

CENTRO PAULA SOUZA
ETEC PROF. CARMELINO CORRÊA JÚNIOR
ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO PROFISSIONAL
DE TÉCNICO EM QUÍMICA

Estevão Abrile Cordeiro

Rafael Teixeira Marques Ferreira Saraiva Leao

Leonardo Teodoro Nalini

Muriel Afonso Ribeiro Silva

Guilherme Borges

PRODUÇÃO DE COLÁGENO E CELULOSE A PARTIR DO
REVESTIMENTO DE EMBUTIDOS

FRANCA

2024

Estevão Abrile Cordeiro

Rafael Teixeira Marques Ferreira Saraiva Leao

Leonardo Teodoro Nalini

Muriel Afonso Ribeiro Silva

Guilherme Oliveira Borges

**PRODUÇÃO DE COLÁGENO E CELULOSE A PARTIR DO
REVESTIMENTO DE EMBUTIDOS**

Trabalho de Conclusão de curso, apresentado ao Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio da Etec Prof. Carmelino Corrêa Júnior, orientado pela Profa. Dra. Joana D'Arc Félix de Sousa, como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Química.

FRANCA

2024

Estevão Abrile Cordeiro

Rafael Teixeira Marques Ferreira Saraiva Leao

Leonardo Teodoro Nalini

Muriel Afonso Ribeiro Silva

Guilherme Borges

**PRODUÇÃO DE COLÁGENO E CELULOSE A PARTIR DO
REVESTIMENTO DE EMBUTIDOS**

Orientador(a): _____

Nome: Profa. Dra. Joana D'Arc Felix Sousa

Instituição: ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior

Examinador(a) 1: _____

Nome:

Instituição ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior

Examinador(a) 2: _____

Nome:

Instituição ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior

Examinador(a) 3: _____

Nome:

Instituição: ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior

Franca, ___ / ___ / _____

DEDICAMOS este trabalho a ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior, para que este trabalho possa inspirar novos alunos a buscarem sempre a inovação a partir da imaginação.

AGRADECEMOS aos professores, colegas de classe e empresas que filantropicamente doaram produtos, tempo, maquinários e serviços.

“Leve em consideração que é possível recuperar dinheiro, amor, prestígio ou qualquer coisa que tenha sido perdida... Menos tempo.”

CHESPERITO

RESUMO

CORDEIRO, Estevão Abrile; **LEAO**, Rafael Teixeira Marques Ferreira Saraiva; **NALINI**, Leonardo Teodoro; **SILVA**, Muriel Afonso Ribeiro; **BORGES**, Guilherme Oliveira. **PRODUÇÃO DE COLÁGENO E CELULOSE A PARTIR DO**

REVESTIMENTO DE EMBUTIDOS. Trabalho de Conclusão de Curso Apresentado para Obtenção do Título de Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio. ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior, Franca/SP, 2023

Há um crescente interesse pelo processo de extração do colágeno e seus derivados devido a tendência de utilização desta proteína em substituição aos agentes sintéticos nos mais diversos processos industriais, o que permite uma maior valorização dos subprodutos e também contribui para uma produção mais limpa e sustentável. A preocupação com a qualidade de vida tem levado o consumidor a procurar e consumir produtos saudáveis, que possam melhorar as condições de saúde e promover o bem-estar. A melhoria dos hábitos alimentares, a preocupação com a estética e a prevenção do surgimento precoce de doenças degenerativas por meio da ingestão de alimentos saudáveis, contribuíram para aumentar as pesquisas de caracterização de alimentos e/ou ingredientes que possuem propriedades terapêuticas, além das funções nutricionais normais. Os alimentos funcionais como colágeno e celulose, podem conter um ou mais ingredientes com propriedades terapêuticas, destacando-se: fibras alimentares, oligossacarídeos, carotenoides, proteínas e peptídeos. Neste contexto, houve um aumento no interesse pela aplicação industrial de colágeno em suplementos alimentares e em produtos alimentícios, como iogurtes, chás, sucos e em sobremesas de fácil preparo. Esses alimentos adicionados de colágeno podem ser utilizados em tratamentos para melhorar a elasticidade e firmeza da pele e prevenção de doenças, como a osteoartrite, osteoporose, hipertensão e úlcera gástrica. Tradicionalmente, o colágeno é retirado de várias espécies de animais, entretanto, no nosso país, é obtido principalmente de subprodutos da indústria da carne, como cartilagens, ligamentos e camadas internas do couro bovino. Devido ao valor do colágeno e de

certos alimentos adicionados de colágeno, uma boa parte da população não tem acesso aos mesmos. Assim, com o objetivo de reduzir os custos desses produtos, melhorar a qualidade de vida e aumentar a esperança da população, efetuamos o reaproveitamento de sobras de embutidos para a extração de colágeno sustentável.

Palavras-chave: Colágeno. Celulose. Tripas de embutidos. Reciclagem. Sustentabilidade.

ABSTRACT

CORDEIRO, Estevão Abrile; **LEAO**, Rafael Teixeira Marques Ferreira Saraiva; **NALINI**, Leonardo Teodoro; **SILVA**, Muriel Afonso Ribeiro; **BORGES**, Guilherme Oliveira. **PRODUCTION OF COLLAGEN AND CELLULOSE FROM THE CASINGS OF SAUSAGE.** Completion of Course Work Presented for Obtaining the Title of Technician in Chemistry Integrated to High School. ETEC Prof. Carmelino Correa Junior, Franca/SP, 2023.

There is a growing interest in the process of extracting collagen and its derivatives due to the trend of using this protein as a replacement for synthetic agents in various industrial processes. This trend allows for greater valorization of by-products and also contributes to cleaner and more sustainable production. Concerns about quality of life have led consumers to seek and consume healthy products that can improve health conditions and promote well-being. Improvements in dietary habits, concerns about aesthetics, and the prevention of early onset of degenerative diseases through the consumption of healthy foods have contributed to increased research into the characterization of foods and/or ingredients with therapeutic properties beyond their normal nutritional functions. Functional foods, such as collagen and cellulose, may contain one or more ingredients with therapeutic properties, including dietary fibers, oligosaccharides, carotenoids, proteins, and peptides. In this context, there has been a rise in interest in the industrial application of collagen in dietary supplements and food products, such as yogurts, teas, juices, and easy-to-make desserts. These collagen-enriched foods can be used in treatments to improve skin elasticity and firmness and to prevent diseases such as osteoarthritis, osteoporosis, hypertension, and gastric ulcers. Traditionally, collagen is extracted from various animal species; however, in our country, it is primarily obtained from by-products of the meat industry, such as cartilage, ligaments, and inner layers of bovine hides. Due to the cost of collagen and certain collagen-enriched foods, a significant portion of the population does not have access to them. Therefore, with the aim of reducing the costs of these

products, improving quality of life, and increasing the population's lifespan, we are repurposing by-products from processed meats for sustainable collagen extraction.

Keywords: Collagen. Cellulose. Sausage casings. Recycling. Sustainability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Justificativas.....	13
1.2	Objetivos Gerais.....	16
1.2.1	Objetivos Específicos.....	17
2	DESENVOLVIMENTO.....	18
2.1	Materiais e métodos.....	18
2.1.1	Materiais.....	18
2.2	Métodos empregados na extração de vitaminas, nutrientes e proteínas nas frutas.....	19
2.2.1	Extração de Colágeno Hidrolisado Sustentável.....	19
2.2.2	Análises Químicas e Caracterização do Colágeno Hidrolisado Sustentável...20	
2.3	Procedimentos Metodológicos Empregados nos Processos de Reaproveitamento dos Revestimentos de Embutidos, Visando a Extração de Celulose Sustentável. Análises e Caracterização da Celulose Sustentável.....20	
2.3.1	Extração de Celulose Sustentável.....	20
2.3.2	Análises Químicas e Caracterização da Celulose Sustentável.....	21
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
3.1	Metodologias Empregadas nos Processos de Rproveitamento de Revestimentos de Embutidos em Colágeno Hidrolisado Sustentável.....	22
3.2	Análises e Caracterização do Colágeno Hidrolisado Sustentável.....	23
3.3	Metodologias Empregadas nos Processos de Rproveitamento de Revestimentos de Embutidos em Celulose Sustentável.....	29
3.3.1	Análises Químicas e Caracterização da Celulose Sustentável.....	29
4	CONCLUSÃO.....	33
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativas

As tripas de colágeno, tanto as comestíveis como as não comestíveis, são elaboradas a partir do colágeno extraído da pele dos bovinos. Essa pele é selecionada de acordo com sua origem, para que sejam garantidas todas as propriedades alimentares e higiênicas.

As tripas representam um importante papel no processamento de embutidos, Figura 1, pois permitem que estes produtos mantenham a qualidade sensorial e segurança alimentar para os consumidores. Existe uma grande variedade de tipos de tripas, incluindo as naturais e as artificiais, tais como as de colágeno, celulose e plásticas.

Figura 1. Processamento de embutidos.



Fonte: Dos próprios autores, 2023.

Devido à elevada demanda pelo aumento da produção de embutidos, havia escassez das tripas naturais gerando um aumento de custo das mesmas. As tripas artificiais foram então desenvolvidas visando suprir o mercado das tripas naturais e baratear os custos. Os envoltórios de embutidos feitos com materiais naturais, geralmente de matérias-primas renováveis tais como colágeno e celulose, tiveram um melhoramento impressionante nas últimas décadas.

Infelizmente, um grande problema, que inclusive é de escala mundial atualmente, é o alto desperdício de matéria-prima em potencial, que é tratada como lixo. Um grande exemplo disso é o revestimento de embutidos (como salsicha e linguiça), cujo desperdício apenas de uma única indústria, chega a 10 toneladas/mês. Dois dos componentes desperdiçados junto com o revestimento, são colágeno e celulose, que possuem grande potencial nas indústrias alimentícias, cosméticas e farmacêuticas.

O colágeno é composto por três cadeias de polipeptídeos e constitui 25% a 35% do total de proteínas dos mamíferos e pode ser extraído da derme, tecidos conjuntivos, ossos e dentes destes animais (HORN, 2008).

A pele bovina é constituída de couro e derme (cório). Essas duas camadas são separadas no momento do tratamento da pele no curtume. A derme (camada interna da pele) é rica em colágeno na forma de fibrilas de até 1.000 micras de diâmetro. Essa camada é a que será recuperada e destinada à fabricação de tripas. Essas tripas são denominadas tripas reconstituídas ou tripas de colágeno regenerado.

O processo de obtenção do colágeno para tripas é diferente do processo de obtenção de colágeno para fabricação de gelatinas, no qual ele deve ser parcialmente hidrolisado para se tornar solúvel. Na obtenção do colágeno para finalidade de produção de tripas, é necessário que ele mantenha sua forma nativa de fibra insolúvel para ser forte o suficiente para a função de envoltório. Pelo fato das fibras de colágeno serem insolúveis é necessário um tratamento químico das mesmas antes de serem usadas na fabricação de tripas.

Há um crescente interesse pelo processo de extração do colágeno e seus derivados devido a tendência de utilização desta proteína em substituição aos

agentes sintéticos nos mais diversos processos industriais, o que permite uma maior valorização dos subprodutos e também contribui para uma produção mais limpa e sustentável.

A preocupação com a qualidade de vida tem levado o consumidor a procurar e consumir produtos saudáveis, que possam melhorar as condições de saúde e promover o bem-estar. A melhoria dos hábitos alimentares, a preocupação com a estética e a prevenção do surgimento precoce de doenças degenerativas por meio da ingestão de alimentos saudáveis contribuíram para aumentar as pesquisas de caracterização de alimentos e/ou ingredientes que possuem propriedades terapêuticas, além das funções nutricionais normais.

Os alimentos funcionais podem conter um ou mais ingredientes com propriedades terapêuticas, destacando-se: fibras alimentares, oligossacarídeos, carotenoides, proteínas, peptídeos, prebióticos, probióticos, simbióticos, fitoquímicos e ácidos graxos poli-insaturados (LIMA NETO, PETROVICK, 1997).

O colágeno é um desses ingredientes com características funcionais, é uma proteína de origem animal, cuja função no organismo é contribuir com a integridade estrutural dos tecidos em que está presente. O colágeno é encontrado nos tecidos conjuntivos do corpo, tais como os ossos, tendões, cartilagens, veias, pele, dentes, bem como nos músculos e na camada córnea dos olhos. Porém, com o início da fase adulta, a deficiência de colágeno começa a ser notada, pois o organismo diminui sua produção, sendo necessária a sua suplementação. Em vista disso, houve um aumento no interesse pela aplicação industrial de colágeno em suplementos alimentares e em produtos alimentícios, como iogurtes, chás, sucos e em sobremesas de fácil preparo, tais como gelatina, pudins e maria-mole. Esses alimentos adicionados de colágeno podem ser utilizados em tratamentos para melhorar a elasticidade e firmeza da pele e prevenção de doenças, como a osteoartrite, osteoporose, hipertensão e úlcera gástrica.

A extração do colágeno é um processo de grande interesse para a indústria, uma vez que essa proteína tem sido usada em substituição aos agentes sintéticos. Tradicionalmente, ela pode ser retirada de várias espécies de animais, entretanto, no nosso país, é obtida principalmente de subprodutos da indústria da carne, como cartilagens, ligamentos e camadas internas do couro bovino. A partir do colágeno

nativo, é possível obter a fibra de colágeno, o colágeno hidrolisado e o colágeno parcialmente hidrolisado (gelatina).

A celulose e seus derivados são amplamente utilizados na indústria de alimentos e bebidas, desempenhando importantes funções devido as suas propriedades de fluxo, emulsificação, estabilização de espuma, modificação da formação de cristais de gelo, crescimento e capacidade de ligação à água. Derivados de celulose também ocupam um lugar de destaque entre os adjuvantes farmacêuticos modernos. A ampla gama de aplicação da celulose e de seus derivados abrange das formas farmacêuticas sólidas, como aglutinantes, desintegrantes ou filmógenos, até formas farmacêuticas semi-sólidas, onde são empregados, especialmente como formadores de hidrogéis (LIMA NETO, PETROVICK, 1997).

Devido ao valor do colágeno e de certos alimentos adicionados de colágeno, grande parte da população não tem acesso ao colágeno e a determinados alimentos adicionados de colágeno, devido aos seus valores. Assim, com o objetivo de reduzir os custos desses produtos, melhorar a qualidade de vida e aumentar a esperança da população, realizamos o reaproveitamento de sobras de embutidos para a extração de colágeno, mostrando que é possível desenvolver uma relação de simbiose industrial entre o setor agroindustrial e os setores alimentícios, cosméticos e farmacêuticos e, principalmente, oferecer uma destinação nobre a essa grande quantidade de resíduos oriundos dos revestimentos dos embutidos

1.2 Objetivos Gerais

O objetivo é produzir, a partir de revestimentos descartados por empresas alimentícias, um colágeno hidrolisado sustentável de alta qualidade e também, uma celulose sustentável de alta qualidade que possam ser utilizados nas áreas medicinais e cosméticas, além de tratar grandes enfermidades que assolam a sociedade como artrite, artrose, tratar doenças de pele e reconstruir membros como orelha, nariz e alguns músculos faciais.

1.2.1 Objetivos Específicos

- 1) Extrair colágeno e celulose de embutidos;
- 2) Determinar a segurança dos mesmos para fins médicos e cosméticos;
- 3) Reciclar os revestimentos de embutidos normalmente descartados por empresas alimentícias;
- 4) Realizar o tratamento do mesmo para minimizar a presença de impurezas do colágeno;
- 5) Testar a eficácia do produto;
- 6) Orientar e tirar dúvidas das pessoas que não conhecem o produto;
- 7) Conscientizar a população sobre os benefícios do produto;
- 8) Alertar os riscos para com a saúde que podem ser acometidos devido à falta ou baixa do colágeno;
- 9) Gerar uma solução fácil e barata para grandes problemas que assolam a medicina moderna.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais e métodos

2.1.1 Materiais

Béquer, erlenmeyer, funil de vidro de haste longa, bastão de vidro, filtro de papel, tesoura, pHmetro, balança analítica, hidróxido de sódio (NaOH), ácido oxálico ($C_2H_2O_4$), revestimento de embutidos.

Os revestimentos de embutidos foram fornecidos pela empresa Sadia.

O colágeno hidrolisado sustentável foi extraído dos revestimento de embutidos (resíduos sólidos de indústrias alimentícias), por meio de reações químicas realizadas em béqueres, Figura 2.

As temperaturas foram medidas em termômetro digital microprocessado.

As medidas de pH (em solução 1:10) foram realizadas em pH Metro.

colágeno hidrolisado sustentável foi purificado em filtro contendo resina de troca iônica.

As evaporações foram realizadas em evaporador rotativo (MA 120V).

As viscosidades foram determinadas em viscosímetro rotativo, digital, microprocessado Visco Basic Plus R.

A gelatina foi secada em mini spray drier.

Os teores de nitrogênio (N), no colágeno gelificado sustentável (gelatina), foram determinados através da determinação de nitrogênio total Kjeldahl (FÉLIX DE SOUSA *et al*, 2012, p. 53).

O teor de proteína no colágeno hidrolisado sustentável foi determinado em refratômetro automático de luz refletida ATAGO DR-1.

O colágeno hidrolisado sustentável foi caracterizado através de análises espectroscópicas de energia dispersiva (EDS), Figura 5, e em espectroscopia de

absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), Figura 6 e Tabela 2.

A celulose sustentável foi caracterizada através da análise espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), Figura 8 e Tabela 2.

Os testes para verificação da toxicidade, irritabilidade, biodegradabilidade e biocompatibilidade foram realizados no laboratório do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

2.2 Procedimentos Metodológicos Empregados nos Processos de Reaproveitamento dos Revestimentos de Embutidos, Visando a Extração de Colágeno Hidrolisado Sustentável. Análises e Caracterização do Colágeno Hidrolisado Sustentável:

2.2.1 Extração de Colágeno Hidrolisado Sustentável:

Reação 1) Digestão dos Revestimentos de Embutidos. Neste processo de digestão, os revestimentos de embutidos, Figura 2 (100 %; 500 g), foram cortados em pequenos pedaços e colocados em quatro béqueres, com quatro soluções diferentes de NaOH (0,5 M; 1,0 M; 2,0 M; 2,5 M), por um período de 6 horas à temperatura ambiente. Após este período, as **soluções resultantes** contendo uma mistura de colágeno, celulose e gordura permaneceram em repouso, para decantação, em béqueres, por um período de 2 horas, Após esse período, separamos a celulose, uma massa pastosa, cor de palha, no fundo de béquer. As soluções resultantes, contendo colágeno hidrolisado e gordura, foram separadas em funil de separação, Figura 2

Reação 2) Purificação das Soluções de Colágeno Impuro. As soluções de colágeno impura (pH 8,0 a 10,0), foram purificadas em um filtro contendo resina de troca iônica. Em seguida, adicionou-se lentamente ácido cítrico nas quatro soluções. As misturas foram agitadas por 1 hora à temperatura ambiente e, após filtragem, em papel de filtro, obtivemos o **colágeno hidrolisado em líquido diluído**, Figura 2.

Reação 3). Obtenção do Colágeno Hidrolisado Sustentável Concentrado.

As quatro amostras de colágeno hidrolisado em líquido diluído (pH 5,5 a 6,0), foram evaporadas em banho-maria, à temperatura de 85 °C, para redução de cerca de 60% de seu volume. O aumento da concentração foi verificado no refratômetro (medidor de concentração), e no viscosímetro (medidor da viscosidade). Após as evaporações, obtivemos quatro amostras de **Colágeno Hidrolisado Sustentável** (líquido amarelo viscoso; pH 5,5 a 6,0), Figura 2. O melhor rendimento foi obtido da digestão dos revestimentos de embutidos na solução de NaOH 2,0 Molar.

2.2.2 Análises Químicas e Caracterização do Colágeno Hidrolisado Sustentável:

O colágeno hidrolisado sustentável foi analisado quimicamente através dos parâmetros de pH, dos teores de umidade e dos teores de nitrogênio (N), (FÉLIX DE SOUSA et al., 2012; MORITA et al., 2001), Tabela 1.

O colágeno hidrolisado sustentável foi caracterizado através de análises espectroscópicas de energia dispersiva (EDS), Figura 5, e em espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), Figura 6 e Tabela 2.

2.3 Procedimentos Metodológicos Empregados nos Processos de Reaproveitamento dos Revestimentos de Embutidos, Visando a Extração de Celulose Sustentável. Análises e Caracterização da Celulose Sustentável:

2.3.1 Extração de Celulose Sustentável:

Reação 4) Ao final da **Reação 1**, separamos a celulose, uma massa pastosa, cor de palha, no fundo de béquer que continha uma mistura de colágeno hidrolisado e gordura. A celulose sustentável (em pasta), Figura 2, foi purificada após lavagem da mesma em solução de solução de NaOH 0,2 Molar.

2.3.2 Análises Químicas e Caracterização da Celulose Sustentável:

A celulose sustentável foi analisada quimicamente através dos parâmetros de pH e dos teores de umidade (FÉLIX DE SOUSA et al., 2012; MORITA et al., 2001), Tabela 3.

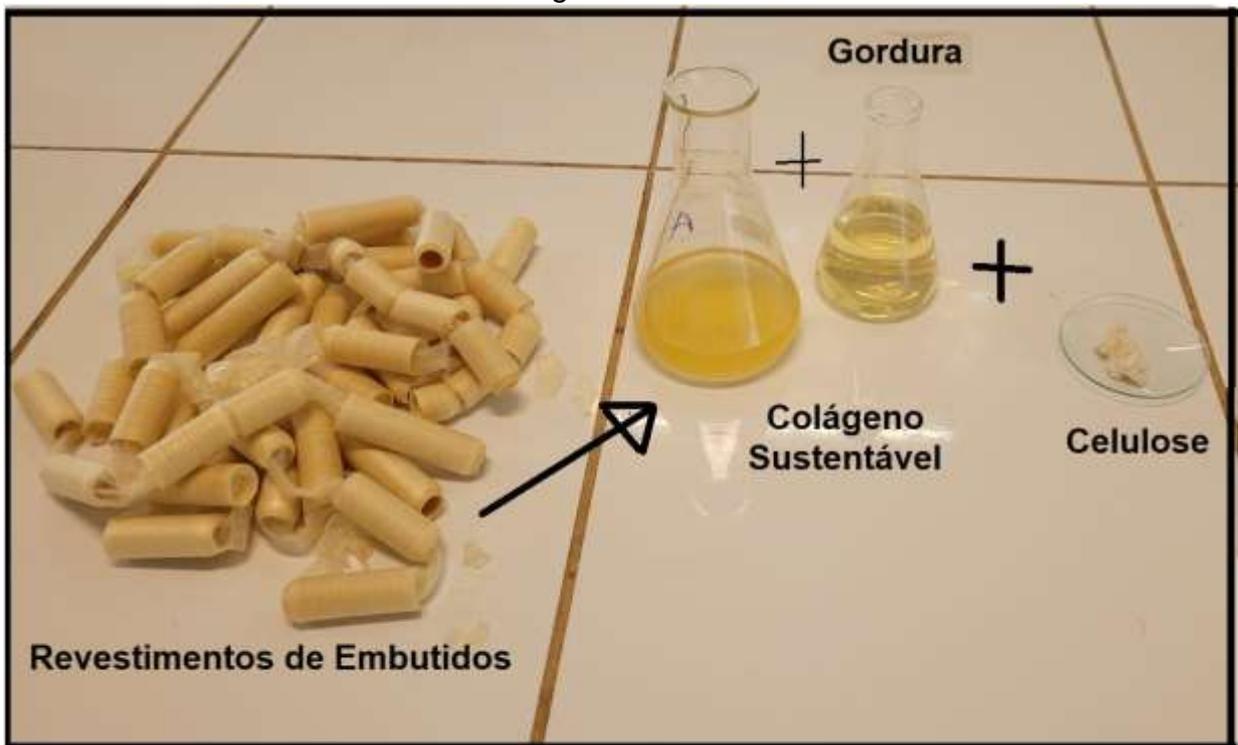
A celulose sustentável foi caracterizada através de espectroscopia de absorção na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), Figura 8 e Tabela 4.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Metodologias Empregadas nos Processos de R aproveitamento de Revestimentos de Embutidos em Colágeno Hidrolisado Sustentável

O revestimento de embutidos foram cortados em pequenos pedaços e colocados em quatro béqueres, com 04 soluções diferentes de NaOH (0,5 M; 1,0 M; 2,0 M; 2,5 M). Deixamos descansando no escuro para dissolver os revestimentos e separá-los em seus respectivos componentes (gordura, celulose e colágeno). Depois de separar os componentes, escolhemos a solução que melhor separou, anotamos as medidas e continuamos o projeto com todos as soluções, embora a terceira (com solução de NaOH 2,0 M), tenha ficado melhor. Após decantação e filtragem, os revestimentos de embutidos foram separados em celulose, colágeno e gordura, Figura 2.

Figura 2. Extração de colágeno hidrolisado sustentável, celulose sustentável e gordura.



Fonte: Dos próprios autores, 2023.

3.2 Análises e Caracterização do Colágeno Hidrolisado Sustentável:

O colágeno hidrolisado sustentável Figura 2, foi analisado quimicamente através dos parâmetros de pH; e dos de nitrogênio (N) e proteína animal (FÉLIX DE SOUSA *et al.*, 2012; MORITA *et al.*, 2001), Tabela 1. O colágeno hidrolisado sustentável deve estar totalmente puro para que possa ter aplicações alimentícias, cosméticas, farmacêuticas e outras.

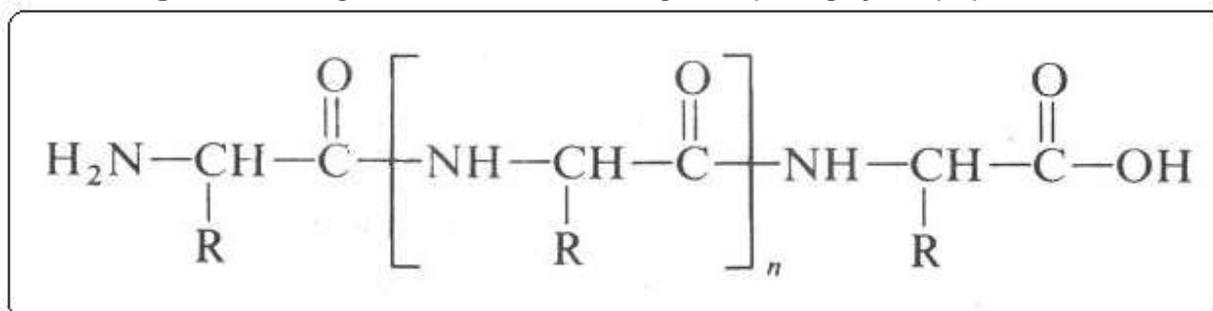
Tabela 1. Análises químicas do colágeno hidrolisado sustentável em líquido viscoso.

Determinações	Colágeno Hidrolisado Sustentável em Líquido Viscoso
pH (1:10)	5,5 a 6,0
Teor de Nitrogênio (N)	12,0 a 13,0%
Teor de Colágeno (Proteína)	64,0 a 65,0%

Fonte: Dos próprios autores, 2023.

O colágeno é a classe mais abundante de proteínas do organismo humano, ou seja, o colágeno é a proteína mais abundante do tecido conjuntivo, com função de estruturar os tecidos em desenvolvimento. Ele está presente nos tendões, na cartilagem fibrosa, no tecido conjuntivo frouxo comum, no tecido conjuntivo denso (onde é predominante sobre os outros tipos), sempre formando fibras e feixes, ou seja, está presente nos ossos, tendões e pele. É constituído por uma cadeia de α -aminoácidos ligados por ligações peptídicas, Figura 3.

Figura 3. Colágeno: α -aminoácidos ligados por ligações peptídicas.

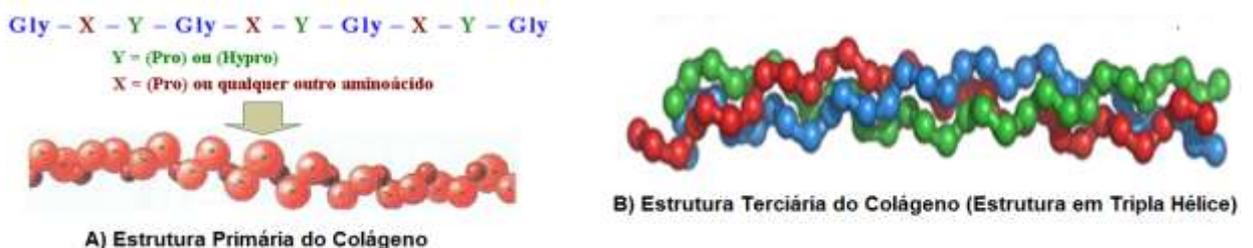


Fonte: Dos próprios autores, 2023.

As fibras de colágeno começam a aparecer durante o desenvolvimento embrionário no processo inicial de diferenciação dos tecidos. Mais tarde, torna-se responsável pela integridade dos tecidos dos ossos, cartilagem, pele, estrutura de vasos sanguíneos e de outros órgãos, correspondendo a cerca de 30% da proteína total e a 6% em peso do corpo humano. No corpo humano, o colágeno desempenha várias funções, como, por exemplo, unindo e fortalecendo os tecidos. Com grande resistência à tração, a principal função do colágeno é acomodar e modular as forças mecânicas externas e internas que são exercidas no organismo (HORN, 2008).

O colágeno é um filamento de 300 nm de comprimento e 1,5 nm de diâmetro, com massa molar ao redor de 300.000. A sua estrutura primária contém uma grande quantidade de prolina ou hidroxiprolina, sendo que a cada três aminoácidos, a glicina (Gly) ocupa a terceira posição. Na forma mais comum, esta estrutura é do tipo $-(\text{Gly}-\text{X}-\text{Y})_n-$, onde X é o aminoácido prolina (Pro) e Y é o aminoácido hidroxiprolina (Hypro). No restante das cadeias, X e Y corresponde a outros aminoácidos essenciais, tais como, lisina, hidroxilisina, ácido aspártico, ácido glutâmico, arginina, serina entre outros, para a organização do colágeno em fibras, Figura 4A. A estrutura terciária diz respeito ao nível de organização das cadeias polipeptídicas. A molécula de colágeno é composta de três cadeias polipeptídicas α dispostas umas ao redor das outras formando uma tripla hélice, Figura 5B através da formação de ligações, que estabilizam a estrutura (FÉLIX DE SOUSA, 2009; NIMMI, 1988).

Figura 4. Estruturas do colágeno: **(A)** estrutura primária; **(B)** estrutura terciária (estrutura em tripla hélice).



Fonte: FÉLIX DE SOUSA, 2009; NIMMI, 1988.

Existem cerca de 28 tipos de colágeno (VEIT *et al.*, 2006), porém os mais comuns são os do tipo I, II, III e IV. O colágeno do tipo I é o mais abundante e vem despertando bastante interesse na área de engenharia de tecidos, isso porque ele é a glicoproteína extracelular mais abundante no tecido ósseo, possui grande resistência mecânica e boa compatibilidade com as células (HORN, 2008).

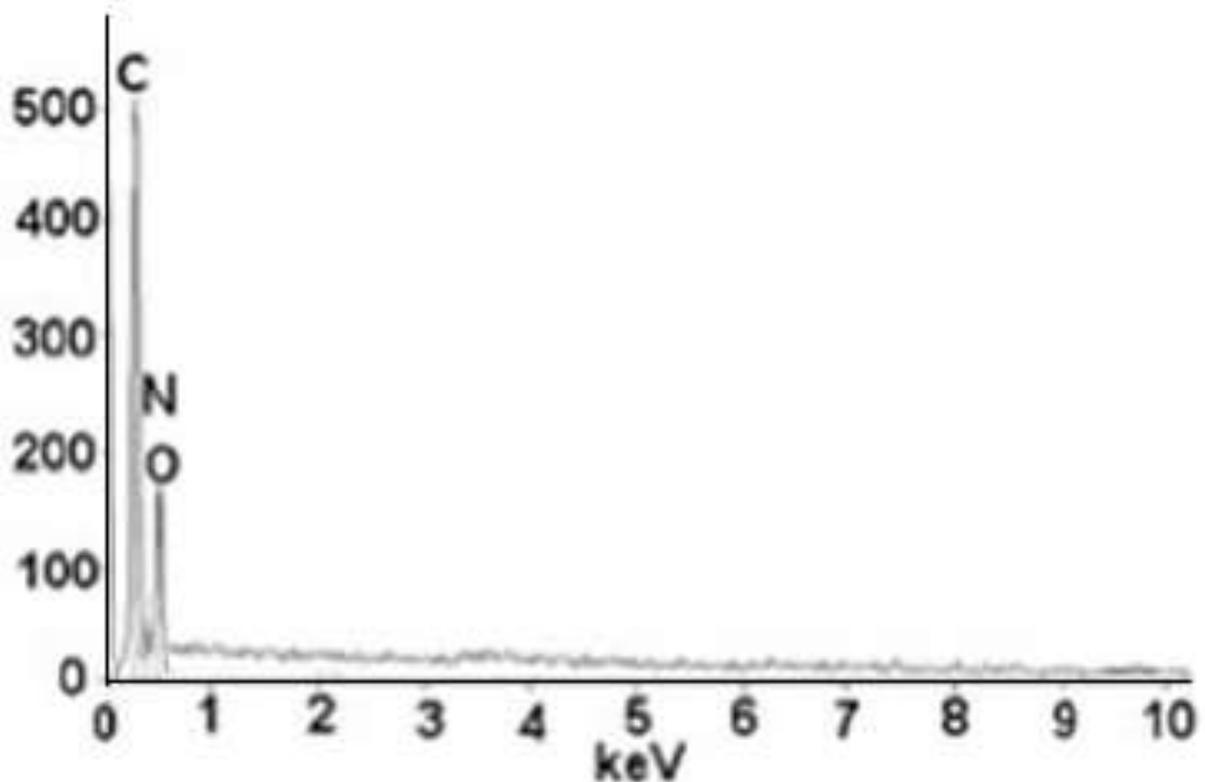
Como biomaterial, o colágeno apresenta características bastante distintas, quando comparado com um polímero sintético, sendo a mais importante o modo de interação com os tecidos do corpo. Isso está associado com propriedades naturais que incluem baixa resposta imunológica, baixa toxicidade, baixa irritabilidade, biodegradabilidade, biocompatibilidade, interação com plaquetas, ativa o processo de coagulação sanguínea, é susceptível a modificações químicas, promove o crescimento celular e a reconstrução *in vitro* da estrutura microfibrilar encontrada em tecidos naturais. Essas propriedades conferem a esse biomaterial inúmeras aplicações (HORN, 2008; SIONKAWOSKA, 2000).

Há exemplo do que ocorre com as demais proteínas, o colágeno apresenta caráter anfótero, funcionando como ácido face às bases, e como base face aos ácidos. Industrialmente, o colágeno é extraído, principalmente, de ossos, peles e tendões de bovinos.

Neste projeto, o colágeno hidrolisado sustentável foi extraído de revestimento de embutidos (resíduos sólidos da indústria alimentícia, Figura 2),

O espectro de energia dispersiva (EDS) do colágeno hidrolisado sustentável, Figura 5, indicou apenas a presença de carbono, nitrogênio, oxigênio, evidenciando que este foi extraído com 100 % de pureza (MAHAN, MYERS, 2000; SILVERSTEIN, BASSLER, MORRILL, 1994). Essa informação também foi evidenciada nos espectros de infravermelho, Figura 6.

Figura 5. Espectros de energia dispersiva (EDS) do colágeno hidrolisado sustentável.

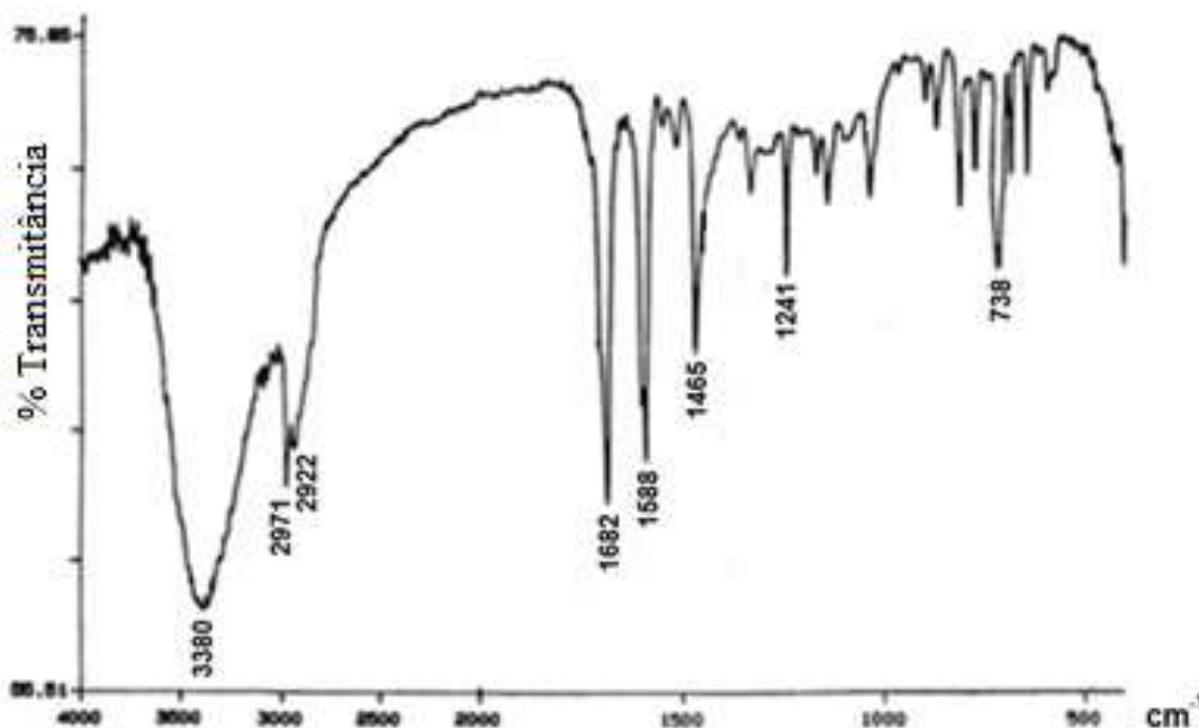


Fonte: Dos próprios autores, 2023.

A Figura 6 apresenta os espectros de absorção na região do infravermelho (FTIR) do colágeno hidrolisado sustentável, colágeno tipo I, enquanto a Tabela 2 apresenta as principais bandas de absorção do colágeno tipo I.

A espectroscopia de infravermelho (espectroscopia IV) é um tipo de espectroscopia de absorção que usa a região do infravermelho do espectro eletromagnético. Como as demais técnicas espectroscópicas, ela pode ser usada para identificar um composto ou investigar a composição de uma amostra. Como cada grupo funcional absorve em uma dada frequência característica, o espectro de IV permite caracterizar os grupos funcionais de um padrão ou de um material desconhecido (ALLINGER *et al.*, 1978).

Figura 6. Espectros de absorção na região do infravermelho (FTIR) do colágeno hidrolisado sustentável.



Fonte: Dos próprios autores, 2023.

A espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR) também evidenciou que o colágeno hidrolisado sustentável foi extraído com 100 % de pureza, Figura 6 e Tabela 2.

A espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR) do colágeno hidrolisado sustentável, Figura 6, apresentou as principais bandas características em 3600-3200 cm^{-1} (deformação axial de O-H, larga); 3380 cm^{-1} (deformação axial assimétrica de N-H, amida primária (amida I - AI), em ligação hidrogênio) e 3170 cm^{-1} (deformação axial simétrica de N-H, amida primária (amida I - AI), em ligação hidrogênio); 2971 cm^{-1} (deformação axial e C-H alifático); 1682 cm^{-1} (deformação axial de C=O, banda de amida primária (amida I - AI)); 1588 cm^{-1} (bandas em superposição: deformação axial de C-N, banda de amida secundária (amida II - AII), e deformação angular de N-H, banda de amida secundária (amida II - AII)); 1465 cm^{-1} (deformação axial de C-N); 1241 cm^{-1} (deformação axial de C-N, banda de amida terciária (amida III - AIII), e deformação angular de N-H, banda de amida terciária (amida III - AIII)); 738 cm^{-1} (deformação angular fora do plano de N-H). Geralmente a

banda amida primária (amida I - AI) é mais intensa que da amida secundária (amida II - AII) e da amida terciária (amida III - AIII) (SADER, 2010; SENA, 2004).

Tabela 2. Principais bandas de absorção na região do infravermelho (FTIR) do colágeno hidrolisado sustentável.

Principais Bandas de Absorção	Colágeno Hidrolisado Sustentável 
Deformação axial de O-H , larga.	3600-3200 cm⁻¹
Deformação axial assimétrica de N-H (amida primária (amida I - AI)) em ligação hidrogênio.	3380 cm⁻¹
Deformação axial simétrica de N-H (amida primária (amida I -AI)) em ligação hidrogênio.	3170 cm⁻¹
Deformação axial e C-H alifático .	2971 cm⁻¹
Deformação axial de C=O , banda de amida primária (amida I - AI) .	1682 cm⁻¹
Bandas em superposição: deformação axial de C-N (amida secundária (amida II - AII)) , e deformação angular de N-H (amida secundária (amida II - AII)) .	1588 cm⁻¹
Deformação axial de C-N .	1465 cm⁻¹
Deformação axial de C-N (amida terciária (amida III - AIII)) , e deformação angular de N-H (amida terciária (amida III - AIII)) .	1241 cm⁻¹
Deformação angular da ligação C-O-Cr .	-----
Deformação angular fora do plano de N-H .	738 cm⁻¹

Fonte: Dos próprios autores, 2023.

No processo inédito de reaproveitamento de revestimento de embutidos (resíduos sólidos das indústrias alimentícias), o valor do colágeno hidrolisado sustentável em líquido viscoso ficou em R\$ 0,90/kg; enquanto no mercado o mesmo é comercializado a R\$ 200,00/kg. As tecnologias desenvolvidas possuem uma relação custo/benefício, que contemplam ótima qualidade aliadas a baixos custos.

Além de prevenir o envelhecimento precoce, o colágeno mantém as cartilagens hidratadas e seguram o cálcio e outros minerais no interior do tecido ósseo. Os benefícios do colágeno também se refletem nos cabelos, mantendo a espessura, o brilho e a resistência. O colágeno hidrolisado desempenha um papel importante na prevenção e no tratamento de dores articulares, artrose e

osteoporose, e tem sido utilizado para minimizar a ocorrência de lesões na terceira idade, pois mantém o tecido articular mais hidratado e elástico. Outros benefícios do colágeno incluem:

- Prevenção do aparecimento de celulite;
- Fortalecimento das unhas e do cabelo;
- Diminuição do surgimento de estrias;
- Aumento da elasticidade da pele;
- Prevenção do surgimento de rugas e linhas de expressão.

Há algumas décadas, a administração oral de suplementos nutricionais a base de Glicosamina e Condroitina tem sido utilizada em grande escala, com o objetivo de se conseguir mesmo que uma tênue reconstrução cartilaginosa. Mais recentemente parece ter surgido uma nova alternativa com resultados animadores. O uso do colágeno apresenta evidências de favorecer a formação de um novo tecido cartilaginoso. Até o momento, os resultados obtidos em estudos baseados em avaliação de imagem, como ressonância magnética, e os de percepção subjetiva de dor têm sido bastante satisfatórios. Este sucesso tem levado ao aumento do consumo deste nutriente por diversos pacientes acometidos por ambas as doenças, acenando com um prognóstico animador para um problema de tão difícil tratamento.

3.3 Metodologias Empregadas nos Processos de Raproveitamento de Revestimentos de Embutidos em Celulose Sustentável

A celulose sustentável, uma massa pastosa de cor de palha, Figura 2, Figura 2, foi purificada após lavagem da mesma em solução de solução de NaOH 0,2 Molar.

3.3.1 Análises Químicas e Caracterização da Celulose Sustentável:

A celulose sustentável, Figura 2, foi analisada quimicamente através dos parâmetros de pH e dos teores de umidade, (FÉLIX DE SOUSA *et al.*, 2012; MORITA *et al.*, 2001), Tabela 3.

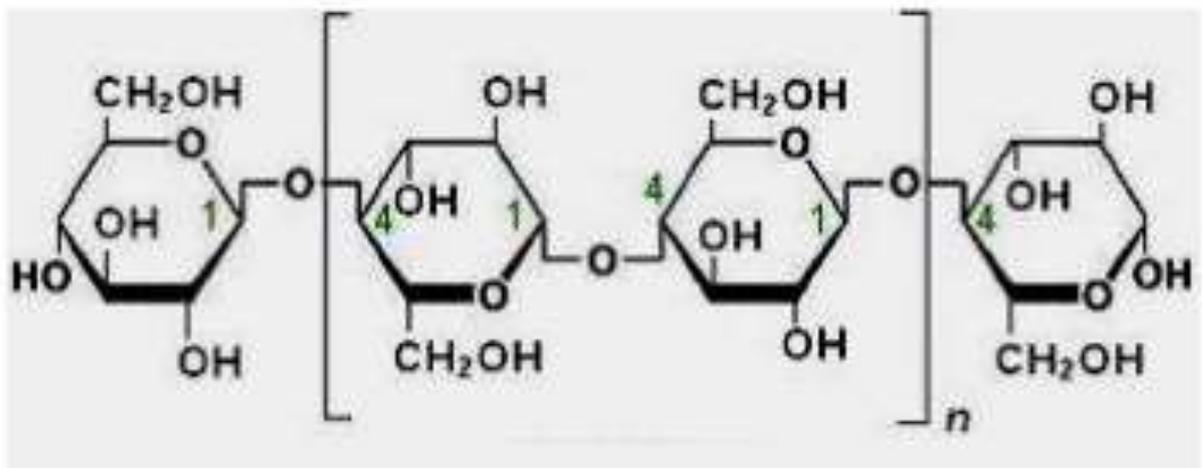
Tabela 3. Análises químicas da celulose sustentável.

Determinações	Celulose Sustentável
pH (1:10)	7,2 – 7,5
Teor de Umidade	8,0 – 9,0%
Material Orgânico	85 - 88%

Fonte: Dos próprios autores, 2023.

A celulose é um carboidrato do tipo polissacarídeo abundante nos vegetais e por isso, comum na natureza. É formada por monômeros de glicose, entre 15 a 15.000, unidos por ligações glicosídicas. Assim, a celulose é um polímero de glicose.

A fórmula química da celulose é $(C_6H_{10}O_5)_n$.

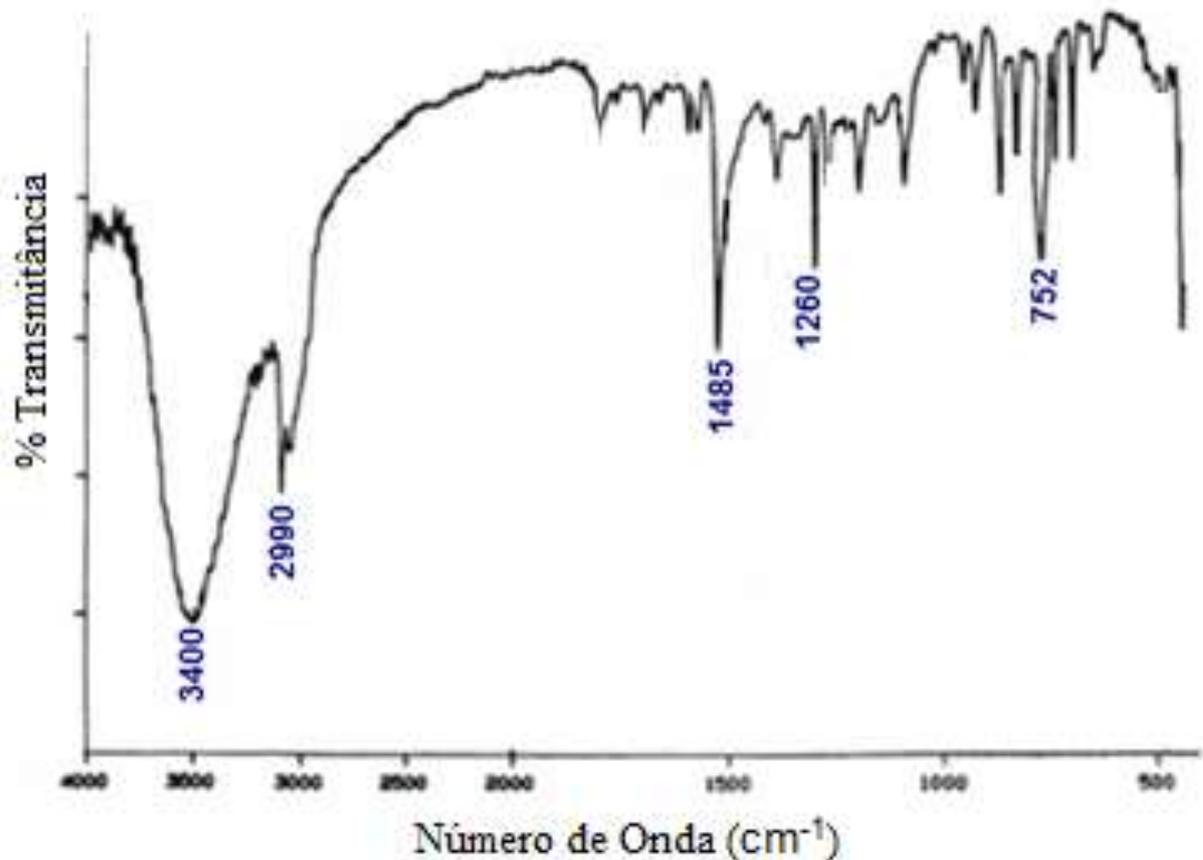
Figura 7. Estrutura da celulose.

Fonte: LIMA NETO, PETROVICK, 1997.

A celulose é um polímero de estrutura linear e estabelece ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxilas presentes. Nas células, as moléculas de celulose se arranjam em forma de feixes de fibras.

A Figura 8 e a Tabela 4 apresentam as análises de espectroscopia de absorção na região do infravermelho da celulose sustentável.

Figura 8. Espectro de absorção na região do infravermelho (FTIR) da celulose sustentável.



Fonte: Dos próprios autores, 2023

Tabela 4. Principais bandas de absorção na região do infravermelho (FTIR) da celulose sustentável.

Principais Bandas de Absorção	Celulose Sustentável
	
Deformação axial de O-H , larga.	3600-3300 cm⁻¹
Deformação axial da ligação C-O dos grupos éteres incorporados na estrutura da celulose sustentável.	1469 cm⁻¹
Deformação axial da ligação C-O dos grupos éteres incorporados na estrutura da celulose sustentável.	1419 cm⁻¹

Fonte: Dos próprios autores, 2023.

A espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR) da celulose sustentável, Figura 8, apresentou as principais bandas características em 3574 cm⁻¹

(deformação axial de O-H, larga); 871, 1419 e 1469 cm^{-1} (ligação C-O dos grupos éteress incorporados na estrutura da celulose sustentável). A partir da análise do FTIR, confirmamos a presença de celulose sustentável de acordo com a literatura (HAYAKAWA *et al.*, 2009; XIA *et al.*, 2009; BHADANG *et al.*, 2004; MAHAN *et al.*, 2000; SILVERSTEIN *et al.*, 1994).

As tecnologias desenvolvidas também apresentaram uma relação custo/benefício, que contemplaram ótimas qualidades aliadas a baixos custos.

4 CONCLUSÕES

Buscar maneiras sustentáveis, econômicas e eficazes para a extração de colágeno sustentável e de baixo custo, foi objetivo deste projeto.

Demonstrar a eficácia desse tipo de tecnologia, bem como sua viabilidade econômica, é particularmente importante no contexto mundial, uma vez que o colágeno pode ser utilizados nas indústrias alimentícias, cosméticas e farmacêuticas.

O projeto está mostrando que é possível desenvolver uma relação de simbiose industrial entre o setor agroindustrial e os setores alimentício, cosmético e farmacêutico e, principalmente, oferecer uma destinação nobre a essa grande quantidade de resíduos oriundos dos revestimentos dos embutidos.

As tecnologias aqui desenvolvidas apresentaram uma relação custo/benefício que contemplaram ótimas qualidades aliadas a baixos custos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOBLARÉ, M. & GARCIA, J.M. & GÓMEZ, M. J. Modeling bone tissue fracture and healing: a review. **Engineering Fracture Mechanics**, 2004, vol. 71, pp. 1809 – 1840.

DRIESSENS, F.C.M.; PLANELL, J.A.; BOLTONG, M.G.; KHAIRON, J.; KHAIRON, J. and GINEBRA, M.P. Osteotransductive bone cements. **Proc Inst Mech Eng.**,1998; 212(6):427-35.

DRIESSENS, F.C.M.; BOLTONG, M.G.; DE MAEYER, E.A.P.; VERCRUYSSSE, C.W.J.; WENZ, R. and VERBEECK, R.M.H. In: LE GEROS, R.Z. and LE GEROS, J.P. (eds.) **Bioceramics Vol. 11 (Proceedings of the 11th International Symposium on Ceramics in Medicine)** New York, World Scientific Publishing, 1988, p. 231-233.

DRIESSENS, F.C.M.; FERNÁNDEZ, E.; GINEBRA, M.P.; BOLTONG, M.G. and PLANELL, J.A. **Anal. Quím. Int.**, 1997, 93:S38-S43.

FÉLIX DE SOUSA, J.D.; BARBOSA, A.F.; DOS SANTOS, D.M.; CANHAMERO, M.; PALMIERI, S.R. **Apostila do CEETEPS: Práticas de Química Ambiental**, São Paulo/SP, 2012, p. 49-71.

FÉLIX DE SOUSA, J.D.; ALMEIDA, A.C.; CÂNDIDO, A.J. *Redução da Toxicidade de Efluentes Industriais até as Condições de Água Potável*; In **3º Mostra Paulista de Ciências e Oçla Engenharia, MOP 2013. Categoria Ciências Exatas**. São Paulo/SP (12/2012); ISBN 978-85-86686-72-6; Site: <http://www.mostrapaulista.org.br>.

FÉLIX DE SOUSA, J.D.; ALMEIDA, A.C.; CÂNDIDO, A.J. *Redução da Toxicidade de Efluentes Industriais até as Condições de Água Potável*; In **12º Feira Brasileira de Ciências e Engenharia, FEBRACE 2012. Categoria Engenharia**. São Paulo/SP (03/2012); ISBN 978-85-86686-65-8; Site: <http://www.febrace.org.br>.

FÉLIX DE SOUSA, J.D.; de SOUSA, W. *Extração de Gelatina Alimentícia de Serragem e Aparas de Wet-Blue (Resíduos Sólidos Classe I de Curtumes)*; In **2º Mostra Paulista de Ciências e Engenharia, MOP 2012. Categoria Ciências Exatas**. São Paulo/SP (12/2012); ISBN 978-85-86686-72-6; Site: <http://www.mostrapaulista.org.br>.

FÉLIX DE SOUSA, J.D.; de SOUSA, W. *Extração de Gelatina Alimentícia de Serragens e Aparas de Wet-Blue (Resíduos Sólidos Classe I de Curtumes)*; In **SeEMTeC-2012 - Semana do Ensino Médio e Técnico e da II Mostra de Trabalhos de Alunos de Cursos Técnicos - Unicamp/Cotuca; Categoria Desenvolvimento de Trabalho Científico**. Campinas/SP (09/2012). Site: <http://www.seemtec2012.cotuca.unicamp.br>. (Trabalho Premiado em 3º Lugar).

FÉLIX DE SOUSA, J.D. **Apostila: Beneficiamento de Peles e Couros**, 2º Edição, Franca/SP, 2009.

FITCH, R.; KERWIN, S.C.; NEWMAN-GAGE, H.; SINIBALDI, K.R. Bone autografts and allografts in dogs., **Cont. Educ. Art.**, 1997; 19(5):559-75.

GOISSIS, G.; BRAILE, D. M.; GIGLIOTI, A. F. Desenvolvimento de Processo Automático para a Reticulação Progressiva de Matrizes de Colágeno com Glutaraldeído. Depto. Química e Física Molecular, IQSC-USP, São Carlos, 1999.

GOMÉZ-ESTACA, J.; MONTERO,P.; FERNÁNDEZ-MARTÍN, F.; GOMÉZ - GUILLÉN. Physicochemical and Film-Forming Properties of Bovine-Hide and Tuna-Skin Gelatin: A Comparative Study. **Journal of Food Engineering**. v.90, p.8-486, 2009.

HENCH, L.L., Wilson, J., "An Introduction to Bioceramics", **Advanced Series in Ceramics**, v. 1, World Scientific, London, UK, 1999.

HORN, M. M. **Obtenção e Caracterização de Hidrógeis de Quitozana, Xantana e Colágeno Aniônico**. 73f. (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

KNABE, C.; DRIESSENS, F.C.M.; PLANELL, J.A., GILDENHAAR, R.; BERGER, C.; REIF, D.; FITZNER, R.; RADLANSKI, R.J. and GROSS, U. Evaluation of calcium phosphates and experimental calcium phosphate bone cements using osteogenic Cultures. **J. Biomed. Mater. Res.** 2000; 52:498-508.

LACERDA, C.; PLEIPIS, A.M.G.; GOISSIS, G. Hidrólise Seletiva de Carboxiamidas de Resíduos de Asparagina e Glutamina em Colágeno: Preparação e Caracterização de Matrizes Aniônicas para Uso como Biomateriais. **Química Nova**, v.21, n.3, p.267-271, 1998.

LEMAITRE, J.; MIRTCHI, A. and MORTIER, A. Silicates Industriels, 1987, 9-10, 141-146.

LIMA NETO, S.A.; PETROVICK, P.R. A Celulose na Farmácia. **Caderno de Farmácia**, v.13, n.1, p.19-23,1997..

MORITA, Tokio; ASSUMPÇÃO, Roseli M. V. **Manual de Soluções, Reagentes & Soluções**, 11º Edição, São Paulo/SP, Editora Edgard Blücher Ltda; 2001.

NIMMI, M.E. Collagen. **Boca Raton: CRC**, 1988, V. 1, p. 1-86.

PARKER, R.B. Injertos ósseos en cirugía de pequeños animales. **Waltam Focus**, 1995;5(2):90-9.

PRESTES, R.C.; GOLUNSKI, S.M.; TONNIAZZO, C.; KEMPKA, A.P.; DI LUCCIO, M. Caracterização da Fibra de Colágeno, Gelatina e Colágeno Hidrolisado. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande**, v.15, n.4, p.375-382, 2013.

SANTOS, L.A.; OLIVEIRA, L.C.; RIGO, E.C.; CARRODEGUAS, R.G.; BOSCHI, A.O.; DE ARRUDA, A.C. Influence of polymeric assitives on the mechanical properties of a-tricalcium phosphate cement. **Bone** 1999; 25(2):99-102.

SILVA, C.; SOMBRA, A.S.B. Estudo das propriedades estruturais e mecânicas do fosfato de cálcio dopado com óxido de silício obtido pelo método do estado sólido. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, América do Sul, 2010.

SILVERSTEIN, R.M.; BASSLER, G.C.; MORRILL; T.C. **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**; LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A.; 1994.

SIONKAWOSKA, A. Modification of Collagen Films by Ultraviolet Irradiation. **Polymer Degradation and Stability**, 2000, v. 68, p. 147-151.

SOARES, G.A. Biomateriais. **Anais. FÓRUM DE BIOTECNOLOGIA BIOMATERIAIS**. Rio de Janeiro: UFRJ, Dezembro, 2005.

XIA, Z.; LIAO, L.; ZHAO, S. Synthesis of mesoporous hydroxyapatite using a modified hardtemplating route. **Materials Research Bulletin**, 2009, **44**(8):1626-1629.

YUAN, H.; LI, Y.; BRUJIN, J.D.; GROOT, K. and ZHANG, X. Tissue responses of calcium phosphate cement: a study in dogs. **Biomaterials**, 2000; 21:1283-90.