

PERSPECTIVAS NO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS RICOS EM CELULOSE PARA O DESENVOLVIMENTO DE BIOPOLÍMEROS COMESTÍVEIS

Perspectives on the use of cellulose-rich agro-industrial waste for the development of edible biopolymers

Leticia Maria de Melo^{1*}; Laylla Nunes Fernandes¹; Marcelo Gomes Soares²;
Vivian Consuelo Reolon Schmidt¹; Marieli de Lima¹

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Uberlândia (UFU) – Campus Patos de Minas – MG, Brasil

²Departamento de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de alimentos, Universidade de Campinas, UNICAMP, Campinas-SP, Brasil

**E-mail*: leticiamelonutri@gmail.com

Data do recebimento: 27/06/2023 - Data do aceite: 27/07/2023

RESUMO: Os resíduos agroindustriais ricos em celulose produzidos em larga escala promovem alto impacto ambiental. Isso pode ser minimizado através da utilização em desenvolvimento de novos produtos, contribuindo para sistemas alimentares sustentáveis. Nesta revisão são apresentados resíduos agroindustriais com potencial para obtenção deste polissacarídeo, além do aproveitamento de celulose no desenvolvimento de novos produtos como: filmes e/ou revestimentos comestíveis em substituição a embalagens convencionais. O rendimento da celulose vegetal obtido de resíduos agroindustriais variou de 56,5% (resíduos do açafraão) a 93,1% (cascas de milho), enquanto a obtenção de celulose bacteriana (CB) a partir de resíduos variou de 1g/L (1% de resíduo de acerola) a 6,7 g/L (hidrolisado da casca de kiwi), com média de rendimento de 3,07 g/L. A celulose também pode ser utilizada como matéria prima no desenvolvimento de novos produtos biodegradáveis, como: nanocelulose e derivados hidrofílicos de celulose. A obtenção da celulose por resíduos permite produções industriais sustentáveis e aplicações inovadoras no setor alimentício de embalagens e de revestimentos. Todavia,

nota-se a escassez de estudos que envolvam padronização de processos fermentativos e as melhores condições de produção de CB que resultem em maior rendimento e uso de forma integral, como fonte de fibras em alimento e/ou como ingrediente.

Palavras-chave: Biomateriais. Celulose bacteriana. Celulose vegetal. Coberturas comestíveis. Sustentabilidade.

ABSTRACT: Agro-industrial residues rich in cellulose, produced on a large scale, has a high environmental impact. This can be minimized through their use in the development of new products, contributing to sustainable food systems. This review presents agro-industrial waste with the potential to obtain this polysaccharide, in addition to the use of cellulose in the development of new products such as: edible films and/or coatings to replace conventional packaging. The yield of vegetable cellulose obtained from agroindustrial residues ranged from 56.5% (saffron waste) to 93.1% (corn husks), whereas the yield of bacterial cellulose (BC) from residues ranged from 1g/L (1% acerola residue) to 6.7 g/L (kiwi peel hydrolyzated), with an average yield of 3.07 g/L. Cellulose can also be used as raw material in the development of new biodegradable products, such as: nanocellulose and hydrophilic cellulose derivatives. Obtaining cellulose from agro-industrial waste allows sustainable industrial production and innovative applications in the food, packaging, and coating sectors. However, there is a lack of studies involving the standardization of fermentative processes and the best conditions for CB production that result in greater yield and full use, as a source of fiber in food and/or as an ingredient.

Keywords: Biomaterials. Bacterial cellulose. Plant cellulose. Edible coatings. Sustainability.

Introdução

A utilização de resíduos da indústria de alimentos para incorporação em filmes comestíveis representa resultados promissores por valorizar os resíduos gerados, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas alimentares sustentáveis (PAPADAKI et al., 2022; SALAZAR et al., 2021). Polissacarídeos, especialmente a celulose, têm sido reconhecidos como matéria-prima renovável que vem ganhando espaço em pesquisas envolvidas no processamento para obtenção

de filmes (HASSAN et al., 2018; KOUHI et al., 2020; YOUSUF et al., 2018).

Apontado como um biorecurso, a celulose é considerada um polissacarídeo abundante na terra, formada a partir de unidades repetidas de D-glicose unidas por ligações glicosídicas $\beta(1\rightarrow4)$, e tem sido amplamente empregada em diversas áreas, como: alimentos, papel, biomateriais, produtos farmacêuticos, entre outros, por apresentar características desejáveis como biocompatibilidade, renovabilidade, não toxicidade e biosustentabilidade (DEBNATH et al., 2021; FREITAS et al., 2021; GÜZEL; AKPINAR, 2020; HASSAN et al., 2018;

HE et al., 2021; PATEL, 2020). Também podem ser utilizados no desenvolvimento de filmes comestíveis, os derivados da celulose, como: metilcelulose (MC), hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e a carboximetilcelulose (CMC), por serem biodegradáveis, insípidos e inodoros (HASSAN et al., 2018; MOHAMMED et al., 2020).

A celulose pode ser encontrada em abundância na natureza e pode ser extraída de fontes variadas. A celulose vegetal é obtida principalmente da madeira, algodão, cânhamo, palma, assim como de materiais à base de plantas, como os resíduos agroindustriais. Além da extração de vegetais, há a celulose bacteriana sintetizada por alguns microrganismos (CAZÓN et al., 2017; XU et al., 2018).

Os resíduos agroindustriais representam uma alternativa que vem ganhando espaço no mercado mundial por conter em sua composição matérias-primas celulósicas com boa disponibilidade, baixo teor de lignina, ciclos de crescimento mais curtos, cujo aproveitamento indica responsabilidade econômica e ambiental (KASSAB et al., 2020).

Diversas pesquisas estão sendo realizadas com foco na elaboração de revestimentos e/ou filmes comestíveis para aplicação em embalagens (AI et al., 2021; ARUN et al., 2022; RAMESH; RADHAKRISHNAN, 2019; RIAZ et al., 2020). Devido a questões relacionadas com a sustentabilidade, juntamente com a preocupação dos consumidores com a saúde humana, frutas e hortaliças combinados com polímeros naturais vêm sendo muito explorados como matrizes formadoras de filmes comestíveis (CIURZYŃSKA et al., 2019). Adicionar purês ou farinhas de frutas e/ou vegetais em soluções filmogênicas é um caminho promissor para a elaboração de filmes comestíveis (KADZIŃSKA et al., 2020).

Diante do exposto, esta revisão traz como objetivo abordar as fontes potenciais de celu-

lose vegetal e bacteriana a partir de resíduos agroindustriais, com ênfase em suas aplicações no desenvolvimento de biopolímeros e coberturas comestíveis.

Obtenção de celulose vegetal a partir de resíduos agroindustriais

A celulose está presente como componente estrutural em plantas e resíduos agrícolas, que são constituídos por celulose, hemicelulose e lignina. Por isso, podem ser utilizados de forma eficiente para a extração deste biopolímero e seus derivados (BAHLOUL et al., 2021; DEBNATH et al., 2021; KASSAB et al., 2020; XU et al., 2018). A utilização de resíduos agroindustriais contendo celulose para desenvolvimento de filmes foi proposta por diversos autores (AI et al., 2021; ARUN et al., 2022; COLLAZO-BIGLIARDI et al., 2018; DAI et al., 2018; RAMESH; RADHAKRISHNAN, 2019; ZHAO et al., 2019). Ressalta-se que existem estudos visando ao grande potencial de aproveitamento da celulose provinda de resíduos agroindustriais, porém essas pesquisas estão voltadas para a extração dos derivados da celulose para o desenvolvimento de biofilmes substitutos de embalagens convencionais, como pode ser visualizado na Tabela I.

Após o processamento agroindustrial dos alimentos, vários tipos de resíduos são gerados e podem ser aproveitados para a extração de celulose. A Tabela I demonstra estudos que extraíram celulose, utilizando resíduos provenientes do abacaxi, açafrão, arroz, banana, batata, berinjela, café, cânhamo, coco, durião, fava, milho, palma, tomate, uva e vagem.

Nas etapas da cadeia produtiva alimentícia (colheita, transporte, armazenamento, processamento industrial, comercialização) são gerados resíduos, como cascas, sementes, caroços, polpas e folhas; estes possuem em sua composição diversos nutrientes, principalmente carboidratos (FREITAS et

al., 2021). Como demonstrado na Tabela I, houve a prevalência da utilização de cascas, seguida de resíduos pós-colheita, incluindo caules, pseudocaules e folhas.

A partir dos estudos apresentados na Tabela I, observou-se que os resíduos, após sofrerem algum tipo de tratamento (branqueamento, alcalinização e/ou deslignificação), apresentaram valores diversos de celulose, variando de 56,5% (resíduos do açafão, como caule e folhas) a 93,1% (cascas de milho). O alto rendimento de extração pode estar relacionado à parte aproveitada (caule e folhas versus cascas) e/ou ao tratamento aplicado sobre os resíduos com melhor desempenho, como tratamento alcalino e hidrólise ácida com ácido acético a 10% (v/v) por 10 min versus tratamento alcalino, deslignificação e hidrólise ácida com ácido sulfúrico a 72% (v/v) a 30°C por 1 hora.

Observou-se que os tratamentos utilizados foram semelhantes entre os trabalhos, incluindo o tratamento branqueador, alcalino e hidrólise ácida. No entanto, algumas peculiaridades foram observadas nos procedimentos para a extração dos derivados da celulose (nanocelulose), como a utilização de ultrassom (ARUN et al., 2022; BAHLOUL et al., 2021; COELHO et al., 2018), homogeneização de alta pressão (ARUN et al., 2022; XU et al., 2018), processamento em duas etapas composto por desfibrilação contínua e método indireto com diluição do gel (PACAPHOL et al., 2019) e hidrólise ácida diferente da tradicional com H₂SO₄ (BAHLOUL et al., 2021; KASSAB et al., 2020).

Os estudos da Tabela I também indicaram que o rendimento de nanocelulose (NCC, NFC e NCP) de resíduos de abacaxi, uva (tratada por 30 e 60 min), batata, coco, ervilha e fava foram de 21%, 27,56%, 20,96%, 39,8%, 41,67%, 50% e 66%, respectivamente, sendo variável, conforme o tipo de matéria-prima utilizada para a extração, visto que todos os resíduos foram submetidos a tratamentos

semelhantes, o que incluiu um pré-tratamento (secagem, tratamento branqueador e tratamento alcalino), seguido da hidrólise com ácido sulfúrico H₂SO₄.

Após a aplicação dos tratamentos e extração dos derivados de celulose (MFC e NCC) de vagens de ervilha crua moídas (RP) e favas (RB), os autores calcularam o rendimento obtido, sendo que o rendimento de MFCE e MFCEB foi de 20% e 18% de CMF seco em relação ao peso de RP e RB, e o rendimento percentual de NCCP e NCCB em relação ao CMF foi de 50% e 66%, respectivamente (KASSAB et al., 2020).

A palha de milho consiste em um resíduo agrícola com baixo valor econômico, porém pode ser considerada uma boa fonte para extração de celulose e derivados (XU et al., 2018). Estes mesmos autores, após a determinação da composição da palha de milho, observaram que a versão crua tinha 44,4% de celulose, 27,8% de hemiceluloses e 19,6% de lignina.

Após os tratamentos para extração da celulose, a amostra de palha de milho foi purificada para 93,1% de celulose, 2,5 % de hemicelulose e 3,4% de lignina. Por outro lado, Ai et al., (2021) observaram que a fibra do caule da banana crua continha 48,0% de celulose, 21,1% de hemicelulose e 15,7% de lignina, e o resíduo deslignificado 79,1% de celulose, 7,6% de hemicelulose e 3,2% de lignina. Tais dados demonstram que diversos resíduos podem ser utilizados como matéria prima (em especial a celulose e seus derivados) para aplicações em novos produtos.

Obtenção de celulose de origem bacteriana a partir de resíduos agroindustriais

Apesar de a celulose estar presente em uma grande quantidade de plantas, esse não é o único meio de obter celulose. Esta também

Tabela I- Resíduos agroindustriais utilizados para extração de celulose e produtos gerados.

Resíduo	Produtos gerados	Referência
Bagaços de uva	NCC	(COELHO et al., 2018)
Cascas de abacaxi	NCC e filme de goma gelana com NCC da casca do abacaxi e glicerol.	(DAI et al., 2018)
Cascas de arroz	NCC e filmes de amido de milho com glicerol com fibras isoladas e NFC.	(COLLAZO-BIGLIARDI et al., 2018)
Cascas de café	NCC e filmes de amido de milho com glicerol com fibras isoladas e NFC.	(COLLAZO-BIGLIARDI et al., 2018)
Resíduos de açafraão	Fibras de celulose	(ILANGO VAN et al., 2018)
Palha de milho	NFC e filmes de celulose de palha de milho com e sem cisalhamento	(XU et al., 2018)
Troncos de Cânhamo (<i>Cannabis sativa</i>)	NFC e suspensão de nanocelulose NFC	(PACAPHOL et al., 2019)
Durian (<i>Durio Zibethinus Murr</i>)	MCC e filme de embalagem	(ZHAO et al., 2019)
Cascas de batata	NCP e filme a base de PVA com adição de nanopartículas de celulose e óleo essencial de semente de erva-doce.	(RAMESH; RADHAKRISHNAN, 2019)
Resíduo de vagem de ervilha (<i>Pisum Sativum</i>) e fava (<i>Vicia Faba</i>)	MFC e NCC	(KASSAB et al., 2020)
Resíduo da planta de tomate	MFC e NCC sulfatado, fosforilado e carboxilado	(KASSAB et al., 2020)
Caule da bananeira	Fibras de celulose	(AI et al., 2021)
Berinjela	MFC e NCC sulfatado e fosforilado	(BAHLOUL et al., 2021)
Fibra de palma	Fibras de cellulose	(KAMZARI et al., 2021)
Cascas de coco	NFC e filme a base de PVA com adição de nanofibras de celulose e óleo de linhaça e óleo de limão.	(ARUN et al., 2022)

Legenda: Celulose microcristalina (MCC), celulose nanocristalina (NCC) ou nanopartículas do tipo whisker e celulose nanofibrilada (NFC), nanopartículas de celulose (NCP), celulose microfibrilada (MFC)

pode ser sintetizada por microrganismos, como fungos, algas e bactérias, originando a CB, e quando comparada à celulose vegetal é

considerada mais pura, por ser livre de outros compostos (CAZÓN et al., 2017; LIN et al., 2013; UZYOL; SAÇAN, 2017).

A CB, em termos de composição química, é idêntica à celulose vegetal, contudo apresenta características físico-químicas e mecânicas diferentes, como maior cristalinidade, maior pureza, maior capacidade de absorção e retenção de água, maior resistência, maior grau de polimerização, melhor adaptabilidade biológica, sendo, portanto, uma potencial alternativa para aplicações na indústria de alimentos (CAZÓN et al., 2017; FAN et al., 2016; LI et al., 2021; LIN et al., 2020; SALARI et al., 2019; SHI et al., 2014; UL-ISLAM et al., 2019; UZYOL; SAÇAN, 2017; VIANA et al., 2018; YU et al., 2023; ZHOU, Xiaoyan et al., 2022).

Uma das estratégias econômicas para obter CB com baixo custo é a utilização de resíduos alimentares como substrato para a fermentação. Alguns estudos estão sendo desenvolvidos a fim de avaliar o rendimento, as condições de fermentação e a eficácia dessa técnica, conforme demonstrado na Tabela II (AI et al., 2021; ANDRITSOU et al., 2018; GÜZEL; AKPINAR, 2019, 2020; LEONARSKI et al., 2021; LI et al., 2021; SALARI et al., 2019; ZHOU, Xiaotong et al., 2022).

Androutsou et al., (2018) utilizaram sucos cítricos (laranja e toranja) de frutas inteiras descartadas de feiras livres e extratos aquosos de resíduos sólidos cítricos (laranja, toranja e limão) como substrato para obtenção de CB fermentado por *K. sucrofermentans*. O meio à base de suco de toranja levou à maior concentração de celulose bacteriana (6,7 g/L) após 11 dias, enquanto a produção de CB obtida por meio de culturas bacterianas em extratos de casca de toranja foi de 5,0 g/L, suco de laranja de 6,1 g/L e extratos de casca de limão de 5,2 g/L, demonstrando que esses resíduos podem ser promissores na obtenção de CB. A menor concentração de CB produzida após 13 dias foi observada quando os extratos de casca de laranja foram utilizados (2,9 g/L).

A utilização de resíduos cítricos (cascas de limão, tangerina, laranja e toranja) tam-

bém foi proposta por Güzel; Akpinar (2019), porém utilizaram condições diferentes de fermentação e microrganismos (*Komagataeibacter hansenii*). O rendimento de CB apresentou diferença significativa dentre os resíduos utilizados e variou de 2,06 g/L a 3,92 g/L, com rendimentos de 2,06g/L, 2,33 g/L, 2,68 g/L e 3,92 g/L para cascas de limão, laranja, toranja e tangerina, respectivamente. Esses resultados corroboram com a ideia de que as condições utilizadas por Androutsou et al., (2018) foram mais eficazes para obtenção de CB.

Melaço de beterraba e soro de queijo são resíduos agroindustriais ricos em nutrientes, como açúcares, proteínas, vitaminas e minerais e, por isso, podem ser utilizados como substrato para fermentação. Salari et al., (2019), desenvolveram uma pesquisa com intuito de avaliar o rendimento da produção de CB, e o estudo foi conduzido em 3 diferentes meios de cultura: grupo controle, grupo com melaço de beterraba e grupo contendo soro de queijo. Após 14 dias de fermentação, o meio contendo melaço de beterraba apresentou o maior rendimento de BC (25,34% ou 4,56 g/L), seguido do meio de soro de queijo (16,37% ou 3,55 g/L), enquanto o grupo controle apresentou a menor produção de BC (14,2% ou 3,26 g/L).

Hidrolisados de casca de frutas e vegetais (casca de pepino, melão, kiwi, tomate, maçã, marmelo e romã) foram utilizados como substrato para produção de CB por *K. hansenii* por um período de 21 dias de fermentação. Os rendimentos de BC variaram entre 1,54% e 11,53% (p/p), sendo que o substrato com menor e maior rendimento foram para casca de maçã e kiwi, respectivamente, enquanto o grupo controle apresentou um rendimento de 7,44 g/L (GÜZEL; AKPINAR, 2020).

Resíduos de cozinha provenientes do refeitório da Universidade Agrícola de Nanjing (Nanjing, China) foram utilizados como substrato nas formas macerada e hidrolisadas

para obtenção de CB; as bactérias produtoras de CB foram isoladas de kombucha comercial (*Komagataeibacter rhaeticus* - *K. rhaeticus* K15). Os autores observaram que a CB aumentou progressivamente com a redução contínua da fonte de carbono residual (consumindo cerca de 63,85% de glicose durante a fermentação), e ao fim de 10 dias apresentou rendimento de 3,69 g/L no meio de cozinha macerado, enquanto o grupo hidrolisado apresentou rendimento de 0,81 g/L (LI et al., 2021).

Leonarski et al., (2021) utilizaram o subproduto da acerola como matéria-prima para fermentação. As concentrações de subproduto de extrato de acerola utilizadas foram de 1, 3 e 5% (p/v em base seca). Os extratos foram filtrados em condições estéreis e foram adicionados 70 g/L do substrato (glicose e frutose 1:1) e 10% (v/v) de inóculo. Os microrganismos identificados no inóculo foram: bactérias (*Komagataeibacter rhaeticus*, *Bacillus megaterium*, *Bacillus aryabhattai*, *Bacillus flexus* e *Bacillus simplex*) e leveduras (*Brettanomyces bruxellensis* e *Zygosaccharomyces bisporus*). A amostra de CB com 1% de substrato apresentou a menor concentração de celulose, resultando em 1 g/L após 15 dias, enquanto as concentrações de 3% e 5% de extrato de acerola resultaram em 1,95 e 4,01 g/L de celulose, respectivamente.

Em contrapartida, Zhou et al., (2022), utilizaram diferentes condições (substratos, microrganismos, tempo e temperatura de fermentação) para produção de CB. Propuseram três grupos: grupo controle, grupo hidrolisado enzimático de flor de jasmim (JEH) e grupo hidrolisado enzimático de flor de jasmim suplementado (5g/L de extrato de levedura e triptona- SJEH), e o microrganismo empregado foi *Taonella mepensis*. A produção de CB com JEH foi menor ($1,79 \pm 0,17$ g/L) em comparação com o grupo controle ($2,29 \pm 0,23$ g/L) e quando suplementado o rendi-

mento de CB aumentou 2,67 vezes, de $1,79 \pm 0,17$ g/L (JEH) para $4,78 \pm 0,20$ g/L (SJEH).

Sabe-se que vários fatores podem influenciar na produção e no rendimento de CB, porém percebe-se que ainda são empregadas diversas metodologias de fermentação. Conforme apontado na Tabela II, o período de fermentação dos estudos variou de 10 a 21 dias, com faixas de temperatura com variação de 28°C a 32 °C, abrangendo a utilização de diversos substratos e microrganismos.

Mediante a análise dos dados apresentados, percebe-se o interesse em obter CB de resíduos agroindustriais, porém ainda não é padronizada na literatura uma metodologia considerada ideal, variando de 1g/L (solução contendo 1% de resíduo de acerola) a 6,7 g/L (hidrolisado da casca de kiwi), com uma média de rendimento de CB de 3,07 g/L dos valores apontados nos estudos. Essa variação de rendimento comprova a influência de diversos fatores na produção de CB, sendo necessários mais estudos a fim de padronizar as condições ideais de fermentação, substratos e microrganismos que otimizem o rendimento de CB.

Produção de biopolímeros biodegradáveis e/ou comestíveis à base de celulose

Kouhi et al., (2020), Mohamed et al., (2020), Yousuf et al., (2018), Hassan et al., (2018) e Amin et al., (2021) enfatizam a diferença entre as nomenclaturas “filme comestível” e “revestimento comestível”. O revestimento comestível consiste em uma camada fina, com cerca de 0,3 mm, aplicada diretamente na superfície dos alimentos na forma líquida, com intuito de formar uma camada na superfície, enquanto os filmes são aplicados como uma folha sólida, sendo formado sobre ou entre os componentes dos

Tabela II - Resíduos agroindustriais utilizados como substrato para produção de celulose bacteriana, condições de fermentação, e microrganismos envolvidos

Resíduo	Condições de fermentação	Microrganismos	Referência
Sucos cítricos (laranja e toranja) e extratos aquosos de resíduos sólidos cítricos (laranja, toranja e limão)	Informou somente o período de fermentação (14 dias)	<i>Komagataeibacter sucrofermentans</i> (<i>K. sucrofermentans</i> DSM 15973)	(ANDRITS OU et al., 2018)
Cascas de limão, tangerina, laranja e toranja	Meio estático, fermentado por 21 dias a 28°C-32°C	<i>Komagataeibacter hansenii</i> (<i>K. hansenii</i> GA2016)	(GÜZEL; AKPINAR, 2019)
Melaço de beterraba e soro de queijo	Meio estático, fermentado por 14 dias a 28°C	<i>Gluconacetobacter xylinus</i> (<i>G. xylinus</i> PTCC 173)	(SALARI et al., 2019)
Casca de pepino, melão, kiwi, tomate, maçã, marmelo e romã	Meio estático, fermentado por 21 dias a 28°C-32°C	<i>Komagataeibacter hansenii</i> (<i>K. hansenii</i> GA2016)	(GÜZEL; AKPINAR, 2020)
Subproduto da acerola em 3 concentrações (1%, 3%, 5%)	Meio estático, fermentado por 15 dias a 30°C	<i>Komagataeibacter rhaeticus</i> , <i>Bacillus megaterium</i> , <i>Bacillus aryabhatai</i> , <i>Bacillus flexus</i> e <i>Bacillus simplex</i> como bactérias; e <i>Brettanomyces bruxellensis</i> e <i>Zygosaccharomyces bisporus</i>	(LEONARS KI et al., 2021)
Resíduos de cozinha	Meio estático, fermentado por 10 dias a 30°C	<i>Komagataeibacter rhaeticus</i> (<i>K. rhaeticus</i> K15)	(LI et al., 2021)
Hidrolisado enzimático de flor de jasmim	Meio estático, fermentado por 14 dias a 30°C	<i>Taonella mepensis</i> (<i>T.mepensis</i> WT-6)	(ZHOU, J. et al., 2022)

alimentos. Maringgal et al., (2020) salientam que o revestimento comestível pode ser consumido como um todo como parte do produto.

Polímeros naturais, como os polissacarídeos (amido, celulose, quitosana, pectina, alginato, carragenina, etc), consistem em macromoléculas de carboidratos complexos unidos por dois ou mais monossacarídeos através de ligações glicosídicas por meio de reações de condensação. Eles podem ser utilizados pela indústria alimentícia por apresentar diversas funções, como estabilizantes, espessantes, agentes gelificantes e encap-

sulantes, além de atuar como inibidores de cristalização (HASSAN et al., 2018; KOUHI et al., 2020; ZHOU, Xiaoyan et al., 2022).

Trabalhos de revisão bibliográfica abordam os possíveis constituintes utilizados para a elaboração de filmes ou revestimentos comestíveis à base de materiais ecologicamente sustentáveis e biodegradáveis, como as proteínas, polissacarídeos, lipídeos e compósitos de forma ampla (AMIN et al., 2021; CAZÓN et al., 2017; HASSAN et al., 2018; MOHAMED et al., 2020; YOUSUF et al., 2018).

Derivados da celulose, como a hidroxiethylcelulose (HEC), um composto não iônico, que não causa toxicidade e, por suas características hidrofílicas e insípidas, pode ser empregada em produtos alimentícios. Liu et al., (2021) objetivaram a criação e a avaliação dos efeitos de dois revestimentos na qualidade de morangos, um revestimento contendo HEC associado a alginato de sódio (AS), extrato de resíduo de aspargo e glicerol, e outro revestimento com os mesmos ingredientes, exceto o AS.

Com o mesmo propósito de desenvolvimento de filmes, porém com a utilização de outro derivado da celulose (CMC), Ruan et al., (2019), propuseram o desenvolvimento de filmes compostos à base de dois polissacarídeos (AS-CMC) adicionados de epigallocatequina (EGCG) em diferentes concentrações e testaram algumas propriedades físicas, mecânicas e morfológicas dos filmes. Além disso, o estudo de Ruan et al., (2019) abordaram a aplicação de revestimentos comestíveis à base de AS-CMC em carne suína, incorporando EGCG. Essa abordagem resultou em melhorias em propriedades do filme, incluindo um aumento no potencial de barreira contra oxigênio e a perda de água, bem como o controle do crescimento microbiano. Por consequência, observou-se uma extensão na vida útil do produto devido à redução da oxidação lipídica e da degradação proteica.

Shahbazi (2018) propôs de forma similar ao estudo de Ruan et al., (2019) a combinação de dois polissacarídeos, o CMC e a quitosana, com óleo essencial de *Mentha spicata* para o desenvolvimento de embalagens ativas aplicadas em morangos frescos. Esses estudos mostraram resultados convergentes, indicando a obtenção de efeitos comparáveis. Notavelmente, a presença de concentrações mais elevadas do óleo essencial a 0,2% nos tratamentos resultou em benefícios, como a

redução de contagens bacterianas (incluindo bactérias psicrotólicas e *L. monocytogenes*), fungos e leveduras, contribuindo para a extensão do período de armazenamento viável de morangos frescos, que chegou a 12 dias. Tais melhorias podem ser atribuídas, em parte, às propriedades de barreira, aos gases e à umidade proporcionadas pelos polímeros empregados. No entanto, é importante ressaltar que o revestimento comestível à base de quitosana, associado ao óleo essencial de menta, mostrou-se mais eficaz no controle de perda de água nos frutos do que os revestimentos baseados em CMC.

No contexto do desenvolvimento de embalagens biodegradáveis, comestíveis e funcionais, o uso desses polímeros ganha destaque ao permitir a impregnação de substâncias bioativas e antimicrobianas. A produção de filmes bioativos à base de CMC em associação com extrato de raiz de cebolinha foi testada por Riaz et al., (2020), como material de embalagem para o armazenamento de óleo de girassol. Vale ressaltar que os autores utilizaram raízes de cebolinha que são desperdiçadas, buscando extrair e explorar o seu potencial bioativo e antioxidante na formulação desses filmes. Diferente dos trabalhos propostos por Ruan et al., (2019) e Shahbazi (2018), os autores deste estudo aplicaram somente um polissacarídeo para o desenvolvimento do filme.

O aproveitamento de resíduos para a extração de celulose e aplicação em filmes também foi realizado por Zhou et al., (2022). Neste estudo, a celulose foi extraída do extrato de alcachofra de Jerusalém e foi utilizada como matéria-prima em associação à quitosana a fim de preparar um revestimento comestível para preservação de mirtilos. Foram preparados cinco (5) filmes com formulações em diferentes concentrações de celulose (0%, 0,10%, 0,20%, 0,30% e 0,40%). Os filmes de-

envolvidos preservaram os ácidos orgânicos dos frutos e retardaram a oxidação das antocianinas; além disso, a adição da referida fibra propiciou melhoria na estabilidade térmica do filme, principalmente na concentração de 0,3%. Entretanto, os autores evidenciaram que, com o aumento na concentração da fibra, houve um comprometimento da estrutura microscópica do filme, pois favoreceu o surgimento de poros que influenciou em maior perda de água dos mirtilos, todavia, os nutrientes foram preservados.

Outro potencial de utilização da celulose e derivados consiste na preparação de filmes para aprisionamento de bactérias probióticas. Singh et al., (2019), utilizaram derivados da celulose (CMC e HEC) e ácido cítrico como agente reticulante por ser aceitável na indústria alimentícia devido à sua biocompatibilidade e à capacidade hidrofílica e testaram 5 concentrações para elaboração de filmes.

A nanocelulose, outro derivado da celulose, foi estudada e empregada como revestimento de espinafre pós-colheita. Os autores desenvolveram suspensões à base de nanocelulose obtidas a partir da celulose proveniente de resíduos agroindustriais (troncos de cânhamo- *Cannabis sativa*) em três concentrações diluídos em água destilada, 0,1, 0,3 e 0,5% p/v, e foram aplicadas para estudar o efeito de várias concentrações na retenção de qualidade de vegetais minimamente processados, como o espinafre (PACAPHOL et al., 2019).

O caule da bananeira consiste em uma biomassa com alto teor de fibra de celulose e representa cerca de 88% da parte não comestível da planta inteira. Filmes de celulose regenerada foram sintetizados a partir de fibras deslignificadas de caule de bananeira, utilizando um líquido iônico (cloreto de 1-alil-3-metilimidazólio [AMIm] Cl) e, em seguida, foram avaliados como material de embalagem para preservação de mangas (AI et al., 2021).

A celulose bacteriana constitui uma possibilidade de obtenção de celulose para utilização em biofilmes comestíveis, possuindo baixo custo de processamento, alta pureza por não possuir resíduos de lignina ou hemicelulose, apresentando também a vantagem de ser obtida a partir de uma ampla variedade de resíduos alimentares, não apresentando limitação de disponibilidade de matéria-prima, sendo caracterizada como um processo bioeconômico aplicável pelas indústrias de alimentos (PAPADAKI et al., 2022; ZHOU, Xiaoyan et al., 2022).

Neste sentido, Wang et al., (2017) utilizaram proteínas extraídas de resíduos secos da destilaria de trigo em associação ao CB seco produzidos em laboratórios próprios e testaram 4 formulações com diferentes concentrações de CB (1,1%, 1,6%, 1,8% e 2,0% (com base no peso da proteína) para obtenção de filmes.

Um estudo para obtenção de filmes, utilizando purê de frutas e celulose bacteriana foi realizado por Viana et al., (2018), que extraíram NFC, um dos derivados da celulose da CB, e prepararam 3 tipos de filmes (sem frutas, com manga e goiaba) com 5 formulações, sendo que para cada tipo de filme foram aplicadas diferentes concentrações de NFC em substituição da pectina (0, 25, 50, 75 e 100%).

Papadaki et al., (2022) avaliaram as propriedades do efeito da adição de nanowhiskeys de CB em filmes comestíveis de proteína do soro de leite a fim de propor um filme comestível e/ou biodegradável promissor para aplicações alimentícias. A associação de proteínas com nanopartículas de CB para obtenção de filmes também foi proposta por Wang et al., (2021), e objetivaram a criação de filmes contendo em sua composição gelatina, nanopartículas de CB e Mg para aplicação em ovos.

A associação de proteínas com derivados da celulose também foi desenvolvida por Rojas-Lema et al., (2021) cujo trabalho foi avaliar o efeito da incorporação de concentrações variadas de CNC extraídos da pinha (1, 3, 5 e 7%) com proteína de feijão fava (*Vicia Faba L.*) em filmes biodegradáveis para aplicação em embalagens de alimentos comestíveis.

Uma proposta para desenvolvimento de filme ecologicamente correto e com atividade biológica à base de CB em associação com a quitosana e a cúrcuma foi testado por Xu et al., (2021) e apresentaram resultados satisfatórios. Com o mesmo propósito de obter um filme ecologicamente correto, porém com a utilização de outro ativo (polifenóis de chá) Zhou et al., (2022), objetivaram a criação de um filme compósito, utilizando como ingredientes CB, QS e polifenóis do chá, com concentrações variadas do último ingrediente (0, 2, 4, 6, 8 e 10%) e testaram a efetividade em pedaços de peixe (carpa capim).

Diante de tais estudos, percebe-se que a comunidade científica tem se dedicado à criação de biofilmes comestíveis com melhores propriedades, reforçando a necessidade de mais investimento em pesquisas para obtenção de filmes à base de celulose (vegetal e bacteriana).

Considerações Finais

A celulose pode ser considerada uma excelente matéria-prima para as indústrias no desenvolvimento de novos produtos, podendo ser obtida de resíduos agroindustriais, favorecendo a criação de um sistema sustentável. Os resíduos podem servir como substrato para a fermentação por microrganismos para obtenção de CB, porém, existe a necessidade de esclarecer e padronizar as melhores condições para favorecer um alto rendimento de CB.

A celulose vegetal, bacteriana e seus derivados pode ser utilizada no desenvolvimento de filmes e/ou revestimentos comestíveis, seja na forma isolada ou em associação a outros polímeros, além da possibilidade da utilização de ingredientes com propriedades antioxidantes e antimicrobianos para aumentar a vida de útil de produtos perecíveis.

Ainda são escassos os estudos que utilizam a CB (biofilme) em sua forma íntegra, sendo necessário o investimento em pesquisas para possibilitar o desenvolvimento de novos produtos apropriados para o consumo humano, utilizando a celulose vegetal e/ou bacteriana como fonte de fibras associada a outros ingredientes alimentícios.

AGRADECIMENTOS

À fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de mestrado para uma das autoras.

REFERÊNCIAS

- AI, B.; ZHENG, L.; LI, W.; ZHENG, X.; YANG, Y.; XIAO, D.; SHI, J.; SHENG, Z. Biodegradable Cellulose Film Prepared From Banana Pseudo-Stem Using an Ionic Liquid for Mango Preservation. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, n. February, p. 1-10, 2021.
- AMIN, U.; KHAN, M. U.; MAJEED, Y.; REBEZOV, M.; KHAYRULLIN, M.; BOBKOVA, E.; SHARIATI, M. A.; CHUNG, I. M.; THIRUVENGADAM, M. Potentials of polysaccharides, lipids and proteins in biodegradable food packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 183, n. May, p. 2184-2198, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.182>.
- ANDRITSOU, V.; DE MELO, E. M.; TSOUKO, E.; LADAKIS, D.; MARAGKOUDAKI, S.; KOUTINAS, A. A.; MATHARU, A. S. Synthesis and Characterization of Bacterial Cellulose from Citrus-Based Sustainable Resources. **ACS Omega**, v. 3, n. 8, p. 10365-10373, 2018. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.8b01315>.
- ARUN, R.; SHRUTHY, R.; PREETHA, R.; SREEJIT, V. Biodegradable nano composite reinforced with cellulose nano fiber from coconut industry waste for replacing synthetic plastic food packaging. **Chemosphere**, v. 291, n. P1, p. 132786, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132786>.
- BAHLOUL, A.; KASSAB, Z.; EL BOUCHTI, M.; HANNACHE, H.; QAISS, A. E. K.; OUMAM, M.; EL ACHABY, M. Micro- and nano-structures of cellulose from eggplant plant (*Solanum melongena* L) agricultural residue. **Carbohydrate Polymers**, v. 253, n. October 2020, p. 117311, 2021.
- CAZÓN, P.; VELAZQUEZ, G.; RAMÍREZ, J. A.; VÁZQUEZ, M. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 136-148, 2017.
- CIURZYŃSKA, A.; CIEŚLUK, P.; BARWIŃSKA, M.; MARCZAK, W.; ORDYNIĄK, A.; LENART, A.; JANOWICZ, M. Eating Habits and Sustainable Food Production in the Development of Innovative “Healthy” Snacks. **Sustainability**, v. 11, n. 10, p. 2800, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2800>.
- COELHO, C. C. S.; MICHELIN, M.; CERQUEIRA, M. A.; GONÇALVES, C.; TONON, R. V.; PASTRANA, L. M.; FREITAS-SILVA, O.; VICENTE, A. A.; CABRAL, L. M. C.; TEIXEIRA, J. A. Cellulose nanocrystals from grape pomace: Production, properties and cytotoxicity assessment. **Carbohydrate Polymers**, v. 192, n. March, p. 327-336, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.023>.
- COLLAZO-BIGLIARDI, S.; ORTEGA-TORO, R.; CHIRALT BOIX, A. Isolation and characterisation of microcrystalline cellulose and cellulose nanocrystals from coffee husk and comparative study with rice husk. **Carbohydrate Polymers**, v. 191, n. October 2017, p. 205-215, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.022>.
- DAI, H.; OU, S.; HUANG, Y.; HUANG, H. Utilization of pineapple peel for production of nanocellulose and film application. **Cellulose**, v. 25, n. 3, p. 1743-1756, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10570-018-1671-0>.
- DEBNATH, B.; HALDAR, D.; PURKAIT, M. K. A critical review on the techniques used for the synthesis and applications of crystalline cellulose derived from agricultural wastes and forest residues. **Carbohydrate Polymers**, v. 273, n. July, p. 118537, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118537>.

FAN, X.; GAO, Y.; HE, W.; HU, H.; TIAN, M.; WANG, K.; PAN, S. Production of nano bacterial cellulose from beverage industrial waste of citrus peel and pomace using *Komagataeibacter xylinus*. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 1068-1072, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.062>.

FREITAS, L. C.; BARBOSA, J. R.; COSTA, A. L. C.; BEZERRA, F. W. F.; PINTO, R. H. H.; JUNIOR, R. N. de C. From waste to sustainable industry: How can agro-industrial wastes help in the development of new products?. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 169, n. December 2020, p. 105466, 2021.

GÜZEL, M.; AKPINAR, Ö. Preparation and characterization of bacterial cellulose produced from fruit and vegetable peels by *Komagataeibacter hansenii* GA2016. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 162, p. 1597-1604, 2020.

GÜZEL, M.; AKPINAR, Ö. Production and Characterization of Bacterial Cellulose from Citrus Peels. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, n. 8, p. 2165-2175, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s12649-018-0241-x>.

HASSAN, B.; CHATHA, S. A. S.; HUSSAIN, A. I.; ZIA, K. M.; AKHTAR, N. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 1095-1107, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097>.

HE, X.; LU, W.; SUN, C.; KHALESİ, H.; MATA, A.; ANDALEEB, R.; FANG, Y. Cellulose and cellulose derivatives: Different colloidal states and food-related applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 255, n. August 2020, p. 117334, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117334>.

ILANGO VAN, M.; GUNA, V.; HU, C.; NAGANANDA, G. S.; REDDY, N. Curcuma longa L. plant residue as a source for natural cellulose fibers with antimicrobial activity. **Industrial Crops and Products**, v. 112, n. September 2017, p. 556-560, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.042>.

KADZIŃSKA, J.; BRYŚ, J.; OSTROWSKA-LIGEŻA, E.; ESTÉVE, M.; JANOWICZ, M. Influence of vegetable oils addition on the selected physical properties of apple–sodium alginate edible films. **Polymer Bulletin**, v. 77, n. 2, p. 883-900, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00289-019-02777-0>.

KAMZARI, S. M. A.; AL; RAO, L. N.; LAKAVAT, M.; GANDI, S.; REDDY P, S.; KAVITHA SRI, G. Extraction and characterization of cellulose from agricultural waste materials. **Materials Today: Proceedings**, n. xxxx, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.030>.

KASSAB, Z.; ABDELLAOUI, Y.; SALIM, M. H.; EL ACHABY, M. Cellulosic materials from pea (*Pisum Sativum*) and broad beans (*Vicia Faba*) pods agro-industrial residues. **Materials Letters**, v. 280, p. 128539, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.128539>.

KASSAB, Z.; KASSEM, I.; HANNACHE, H.; BOUHIFID, R.; QAISS, A. E. K.; EL ACHABY, M. **Tomato plant residue as new renewable source for cellulose production: extraction of cellulose nanocrystals with different surface functionalities**, 2020.

KOUHI, M.; PRABHAKARAN, M. P.; RAMAKRISHNA, S. Edible polymers: An insight into its application in food, biomedicine and cosmetics. **Trends in Food Science and Technology**, v. 103, n. April, p. 248-263, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.025>.

LEONARSKI, E.; CESCO, K.; ZANELLA, E.; STAMBUK, B. U.; DE OLIVEIRA, D.; POLETO, P. Production of kombucha-like beverage and bacterial cellulose by acerola byproduct as raw material. **Lwt**, v. 135, p. 110075, 2021.

- LI, Z. Y.; AZI, F.; GE, Z. W.; LIU, Y. F.; YIN, X. T.; DONG, M. S. Bio-conversion of kitchen waste into bacterial cellulose using a new multiple carbon utilizing *Komagataeibacter rhaeticus*: Fermentation profiles and genome-wide analysis. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 191, n. May, p. 211-221, 2021.
- LIN, W. C.; LIEN, C. C.; YEH, H. J.; YU, C. M.; HSU, S. H. Bacterial cellulose and bacterial cellulose-chitosan membranes for wound dressing applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 94, n. 1, p. 603-611, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.01.076>.
- LIN, D.; LIU, Z.; SHEN, R.; CHEN, S.; YANG, X. Bacterial cellulose in food industry: Current research and future prospects. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 158, p. 1007-1019, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.230>.
- LIU, C.; JIN, T.; LIU, W.; HAO, W.; YAN, L.; ZHENG, L. Effects of hydroxyethyl cellulose and sodium alginate edible coating containing asparagus waste extract on postharvest quality of strawberry fruit. **LWT**, v. 148, n. May, p. 111770, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111770>.
- MARINGGAL, B.; HASHIM, N.; MOHAMED AMIN TAWAKKAL, I. S.; MUDA MOHAMED, M. T. Recent advance in edible coating and its effect on fresh/fresh-cut fruits quality. **Trends in Food Science and Technology**, v. 96, n. December 2019, p. 253-267, 2020.
- MOHAMED, S. A. A.; EL-SAKHAWY, M.; EL-SAKHAWY, M. A. M. Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. **Carbohydrate Polymers**, v. 238, n. February, p. 116178, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116178>.
- PACAPHOL, K.; SERAYPHEAP, K.; AHT-ONG, D. Development and application of nanofibrillated cellulose coating for shelf life extension of fresh-cut vegetable during postharvest storage. **Carbohydrate Polymers**, v. 224, n. July, p. 115167, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115167>.
- PAPADAKI, A.; MANIKAS, A. C.; PAPAZOGLU, E.; KACHRIMANIDOU, V.; LAPPA, I.; GALIOTIS, C.; MANDALA, I.; KOPSAHELIS, N. Whey protein films reinforced with bacterial cellulose nanowhiskers: Improving edible film properties via a circular economy approach. **Food Chemistry**, v. 385, n. March, p. 132604, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132604>.
- PATEL, A. R. Functional and Engineered Colloids from Edible Materials for Emerging Applications in Designing the Food of the Future. **Advanced Functional Materials**, v. 30, n. 18, p. 1806809, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.201806809>.
- RAMESH, S.; RADHAKRISHNAN, P. Cellulose nanoparticles from agro-industrial waste for the development of active packaging. **Applied Surface Science**, v. 484, n. April, p. 1274-1281, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.04.003>.
- RIAZ, A.; LAGNIKA, C.; LUO, H.; NIE, M.; DAI, Z.; LIU, C.; ABDIN, M.; HASHIM, M. M.; LI, D.; SONG, J. Effect of Chinese chives (*Allium tuberosum*) addition to carboxymethyl cellulose based food packaging films. **Carbohydrate Polymers**, v. 235, n. February, p. 115944, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.115944>.
- ROJAS-LEMA, S.; NILSSON, K.; TRIFOL, J.; LANGTON, M.; GOMEZ-CATURLA, J.; BALART, R.; GARCIA-GARCIA, D.; MORIANA, R. "Faba bean protein films reinforced with cellulose nanocrystals as edible food packaging material". **Food Hydrocolloids**, v. 121, n. February, p. 107019, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107019>.
- RUAN, C.; ZHANG, Y.; SUN, Y.; GAO, X.; XIONG, G.; LIANG, J. Effect of sodium alginate and carboxymethyl cellulose edible coating with epigallocatechin gallate on quality and shelf life of fresh

- pork. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 141, p. 178-184, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.247>.
- RUAN, C.; ZHANG, Y.; WANG, J.; SUN, Y.; GAO, X.; XIONG, G.; LIANG, J. Preparation and antioxidant activity of sodium alginate and carboxymethyl cellulose edible films with epigallocatechin gallate. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 134, p. 1038-1044, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111770>.
- SALARI, M.; SOWTI KHIABANI, M.; REZAEI MOKARRAM, R.; GHANBARZADEH, B.; SAMADI KAFIL, H. Preparation and characterization of cellulose nanocrystals from bacterial cellulose produced in sugar beet molasses and cheese whey media. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 122, p. 280-288, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141813017337765>.
- SALAZAR, D.; ARANCIBIA, M.; CASADO, S.; VITERI, A.; LÓPEZ-CABALLERO, M. E.; MONTERO, M. P. Green Banana (*Musa acuminata* AAA) Wastes to Develop an Edible Film for Food Applications. **Polymers**, v. 13, n. 18, p. 3183, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/18/3183>.
- SHAHBAZI, Y. Application of carboxymethyl cellulose and chitosan coatings containing *Mentha spicata* essential oil in fresh strawberries. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 112, p. 264-272, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.186>.
- SHI, Z.; ZHANG, Y.; PHILLIPS, G. O.; YANG, G. Utilization of bacterial cellulose in food. **Food Hydrocolloids**, v. 35, p. 539-545, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.07.012>.
- SINGH, P.; MAGALHÃES, S.; ALVES, L.; ANTUNES, F.; MIGUEL, M.; LINDMAN, B.; MEDRONHO, B. Cellulose-based edible films for probiotic entrapment. **Food Hydrocolloids**, v. 88, n. August 2018, p. 68-74, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.057>.
- UL-ISLAM, M.; KHAN, S.; ULLAH, M. W.; PARK, J. K. Comparative study of plant and bacterial cellulose pellicles regenerated from dissolved states. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 137, p. 247-252, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.232>.
- UZYOL, H. K.; SAÇAN, M. T. Bacterial cellulose production by *Komagataeibacter hansenii* using algae-based glucose. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 12, p. 11154-11162, 2017. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11356-016-7049-7>.
- VIANA, R. M.; SÁ, N. M. S. M.; BARROS, M. O.; BORGES, M. de F.; AZEREDO, H. M. C. Nanofibrillated bacterial cellulose and pectin edible films added with fruit purees. **Carbohydrate Polymers**, v. 196, n. January, p. 27-32, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861718305411>.
- WANG, Y.; LUO, W.; TU, Y.; ZHAO, Y. Gelatin-Based Nanocomposite Film with Bacterial Cellulose–MgO Nanoparticles and Its Application in Packaging of Preserved Eggs. **Coatings**, v. 11, n. 1, p. 39, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-6412/11/1/39>.
- WANG, X.; ULLAH, N.; SUN, X.; GUO, Y.; CHEN, L.; LI, Z.; FENG, X. Development and characterization of bacterial cellulose reinforced biocomposite films based on protein from buckwheat distiller's dried grains. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 96, p. 353-360, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.106>.
- XU, J.; KRIETEMEYER, E. F.; BODDU, V. M.; LIU, S. X.; LIU, W. C. Production and characterization of cellulose nanofibril (CNF) from agricultural waste corn stover. **Carbohydrate Polymers**, v. 192, n. September 2017, p. 202-207, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.03.017>.

XU, Yixin; LIU, X.; JIANG, Q.; YU, D.; XU, Yanshun; WANG, B.; XIA, W. Development and properties of bacterial cellulose, curcumin, and chitosan composite biodegradable films for active packaging materials. **Carbohydrate Polymers**, v. 260, n. February, p. 117778, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117778>.

YOUSUF, B.; QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K. Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review. **LWT - Food Science and Technology**, v. 89, n. June 2017, p. 198-209, 2018.

YU, B.; TANG, Q.; FU, C.; REGENSTEIN, J.; HUANG, J.; WANG, L. Effects of different particle-sized insoluble dietary fibre from citrus peel on adsorption and activity inhibition of pancreatic lipase. **Food Chemistry**, v. 398, n. July 2022, p. 133834, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133834>.

ZHAO, G.; LYU, X.; LEE, J.; CUI, X.; CHEN, W. N. Biodegradable and transparent cellulose film prepared eco-friendly from durian rind for packaging application. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 21, n. August 2018, p. 100345, 2019.

ZHOU, J.; GU, F.; YANG, H.; CAO, G.; XU, W.; SUN, S.; ZHANG, Y. Sequential fermentation strategy improves microbial conversion of waste jasmine flower to bacterial cellulose with antibacterial properties. **Industrial Crops and Products**, v. 185, n. April, p. 115147, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115147>.

ZHOU, Xiaotong; LIU, L.; LI, J.; WANG, L.; SONG, X. **Extraction and Characterization of Cellulose from Jerusalem Artichoke Residue and Its Application in Blueberry Preservation**. [s. n.], 2022.

ZHOU, Xiaoyan; LIU, X.; WANG, Q.; LIN, G.; YANG, H.; YU, D.; CUI, S. W.; XIA, W. Antimicrobial and antioxidant films formed by bacterial cellulose, chitosan and tea polyphenol – Shelf life extension of grass carp. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 33, n. March, p. 100866, 2022.