



EXTRAÇÃO DE COLÁGENO E GELATINA DE RESÍDUOS DE CURTUMES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Taís C. S. da Silva¹; Éverton Hansen^{2,3}; Marco A. S. Rodrigues^{1,2}; Daniela M. de Quevedo^{1,2}; Patrice M. de Aquim¹

¹Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Materiais, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil

²Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Feevale, Novo Hamburgo, Brasil

³Fundação Estadual de Proteção Ambiental, Porto Alegre, Brasil

taischarlau@gmail.com

Palavras-Chave: Resíduos de Curtume, Hidrólise, Gelatina.

Introdução

A indústria do couro desempenha um papel fundamental na economia global, sendo uma das mais antigas e tradicionais devido às suas diversas aplicações em calçados, vestuários e bolsas. No entanto, o processo de fabricação do couro é longo e complexo: couros e peles de animais derivados da indústria da carne são submetidos a uma série de operações para serem convertidos em couro (Maina *et al.* 2019). Esse processo é comumente dividido em três fases principais: pré-curtimento, curtimento e pós-curtimento (Muralidharan *et al.* 2022). A produção de couro gera grandes quantidades de resíduos sólidos, representando um desafio ambiental e econômico e entre os principais resíduos sólidos dessa atividade estão os farelos, pós e aparas de couros (wet-blue, semiacabados e acabados) (Chaudhary; Pati, 2016).

Uma abordagem sustentável para o gerenciamento desses resíduos é crucial para reduzir o impacto ambiental da indústria do couro e promover a economia circular. Nesse contexto, a extração de colágeno a partir de resíduos de couro surge como uma solução promissora, pois apresenta grande aplicabilidade e assim o extraído do resíduo de couro pode ser utilizado para o desenvolvimento de materiais sustentáveis (Chen *et al.* 2001; Sun *et al.* 2022). Esse material apresenta propriedades biocompatíveis e adesivas, podendo se transformar em matéria prima para o desenvolvimento de produtos de diversos segmentos de indústrias, como filmes, microcápsulas, alimentação, fertilizantes, adesivos e entre outros (Chen *et al.* 2001).

As propriedades físicas e químicas dos colágenos estão diretamente ligadas a uma série de fatores, incluindo a espécie e método de curtimento utilizado para confecção do couro. O curtimento é uma etapa crucial na produção, conferindo maior estabilidade e durabilidade ao couro (Yorganicioglu *et al.* 2020). Existem vários métodos de curtimento disponíveis, como o curtimento com mineral, vegetal ou sintético, cada um com suas próprias vantagens e desvantagens em termos de eficiência de curtimento, qualidade do couro



produzido e impacto ambiental (Yorgancioglu *et al.* 2020). Outro fator bastante relevante é o processamento e as condições de extração do colágeno, pois também terão forte influência nas características finais do colágeno obtido (Salviano, 2021).

Diante desse cenário, esta revisão sistemática tem como objetivo compilar e apresentar as diferentes abordagens e técnicas utilizadas para a extração de colágeno e gelatina de resíduos oriundos de curtumes, enfatizando as principais fontes de resíduos e as aplicações dos produtos extraídos. Além disso, busca-se identificar lacunas na pesquisa existente e fornecer recomendações para futuras investigações, visando contribuir para o desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na indústria do couro.

Material e Métodos

Um fluxograma PRISMA foi elaborado, documentando cada etapa do processo de seleção dos estudos, desde a identificação inicial até a inclusão final, com as fases de "identificação", "seleção", "elegibilidade" e "inclusão". Isso assegurou uma análise detalhada e confiável dos dados coletados (Page *et al.*, 2022).

Método de Pesquisa

Para a realização desta revisão sistemática, utilizou-se três plataformas de pesquisa: PubMed, Springer e Web of Science. Springer foi selecionada pela sua ampla cobertura de literatura científica e técnica, que é essencial para investigar as inovações tecnológicas e aplicações industriais do colágeno e da gelatina. Web of Science foi incluída devido à sua capacidade de abranger uma vasta gama de disciplinas, facilitando uma análise interdisciplinar dos estudos sobre métodos de extração de colágeno e suas aplicações subsequentes. E a PubMed foi escolhida por sua especialização em biotecnologia e ciências, fundamentais para explorar os métodos utilizados na extração de colágeno.

As buscas foram conduzidas utilizando uma combinação específica de palavras-chave para garantir a abrangência e a relevância dos resultados. As expressões de busca incluíram: "*Collagen recovered and leather tanned wastes*", e "*Collagen recovered from leather*". Esta estratégia foi utilizada para identificar estudos pertinentes que investigam a recuperação de colágeno e gelatina a partir de resíduos oriundos de curtumes e seu uso em diversas aplicações, assegurando a inclusão de uma gama ampla de artigos relevantes ao tema proposto entre os anos de 2014 e 2024.

Crítérios de Inclusão e Exclusão

Foram definidos critérios de inclusão e exclusão específicos. Apenas artigos publicados entre os anos de 2014 e 2024 foram considerados, independentemente da língua em que foram escritos. Além disso, todos os artigos que abordassem qualquer área do conhecimento foram elegíveis para inclusão na revisão. Esses critérios garantiram a



relevância temporal dos estudos e a abrangência temática necessária para abordar as diversas aplicações dos produtos extraídos e as tecnologias empregadas.

Procedimento de Seleção

A seleção dos artigos para esta revisão sistemática foi feita por um único revisor e inicialmente, foi realizada a leitura dos títulos e resumos dos artigos selecionados para verificar sua relevância em relação ao tema da revisão. Posteriormente, procedeu-se à leitura completa dos artigos pré-selecionados para garantir que somente os estudos pertinentes fossem incluídos na análise final.

Análise dos Dados

Foram definidos os seguintes critérios específicos para a extração das informações: título do artigo, ano de publicação, tipo de resíduo utilizado, método de extração do colágeno e aplicação do colágeno extraído.

A extração dos dados foi realizada por um único revisor, garantindo precisão e consistência no processo. A análise dos dados foi descritiva, focando na compilação e apresentação das diferentes abordagens e técnicas utilizadas para a extração de colágeno e gelatina de resíduos oriundos de curtumes. Foram descritos os tipos de resíduos utilizados, os métodos de extração empregados e as aplicações dos produtos extraídos conforme relatado nos artigos selecionados.

Resultados e Discussão

O processo de seleção dos estudos foi documentado utilizando o fluxograma PRISMA (Figura 1), que ilustra cada etapa desde a identificação inicial até a inclusão final dos estudos. Na figura 2 são apresentados a quantidade de estudos versus o ano de publicação.

Figura 1. Fluxograma PRISMA.

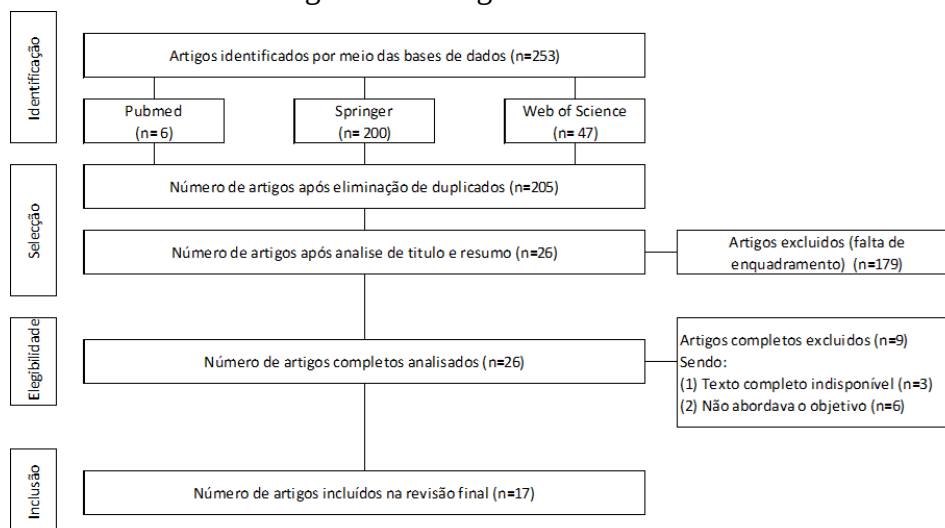


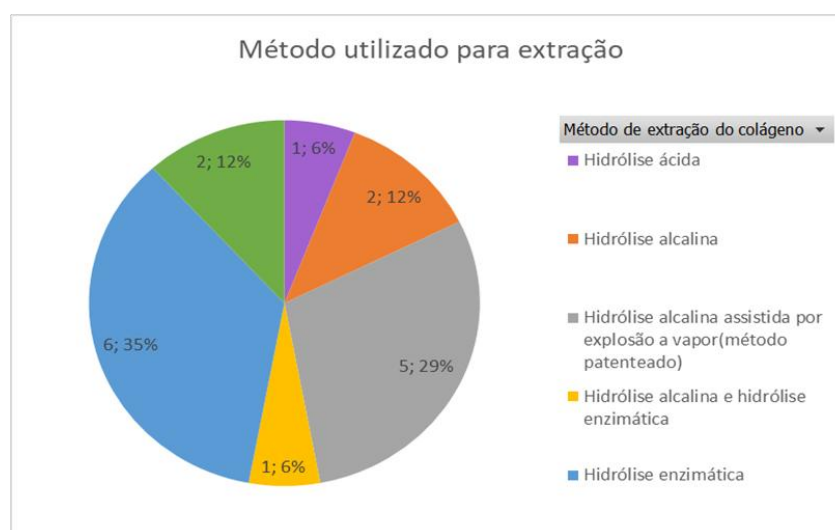


Figura 2. Artigos por ano de publicação.



Com base na análise do ano de publicação dos artigos (Figura 2), observa-se que o interesse pelo tema iniciou em 2015, com um único estudo publicado. Após um período sem publicações em 2016 e 2017, houve um leve aumento em 2018. A partir de 2019, percebe-se um crescimento mais expressivo no interesse pela extração de colágeno e gelatina de resíduos oriundo de curtumes, com um pico de publicações nos anos de 2019 e 2021, totalizando cinco artigos em cada ano. Esses dados indicam um aumento na relevância do tema entre 2019 e 2021, seguido por uma diminuição subsequente. Os resultados apresentados na Figura 3 mostram a distribuição dos métodos de extração de colágeno ou gelatina utilizados nos estudos analisados.

Figura 3. Métodos utilizados para a extração de colágeno a partir de resíduos de couro.



A análise revela que a hidrólise enzimática é a mais pesquisada, representando 35% dos estudos. A hidrólise alcalina assistida por explosão a vapor, utilizada em 29% dos estudos, é destacada, embora sua popularidade seja atribuída a trabalhos de autores em



comum que exploram este método patentado. A hidrólise alcalina e a hidrólise ácida são menos frequentes, representando 12% e 6% dos estudos, respectivamente. Além disso, 6% dos estudos utilizam uma combinação de hidrólise alcalina e enzimática para comparar o colágeno extraído por ambos os métodos, indicando uma investigação para determinar a abordagem mais eficiente e de maior qualidade.

Para explorar o conteúdo de cada artigo, estes foram agrupados por similaridade, considerando tanto os tipos de resíduos utilizados quanto os produtos extraídos, seja colágeno ou gelatina. Esta abordagem permitiu uma comparação mais direta entre estudos com abordagens e objetivos semelhantes. Primeiramente, os artigos foram organizados em três grupos distintos: o primeiro grupo inclui estudos que utilizaram resíduos de couro curtido e extraíram colágeno; o segundo grupo consiste em estudos que também utilizaram resíduos de couro curtido, mas extraíram gelatina; e o terceiro grupo compreende estudos que utilizaram outros tipos de resíduos para extrair colágeno. No quadro 1, estão compilados os artigos que pertencem ao grupo de estudos que utilizaram resíduos de couro curtido e extraíram colágeno.

Quadro 1: Estudos que utilizaram resíduos de couro curtido e extraíram colágeno

Tipo de resíduo	Método de extração do colágeno	Aplicação do Colágeno Extraído	Referência
Couro curtido ao cromo	Hidrólise enzimática	Promover o crescimento de cristais de hidroxiapatita.	Banerjee <i>et al.</i> , 2015
Couro curtido ao cromo	Hidrólise enzimática	Não especificado	Ocak, 2018
Couro curtido ao cromo	Hidrólise enzimática	Desenvolvimento de filmes de nanocompósitos.	Erciyes & Ocak, 2019
Couro curtido ao cromo	Hidrólise alcalina	Fertilizante natural.	Dang <i>et al.</i> , 2019
Couro curtido ao cromo	Hidrólise enzimática	Revestimento de sementes de várias leguminosas (ervilha, soja, feijão-de-lima)	Ławińska <i>et al.</i> , 2019
Couro curtido ao cromo	Não descreve	Compósito à base de alumínio com partículas cerâmicas de Al_2O_3	Mehra <i>et al.</i> , 2020
Couro curtido ao cromo	Hidrólise alcalina	Não especificado	Barra Hinojosa & Marrufo Saldaña, 2020
Couro curtido ao cromo	Hidrólise alcalina e hidrólise enzimática	Produção de blendas termoplásticas com o poli (butileno succinato-co-adipato) (PBSA).	Seggiani <i>et al.</i> 2021
Couro curtido ao cromo	Hidrólise ácida	Não especificado	Gendaszewska <i>et al.</i> , 2021
Couro curtido (vegetal, orgânico e mineral)	Hidrólise enzimática	Agente de preenchimento (filler) para couro	Gargano <i>et al.</i> , 2023



O estudo de Banerjee *et al.* (2015) utilizou hidrólise enzimática para extrair colágeno de couro curtido ao cromo, explorando seu potencial na mineralização bio-mimética para o crescimento de cristais de hidroxiapatita, que são essenciais como substitutos ósseos. Similarmente, Ocak (2018) investigou a capacidade de formação de filmes de hidrolisados de colágeno extraídos de resíduos de couro curtido ao cromo, também utilizando hidrólise enzimática, porém não descreve aplicação para o colágeno extraído.

Em outro estudo, Erciyes & Ocak (2019) combinaram colágeno hidrolisado com nanopartículas de TiO_2 para desenvolver filmes de nanocompósitos, destacando aplicações na indústria de embalagens, especialmente para embalagens não alimentares. Dang *et al.* (2019), por sua vez, utilizaram hidrólise alcalina para extrair colágeno de resíduos de couro curtido ao cromo, aplicando-o como fertilizante natural e misturando-o com amido de milho para criar *blends* usados como supressores de poeira e filmes de cobertura.

O trabalho de Ławińska *et al.* (2019) explorou o uso de colágeno hidrolisado para revestir sementes de várias leguminosas, com o objetivo de melhorar o crescimento e rendimento das plantas em condições de seca. Mehra *et al.* (2020) desenvolveram um compósito à base de alumínio com partículas cerâmicas de Al_2O_3 , utilizando colágeno extraído de resíduos de couro curtido ao cromo, embora o método de extração não tenha sido descrito detalhadamente.

Barra Hinojosa & Marrufo Saldaña (2020) otimizaram a hidrólise alcalina para maximizar a recuperação de colágeno e a redução de cromo residual de resíduos de couro curtido ao cromo. Seggiani *et al.* (2021) investigou blendas termoplásticas de poli(butilenossuccinato-co-adipato) (PBSA) com diferentes hidrolisados de colágeno, hidrolisado alcalino e hidrolisado enzimático, provenientes da indústria do curtume. Este estudo sugere a viabilidade de utilizar resíduos de couro na produção de materiais biodegradáveis para aplicações em agricultura e viveiros de plantas.

Em outro estudo, Gendaszewska *et al.* (2021) utilizaram hidrólise ácida para caracterizar preparações de colágeno de resíduos de couro. Finalmente, Gargano *et al.* (2023) utilizaram hidrólise enzimática para extrair colágeno de couro curtido (vegetal, orgânico e mineral), aplicando-o como agente de preenchimento para melhorar a qualidade de couro de baixa qualidade.

Esses estudos demonstram a diversidade de aplicações para o colágeno extraído de resíduos de couro curtido ao cromo, desde biomateriais e filmes de embalagens até fertilizantes e agentes de preenchimento. A variação nos métodos de extração, como hidrólise enzimática, alcalina e ácida, reflete diferentes abordagens para maximizar a eficiência e a qualidade do colágeno obtido, conforme as necessidades específicas das aplicações finais.



Os artigos do Quadro 2 foram agrupados por utilizarem resíduos de couro curtido ao cromo para a extração de gelatina.

Tipo de resíduo	Método de extração do colágeno	Aplicação do Colágeno Extraído	Referência
Couro curtido ao cromo	hidrólise alcalina (conforme método patenteado)	Esferas compósitas	Rigueto, Rosseto, <i>et al.</i> , 2021
Couro curtido ao cromo	hidrólise alcalina (conforme método patenteado)	Não especificado	Scopel <i>et al.</i> , 2019
Couro curtido ao cromo	hidrólise alcalina (conforme método patenteado)	Filmes de amido de milho e gelatina recuperada	Scopel <i>et al.</i> , 2020
Couro curtido ao cromo	hidrólise alcalina (conforme método patenteado)	Produção de filmes poliméricos de gelatina e amido	Scopel <i>et al.</i> , 2020
Couro curtido ao cromo	hidrólise alcalina (conforme método patenteado)	Adsorvente alternativo	Rigueto, Nazari, <i>et al.</i> , 2021

Rigueto Rosseto *et al.* (2021) utilizaram hidrólise alcalina, conforme um método patenteado, para produzir esferas compósitas de gelatina e nanotubos de carbono, focando na adsorção de diclofenaco sódico. Scopel *et al.* (2019) investigaram a explosão a vapor como pré-tratamento para aumentar o rendimento da extração de gelatina de resíduos de couro curtido ao cromo. Scopel *et al.* (2020) conduziram dois estudos: o primeiro explorou a adição de transglutaminase e extratos fenólicos de *Spirulina platensis* em filmes de amido de milho e gelatina recuperada, e o segundo se concentrou na produção de filmes poliméricos de gelatina e amido. Rigueto Nazari *et al.* (2021) utilizaram gelatina extraída para criar um adsorvente alternativo para a remoção de contaminantes emergentes, como o corante tartrazina e diclofenaco sódico. Esses estudos demonstram a versatilidade da gelatina extraída de resíduos de couro curtido ao cromo, com aplicações variando desde a criação de adsorventes e filmes poliméricos até a melhoria de propriedades de outros materiais através da adição de enzimas e extratos naturais.

Os artigos do Quadro 3 foram agrupados por utilizarem outros tipos de resíduos para a extração de colágeno.

Tipo de resíduo	Método de extração do colágeno	Aplicação do Colágeno Extraído	País de Publicação
Subprodutos da indústria do couro e subprodutos de lã de ovelha	Não descreve	Biocompósitos	Niculescu et al. 2019
Aparas de pele bovino/Não curtido	hidrólise enzimática	Filmes biodegradáveis com nanopartículas de quitosana	Ocak, 2021

Niculescu *et al.* (2019) não especificaram o método de extração utilizado, mas destacaram a criação de biocompósitos a partir de colágeno extraído de subprodutos da indústria do couro e de lã de ovelha, com aplicações em agricultura e indústria. Ocak (2021) utilizou hidrólise enzimática para extrair colágeno de aparas de pele bovina não curtida, desenvolvendo filmes biodegradáveis reforçados com nanopartículas de quitosana, como uma



alternativa aos plásticos não biodegradáveis. Estes estudos mostram como diferentes resíduos, além de couro curtido ao cromo, podem ser valorizados para produzir materiais sustentáveis, reforçando a importância da pesquisa em métodos de extração eficientes e em novas aplicações para os produtos resultantes.

Conclusões

A revisão sistemática realizada sobre a extração de colágeno e gelatina a partir de resíduos de curtumes revelou uma ampla gama de métodos e aplicações, demonstrando a viabilidade e o potencial desses processos para a valorização dos resíduos de couro. Os estudos revisados sugerem que resíduos de couro podem ser uma fonte valiosa de materiais para diversas aplicações, incluindo biomateriais, fertilizantes, embalagens e agentes de preenchimento, promovendo a economia circular e reduzindo o impacto ambiental da indústria do couro. No entanto, foram identificadas lacunas nas pesquisas existentes, como a necessidade de estudos mais detalhados sobre a qualidade do colágeno e da gelatina extraídos em relação aos diferentes métodos de curtimento e o impacto ambiental desses processos. Recomenda-se que futuras pesquisas abordem essas lacunas, visando melhorar a compreensão sobre o tema e promover práticas mais sustentáveis na indústria do couro.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Capes, FAPERGS e CNPq para a realização do presente trabalho.

Referências

- Banerjee, P., Madhu, S., Chandra Babu, N. K., & Shanthi, C. (2015). Bio-mimetic mineralization potential of collagen hydrolysate obtained from chromium tanned leather waste. *Materials Science and Engineering: C*, 49, 338–347. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.01.027>
- Barra Hinojosa, J., & Marrufo Saldaña, L. (2020). Optimization Of Alkaline Hydrolysis Of Chrome Shavings To Recover Collagen Hydrolysate And Chromium Hydroxide. *Leather And Footwear Journal*, 20(1), 15–28. <https://doi.org/10.24264/lfj.20.1.2>
- Dang, X., Yang, M., Zhang, B., Chen, H., & Wang, Y. (2019). Recovery And Utilization Of Collagen Protein Powder Extracted From Chromium Leather Scrap Waste. *Environmental Science And Pollution Research International*, 26(7), 7277–7283. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04226-x>
- Erciyes, A., & Ocak, B. (2019). Physico-Mechanical, Thermal, And Ultraviolet Light Barrier Properties Of Collagen Hydrolysate Films From Leather Solid Wastes Incorporated With Nano TiO₂. *Polymer Composites*, 40(12). <https://doi.org/10.1002/Pc.25340>
- CHAUDHARY, Rubina; PATI, Anupama. Purification of protein hydrolyzate recovered from chrome tanned leather shavings waste. *Journal of the American Leather Chemists Association*, v. 111, n. 01, p. 10-16, 2016.
- Chen WY, Cooke P, DiMaio G et al (2001) Modified collagen hydrolysate, potential for use as a filler for leather. *J Am Leather Chem Assoc* 96:262–267.
- Gargano, M., Florio, C., Sannia, G. et al. Dos resíduos de couro ao couro: valorização de couros de baixa qualidade utilizando colágeno recuperado de resíduos de curtimento de couro. *Política Ambiental Clean Techn* 25 , 3065–3074 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10098-023-02552-w>.



Gendaszewska, D., Lasoń-Rydel, M., Ławińska, K., Grzesiak, E., & Pipiak, P. (2021). Characteristics Of Collagen Preparations From Leather Wastes By The High Pressure Liquid Chromatography Method. *Fibres And Textiles In Eastern Europe*, 29(5(149)), 75–79. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.9308>

GÓMEZ-GUILLÉN, M.C.; GIMÉNEZ, B.; LÓPEZ-CABALLERO, M.e.; MONTERO, M.P.. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: a review. *Food Hydrocolloids*, [S.L.], v. 25, n. 8, p. 1813-1827, dez. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.02.007>.

Ławińska, K., Lasoń-Rydel, M., Gendaszewska, D., Grzesiak, E., Sieczyńska, K., Gaidau, C., Epure, D.-G., & Obraniak, A. (2019). Coating Of Seeds With Collagen Hydrolysates From Leather Waste. *Fibres And Textiles In Eastern Europe*, 27(4(136)), 59–64. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.1819>

Maina P, Ollengo MA, Nthiga EW (2019) Trends in leather processing: A Review. *Int J Sci Res Publ* 9:p9626. <https://doi.org/10.29322/ijserp.9.12.2019.p9626>.

Mehra, m., dwivedi, s. P., kumar, n., thukral, n., & singh, y. (2020). Extraction of collagen from leather waste to develop aluminium based metal matrix composite. *Materials today: proceedings*, 25, 581–585. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.241>

Muralidharan V, Palanivel S, Balaraman M (2022) Transformando problema em possibilidade: uma revisão abrangente sobre tentativas de intravalorização de resíduos sólidos de couro para processamento de couro. *J Clean Prod* 367:133021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133021>.

Ocak, b. (2018). Film-forming ability of collagen hydrolysate extracted from leather solid wastes with chitosan. *Environmental science and pollution research*, 25(5), 4643–4655. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0843-z>

Ocak, b. (2021). Development of novel collagen hydrolysate bio-nanocomposite films extracted from hide trimming wastes reinforced with chitosan nanoparticles. *Environmental science and pollution research*, 28(26), 35145–35156. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13306-w>

Page, m. J., mckenzie, j. E., bossuyt, p. M., boutron, i., hoffmann, t. C., mulrow, c. D., shamseer, l., tetzlaff, j. M., akl, e. A., brennan, s. E., chou, r., glanville, j., grimshaw, j. M., hróbjartsson, a., lalu, m. M., li, t., loder, e. W., mayo-wilson, e., mcdonald, s., ... moher, d. (2022). A declaração prisma 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. *Revista panamericana de saúde pública*, 46, e112. <https://doi.org/10.26633/rpsp.2022.112>

Rigueto, c. V. T., nazari, m. T., rosseto, m., massuda, l. A., alessandretti, i., piccin, j. S., & dettmer, a. (2021). Emerging contaminants adsorption by beads from chromium (III) tanned leather waste recovered gelatin. *Journal of molecular liquids*, 330, 115638. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115638>

Rigueto, c. V. T., rosseto, m., nazari, m. T., ostwald, b. E. P., alessandretti, i., manera, c., piccin, j. S., & dettmer, a. (2021). Adsorption of diclofenac sodium by composite beads prepared from tannery wastes-derived gelatin and carbon nanotubes. *Journal of environmental chemical engineering*, 9(1), 105030. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105030>

Salviano, Alanne Tamize de Medeiros. Extração e caracterização de gelatina a partir do resíduo de CMS de rã-touro (*Lithobates catesbeianus*). Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba, 2021.

Scopel, b. S., pretto, g. L., corrêa, j. I. P., baldasso, c., dettmer, a., & santana, r. M. C. (2020). Starch-leather waste gelatin films cross-linked with glutaraldehyde. *Journal of polymers and the environment*, 28(7), 1974–1984. <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01736-5>

Scopel, b. S., restelatto, d., baldasso, c., dettmer, a., & santana, r. M. C. (2019). Steam explosion as pretreatment to increase gelatin extraction yield from chromium tanned leather wastes. *Environmental progress & sustainable energy*, 38(2), 367–373. <https://doi.org/10.1002/ep.12956>

Seggiani, M., Altieri, R., Cinelli, P. et al. Thermoplastic Blends Based on Poly(Butylene Succinate-co-Adipate) and Different Collagen Hydrolysates from Tanning Industry: I—Processing and Thermo-mechanical Properties. *J Polym Environ* 29, 392–403 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01880-y>

Sun S, Wang X, Zhu X et al (2022) Synthesis of an amphiphilic amphoteric peptide-based polymer for organic chrome-free ecological tanning. *J Clean Prod* 330:129880. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129880>



Yorganiciglu A, Basaran B, Sancakli A (2020) Value addition to leather industry wastes and by products: Hydrolyzed collagen and collagen peptides.Intech.