amplamente utilizado como agente curtidor. Para obter couro de boa qualidade, é necessário o uso de uma quantidade de cromo correspondente a 2% a 2,5% (calculado para Cr_2O_3) da massa de pele a ser curtida. (OLIVEIRA, MANGINI, 2022; PACHECO, 2015; CURTUMES, 2005).

A sua fórmula química tem o nome especial de cadeias, e estas, apresentam locais que facilmente reagem, são os pontos ligantes, onde posteriormente ocorrerá a fixação do cromo, recurtentes, corantes e óleos (OLIVEIRA, MANGINI, 2022; PACHECO, 2015), como apresentado na figura 03.

Figura 03: Cadeia do colágeno durante o curtimento.



Fonte: OLIVEIRA, MANGINI, 2022.

O uso do cromo no processo de curtimento é uma prática amplamente adotada na indústria de couro devido às suas propriedades eficazes no tratamento das peles e na

transformação delas em couro durável, devido a sua afinidade com o colágeno. O cromo, geralmente na forma de sais de cromo trivalente (Cr_3^+), é um dos principais agentes de curtimento utilizados. Ele desempenha um papel crucial no processo, conferindo ao couro suas características desejáveis (EDUARDO, 2019).

O cromo é um dos curtentes mais eficientes, garantindo um processo de curtimento rápido e uma estabilização significativa das fibras proteicas da pele (OLIVEIRA, MANGINI, 2022; PACHECO, 2015). O uso do cromo como agente de curtimento apresenta várias vantagens, incluindo:

- **Rapidez e Eficiência:** O processo de curtimento com cromo é conhecido por sua rapidez em comparação com outros métodos. Isso é particularmente importante para a indústria de produção em massa, onde a eficiência é crucial para atender à demanda.
- **Durabilidade:** O couro curtido com cromo é conhecido por sua durabilidade e resistência. Ele é capaz de suportar as tensões diárias e manter sua integridade ao longo do tempo.
- **Versatilidade:** O cromo permite que o couro seja utilizado para uma ampla variedade de produtos, desde calçados e roupas até acessórios e móveis.
- **Resistência à Umidade:** O couro curtido com cromo é menos suscetível à degradação causada pela umidade, tornando-o uma escolha adequada para aplicações em ambientes úmidos.
- **Manutenção da Cor:** O cromo também é conhecido por manter a cor do couro, conferindo um aspecto visual atraente.

No entanto, é importante observar que o uso de cromo no curtimento não está isento de preocupações. Em algumas práticas, o cromo pode ser convertido em sua forma hexavalente (Cr_6^+), que é mais tóxica e pode causar danos ao meio ambiente e à saúde humana. Por esse motivo, é fundamental implementar práticas responsáveis de gerenciamento de resíduos e tratamento de água para minimizar os riscos associados ao uso do cromo (ABREU, 2006).

2.1.2 Tipos de Cromo Utilizados

Cromo (Cr):

O cromo, um metal pesado com número atômico 24, apresenta características como coloração acinzentada, dureza e brilho. A resistência do cromo a ataques químicos em temperatura ambiente é notável, exceto quando em contato com soluções ácidas ou básicas diluídas, como ácido clorídrico (HCl) e ácido sulfúrico (CuSO_4) (MARCELO, 2019).

No entanto, em temperaturas elevadas, sua reatividade aumenta, sendo facilmente oxidado pelo oxigênio (O_2) e formando compostos com halogênios e a maioria dos ametais. É interessante observar que os compostos de cromo são coloridos, como o dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), que possui uma coloração laranja, e o cromato de potássio (K_2CrO_4), com coloração amarela (FRANCO, 2015).

O cromo possui efeito acumulativo e pode representar um risco significativo para a saúde humana e animal quando presente em concentrações acima dos limites estabelecidos por legislações ambientais. Sua toxicidade tem sido objeto de preocupação, especialmente quando ocorre sua liberação descontrolada no meio ambiente (LEAL, 2012, p. 78). Portanto, é crucial estabelecer medidas adequadas para controlar e monitorar a presença de cromo no ambiente, a fim de evitar danos à saúde e ao ecossistema.

Ele é amplamente utilizado em diversos processos químicos, especialmente na eletroquímica e sínteses orgânicas, devido às suas propriedades e características (BENJAMIN, 2019).

Dentre suas aplicações, destacam-se:

- Metal branco, brilhante.
- Massa atômica: 52,0.
- Ponto de fusão: 1765°C
- Ponto de ebulição: 2482°C
- Estados de oxidação: Cr^{+2} , Cr^{+3} e Cr^{+6}
- Configuração eletrônica: $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^5, 4s^1$
- Densidade: $7,14 \text{ g/cm}^3$

Não é encontrado na natureza em sua forma livre, sendo seu minério mais importante a cromita, que está amplamente distribuída na superfície terrestre. De acordo com Kotás e Stasicka (2000), o cromo é o 17º elemento mais abundante na crosta terrestre, com uma concentração média de cerca de 125 mg/kg, variando de 80 a 200 mg/kg.

Ainda de acordo com Kotás e Stasicka (2000) o cromo possui diferentes estados de oxidação, variando de $\text{Cr}^{(2+)}$ a $\text{Cr}^{(6+)}$, porém a forma trivalente é a mais comum na natureza. Este elemento é encontrado no ar, em alguns alimentos e desempenha um papel importante em diversos sistemas biológicos, sendo reconhecido como um micronutriente essencial para os seres humanos. No solo, o cromo ocorre naturalmente em concentrações diversas, geralmente abaixo dos níveis considerados tóxicos para vários organismos. No entanto, quando presente na água, o cromo está associado a atividades humanas, tornando-se um subproduto que pode ser transportado diretamente ou indiretamente para corpos d'água.

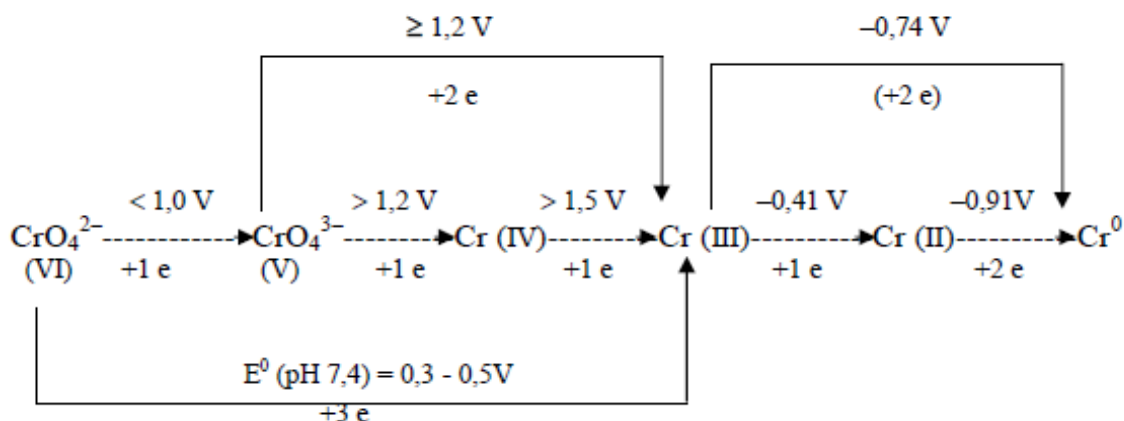
Em seus estudos Kotás e Stasicka (2000) destacam que os órgãos de controle ambiental em todo o mundo reconhecem o cromo como potencialmente perigoso para a saúde humana e para a vida aquática, sendo um dos contaminantes mais comuns. Essa percepção é apoiada por dados internacionais, como ilustrado na figura 3, que apresenta as concentrações médias de cromo no ambiente.

Tabela 02: Concentrações medias de cromo no ambiente.

Ar	Água superficial	Água de abastecimento	Solo
2 a 5 ng/m ³	1,0 a 10 µg/L	< 5 µg/L	5 a 1 500 mg/kg

Fontes: Andreoli *et al.* (2001); Canadian Water Guidelines (1993); Helou (2000); WHO (1996).

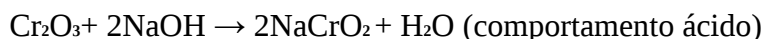
Conforme observado na Figura 4, o cromo apresenta diferentes estados de oxidação, porém nem todos possuem a mesma estabilidade. O estado trivalente do cromo é considerado a forma mais estável, tanto no solo quanto em soluções naturais e aquosas utilizadas na indústria.

Figura 04: Sistema redox do cromo.

Fontes: Weatheimer (1949), *apud* Nriagu e Nieboer (1988).

De acordo com o diagrama de potencial de redução, observa-se que o cromo trivalente (Cr^{3+}) é a forma mais estável do cromo em solução. Isso se deve à alta energia necessária para converter o cromo trivalente em estados de oxidação maiores ou menores. Em termos termodinâmicos, um valor positivo do potencial elétrico padrão (E^0) indica que a forma reduzida é favorecida, enquanto um valor negativo indica que a forma oxidada é relativamente mais estável (TODESCATO, 2019).

Os elementos no estado de oxidação mais baixo, como o íon cromito (CrO^{2+}), atuam como espécies básicas, enquanto nos estados de oxidação mais elevados, como os íons cromato (CrO_4^{2-}) e dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), atuam como ácidos. Os compostos de Cr (III) e Cr (IV) apresentam propriedades anfóteras, ou seja, podem reagir como ácidos ou bases dependendo da substância com a qual interagem (GUNTHER, 1999, p.16).



Valores negativos de E^0 para cromo III e cromo II indicam que este último é um forte agente redutor que transfere elétrons prontamente e é oxidado a cromo III. No entanto, ele e seus compostos se decompõem lentamente, reduzindo a água e o hidrogênio (GREENWOOD; EARNSHAW, 1998).

Os resíduos industriais contendo cromo são uma preocupação significativa para os órgãos ambientais, especialmente devido à sua baixa capacidade de absorção pela natureza, especialmente quando contaminados por metais pesados. Embora muitos produtos químicos tenham trazido benefícios para a humanidade em termos de desenvolvimento tecnológico, sua produção, uso e disposição no ambiente também podem representar riscos à saúde humana e ao meio ambiente (GUNTHER, 1999).

Tradicionalmente, alguns desses resíduos têm sido encaminhados para aterros adequados ou submetidos a processos de incineração, no entanto, essas opções têm altos custos operacionais. Uma alternativa viável para minimizar os danos é o tratamento dos resíduos, permitindo a recuperação dos metais presentes, os quais podem ser reintroduzidos no processo produtivo. Essa abordagem apresentaria um custo-benefício atrativo tanto para as empresas quanto para o meio ambiente. Após a descontaminação dos metais tóxicos, os resíduos tratados poderiam ser adequadamente dispostos no solo, contribuindo para uma gestão mais sustentável (TEREZA, 2002).

Cromo III

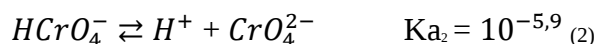
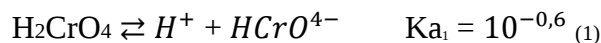
O cromo III apresenta baixa afinidade por íons de óxido e hidróxido, sendo capaz de formar uma variedade de complexos com outros ligantes. Muitas espécies complexas de cromo trivalente podem ser isoladas ou estabilizadas. No entanto, essas espécies são consideradas instáveis e os ligantes tendem a migrar lentamente, levando de horas a dias para ocorrer essa troca de ligantes em condições de temperatura ambiente. (MARCELO, 2019).

É importante ressaltar que os íons hidratados de cromo III, como $\text{Cr}(\text{OH}_2)_6^{3+}$, e outros complexos não devem ser considerados completamente inertes. Em certas condições, como na presença de catalisadores ou em temperaturas elevadas, ocorre uma maior rapidez na substituição dos ligantes, o que é amplamente explorado na indústria. Um exemplo relevante é o uso de alúmen, que consiste em sulfatos complexos de cromo e metais alcalinos, como $\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ou $\text{KCr}(\text{SO})_2$, na indústria do cromo (NRIAGU; NIEBOER, 1988).

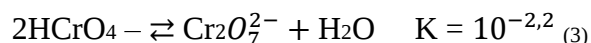
Cromo VI

O cromo VI possui propriedades oxidantes significativas em solução ácida e ocorre nas formas de CrO_3 (hexóxido de cromo, também conhecido como trióxido de cromo), CrO_2Cl_2 (cloreto de cromo), CrO_4^{2-} (íon cromato) e $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (dicromato), além de outros íons e óxidos. O CrO_3 é altamente solúvel em água e soluções alcalinas, resultando na formação de íons cromato de cor amarela. Quando dissolvido em meio ácido, ele produz um pH negativo e espécies dependentes da concentração. (MARCELO, 2019).

De acordo com a equação 1, pode-se deduzir que o H_2CrO_4 é um ácido forte, com um $\text{pK}_{\text{a}1}$ de 0,6; e é a espécie predominante em pH inferior a 0,6 (NRIAGU; NIEBOER, 1988).



Segundo (NRIAGU; NIEBOER, 1988) o íon monohidrato cromato (HCrO_4^-) é um ácido fraco ($\text{pK}_{\text{a}2} = 5,9$; equação 2), sendo encontrado em valores de pH de 1 a 6, enquanto CrO_4^{2-} é predominante em pH maior que 6. Em concentrações de cromo VI acima de 10^{-2} M, o íon HCrO_4^- se dimeriza para dar o íon dicromato:



Dessa forma, em $\text{pH} \geq 7,0$, predominam os ânions CrO_4^{2-} e em $\text{pH} < 7,0$, encontram-se os íons $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Em sistemas biológicos, as concentrações de cromato geralmente excedem $10^{(-2)}$ M, tornando a presença de dicromato menos relevante, especialmente em valores de pH fisiológicos, sendo assim a química do cromo VI é essencialmente representada pelo ânion cromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) (NRIAGU; NIEBOER, 1988).

Em soluções ácidas, é difícil ocorrer a remoção do átomo de oxigênio desse ânion. Portanto, a esfera de coordenação próxima ao cromo VI é fixa e ocupada por grupos de óxidos ou hidróxidos (NRIAGU; NIEBOER, 1988).

2.1.3 Impactos ambientais e medidas de controle

O uso de cromo no processo de curtimento de couro tem impactos ambientais significativos como apontam diversos estudos como os de Simoni; Detmer (2014), Scopel (2018), Garcia (2015), Longui (2018), Riehl (2015), principalmente devido à possibilidade de conversão do cromo trivalente (Cr_3^+) para a forma hexavalente (Cr_6^+), que é altamente tóxica e prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana. Essa conversão pode ocorrer durante o processo de curtimento, bem como após o descarte inadequado dos resíduos do curtume. Em consonância com os estudos listados no início desse parágrafo foram listados os impactos ambientais do uso de cromo no curtimento de couro, e em sequência as principais medidas de controle para mitigar esses impactos:

Poluição da Água: A liberação inadequada de resíduos contendo cromo hexavalente em corpos d'água pode contaminar rios, lagos e aquíferos, afetando a vida aquática e comprometendo a qualidade da água potável.

Contaminação do Solo: O descarte impróprio de resíduos de cromo pode contaminar o solo, tornando-o inadequado para uso agrícola ou outros fins.

Toxicidade para a Vida Aquática: O cromo hexavalente é altamente tóxico para organismos aquáticos, causando impactos negativos nos ecossistemas aquáticos e nas cadeias alimentares.

Emissões Atmosféricas: O processo de curtimento também pode liberar compostos de cromo na atmosfera, contribuindo para a poluição do ar.

Medidas de Controle:

Tratamento de Efluentes: Implementar sistemas de tratamento de efluentes nos curtumes para remover o cromo antes de liberar a água no ambiente. Métodos como precipitação química, adsorção e filtração podem ser empregados para remover o cromo dos efluentes.

Reuso de Água: Reciclar e reutilizar a água do processo de curtimento pode reduzir a demanda de água fresca e minimizar a liberação de contaminantes.

Monitoramento e Relatórios: Instituir sistemas de monitoramento contínuo para verificar os níveis de cromo nos efluentes e no ambiente circundante. Isso ajuda a identificar problemas precocemente e a tomar medidas corretivas.

Gestão de Resíduos: Implementar práticas seguras de armazenamento, transporte e descarte de resíduos de cromo, garantindo que eles não contaminem o solo ou a água.

Treinamento e Conscientização: Educar os trabalhadores da indústria do couro sobre os perigos do cromo hexavalente e promover práticas de trabalho seguras.

O método de remoção de cromo, conhecido como descromagem, é considerado uma solução para a gestão sustentável dos resíduos provenientes do processamento do couro. Esse método permite a extração do cromo, mantendo a integridade do colágeno e, consequentemente, agregando valor aos produtos resultantes (GARCIA, 2015). Autores como Longui (2018), Scopel (2018) e Oliveira (2007) conduziram experimentos de descromagem em resíduos de *wet-blue*, utilizando a hidrólise como técnica para extrair o cromo e aproveitar o colágeno.

Esses estudos identificaram maneiras de transformar o *wet-blue* em matérias-primas para a produção de diversos produtos, como fertilizantes, adesivos e adsorventes. No entanto, tais abordagens foram testadas somente em escala de laboratório. Dada essa situação, o objetivo deste estudo é propor um método de descromagem para resíduos de *wet-blue* por meio da hidrólise ácida, empregando tanques de curtume em escala piloto e utilizando o ácido cítrico como agente extrator.

Quando a geração de resíduos perigosos é inevitável e a reciclagem ou reuso dos resíduos sólidos gerados no processo é inviável, a disposição em aterros industriais é uma prática comum, gerando custos significativos e ocupando áreas por longos períodos (RIEHL, 2015). Portanto, é essencial desenvolver alternativas que transformem os resíduos sólidos em recursos econômicos e socialmente valiosos, em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), priorizando a redução do volume e da periculosidade dos resíduos (SIMIONI; DETMER, 2014).

Nesse contexto, Metz (2016) argumenta que os resíduos gerados na produção de couro podem ser transformados em subprodutos ou coprodutos valiosos, desde que o processo seja aprimorado, visando à valorização econômica dos resíduos sólidos na indústria do curtume.

No que diz respeito aos processos de reaproveitamento do resíduo de couro, Cabeza (1998) destaca que, entre 1969 e 1988, vários métodos de descromagem foram publicados visando à recuperação do colágeno e do cromo. Técnicas envolvendo ácidos, bases ou

enzimas foram empregadas para dissociar o cromo do colágeno sem prejudicar as propriedades das fibras (SCOPEL et al., 2018; SUNDAR et al., 2011).

A estrutura proteica da pele contém ligações entre o cromo e o colágeno, o que exige a desestabilização dessas ligações para promover a descromagem (GARCIA, 2015). A hidrólise ácida, básica ou enzimática é uma técnica possível para promover a decomposição de uma substância pela ação da água ou de um fluido aquoso. Ela ocorre por meio de iões de hidrogênio (H^+) ou hidroxila (OH^-), permitindo a quebra de cadeias polipeptídicas em fragmentos menores ou aminoácidos (AMARAL, 2008).

A aplicação da hidrólise em resíduos de couro curtido a cromo permite a extração de duas frações principais: o cromo, que é um resíduo perigoso, e a proteína, ou colágeno (SCOPEL et al., 2018). Essa técnica pode resultar em diversos produtos, como revestimentos, agentes de recurtimento, adesivos, filmes, alimentação animal e fertilizantes (CABEZA et al., 1999; TAHIRI et al., 2004; BROW, 1986; COT et al., 1999; SCOPEL, 2016; SILVA et al., 2009; LONGHI, 2018; COELHO, 2015; OLIVEIRA, 2007).

O produto resultante da hidrólise está diretamente relacionado à composição do resíduo, sendo essencial caracterizá-lo para alcançar os resultados desejados (SCOPEL et al., 2018). Introduzir resíduos de diferentes processos pode afetar a reprodutibilidade da técnica, gerando resultados melhores ou piores (SCOPOL, 2018). O custo de produção de hidrolisados de proteína é relevante, e a viabilidade econômica é mais determinante do que a viabilidade técnica na aplicação industrial (MOKREJS *et al.*, 2007).

3 METODOLOGIA

Adota-se uma abordagem quantitativa nas análises e qualitativa durante a revisão de literatura. Os métodos quantitativos buscam explicar e expressar o que deve ser feito, mas não quantificam valores e trocas simbólicas, nem se submetem a provas factuais, uma vez que os dados analisados são não-métricos e baseiam-se em interações e interpretações diversas. O objetivo dessa abordagem é produzir informações aprofundadas e ilustrativas, buscando gerar novos insights, independentemente do tamanho da amostra (RIBA, 2007).

A pesquisa em questão possui uma natureza aplicada e exploratória, que visa identificar e responder a questões relacionadas ao uso do cromo no processo de curtimento do couro e seus impactos ambientais. Conforme Gil (2007), a pesquisa exploratória envolve o levantamento bibliográfico, a realização de entrevistas com pessoas que possuem experiência prática sobre o problema em estudo e a análise de exemplos que facilitem a compreensão do tema (GIL, 2007).

Para a revisão de literatura, serão realizados levantamentos bibliográficos e análises que estimulem a compreensão da temática de interesse (GIL, 2007). A pesquisa bibliográfica será feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos (FONSECA, 2002).

Para atingir os objetivos do trabalho, foi realizado levantamento bibliográfico, buscando em diversas fontes publicadas, como livros, revistas científicas, trabalhos acadêmicos e informações disponíveis em repositórios online *Scielo e Google Acadêmico*; usando os seguintes termos: couro *wet blue*, cromo e meio ambiente em um recorte temporal de 2017 a 2022.

Todas as produções consultadas serviram como base para analisar os impactos ambientais relacionados ao uso do cromo no curtimento do couro, enfatizando, ainda, a produção de couros recurtidos. As referências encontradas durante a elaboração do referencial teórico forneceram subsídios para a compreensão do tema em estudo e contribuíram para a elaboração coerente dos resultados e discussão.

Como parte deste estudo, será realizada uma prática experimental para comprovar os dados obtido pelas referências bibliográficas, com o objetivo de determinar o teor de cromo. Foram coletadas amostras de couros provenientes de diferentes materiais, como capas

automotivas, couros de calçados e móveis, que serão submetidas a análises quantitativas. Essa abordagem permitirá comparar os parâmetros estabelecidos e avaliar a qualidade dos couros produzidos, considerando tanto o processo convencional de curtimento com cromo III quanto as técnicas alternativas investigadas.

Essas análises foram fundamentais para a validação dos resultados obtidos na pesquisa e fornecerão informações adicionais sobre a viabilidade e eficácia das técnicas alternativas de curtimento permitindo uma abordagem mais abrangente e elaborada sobre o processo de produção industrial do couro, seus impactos ambientais e as possíveis soluções para minimizá-los.

Conforme destacado por Fonseca (2022), a pesquisa possibilita uma aproximação e uma compreensão da realidade investigada, sendo um processo permanentemente inacabado. Ela ocorre por meio de aproximações sucessivas à realidade, fornecendo subsídios para a intervenção no mundo real. Assim, todos os dados de referências bibliográficas forneceram o escopo necessário para a realização da experimentação em laboratório para determinar a concentração de cromo presente nas amostras de couro das amostras, conforme será abordado no próximo tópico (FONSECA, 2022).

No que diz respeito à determinação do teor de cromo, Faria (2017) menciona que existem métodos específicos desenvolvidos internamente por cada empresa e cliente para realizar essa análise de forma precisa. Esses métodos podem variar dependendo das necessidades e especificidades de cada organização.

Vale ressaltar que os dados obtidos durante o experimento apresentam dados relevantes para as quantidades utilizadas durante a análise e que para replicar o processo com os mesmos resultados seria necessário que houvessem as mesmas condições ambientais e procedimentais envolvidas no processo.

3.1 Determinação experimental de cromo

3.1.1 Materiais, Aparelhagem e Reagentes Utilizados

- Agitador magnético
- Balança analítica com resolução 0,0001g

- Barra magnética
- Bureta 50 mL
- Becker, vidro de relógio ou barco de pesagem
- Capela
- Chapa aquecedora
- Cronômetro
- Erlenmeyer 500 mL
- Macro pipetador ou pera de sucção
- Perolas de ebulição
- Pinça
- Pipeta volumétrica de 5, 10 e 20 mL (ou similar)
- Ácido fosfórico (H_3PO_4) PA
- Ácido nítrico (HNO_3) PA
- Água destilada ou deionizada
- Amido (1%)
- Iodeto de potássio KI 10%
- Solução de ácido sulfúrico + ácido perclórico (1:3)
- Tiosulfato de sódio 0,1 N ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

3.1.2 Coleta de amostras de couro

A coleta das amostras de resíduos de couros do processo de curtimento foi realizada de acordo com as seguintes etapas. Foram coletadas três amostragens de couros diferentes após seu curtimento, que serão levadas ao laboratório químico. Essas amostras habitualmente contêm resíduos de cromo III, e estas foram submetidas ao teste para aferir a quantidade de cromo.

3.1.3 Preparação das amostras para análise

Para a realização dos testes foi utilizada a norma (ABNT,2010), utilizando os seguintes materiais e equipamentos: agitador magnético, balança analítica com resolução de

0,0001 g, barra magnética, bureta de 50 mL, becker, vidro de relógio ou barco de pesagem, capela, chapa aquecedora, cronômetro, erlenmeyer de 500 mL, macro pipetador ou pera de sucção, perolas de ebulição, pinça e pipetas volumétricas de 5, 10 e 20 mL (ou similar).

Os reagentes utilizados foram: ácido fosfórico (H_3PO_4) PA, ácido nítrico (HNO_3) PA, água destilada ou deionizada, solução amido (1%), solução iodeto de potássio KI 10%, solução de ácido sulfúrico mais ácido perclórico (1:3) e solução tiosulfato de sódio 0,1 N ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

Para a preparação das amostras, foi realizado o seguinte procedimento: as amostras foram moídas e preparadas para os testes químicos de cromo, sendo identificadas com números. Em seguida, as amostras foram submetidas aos testes químicos.

No laboratório, uma massa de aproximadamente $1 \pm 0,001$ g da amostra pesada em um erlenmeyer. A chapa de aquecimento foi ligada no nível máximo, e o erlenmeyer foi transportado para a capela, onde a análise foi realizada. A capela de exaustão ligada, algumas pérolas de ebulição foram adicionadas ao erlenmeyer, e 10 mL de ácido nítrico foi adicionado às amostras, aguardando-se 2 minutos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

Em seguida, 15 mL da mistura de ácido sulfúrico e ácido perclórico na proporção de 1:3 foi adicionado. O erlenmeyer foi colocado sobre a chapa de aquecimento, aguardando-se até que ocorra a mudança de cor de verde para laranja. Após dois minutos, o erlenmeyer foi retirado da chapa e deixado esfriar por 5 minutos. Em seguida, água destilada foi adicionada até a marcação de 200 mL no frasco, e o frasco foi colocado de volta na chapa de aquecimento.

Quando a solução começar a ferver, foi cronometrado um período de 10 minutos para eliminar qualquer cloreto presente, depois retirado da chapa para esfriar. Após resfriamento até a temperatura ambiente, 5 mL de ácido fosfórico foi adicionado para mascarar qualquer tipo de ferro presente, seguido de 20 mL de iodeto de potássio 10% e colocado em um lugar escuro. A solução repousará por 10 minutos em um local isento de luz e, após o repouso, foi realizada a análise titrimétrica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

3.1.4 Descrição da execução do preparo da amostra

O procedimento de coleta das amostras de couro envolveu a divisão do material em três amostras de wet blue. Em seguida, as amostras foram moídas e separadas em saquinhos plásticos devidamente identificados com seus números de processos, garantindo a rastreabilidade dos resultados. Para cada amostra, foi realizada uma pesagem precisa de 1 grama.

Durante o processo de pesagem, a chapa de aquecimento foi ligada na temperatura máxima para acelerar o procedimento. Essa medida visa otimizar o tempo de análise, garantindo que o processo de preparação das amostras seja conduzido de maneira eficiente e adequada para as etapas subsequentes. A utilização da chapa em temperatura máxima contribui para agilizar o aquecimento das amostras e sua posterior análise química.

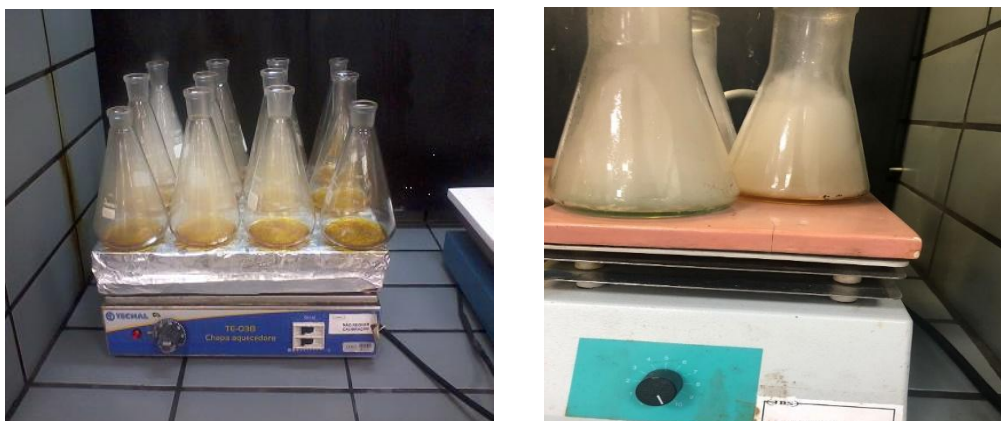
Nos recipientes erlenmeyer individuais (figura 05), foram adicionados 10 mL de ácido nítrico, permitindo a completa dissolução do material, o que levou aproximadamente 2 minutos. Em seguida, 15 mL da solução composta por ácido sulfúrico e ácido perclórico na proporção de 1:3 foram adicionados aos frascos (figura 06). Os Erlenmeyers contendo as amostras foram então colocados na chapa aquecedora para a continuidade do processo.

Figura 05: Amostras preparadas para teste.



Fonte: De autoria própria.

Figura 06: Amostras após adicionados os ácidos.



Fonte: De autoria própria

A solução em aquecimento teve mudança de cor verde para laranja e aguardou dois minutos, assim retirado da chapa e aguardou se total esfriamento para adicionar água até a marcação de 200ml, retornando à solução para a chapa de aquecimento e aguardou 10 minutos de fervura.

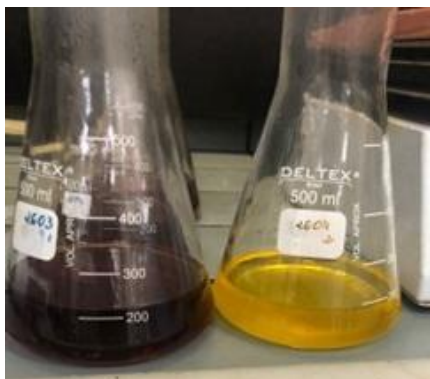
Figura 07: Adicionada água até marcação de 200ml.



Fonte: De autoria própria.

Retirou os Erlenmeyer da chapa e aguardou seu esfriamento. Adicionou se 5ml de ácido fosfórico e 20 ml de solução de iodeto de potássio 10%, apagou-se a luz da capela e fechou a porta para que houvesse descanso longe da luz por 10 minutos.

Figura 08: Após adicionar ácido fosfórico e iodeto de potássio.

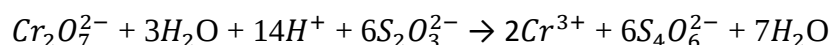


Fonte: De autoria própria

3.1.5 Realização da análise titrimétrica

A análise titrimétrica foi realizada utilizando tiossulfato de sódio 0,1 N. A titulação foi feita até atingir uma tonalidade amarelo mel, e em seguida, foi adicionado 5 mL de solução de amido 1%. A solução voltará a ficar escura, e a titulação continuada até o ponto de viragem, indicado por uma tonalidade verde claro ou azul claro. Os volumes em mL (V) de solução de tiossulfato (titulante) utilizados na titulação foram anotados e usados para o cálculo do teor de cromo.

A reação envolvida na titulação de cromo com tiossulfato de sódio é uma reação de redução-oxidação (redox). O tiossulfato de sódio atua como agente redutor, enquanto o cromo está presente na forma oxidante (ANTONIO, 2006). A reação pode ser representada da seguinte forma:



Nessa reação, o íon cromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) é reduzido a íons cromo trivalente (Cr^{3+}), enquanto o tiossulfato de sódio é oxidado a tetratiotetrassulfato de sódio ($\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$).

Durante a titulação, adiciona-se a solução de tiossulfato de sódio ao cromo em solução ácida. O tiossulfato de sódio age como agente redutor, doando elétrons ao cromo hexavalente (Cr^{6+}) presente no cromato, convertendo-o em íons cromo trivalente (Cr^{3+}). A mudança de

cor ocorre devido à formação do complexo de cor verde escuro com os íons cromo trivalente. Assim, a reação de titulação envolve a redução do cromo hexavalente a cromo trivalente pelo tiosulfato de sódio, com o uso amido 1% para determinar o ponto final da titulação. A figura 09 com o ponto de viragem.

Figura 09: Ponto de Viragem.



Fonte: De autoria própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Revisão de literatura

De acordo com a revisão de literatura, foram encontrados 197 artigos, dos quais 6 foram selecionados referentes a temática “Tratamento de resíduos de couro” (Tabela 03) e 4 a “Danos que o cromo causa no meio ambiente” (Tabela 04).

Tabela 03: Artigos selecionados - Tratamento de resíduos de couro.

Autores	Nome do artigo	Ano de publicação	Tipo de trabalho
FARIA, F. L.	Estudo termoanalítico de resíduos de couro curtidos com cromo III	2017	Trabalho de conclusão de curso
MARTINS, R. B.	Extração do cromo a partir de resíduos do processo de fabricação do couro e sua viabilização	2022	Trabalho de Conclusão de Curso
FIGUEIRÔA, J. A.	Gerenciamento eco-inovador para resíduos viabilizando uma rota de baixo custo para extração do Cr^{3+} do couro wet-blue e promovendo adsorção dos íons Cr^{3+} do efluente	2019	Tese
JAHNO, V. D. AQUIM, P. M. DE	Valorização dos produtos oriundos do resíduo de couro wet-blue hidrolisado	Artigo	2020
BIZZI, C.A.; SANTOS, D.; GIACOBÉ, K.; MELLO, P.A.; ZANATTA, R.C.; DALLAGO, R.M.; FLORES, E.M.M.	Avaliação do uso de ultrassom para a remoção de cromo em couro wet blue: uma estratégia inovadora para a reutilização de resíduos de curtume. Anais VI Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais.	2019	Anais

CANHADA, J. C. dos S.	Produção de concreto com resíduos sólidos de curtumes tipo “wet blue” a partir da substituição parcial de agregado miúdo	2021	Dissertação de mestrado
-----------------------	--	------	-------------------------

Fonte: O autor.

Tabela 04: Artigos selecionados - Tratamento de resíduos de couro.

Autores	Nome do artigo	Ano de publicação	Tipo
OLDRA, L. S.	Reuso do Efluente no Banho de Recurtimento do Couro	2022	Trabalho de Conclusão de Curso
SUPPTITZ, L.	Projeto de recuperação de área degradada (prad) para atividade de curtume com processo wet blue	2021	Anais
OLIVEIRA, R. M. de	A química de transformação do couro e quais seus impactos ambientais	2022	Trabalho de Conclusão de Curso
BENEDICTO, S. C. de, BENEDICTO, É, P. de, SILVA, L. H. V. da.	Inovação e sustentabilidade estratégica nas organizações: química verde, ecotecnologia e ecoeficiência aplicadas à Cadeia Produtiva de Couro, Calçados e Artefatos.	2019	Anais

Fonte: O autor.

4.1.1 Tratamento de resíduos de couro

O curtimento do couro realizado com cromo leva o material a ter uma maior resistência biológica e mecânica. Nesse processo são gerados resíduos que não possuem um descarte eficiente, sendo possível sua incineração. Para um descarte adequado, é necessário retirar o cromo do material. Para isso, uma das opções é o uso do ácido etilenodiamino tetraacético (EDTA). Análises do tipo Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimetria (TG) foram feitas em amostras tratadas com esses. Com os resultados, o tratamento com EDTA se mostrou eficiente e promissor para recuperar o cromo. O processo

é considerado lento e para aumentar sua velocidade, a melhor opção considerada foi o forno de micro-ondas convencional. Recuperar o cromo, como ocorrido, é algo vantajoso, auxiliando na preservação do meio ambiente (FARIA, 2017).

Diferentes métodos de extração do cromo dos resíduos são empregados. No estudo de Martins (2022), houve a tentativa de extração através por solvente orgânico com abertura da amostra feita com combinações de soluções de ácido fosfórico, ácido sulfúrico e hidróxido de sódio. Foram feitos diferentes aperfeiçoamento para melhorar o processo, baseado em otimização funcional e quimiometria, com controle de temperatura com o controlador Proporcional Integral e Derivativo (PID). Com a realização de análises quantitativas na região UV-VIS por absorbância luminosa. Ao final, se mostrou viável para a extração.

Em outro trabalho, a palma forrageira foi utilizada, apresentando um grande potencial biotecnológico para adsorção do íon de cromo, como biossorvente utilizado para redução da carga de Cr^{3+} do efluente total. Apenas 5 minutos de contato com o adsorvato foi responsável pela remoção da concentração de Cr^{3+} . A extração no couro wet-blue foi considerada eficiente, de baixo custo e viável. O material resultante, apresentava baixo teor de Cr^{3+} permitia que o mesmo seja utilizado como substrato para plantas (FIGUEIRÔA, 2019).

Os resíduos podem ainda ser tratados com a hidrólise com ácido cítrico, gerando uma redução de 87,35% de cromo no residuo de wet-blue. Esse processo gerou um material rico em nitrogênio, podemos ser utilizados por exemplo como fertilizante para as plantas além de um efluente mais escuro, que apresenta cromo e que poderia potencialmente ser utilizado novamente no processo de curtimento. Dessa forma o processo permite o reaproveitamento de materiais que seriam descartados e que poderiam afetar o meio ambiente (JAHNO; AQUIM, 2020).

Um outro método encontrado para retirar cromo do couro é o uso de ultrassom, que se mostrou como uma alternativa promissora. Nos resultados, percebeu-se que esse método apresentou uma eficiência maior que a agitação mecânica de 100 a 500 rpm, retirando o cromo sem prejudicar o couro, sendo um processo mais rápido e simples (BIZZI *et al.*, 2019).

O material ainda pode ser utilizado potencialmente em outras aplicações. Raspas de couro micronizada foram utilizados em concreto, ainda com o emprego necessário de um aditivo superplastificante, com estudo de propriedades físicas e mecânicas. Também se estudou a neutralização da toxicidade dos resíduos gerada pelo cromo. Além dos testes

físicos, foi feito a lixiviação para saber sobre a liberação do cromo pelo material. Nos resultados, a absorção da água e o índice de vazios foram melhorados e a microscopia eletrônica de varredura indicou que na matriz do cimento, houve uma dispersão das fibras. A lixiviação mostrou que a liberação de cromo é menor que 5µg/mL (CANHADA, 2021).

4.1.2. Danos que o cromo causa no meio ambiente

O ramo da indústria produtora de couro é uma grande consumidora de produtos químicos e água. A busca por práticas mais sustentáveis, causada por vezes por pressão social, incentiva a mesma, assim como outros ramos, a tornarem seus processos mais ambientalmente amigáveis. Na tentativa de seguir essa ideia, Oldra (2022), realizou testes para analisar a viabilidade de reutilizar o efluente gerado na etapa do recurtimento do couro em outro processo, no banho também de recurtimento de outros couros. Os resultados apontados indicam promissoras relações econômicas, ambientais e produtivas. O tratamento adequado do efluente permite seu reuso, gerando redução no consumo de água e o uso de produtos químicos, ajudando a melhorar o couro recurtido.

A atividade produção de couro gera resíduos danosos ao meio ambiente. Na pesquisa de Supptitz (2020), se estudou uma área onde foram depositados de maneira irregular os resíduos gerados na atividade de produção de couro, criando um ambiente que necessitava de recuperação ambiental, com cerca de 30.000 m³ de material, dentre eles, pedaços de couro curtidos com cromo. Essa área, por mais que seja recuperada, não será mais igual. Para tanto, foi realizado um projeto com ações voltadas à recuperação desse local.

Além do uso do cromo, existem outras transformações químicas presentes no processo de produção do couro. Os impactos ao meio podem ser causados devido a presença de grandes quantidades de substância químicas, muitas das quais classificadas como nocivas e perigosas, presentes nas águas dos processos, que dificultam seu tratamento nos ETE's antes de serem despejados em locais como rios. Dentre as alternativas, estes podem ser substituídos por produtos enzimáticos, que apresentam baixa toxicidade, diminuindo a carga química e sendo consumidos completamente durante sua utilização (OLIVEIRA, 2022).

Aliada a sustentabilidade, outros conceitos também podem surgir tais como ecotecnologia, química verde e ecoeficiência, que podem auxiliar também em práticas mais

sustentáveis. Benedicto, Benedicto e Silva (2019) realizaram um estudo de caso, criando uma ecotecnologia, com o intuito de retirar colágeno e cromo do couro, para melhorar o processo da cadeia produtiva de Couro-Calçadista. Essa se baseou em dois aspectos principais, redução de materiais, água e energia elétrica e também a adequação à Política Nacional de Resíduos Sólidos. Nesse processo, buscou diminuir o consumo de matérias primas e insumos, tratar os resíduos gerados, além de criar projetos de reaproveitamento e reciclagem. Os objetivos esperados para a empresa, ao adotar as ideias, é primordialmente gerar um impacto positivo ao meio ambiente e diminuir os custos, na busca de melhora dos negócios e de uma sociedade mais saudável.

4.2 Plano de gerenciamento de resíduos sólidos industriais

A legislação que regula o tratamento dos resíduos sólidos gerados pelos curtumes é a Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, também conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). De acordo com essa lei, é obrigatório para os curtumes implantarem um plano de gerenciamento de resíduos, visando o descarte adequado ou a venda desses resíduos para terceiros, a fim de prevenir a contaminação do solo por sais de cromo, a acumulação de matéria orgânica, o surgimento de odores intensos e a atração de insetos e roedores. (BRASIL, 2014).

A PNRS estabelece diretrizes para a gestão e o manejo dos resíduos sólidos, visando a preservação do meio ambiente e a promoção da saúde pública. Ela prevê a responsabilidade compartilhada entre os diferentes atores envolvidos na cadeia produtiva, incluindo os curtumes, para a destinação correta e sustentável dos resíduos gerados.

Essa legislação busca evitar impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana, incentivando a adoção de práticas mais sustentáveis na indústria do couro. O cumprimento das disposições legais é fundamental para garantir a preservação dos recursos naturais, a redução da poluição e a promoção do desenvolvimento sustentável no setor de curtumes.

4.3 Determinação experimental de cromo e cálculo em amostras selecionadas

O cálculo do teor de cromo é obtido a partir da seguinte equação:

$$\text{Teor de óxido de cromo \%} = \frac{V \times Fc \times 0,00253 \times 100}{M}$$

Onde:

V: Volume de tiosulfato de sódio 0,1 N utilizada na titulação em mL;

Fc: Fator de correção da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N utilizada na titulação;

M: massa da amostra de couro em (g);

0,00253 é um coeficiente que faz parte da fórmula para calcular o teor de óxido de cromo em uma amostra.

Com base na equação para o cálculo do teor de óxido de cromo, utilizando os parâmetros V, Fc e M, foi possível determinar de forma precisa a concentração do cromo nas amostras de couro analisadas. Através da análise titrimétrica utilizando tiosulfato de sódio 0,1 N como titulante, foi realizada a determinação do teor de cromo presente nas amostras.

O volume de tiosulfato de sódio 0,1 N utilizado na titulação (V), juntamente com o fator de correção da solução de tiosulfato (Fc), foram essenciais para obter resultados confiáveis. A massa da amostra de couro (M) foi devidamente registrada para garantir a precisão no cálculo do teor de óxido de cromo.

Ao utilizar a equação fornecida, tornou-se possível determinar de forma quantitativa e precisa o teor de óxido de cromo nas amostras de couro. Esses resultados são fundamentais para avaliar a presença e concentração desse elemento no processo de curtimento e para o entendimento dos impactos ambientais relacionados a esses resíduos.

Assim, a análise titrimétrica seguida pelo cálculo do teor de óxido de cromo demonstrou ser uma metodologia eficiente para a determinação desse parâmetro nas amostras de couro estudadas, contribuindo para uma avaliação precisa e confiável dos resíduos gerados no processo de curtimento. Essas informações são valiosas para a tomada de decisões e implementação de medidas adequadas visando a redução e controle dos impactos ambientais causados por esses resíduos e assim foi feito a titulação de cada amostra, sendo os resultados a seguir na tabela abaixo:

Tabela 05: Resultado da titulação das amostragens do Cromo.

Amostra nº	Volume de tiosulfato(ml)	Fator de Correção Tiosulfato de Sódio	Coeficiente	Massa da Amostra(g)	Teor de Óxido de Cromo Calculado
1	12,1	1,01	0,00253	1,0030	3,1%
2	11,7	1,01	0,00253	1,0002	3,0%
3	11,8	1,01	0,00253	1,0000	3,0%

Fonte: O autor.

Após a análise das amostras, verificou-se que a concentração média de óxido de cromo encontrado foi de 3,0% e está dentro do parâmetro aceitável pela Resolução CONAMA nº 420/2009. O uso de cromo no processo de curtimento do couro é amplamente empregado na indústria de curtumes devido à sua capacidade de estabilizar as proteínas do couro e conferir resistência à decomposição e ao apodrecimento (LIMA, 2017).

No entanto, é importante destacar as preocupações ambientais e de saúde associadas ao uso de cromo. A toxicidade do cromo, especialmente na forma hexavalente, requer medidas de mitigação e alternativas ao seu uso. A determinação da quantidade de cromo presente nas amostras do processo de curtimento é fundamental para avaliar sua eficiência e garantir a conformidade com os padrões de segurança e regulamentações ambientais (EDUARDO, 2019).

4.4 Teor de cromo aceito pela legislação

É importante considerar que, apesar da baixa concentração residual de cromo nos banhos (cerca de 0,4 g/l), mesmo quando diluídos com os outros banhos do processo, o uso de produtos auxiliares para esgotar o cromo não é suficiente para atingir os padrões legais de lançamento. Em São Paulo, por exemplo, o limite é de 5,0 miligramas por litro de "cromo total" (SÃO PAULO, 2010), e pela lei federal, é de 1,0 miligrama por litro de "cromo trivalente" (BRASIL, 2011). Portanto, é necessário considerar a remoção do cromo no tratamento físico-químico dos efluentes cromados, bem como a separação dos banhos residuais contendo cromo para precipitação e reciclagem desse metal.

O parâmetro de concentração usado para medição o risco das concentrações que definem a qualidade de solos, águas superficiais e subterrâneas em relação a substâncias químicas e são usados como prevenção e controle da contaminação. Os valores para os padrões de cromo nos solos e águas subterrâneas no Brasil são definidos pela CONAMA.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009, os valores máximos permitidos para cromo total em solos são:

Classe 1 (Áreas de Preservação Permanente, como parques, reservas e áreas de proteção ambiental): 80 mg/kg.

Classe 2 (Áreas urbanas, industriais e rurais sem atividades específicas): 150 mg/kg.

Classe 3 (Áreas rurais com atividades agrícolas): 300 mg/kg.

Para calcular a quantidade de óxido de cromo em 1 grama de amostra, considerando 3% de cromo, podemos usar a seguinte fórmula:

3% de cromo em uma amostra de 1 grama de couro wetblue equivale a 0,03 gramas de cromo.

Agora convertendo para mg/kg, temos que:

1 grama é igual a 1000 miligramas (mg);

Quantidade de cromo em mg/kg = $((0,03 \text{ gramas de cromo} / 1 \text{ grama de wet blue}) * 1000 \text{ mg})/\text{kg}$;

Quantidade de cromo em mg/kg = 30 mg/kg;

Portanto, em uma amostra de 1 grama com 3% de cromo, temos uma quantidade de cromo de 30 mg/kg.

Segue abaixo tabela do cálculo:

Tabela 06: Conversão de medidas.

Concentração de óxido de cromo			
Amostra de couro wet blue (g)	Cromo encontrado (%)	Cromo encontrado(g)	Cromo encontrado(mg/kg)
1	3%	0,03	30

Fonte: De autoria própria.

Conforme a Resolução CONAMA nº 420/2009, os resultados médios encontrados de óxido de cromo de 3% o que vale a 30mg/kg de acordo com a conversão, diante disso conseguimos atender os 3 tipos de Classes 1,2 e 3, onde se encontra de 80mg/kg até 300mg/kg.

Nos processos convencionais de curtimento ao cromo, utiliza-se de 1,3 a 1,6% de Cr_2O_3 em relação ao peso bruto das peles. No entanto, apenas uma parte desse cromo é fixada ao couro, enquanto o restante passa a fazer parte do banho residual. O processo de alto esgotamento proposto consiste basicamente no uso de compostos que modificam a estrutura proteica ou alteram a reatividade do curtente (CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2005).

Como pode ser compreendido pela citação extraída CETESB:

Esse processo apresenta vantagem significativa, considerando-se que a redução de cromo ocorre não somente no banho residual propriamente dito, mas também no per - colado que escorre do couro durante o repouso após o curtimento. A vantagem está no fato de que esse licor, proveniente das peles, é de difícil recuperação e seu lançamento na estação de tratamento, com baixos teores de cromo, auxilia sua remoção no tratamento físico-químico [...] contudo, a fixação do curtente ao couro é apenas parcial em relação ao total ofertado. O cromo não fixado ao couro passa a fazer parte do banho resi - dual. A proposta do processo de alto esgotamento consiste, basicamente, na utilização de compostos que modifiquem a estrutura proteica ou que alterem a reatividade do curtente. (CETESB, 2005).

4.5 Concentração de cromo e os riscos de contaminação

Diversos estudos têm investigado as concentrações de cromo em diferentes setores industriais, revelando variações significativas dependentes da atividade industrial e das práticas de controle de poluição. Por exemplo, indústrias de metalurgia e galvanoplastia foram associadas a níveis mais elevados de cromo, devido ao seu amplo uso em processos de revestimento e proteção contra corrosão (Smith et al., 2018; Jones et al., 2020).

As principais fontes de contaminação por cromo na indústria incluem descargas de efluentes líquidos contendo cromo hexavalente (Cr (VI)), emissões atmosféricas de compostos de cromo e resíduos sólidos contendo cromo metálico ou compostos de cromo. Além disso, vazamentos, acidentes industriais e práticas inadequadas de gerenciamento de resíduos também podem contribuir para a contaminação do ambiente (Sánchez-Chardi et al., 2017; Sharma et al., 2019).

O cromo hexavalente é considerado mais tóxico e carcinogênico do que o cromo trivalente. Exposições ocupacionais a altas concentrações de cromo hexavalente têm sido associadas a doenças respiratórias, danos pulmonares, irritação cutânea, dermatites e câncer de pulmão (ATSDR, 2020; OSHA, 2021). A exposição crônica a baixas concentrações de cromo também pode ter efeitos adversos na saúde, incluindo danos ao sistema respiratório e renal (De Flora et al., 2018; IARC, 2019).

Impactos ambientais: A contaminação por cromo na indústria pode resultar em efeitos prejudiciais ao meio ambiente. O cromo hexavalente é tóxico para organismos aquáticos e pode causar alterações nos ecossistemas aquáticos, prejudicando a vida aquática (Zhu et al., 2017; Wang et al., 2020). Além disso, a contaminação do solo por cromo pode afetar a qualidade do solo e restringir o crescimento de plantas, impactando a biodiversidade local (Fan et al., 2019; Kumar et al., 2021).

Os resultados ressaltam a importância do controle adequado das concentrações de cromo na indústria, visando minimizar os impactos à saúde humana e ao meio ambiente. Medidas de prevenção e tratamento de resíduos, juntamente com o cumprimento de regulamentações ambientais, desempenham um papel fundamental na mitigação dos riscos associados ao cromo industrial.

Após a análise das amostras, verificou-se que a concentração média de óxido de cromo encontrado foi de 3,0%. Isso indica que todas as amostras estão dentro da conformidade com os padrões exigidos pela legislação.

É importante destacar as preocupações ambientais e de saúde associadas ao uso de cromo no processo de curtimento do couro. A toxicidade do cromo, especialmente na forma hexavalente, requer medidas de mitigação e alternativas ao seu uso. A determinação da quantidade de cromo presente nas amostras do processo de curtimento é fundamental para avaliar sua eficiência e garantir a conformidade com os padrões de segurança e regulamentações ambientais (EDUARDO, 2019).

É importante ressaltar que as análises realizadas para determinar o teor de óxido de cromo hexavalente nos resíduos de couro demonstraram que eles estão fora dos padrões estabelecidos, corroborando para que haja ações que viabilizem a sustentabilidade e a redução das contaminações do solo e dos trabalhadores dessa indústria. No caso do cromo é mais interessante tratar da descromagem como uma solução para a gestão sustentável dos resíduos

provenientes do processamento do couro. (LONGUI,2018, SCOPEL, 2018 e OLIVEIRA 2007).

4.6 Utilização promissora de EDTA

Conforme destacado por Faria (2017), durante a decromagem utiliza-se Cr-EDTA tem se mostrado promissor. Nesse processo, o cromo é transformado em Cr-EDTA, uma forma mais estável e menos prejudicial ao meio ambiente. (LONGUI,2018, SCOPEL, 2018 e OLIVEIRA 2007). No entanto, ainda é necessário aprimorar a eficiência desse método, uma vez que seu processo é lento. Uma abordagem para acelerar o processo é o uso de raios eletromagnéticos, como micro-ondas. Além disso, uma alternativa para a recuperação do cromo é a calcinação. (LONGUI,2018, SCOPEL, 2018 e OLIVEIRA 2007).

Destaca-se a pesquisa de Silva et al. (2019), que explorou métodos de remoção de cromo na indústria têxtil, investigaram a eficácia de diferentes processos, como adsorção em carvão ativado, coagulação/floculação e processos oxidativos avançados. Os resultados indicaram que os processos oxidativos avançados, como a oxidação com peróxido de hidrogênio ou ozônio, foram os mais eficientes na remoção de cromo dos efluentes industriais.

Em relação à recuperação de cromo, o estudo de Chen et al. (2020) propôs a utilização de técnicas de extração por solvente para recuperar o cromo dos efluentes líquidos. Os autores testaram diferentes solventes orgânicos e otimizaram as condições de extração para obter altas taxas de recuperação de cromo. Essa abordagem pode contribuir para a redução do desperdício e a reutilização do cromo na indústria.

No que diz respeito à determinação do teor de cromo, Oliveira et al. (2018) desenvolveram um método analítico baseado em espectrometria de absorção atômica para quantificar o cromo em amostras industriais. O método mostrou-se preciso e sensível, permitindo a determinação confiável das concentrações de cromo em diferentes materiais e efluentes industriais.

As pesquisas e estudos nesse campo estão direcionados para otimizar os processos de remoção e recuperação do cromo, tornando-os mais eficientes e sustentáveis, ao mesmo

tempo em que atendem aos requisitos de qualidade e normas estabelecidas pela indústria do couro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da revisão de literatura tornou-se possível analisar e compreender melhor os estudos sobre o processo de curtimento do couro utilizando cromo e seus impactos ambientais e na saúde humana. Foi constatado que o curtimento do couro com cromo é um método amplamente utilizado, porém, gera resíduos tóxicos que representam riscos para o meio ambiente e para a saúde humana.

A compreensão do processo de curtimento do couro e das características físico-químicas do uso de cromo foi aprofundada, permitindo uma melhor identificação e compreensão de todas as etapas envolvidas. Além disso, foram revisados estudos que examinam a toxicidade dos resíduos químicos gerados nesse processo e os riscos associados à saúde dos trabalhadores da indústria do couro e de outras pessoas expostas a esses resíduos.

Durante a revisão, foram discutidas técnicas alternativas de curtimento de couro, como o uso de taninos vegetais e outros produtos químicos. Essas técnicas são consideradas mais sustentáveis, uma vez que geram menos resíduos tóxicos e são menos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. No entanto, elas também apresentam desafios em relação à eficácia e ao custo, o que torna necessário avaliar o custo-benefício para as empresas.

Embora existam preocupações quanto à toxicidade do cromo, até o momento, os estudos não indicam uma substituição viável que ofereça os mesmos resultados do uso desse mineral. Trata-se de uma questão de equilíbrio entre custo e benefício para as empresas. Observou-se que o uso de cromo trivalente é o mais eficaz para o processo de curtimento do couro, proporcionando características duradouras e maleáveis.

Foi identificado um movimento na indústria do couro para desenvolver técnicas de curtimento mais sustentáveis e menos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. Essas iniciativas envolvem o uso de biotecnologia e materiais alternativos, como cogumelos e outros microrganismos. É importante que a indústria do couro e os pesquisadores continuem trabalhando juntos para desenvolver essas técnicas, visando a um setor mais sustentável e responsável.

A implementação de técnicas de curtimento de couro mais sustentáveis e menos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana pode levar a benefícios significativos em termos de redução dos impactos ambientais e riscos à saúde. É fundamental que haja um

compromisso contínuo para alcançar um setor do couro mais sustentável e responsável, por meio do desenvolvimento e adoção dessas práticas inovadoras.

No entanto, é importante ressaltar que as alternativas ao uso de cromo no curtimento do couro ainda apresentam desafios em termos de eficácia e custo. A indústria do couro precisa encontrar um equilíbrio entre a busca por métodos mais sustentáveis e a necessidade de manter a qualidade e durabilidade do produto final.

Além disso, as regulamentações ambientais e os padrões da indústria relacionados ao uso de cromo no curtimento do couro são rigorosos e devem ser seguidos para garantir a conformidade. A análise do teor de óxido de cromo nas amostras do processo de curtimento é uma etapa importante nesse sentido, pois permite avaliar a eficiência do curtimento e verificar se os resultados estão dentro dos limites permitidos.

A conscientização sobre os riscos associados ao uso de cromo no processo de curtimento é fundamental. O cromo hexavalente, em particular, é altamente tóxico e pode representar um perigo tanto para os trabalhadores da indústria do couro quanto para o meio ambiente. Portanto, medidas de segurança devem ser adotadas para minimizar a exposição e garantir um ambiente de trabalho seguro.

Uma abordagem abrangente para o curtimento do couro usando cromo envolve não apenas a análise dos resultados, mas também uma discussão fundamentada sobre os aspectos de segurança, saúde e impacto ambiental. A partir dessas informações, é possível buscar práticas mais sustentáveis e desenvolver estratégias de mitigação para reduzir os impactos negativos.

Em conclusão, o processo de curtimento do couro usando cromo é amplamente utilizado devido à sua eficácia, mas também apresenta preocupações ambientais e de saúde. A busca por alternativas mais sustentáveis e menos tóxicas é uma tendência crescente na indústria do couro. A análise do teor de óxido de cromo nas amostras do processo de curtimento é uma etapa importante para garantir a conformidade com os padrões de segurança e regulamentações ambientais. É necessário um esforço contínuo para promover práticas mais sustentáveis e responsáveis na indústria do couro, visando proteger o meio ambiente, a saúde dos trabalhadores e a qualidade do produto.

REFERÊNCIAS

ALVES, I.C. **RESÍDUO DE COURO ‘WET BLUE’ APÓS A EXTRAÇÃO DO CROMO: USO COMO FERTILIZANTE NITROGENADO EM PLANTAÇÃO DE EDUCALIPTO.** Minas Gerais, 2011. Disponível em: http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/1946/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Res%C3%ADuo%20de%20couro%20%C2%B4wet%20blue%C2%B4%20ap%C3%B3s%20a%20extra%C3%A7%C3%A3o%20do%20cromo%20uso%20como%20fertilizante%20nitrogenado%20em%20planta%C3%A7%C3%A3o%20de%20eucalipto.pdf. Acesso em 28 jun. 2023.

ANTONIO, M. A. **RECICLAGEM DO RESÍDUOS DE CROMO DA INDÚSTRIA DO CURTUME COMO PIGMENTOS CERÂMICOS.** São Paulo, 2006. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-16092010-111529/publico/Tese_Miriam_Abreu.pdf. Acesso em 28 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13341: Couro – Banho residual de curtimento e recurtimento – Determinação do teor de óxido de cromo III.** 2010. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/5166/nbr13341-couro-banho-residual-de-curtimento-e-recurtimento-determinacao-do-teor-de-oxido-de-cromo-iii>. Acesso em 11 mar. 2023.

BERTOLETTI, E. **CONTROLE ECOTOXICOLOGICO DE EFLUENTES LIQUIDOS NO ESTADOS DE SÃO PAULO.** São Paulo, 2013. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2015/06/manual-controle-ecotoxicologico-2013.pdf>. Acesso em 14 mai. 2022.

BENEDICTO, S. C. de, BENEDICTO, É, P. de, SILVA, L. H. V. da. Inovação e sustentabilidade estratégica nas organizações: química verde, ecotecnologia e ecoeficiência aplicadas à Cadeia Produtiva de Couro, Calçados e Artefatos. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 15, n. 3, 2019.

BENJAMIN, J. V. D. **ESTUDO DAS INTERFERÊNCIAS ESPECTRAIS NA DETERMINAÇÃO DE CROMO EM DIFERENTES MATRIZES POR ESPECTROMETRIA DE MASSAS COM PLASMA COPLADO INDUTIVAMENTE.** São Paulo, 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/181592/denadai_jbv_me_sjrp.pdf?sequence=3. Acesso em 21 mai. 2023.

BIZZI, C.A.; SANTOS, D.; GIACOBÉ, K.; MELLO, P.A.; ZANATTA, R.C.; DALLAGO, R.M.; FLORES, E.M.M. Avaliação do uso de ultrassom para a remoção de cromo em couro wet blue: uma estratégia inovadora para a reutilização de resíduos de curtume. **Anais VI Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais.** Florianópolis. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Julio-Palhares-2/publication/333356540_Anais_VI_Simposio_Internacional_sobre_Gerenciamento_dos_Residuos_Agropecuarios_e_Agroindustriais/links/5ce8373a458515712ebfbc9/Anais-VI-

Simposio-Internacional-sobre-Gerenciamento-dos-Residuos-Agropecuarios-e-Agroindustriais.pdf#page=18

CANHADA, J. C. dos S. **Produção de concreto com resíduos sólidos de curtumes tipo “wet blue” a partir da substituição parcial de agregado miúdo.** 2021. 81f. Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Unesp, Faculdade de Ciência e Tecnologia de Presidente Prudente, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/204262>.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia Técnico Ambiental de Curtumes.** São Paulo, 2015. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/camaras-ambientais/wp-content/uploads/sites/21/2013/12/Guia-T%C3%A9cnico-Ambiental-de-Curtumes-v2015.pdf>. Acesso em 22 mai. 2022.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **CURTUMES.** São Paulo, 2005. Disponível em: <https://www.crq4.org.br/downloads/curtumes.pdf>. Acesso em 21 mai. 2022.

CICB – Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil. **ESTUDO DO SETOR DE CURTUMES.** Brasil 2017. Disponível em: <https://cicb.org.br/storage/files/repositories/phpQQOOj3-estudo-iemi-cicb-2.pdf>. Acesso em 27 jun. 2023.

CICB – Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil. **VEJA OS DADOS DAS EXPORTAÇÕES DE COUROS DO BRASIL EM NOVEMBRO.** Brasil, 2016. Disponível em: <https://cicb.org.br/cicb/noticias/veja-os-dados-das-exportacoes-de-couros-do-brasil-em-novembro>. Acesso em 27 jun. 2023.

COSTA, G. C. **SÍNTESE DE ALFA-ALUMINA NANOESTRUTURADA NÃO DOPADA E DOPADA COM CROMO A PARTIR DA MATÉRIA ORGÂNICA NATURAL E RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CURTUME.** Sergipe, 2014. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/3474/1/GRAZIELE_COSTA_CUNHA.pdf. Acesso em 29 abr. 2023.

DAMIÃO, G. M.; FERREIRA, F. D.F.; **CURTUME ARTESANAL: Diálogo com os saberes científicos e escolares.** Paraíba, 2020. Disponível em: <https://pos-graduacao.uepb.edu.br/ppgecm/download/produtos/2020/Produto-Educacional-Geraldo-Damiao.pdf>. Acesso em 17 jun. 2023.

DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. **TOXICOLOGICAL PROFILE FOR CHROMIUM.** EUA, 2012. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp7.pdf>. Acesso em 14 mai. 2022.

DETTMER, A. et al. Obtaining sodium chromate from ash produced by thermal treatment of leather wastes. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v. 160, n. 1/3, p. 8-12, Apr. 2010.

EDUARDO, C. M. B.; **AValiação Química da Qualidade de Couros e Efluentes de Curtume**. São Carlos-SP, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/203617/1/BRAZ-Avaliacao-quimica-qualidade-couros.pdf>. Acesso em 04 jun. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Embrapa apresentou novo software para análise de couros e peles**. Disponível em: <http://www.cppse.embrapa.br/embrapa-apresentou-novo-software-para-analise-de-couros-e-peles>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

FARIA, F. L. **Estudo termoanalítico de resíduos de couro curtidos com cromo III**. 2017. 1 CD-ROM. Trabalho de conclusão de curso (licenciatura - Química) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/155435>>.

FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente). Divisão de Qualidade de Água e Solo. **Monitoramento do impacto ambiental da atividade de beneficiamento de couro no meio hídrico**: Projeto Rede Dirigida. Belo Horizonte: FEAM, 2002.

FIGUEIRÔA, J. A. **Gerenciamento eco-inovador para resíduos viabilizando uma rota de baixo custo para extração do Cr^{3+} do couro wet-blue e promovendo adsorção dos íons Cr^{3+} do efluente**. 2019. 106f. Tese (Mestrado) Engenharia de Processos, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, Área de Concentração de Desenvolvimento de Processos, Campina Grande, 2019. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/27995/JULIANA%20ANDREZA%20FIGUEIR%C3%A9%20-%20TESE%20ENG.%20DE%20PROCESSOS%20CCT%202019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GBERARD-GOLDEINSTEIN, E.; BERTOLETI, E.; ZAGATTO, P.A.; ARAÚJO, R.P.A.; RAMOS, L.L.C. **Procedimento para utilização de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB, 1990.

GREENWOOD, N.N.; EARNSHAW, A. **Chemistry of the elements**. 2nd. Ed. London: Butterworth Heinemann, 1998.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2021_jan.pdf. Acesso em 27 mai.2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário** 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=censo+agropecuario+2021>. Acesso em 27 jun. 2023.

JAHNO, V. D.; AQUIM, P. M. de. Valorização dos produtos oriundos do resíduo de couro wet-blue hidrolisado. **Revista Tecnologia e Tendências**, v.11 n.1, 2020. Disponível em: <https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistatecnologiaetendencias/article/view/2280>.

Jones, A., et al. (2020). **Evaluation of occupational exposure to hexavalent chromium in the aerospace industry**. *Annals of Work Exposures and Health*, 64(4), 365-375.

LIMA, F.F.; **ESTUDO TERMOANALÍTICO DE RESÍDUOS DE COURO CURTIDOS COM CROMO III**. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/155435/000883385.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 03 jun. 2023.

MARCELO, A. V. G. **BIOSSORÇÃO DO CROMO TRIVALENTE E HEXAVALENTE PROVENIENTE DO CURTUME UTILIZANDO A MICROALGA**. Paraná-PR, 2019. Disponível em: https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/4353/2/Alexsandro_Goettens_2019.pdf. Acesso em 28 jun. 2023.

MARQUES, I. V. B. **O CROMO NO MEIO AMBIENTE E TRATAMENTOS DE EFLUENTES CONTAMINADOS COM METAIS PESADOS**. Minas Gerais, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/36519/4/CromoMeioAmbiente.pdf>. Acesso em 28 jun. 2023.

MARTINES, A. M. **Impacto do lodo de curtume nos atributos biológicos e químicos do solo**. 2005. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-02082005-132525/publico/AlexandreMartines.pdf>. Acesso em 31 mai. 2022.

MARTINS, R. B. **Extração do cromo a partir de resíduos do processo de fabricação do couro e sua viabilização**. 2022. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) - Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/36487/3/Extra%c3%a7%c3%a3oCromoPartir.pdf>

NRIAGU, J. O.; NIEBOER, E. **Chromium in the natural and human environments**. Ontario: Wiley Inter-Science, 1988.
Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2021). Chromium (VI). Retrieved from. Disponível em: <https://www.osha.gov/ChromiumVI>. Acesso em 31 mai. 2022.

OLIVEIRA, R. M. de; MANGINI, L. F. K. A química de transformação do couro e quais seus impactos ambientais. 2022. 19f. Trabalho de Conclusão de Curso – Química, UNINTER. Disponível em: <https://repositorio.uninter.com/bitstream/handle/1/950/RENATO%20MACHADO%20DE%20OLIVEIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

OLDRA, L. S. **Reuso do Efluente no Banho de Recurtimento do Couro**. 2022. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Bacharel em Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/255830/001155438.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

PACHECO, J. W. F.; **Curtumes**, Série P+L. CETESB, 2005.

PACHECO, J. W. F.; FERRARI, W. A. **Guia Técnico Ambiental de Curtumes**. 2. ed. CETESB. São Paulo. 2015. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/camaras-ambientais/wp-content/uploads/sites/21/2013/12/Guia-T%C3%A9cnico-Ambiental-de-Curtumes-v2015.pdf>. Acesso em 31mai. 2022.

Portal da Câmara dos Deputados. **LEGISLAÇÃO**. Brasil, 2005. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2005/lei-11211-19-dezembro-2005-539653-publicacaooriginal-39026-pl.html>. Acesso em: 28 de jun. 2023.

RIBA, M. T. L.; MIRÓ, E. P. **O couro: as técnicas para criar objetos de couro explicadas com rigor e clareza**. Lisboa: Editorial Estampa, 2007.

SANCHEZ, C. A., Chromium pollution assessment in an industrial district: a case study in Catalonia (Spain). 2017. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(6), 5876-5887.

SECCO, A. P. **EXTRAÇÃO DE CROMO (Cr) PRESENTE EM COURO “WET-BLUE” RESIDUAL COM RECUPERAÇÃO DOS PRINCÍPIOS ATIVOS**. Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em: https://www.uricer.edu.br/cursos/arq_trabalhos_usuario/3426.pdf. Acesso em: 28 de jun. 2023.

SHANKER, A. K. et al. Chromium toxicity in plants. **Environment International**, New York, v. 31, n. 5, p. 739-753, July 2005.

Sharma, N., et al. (2019). Heavy metal contamination in industrial area soil and their bioaccumulation in indigenous plant species. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(9), 587.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

Smith, J., et al. (2018). Chromium and nickel in workplace atmospheres: a review of sampling and analytical methods. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 15(9), 633-646.

SUPPTITZ, L. Projeto de recuperação de área degradada (prad) para atividade de curtume com processo wet blue. **11º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**, Porto Alegre, Brasil. Disponível em: <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/article/view/33/25>.

TODESCATO, D. **UTILIZAÇÃO DE BIOSSORVENTES NA REMOÇÃO/RECUPERAÇÃO DE ÓLEOS EM DERRAMAMENTOS E REDUÇÃO/REMOÇÃO DE CROMO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO E GÁS**. Santa Catarina, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/211422/PENQ0852-T.pdf?sequence=-1>. Acesso em 28 jun. 2023.

Zhu, F., et al. (2017). Ecotoxicity of chromium (III) in aquatic environments: A review. *Environmental Pollution*, 230, 493-504.

Wang, Y., et al. (2020). Ecotoxicity of hexavalent chromium to aquatic organisms: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 196, 110540.