

Revestimentos de materiais por Leito Fluidizado e Leito de Jorro: um estudo comparativo

Material coatings by fluidized bed and spouted bed: a comparative study

Recubrimientos de materiales por lecho fluidizado y lecho en chorro: un estudio comparativo

Recebido: 29/11/2022 | Revisado: 16/12/2022 | Aceitado: 17/12/2022 | Publicado: 21/12/2022

Glauce Vasconcelos da Silva Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4900-1664>

Universidade Federal do Pará, Brasil

Email: glaucepereira@ufpa.br

Gleice Vasconcelos Pereira do Lago

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9702-250X>

Universidade Federal do Pará, Brasil

Email: gleicedasilva@ufpa.br

Márcio Marcelo da Silva Pessoa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4804-9690>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: mmpessoa@icloud.com

Nathiel Sarges Moraes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4727-0951>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: nathiel.sedl@gmail.com

Maria Jaqueline Bailão Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1593-1118>

Universidade Federal do Pará, Brazil

Email: jaquebio.js@gmail.com

Fabrine Silva Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6602-1942>

Universidade Federal do Pará, Brazil

Email: fafa.bine@yahoo.com.br

Rafael Nascimento Queiroz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5529-8906>

Universidade Federal do Pará, Brazil

Email: rafael_nascimento.q@hotmail.com

José de Arimatéia Rodrigues do Rego

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0891-6438>

Universidade Federal do Pará, Brazil

Email: jr2reg@gmail.com

Davi do Socorro Barros Brasil

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1461-7306>

Universidade Federal do Pará, Brazil

Email: dsbbrasil@ig.com.br

Resumo

O maior desafio para a indústria de alimentos é a perda de qualidade dos produtos alimentícios durante o armazenamento. Uma alternativa potencial é a aplicação de revestimentos que fornecem propriedades de barreira à umidade. O revestimento de produtos com solução pelas técnicas de pulverização (leitos fluidizados e jorro) tem se desenvolvido na indústria farmacêutica e alimentícia. Materiais como proteínas, carboidratos e polissacarídeos têm sido amplamente utilizados devido à sua biodegradabilidade, biocompatibilidade, não toxicidade e disponibilidade. Este artigo revisa o estado atual da tecnologia do leito fluidizado e de jorro com base na estratégia de busca para entender o desenvolvimento destas técnicas no revestimento de materiais (partículas, biopolímeros, sementes, extratos e óleos). Esta revisão tem objetivo oferecer informações sobre métodos de revestimento em produtos no geral, como pulverização por leito fluidizado e jorro. Esta revisão adotou uma abordagem sistemática para investigar e analisar criteriosamente os estudos da literatura publicados desde os relatos iniciais até 2021. Após pesquisar as bases de dados Science Direct, Scopus, Web of Science, Capes Periódicos e FSTA - Food Science and Technology Abstracts, 371 estudos foram avaliados neste estudo. Esta revisão conclui que foi realizado uma abordagem que produziu resultados interessantes sobre produtos seco, dispositivo de revestimento, produtos revestidos com alto valor biológico e tecnológico. No entanto, uma abordagem mais detalhada é necessária para avançar o conhecimento e acelerar o desenvolvimento destes produtos para selecionar materiais de revestimento e métodos de aplicação utilizados amplamente em escala industrial e laboratorial.

Palavras-chave: Biopolímeros; Revestimentos comestíveis; Leitos fluidizados; Leito de jorro.

Abstract

The biggest challenge for the food industry is the loss of quality of food products during storage. A potential alternative is the application of coatings that provide moisture barrier properties. Coating of products with solution by spraying techniques (fluidized beds and spouted) has been developed in the pharmaceutical and food industry. Materials such as proteins, carbohydrates and polysaccharides have been widely used due to their biodegradability, biocompatibility, non-toxicity and availability. This article reviews the current state of fluidized and spouted bed technology based on the search strategy to understand the development of these techniques in coating materials (particles, biopolymers, seeds, extracts and oils). This review is intended to provide information on general product coating methods such as fluidized bed spraying and spouting. This review adopted a systematic approach to carefully investigate and analyze literature studies published from initial reports through 2021. After searching Science Direct, Scopus, Web of Science, Capes Periódicos and FSTA - Food Science and Technology Abstracts studies were evaluated in this study. This review concludes that an approach was carried out that produced interesting results on dry products, coating device, coated products with high biological and technological value. However, a more detailed approach is needed to advance knowledge and accelerate the development of these products to select coating materials and application methods used widely on an industrial and laboratory scale.

Keywords: Biopolymers; Edible coatings; Fluidized beds; Spouted beds.

Resumen

El mayor desafío para la industria alimentaria es la pérdida de calidad de los productos alimenticios durante el almacenamiento. Una alternativa potencial es la aplicación de recubrimientos que proporcionen propiedades de barrera contra la humedad. El recubrimiento de productos con solución por técnicas de aspersión (lechos fluidizados y chorros) se ha desarrollado en la industria farmacéutica y alimentaria. Materiales tales como proteínas, carbohidratos y polisacáridos han sido ampliamente utilizados debido a su biodegradabilidad, biocompatibilidad, no toxicidad y disponibilidad. Este artículo revisa el estado actual de la tecnología de lecho fluidizado y en chorro basado en la estrategia de búsqueda para comprender el desarrollo de estas técnicas en materiales de recubrimiento (partículas, biopolímeros, semillas, extractos y aceites). Esta revisión tiene como objetivo proporcionar información sobre los métodos generales de recubrimiento de productos, como el rociado en lecho fluidizado y el vertido. Esta revisión adoptó un enfoque sistemático para investigar y analizar cuidadosamente los estudios bibliográficos publicados desde los informes iniciales hasta 2021. Después de buscar en Science Direct, Scopus, Web of Science, Capes Periódicos y FSTA - Food Science and Technology Abstracts, se evaluaron los estudios en este estudio. Esta revisión concluye que se realizó un abordaje que arrojó resultados interesantes sobre productos secos, dispositivo de recubrimiento, productos recubiertos con alto valor biológico y tecnológico. Sin embargo, se necesita un enfoque más detallado para avanzar en el conocimiento y acelerar el desarrollo de estos productos para seleccionar materiales de recubrimiento y métodos de aplicación utilizados ampliamente a escala industrial y de laboratorio.

Palabras clave: Biopolímeros; Recubrimientos comestibles; Lechos fluidizados; Lechos en chorro.

1. Introdução

Com o aumento da demanda do consumidor, a busca por alimentos saudáveis, praticidade, custo e benefício está crescendo continuamente. Várias técnicas estão em tendência para controlar o crescimento indesejável de microrganismos e atributos de qualidade dos alimentos (Maringgal, et al., 2020). Embalagens ativas, processamento em alta pressão, filmes comestíveis e revestimentos comestíveis são algumas das técnicas que estão sob processamento mínimo utilizadas para aumentar a vida útil dos produtos (Mostafidi, et al., 2020).

Existem dois tipos de polímeros biodegradáveis; aqueles que não são comestíveis ou comestíveis. Materiais biodegradáveis derivados de ingredientes alimentícios, como polissacarídeos, proteínas e lipídios, são comestíveis e têm atraído considerável interesse devido às suas capacidades potenciais de substituir os plásticos tradicionais e atuar como filmes e/ou revestimentos comestíveis de contato com alimentos (Hanani, et al., 2014). Biopolímeros como polissacarídeos (quitina, quitosana, pectina, celulose), carboidratos (amidos) e proteínas (soja, ervilha, glúten de trigo, milho, zeína, colágeno, gelatina, miofibrilar) são usados como fonte de revestimento e filmes comestíveis (Alves, et al., 2020; Costa, et al., 2022; Suput, et al., 2015; Pereira, et al., 2019a e 2019b; Pereira, et al., 2020).

Revestimentos comestíveis à base de biopolímeros são uma fonte alternativa de substituição total ou parcial ao uso de polímeros sintéticos que causam danos ao meio ambiente. Os polissacarídeos retêm boa barreira ao gás e propriedades mecânicas quando incorporados a outros biopolímeros. Filmes de polissacarídeos têm propriedades de vapor de água pobres e carregam uma resistência à tração semelhante aos polímeros sintéticos (Cazon, et al., 2017). Revestimentos e filmes comestíveis à base de

proteínas são alternativas a outros materiais de embalagem (Pereira, et al., 2021b), com melhores características mecânicas e de barreira com a adição de proteína (Zink, et al., 2016). Revestimentos e filmes à base de proteínas oferecem melhores propriedades mecânicas e de barreira à umidade do que revestimentos e filmes à base de polissacarídeos (Obiri, et al., 2018).

Os revestimentos comestíveis podem ser aplicados em superfícies de frutos. Têm sido aplicados como uma técnica alternativa para armazenamento em atmosfera modificada (AM) e armazenamento em atmosfera controlada (AC) para prolongar a vida útil de produtos. Ao contrário da AM e AC, o revestimento comestível é uma técnica simples, de baixo custo e ecológica, que limita a taxa de respiração e transpiração e retarda o amadurecimento excessivo e a senescência, evitando a respiração anaeróbica que podem degradar a qualidade do produto (Dehghani, et al., 2022).

A utilização de revestimentos em partículas ou como produto de encapsulação utilizando polissacarídeos e proteínas naturais também podem ser utilizados e aplicados ao desenvolvimento e produção de fármacos. Os medicamentos são estudados, planejados e desenvolvidos para fins de terapia, diagnóstico ou profilaxia e podem ter suas características farmacocinéticas e farmacotécnicas aprimoradas por meio de diferentes tecnologias (Vieira, et al., 2022). Estes mesmos autores elaboraram uma revisão sistemática que teve como objetivo apresentar um entendimento geral dos sistemas multiparticulados, com foco nos polímeros naturais e modificados utilizados nos estudos.

A escolha de um método de revestimento/filmes comestíveis adequado não só impacta o efeito preservador do revestimento formado nos produtos, mas também influencia o custo de produção e a eficiência do processo (Suhag, et al., 2020). O revestimento de partículas em leito de jorro tem se mostrado bastante promissor, tendo em vista seu potencial para aplicação em diversos produtos, como sementes, fertilizantes e em engenharia farmacêutica (Lopes, et al., 2009; Pietsch, et al., 2019). As partículas podem ser revestidas para proteção contra umidade, luz e contaminação por microrganismos; mascarar sabores e odores desagradáveis (na indústria alimentícia, por exemplo); e caracterizar a aparência de sementes com especificações diferentes, o que pode ser importante, por exemplo, durante o armazenamento (Nascimento, et al., 2015). Um fator importante durante a operação é a medição do progresso do revestimento e da qualidade do revestimento (Pietsch, et al., 2019). A utilização de equipamento de pulverização como leito fluidizado e de jorro já está sendo estudado por vários pesquisadores para secagem e revestimento de produtos (Azeem, et al., 2018; Benelli & Oliveira, 2019; Costa, et al., 2019; Costa-Silva, et al., 2021; Yang, et al., 2022). No entanto, poucos estudos avaliaram os aspectos de aplicação comercial e métodos de deposição de revestimentos/filmes comestíveis em produtos alimentícios (Suhag, et al., 2020).

Esta revisão tem como objetivo oferecer informações sobre métodos de revestimento comestível em produtos no geral, como, pulverização por leito fluidizado e jorro. Esta revisão pode ajudar pesquisadores e indústrias a selecionar um método eficiente e econômico para o desenvolvimento destes materiais para aplicações específicas. Além disso, um método pode ser usado sozinho ou em combinação com outros métodos para obter com maior eficiência, boa adesão e durabilidade de revestimento comestível para prolongar a vida útil e melhorar a qualidade dos produtos alimentícios a nível comercial.

2. Metodologia

2.1 Planejamento de rastreamento e busca de bancos de dados

A revisão narrativa de literatura busca trazer tópicos consolidados e novas perspectivas sobre um tema em questão, sendo de fundamental importância na área da pesquisa de levantamento bibliográfico (Correia & Mesquita, 2014). As revisões narrativas, como esta, visam apresentar uma compreensão abrangente sobre os dados e artigos científico disponíveis na literatura acerca de um tema ou tópico específico (Butler et al., 2016).

Como protocolo pré-definido para o planejamento e estrutura desta revisão, além da escolha dos temas para um estudo comparativo, essa revisão buscou e selecionou os documentos extraídos das bases de dados eletrônicas ScienceDirect, Scopus, Web of Science, Capes Periódicos e FSTA - Food Science and Technology Abstracts. A busca foi realizada sistematicamente

utilizando termos e sinônimos encontrados na literatura utilizando as expressões apresentadas na Figura 1 com a alteração das palavra “revestimento e recobrimento”. Uma busca no banco de dados foi realizada entre 3 e 15 de julho de 2022, e foram considerados de estudos de 2004 até 2022. Todos os estudos dos anos anteriores a 2004 foram inclusos para apresentar ao leitor todas os avanços, mudanças e desenvolvimentos tecnológicos referente a leite fluidizado e leite de jorro. As estratégias de busca foram utilizadas para cada base de dados.

Figura 1 - Descritores e termos usados para busca de estudos científicos na lista de bases.



Fonte: Autores (2022).

2.2 Critérios e seleção de inclusão

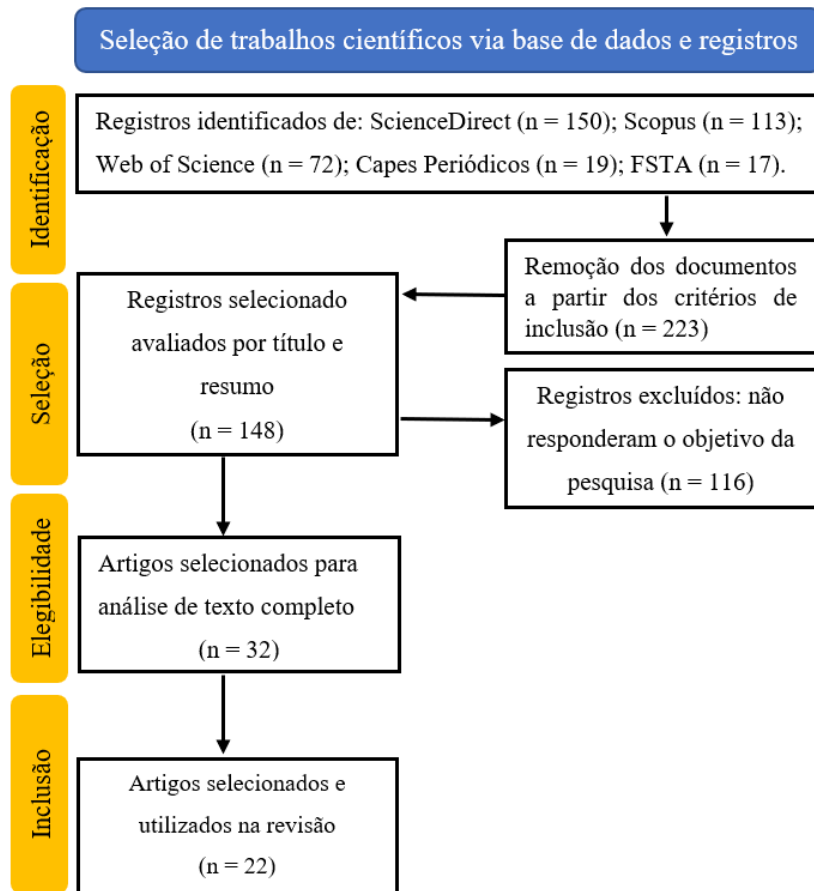
Os títulos e os resumos foram analisados e os trabalhos científicos que não respondiam ao objetivo da presente pesquisa foram excluídos. Os estudos foram cuidadosamente verificados para a coleta de parâmetros previamente determinados. Em seguida, os critérios de elegibilidade foram definidos da seguinte forma: i) Esta revisão considerou artigos de pesquisa originais publicados em inglês e em português em periódicos indexados abordando objetivo do trabalho; ii) Esta revisão excluiu documentos em forma de apresentação, congresso, trabalho de conclusão de curso e tese que abordassem o tema do estudo; iii) Esta revisão excluiu artigos com conteúdo incompletos ou inconsistentes, artigos duplicado ou não relacionados ao tema do estudo. Foram selecionados artigos revisados por pares para extrair dados relevantes de estudos que atenderam aos critérios de inclusão.

3. Resultados e Discussão

3.1 Seleção nas bases de dados

Com base na estratégia de busca desenvolvida para entender o desenvolvimento da técnica de utilização de leite fluidizado e de jorro no revestimento e/ou recobrimento de materiais (partículas, biopolímeros e sementes), foram encontrados 371 documentos nas bases de dados selecionadas. Após a remoção dos documentos a partir dos critérios de inclusão, esta revisão totalizou 148 artigos avaliados por título e resumo. Após isto, foi feita uma triagem inicial que resultou em 32 documentos para análise completa (Figura 2).

Figura 2 - Fluxograma de busca e seleção de trabalhos científicos.



Fonte: Autores (2022).

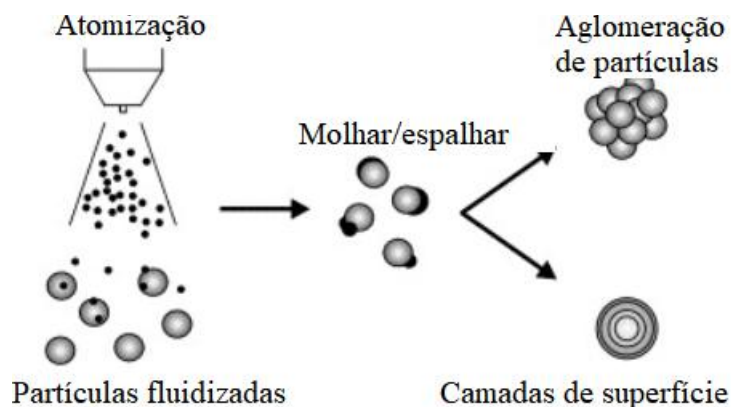
3.2 Revestimento de partículas em suspensão a ar

O Revestimento de partículas em suspensão a ar forma um revestimento de filme claramente definido sobre um núcleo existente. São tipicamente descontínuos, onde as partículas são recicladas através da zona de pulverização até que a espessura do revestimento desejada seja alcançada. Estes têm sido em partículas de tamanho maior do que as produzidas na secagem por pulverização. Já no encapsulamento de secagem por pulverização, produz partículas que consistem em uma matriz homogeneamente misturada do polímero que aprisiona a partícula (Teunou & Poncelet, 2002; Werner, et al., 2007).

A indústria alimentícia está ciente do potencial da tecnologia de revestimento de partículas e identificou inúmeras aplicações potenciais para seu uso. É claro que o revestimento de partículas com suspensão a ar oferece grandes oportunidades em termos de proteção e controle do produto (Werner, et al., 2007).

Atomizar um spray líquido fino em um leito de partículas fluidizadas é o princípio básico do revestimento de partículas com suspensão a ar e da aglomeração com suspensão a ar. O spray consiste em um soluto que atua como meio de revestimento e um solvente no qual o soluto é dissolvido ou em pasta, no qual o líquido colide e se espalha nas partículas e o ar de fluidização evapora o solvente, deixando uma camada de soluto na superfície da partícula. O crescimento de partículas pode ocorrer por aglomeração entre partículas ou estratificação superficial (Figura 3). A aglomeração ocorre quando pontes líquidas se formam entre partículas em colisão, já a estratificação da superfície, é reforçada por condições pobres de solvente com fluidização intensa, essas condições impedem que as partículas se aglomerem (Link & Schlünder, 1997).

Figura 3 - Dois mecanismos de crescimento de partículas (aglomeração interpartículas e estratificação superficial) em uma operação de partículas suspensas a ar.



Fonte: Adaptado de Link & Schlünder (1997).

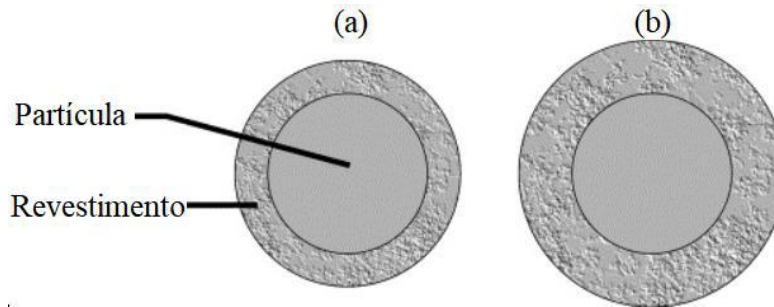
O objetivo final de um processo de revestimento é produzir partículas individuais, cada uma com um revestimento bem controlado e uniforme. Na qual o carregamento do ingrediente ativo, características de dissolução, aparência e prazo de validade são características de “qualidade” do revestimento que se refere tanto ao padrão alcançado quanto à sua repetibilidade para propriedades ou especificações do produto acabado. A qualidade pode ser medida em um nível macroscópico (desempenho do revestimento) ou em um nível microscópico (qualidade do revestimento) (Turton, et al., 1999).

O solvente na solução de revestimento é um veículo para transportar o material de revestimento para a superfície do substrato e pode ser aquoso ou um líquido orgânico. A literatura sobre filmes comestíveis pode ser classificada em três tipos de solutos de revestimento: i) Polímeros solúveis aquosos, como proteínas (leite) e carboidratos (amidos, derivados de amido, gomas), ii) Polímeros de dispersão aquosa, como látex (por exemplo à base de copolímeros acrílicos) e pseudolátex (por exemplo, à base de etilcelulose) e iii) Revestimentos lipídicos (ácidos graxos, poliglicerídeos e derivados) e ceras (carnaúba, cera de abelha). A escolha de um material de revestimento apropriado é influenciada pela capacidade do material de revestimento em conferir as características desejáveis ao produto e principalmente pelo núcleo especificado (Werner, et al., 2007).

No nível microscópico, a qualidade do revestimento pode ser caracterizada em função de dois fatores, uniformidade da massa do revestimento e morfologia do revestimento. A uniformidade da massa de revestimento refere-se à variação na quantidade de material de revestimento que cada partícula do produto recebe durante uma operação de revestimento (Turton, et al., 1999).

A Figura 4 mostra uma variação na uniformidade da massa do revestimento. Ambas as partículas têm as mesmas características de tamanho, densidade, caráter superficial e porosidade, mas contêm diferentes massas de material de revestimento. A uniformidade de massa é importante quando um ingrediente ativo é aplicado no revestimento e tem sido objeto da maioria das pesquisas até o momento. o foco das investigações a cerca disto deve ser direcionado para determinar a melhor forma de reduzir a variação na massa depositada (Werner, et al., 2007).

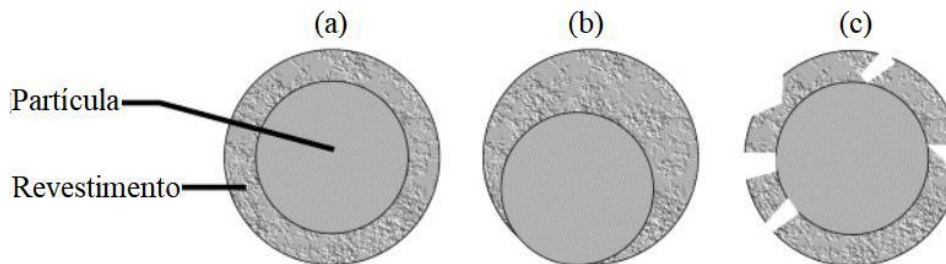
Figura 4 - Seção transversal das partículas revestidas representando variação na uniformidade da massa do revestimento: **(a)** partícula revestida uniforme e fina; **(b)** partícula revestida uniforme e espessa.



Fonte: Adaptado de Werner, et al. (2007).

A morfologia do revestimento refere-se à variação de uma determinada propriedade entre partículas contendo a mesma quantidade de material de revestimento (Turton, et al., 1999). A Figura 5 ilustra a variação na distribuição do material de revestimento na partícula. Todas as três partículas têm o mesmo volume e a mesma massa de material de revestimento; entretanto, em (b) essa massa é distribuída desigualmente e se concentra em um lado da partícula, deixando uma área da partícula exposta ao seu ambiente. A morfologia do revestimento também se refere à aparência ou composição do revestimento, que pode conter estruturas amorfas e cristalinas, porosidade e fissuras, conforme mostrado em (c). A morfologia do revestimento torna-se um importante determinante da qualidade se houver formação incompleta do filme, resultando em imperfeições do revestimento, como porosidade e fissuras (Werner, et al., 2007).

Figura 5 - Corte transversal de partículas revestidas representando variação na morfologia do revestimento: **(a)** partícula revestida uniformemente; **(b)** partícula revestida não uniformemente; **(c)** partícula revestida com fissuras.



Fonte: Adaptado de Werner, et al. (2007).

O tipo de polímero e a viscosidade do líquido afetam significativamente a morfologia do revestimento, no entanto, a viscosidade por si só não pode explicar a diferença na extensão do espalhamento. Um revestimento de secagem também pode desenvolver porosidade sobre a partícula, que não fornece uma barreira tão eficaz. É incerto como a porosidade se desenvolve, mas é possível que o soluto forme uma estrutura de rede heterogênea que se torna porosa quando o solvente evapora. A temperatura de secagem ligada diretamente a cristalinidade do material também afetará a morfologia do revestimento. Em geral, as estruturas cristalinas fornecem melhores vedações nos produtos porque a difusão através de uma matriz cristalina é mais lenta do que através de uma matriz amorfa. Por tanto, para entender o processo de revestimento, é necessário conhecer as propriedades físico-químicas tanto da solução de revestimento quanto dos filmes que se formam nessas soluções à medida que secam (Werner, et al., 2007).

3.3 Métodos de aplicações de revestimento comestível

Uma variedade de materiais é usada para preparar revestimentos, sendo extraídos de animais e plantas, e desenvolvido a partir de matriz polimérica como lipídios, polissacarídeos e proteínas (Kumar, et al., 2021). O benefício adicional dos revestimentos comestíveis é que eles são produtos naturais e não sintetizados quimicamente (Panahirad, et al., 2021), sendo considerados materiais biodegradáveis e não tóxicos (Suhag, et al., 2020). O material de revestimento é composto por uma fina camada de material comestível, que pode ser aplicada à superfície do produto alimentício (Saxena, et al., 2020), além de ser considerado protetor atuando como barreiras à perda de umidade.

A eficácia de um material de revestimento é determinada por suas propriedades mecânicas e de barreira, que dependem de sua composição e microestrutura, e pelas características do produto alimentício ao qual ele se liga (Ananey-Obiri, et al., 2018). O principal desafio é a formação de uma camada homogênea sem rachaduras para proteger o material do meio ambiente ou para proteger o meio ambiente de uma liberação indesejada do material revestido. Normalmente, tanto a distribuição homogênea na escala de uma única partícula (variabilidade intrapartícula) quanto o revestimento homogêneo de todo o leito de partículas em uma carga de produção (variabilidade interpartícula) são critérios de qualidade (Pietsch, et al., 2019).

Revestimentos comestíveis conferem diferentes funções em produtos alimentícios, entre elas, a prevenção da perda de umidade, diminuição da difusão de oxigênio e facilitação do transporte de aditivos (agentes com atividade antioxidante e antimicrobiana (Grosso, et al., 2019). Devido às características benéficas de comestibilidade e biodegradabilidade, filmes comestíveis e revestimentos comestíveis podem ser usados para complementar ou substituir materiais tradicionais, a fim de reduzir as embalagens poliméricas tradicionais, a maioria das quais são de origem petroquímica (Fakhouri, et al., 2015). Portanto, estão atualmente recebendo muita atenção.

Revestimentos e filmes comestíveis são totalmente diferentes. Os principais atributos envolvidos na caracterização dos filmes são: propriedades ópticas, solubilidade em água, sorção/dessorção de água, espessura, porosidade, propriedades de barreira (permeabilidade ao vapor e gasosa) e comportamento mecânico, que afetam a aceitabilidade do consumidor, estabilidade do filme e melhoria da prateleira e capacidade de vida útil dos produtos alimentícios (Huber & Embuscado, 2009; Murrieta-Martínez, et al., 2019). Enquanto, um revestimento comestível é uma fina camada de material de embalagem biodegradável em uma ampla gama de alimentos, com papéis importantes na qualidade, segurança, transporte e armazenamento. Assim, revestimentos e filmes comestíveis são totalmente diferentes; revestimentos comestíveis podem ser aplicados diretamente na superfície de frutas, vegetais e outros produtos alimentícios, enquanto o filme comestível é usado como material de embalagem (Aguirre-Joya, et al., 2018).

Filmes e revestimentos comestíveis são sintetizados a partir de substâncias com propriedades de formação de filme. Vários tipos de corantes, agentes antimicrobianos, aromatizantes e plastificantes podem ser fundidos neste sistema. Para obter revestimentos altamente eficazes, a solução é sintetizada e seca a uma temperatura e umidade relativa precisas, e o ajuste do pH ou o aquecimento das soluções podem ser realizados para o polímero específico para permitir a dispersão. No processamento de alimentos, as soluções de filme/revestimento podem ser aplicadas aos alimentos por várias estratégias, incluindo imersão, pulverização e peneiramento acompanhadas com o auxílio de secagem (Hassan, et al., 2018), ou até mesmo através de aplicações mecanizadas como leito de jorro, técnicas de fluidização. De acordo Suhag et al. (2020) pode ser imersão (imersão da amostra na solução filmogênica), por pulverização (pulveriza a solução filmogênica (revestimento) sobre o produto), em leito fluidizado (aplica e seca camadas da solução de revestimento sobre o produto) e panorâmica (em um grande recipiente giratório dispõe o produto/partícula a ser revestido, distribui a solução de revestimento uniformemente na superfície do produto conforme vai girando o equipamento). Os métodos por exemplo de imersão, pulverização, leito fluidizado e panorâmica para deposição de aplicações de revestimento em produtos alimentícios dependem da natureza do alimento que deve ser revestido, dos atributos da superfície e do objetivo principal do revestimento (Parreidt, et al., 2018).

A aplicação de revestimento/película comestível à base de biopolímeros em produtos alimentícios atua como uma camada de barreira contra a difusão de gases, migração de água, alterações de aroma e diferentes trocas de solutos, preservam as propriedades nutricionais, organolépticas e microbiológicas de diferentes produtos alimentícios (Suhag, et al., 2020). Fornece uma qualidade estável para produtos alimentícios com segurança de mercado, valor nutricional e custo econômico de produção no setor de processamento de alimentos (Bhardwaj, et al., 2019). Portanto, a aplicação de revestimentos e filmes comestíveis pode ser um método adequado para preservar a qualidade dos produtos alimentícios (Suhag, et al., 2020).

O revestimento de partículas, que muitas vezes é realizado em pan coaters ou leitos fluidizados, visa a distribuição homogênea de uma camada líquida sobre as partículas para proteger o material do ambiente. A espessura necessária do revestimento depende do material do leito e da aplicação final. Como um revestimento deve proteger o material de efeitos externos, ele deve ser distribuído homogêneo não apenas em uma única partícula, mas também na escala de todo o leito de partículas para obter uma qualidade constante do produto. Portanto, é necessária uma camada de revestimento homogênea e uniforme sem pontos/zonas não revestidas. Poucas publicações têm focado o processo de revestimento e seu monitoramento em leitos de jorro (Pietsch, et al., 2019).

Leitos fluidizados modificados são geralmente usados na indústria alimentícia para granulação, secagem e revestimento. Existem vários arranjos de processos diferentes para o revestimento de partículas com suspensão a ar. A alimentação líquida pode ser aplicada usando pulverização superior, pulverização inferior e pulverização tangencial. O movimento das partículas pode ser em leito de jorro, leito vibratório, leitos de recirculação externos ou revestidor Würster (Werner, et al., 2007).

De acordo com a Tabela construída por Werner, et al. (2007), as principais variáveis envolvidas no processo de revestimento por pulverização é fluidização, atomização e secagem. Muitas outras variáveis de processo também terão efeitos complexos no revestimento. Portanto, para tirar conclusões das investigações de revestimento, é necessário comparar essas complexidades estudando uma única operação de cada vez. Uma vez que as variáveis-chave para essa operação são compreendidas, então seus efeitos e interações nas operações subsequentes podem ser estabelecidos (Werner, et al., 2007).

3.3.1 Revestimento por leito fluidizado

Um leito fluidizado é usado para revestir partículas sólidas. As partículas sólidas ficam suspensas no ar e o material encapsulante é pulverizado sobre as partículas, formando um revestimento. O material de revestimento pode ser uma solução ou dispersão concentrada, uma fusão a quente ou uma emulsão. A maioria dos materiais encapsulantes (ou seja, gorduras, carboidratos, emulsificantes, proteínas) pode ser usada neste processo. Este método pode ser usado para dar um revestimento secundário após o processo de secagem por pulverização, adicionando mais proteção (McClements, 2020).

O revestimento por pulverização em leito fluidizado é uma tecnologia viável e de destaque, capaz de produzir, em uma única etapa, produtos granulados com boas propriedades físico-químicas e de fluxo, carregados de compostos bioativos fitoterápicos. A tecnologia de fluidização é uma tecnologia eficaz e promissora capaz de projetar produtos granulares inovadores carregados com compostos bioativos à base de plantas (Benelli & Oliveira, 2019).

A solução de revestimento/suspensão é pulverizada na superfície do produto fluidizado através de vários bicos para formar uma estrutura semelhante a uma concha em um processo de revestimento fluidizado. O processo de fluidização ocorre quando um fluxo de líquido se move para cima através de um leito de partículas que atingem a velocidade adequada para auxiliar as partículas sem desviá-las para o fluxo de líquido. Nesse ponto, o leito de partículas aceita os atributos do fluido borbulhante, ou seja, o termo fluidização (Andrade, et al., 2012).

O ar de atomização também facilita a evaporação do revestimento solvente. Tal evaporação aumenta a viscosidade das gotículas e reduz a dispersão e coalescência quando o material do núcleo interage (Zhalehrajabi, et al., 2019). A aplicação compreende uma ampla gama de produtos alimentícios de alta qualidade, que incluem ingredientes funcionais e produtos

adicionais, conservantes, substâncias fortificantes, compostos aromáticos e especiarias (Chen, et al., 2009). Essa metodologia também é frequentemente usada para revestir sementes com pasta de pesticidas para proteção contra danos mecânicos e biológicos (Debeaufort & Voilley, 2009).

O leito fluidizado reduz a formação de aglomerados de produtos revestidos, um problema comumente encontrado no revestimento em suportes fechados (Suhag, et al., 2020). No entanto, devido aos altos custos em comparação com outros métodos de revestimento, inicialmente este método não era utilizado pela indústria alimentícia, o leito fluidizado requer uma maior quantidade de solução de revestimento devido à perda na parede da coluna durante a pulverização. A distância percorrida pelas gotas antes de atingir os substratos na configuração de pulverização superior não pode ser regulada. As imperfeições do revestimento podem ocorrer devido à evaporação prematura (Zank, et al., 2001).

Em uma revisão sobre os métodos de formação de filme e deposição de revestimento comestível em produtos alimentícios os autores Suhag et al. (2020), concluíram que todos os métodos para revestimentos comestíveis estão aumentando a eficiência e a duração do material de revestimento ou dos produtos alimentícios revestidos. As técnicas (imersão, pulverização, panning e leito fluidizado) são usadas para produzir camadas uniformes na superfície dos produtos alimentícios e podem controlar os danos físicos, mecânicos e biológicos e prolongar a vida útil dos produtos alimentícios. Este trabalho também confirmou que os métodos de pulverização, panning e deposição em leito fluidizado podem ser usados em nível comercial para aplicações em massa em produtos alimentícios.

O revestimento de leito fluidizado envolve o encapsulamento de ingredientes bioativos, suspendendo-os no ar e depois pulverizando o material de encapsulamento para obter partículas. Baixo fornecimento de energia, alta reprodutibilidade, normalização do produto final em termos de distribuição e forma de tamanho de partícula e diminuição do tempo e custo do processo são alguns dos aspectos benéficos desta técnica. No entanto, existe algumas dificuldade de aplicação dessa técnica para compostos suscetíveis como oxidação, degradação em alta temperatura e exposição direta de compostos bioativos ao ar quente (Simões, et al., 2017).

3.3.2 Revestimento em leito de jorro

O revestimento de partículas é amplamente utilizado em várias indústrias, como no processamento de alimentos, detergentes e fertilizantes ou em aplicações farmacêuticas. O objetivo do revestimento de partículas é aplicar uma camada fina de uma substância de revestimento uniformemente sobre as partículas, que, para manter a qualidade constante do produto durante a produção, é importante que uma espessura mínima de revestimento sem trincas seja alcançada e que o revestimento seja distribuído homogeneamente por todo o leito de partículas, de forma a proteger o material revestido do meio ambiente ou proteger o meio ambiente de uma liberação indesejada do material. Os processos de revestimento são frequentemente realizados em recipientes de revestimento ou aparelhos de leito fluidizado (Epstein & Grace, 2011; Pietsch, et al., 2019).

O processamento de partículas em leitos móveis, como o leito fluidizado e o leito de jorro, são comumente empregados em secagem, recobrimento e granulação de sistemas particulados, com aplicações nas indústrias, em especial no tratamento/revestimento de sementes (Santana, et al., 2017). O leito de jorro tem sido aplicado no revestimento de partículas sólidas cujo processo usual consiste em atomizar uma suspensão de revestimento sobre as partículas submetidas ao movimento por um fluxo de ar quente. O ar quente proporciona a secagem da suspensão e a circulação das partículas no interior do leito de jorro. Idealmente, um revestimento de filme uniforme é formado nas partículas (Paulo Filho, et al., 2006).

Como mencionado, os processos de revestimento são frequentemente realizados em recipientes de revestimento ou aparelhos de leito fluidizado, e uma forma variante do leito fluidizado típico com uma placa distribuidora sobre toda a área da seção transversal da câmara de processo é o leito de jorro (Pietsch, et al., 2019). A tecnologia de leito de jorro foi desenvolvida por Mathur & Gishler em 1954 para resolver problemas com a secagem de grãos de trigo assimétricos e grosseiros em leitos

fluidizados comuns (Mathur & Gishler, 1955), e desde a sua invenção em 1954 foram desenvolvidas várias configurações, que se distinguem pela sua geometria e pela montagem da forma de entrada do gás (Epstein & Grace, 2011).

Em contraste com o caso dos leitos fluidizados, o gás entra na câmara de processo em um leito de jorro por meio de uma fenda ou tubo em vez de uma placa de distribuição que abrange toda a área da seção transversal. As altas velocidades do gás na fenda ou tubo aceleram as partículas no centro do aparelho, produzindo um padrão típico de bico. Devido ao aumento da área da seção transversal e à diminuição da velocidade do gás com a altura, o transporte de partículas para cima desacelera e as partículas caem da zona de fonte no ponto mais alto do bico ao longo das paredes do aparelho de volta para a área do solo, que é chamada de zona anular. O anular é a zona mais compactada e é a zona a partir da qual as partículas são novamente aceleradas para cima pelo gás de fluidização (Sutkar, et al., 2013). Devido à fluidização em forma de fonte, o movimento das partículas é mais estruturado do que em leitos fluidizados e a transferência de calor, massa e quantidade de movimento é melhorada (Epstein & Grace, 2011).

O padrão de fluxo é mais estruturado e menos aleatório do que em um leito fluidizado, resultando em melhor transferência de calor e massa. Desde a invenção da tecnologia de leito de jorro, várias configurações para diferentes aplicações foram desenvolvidas e são categorizadas como axissimétricas, assimétricas e prismáticas. Além disso, aparelhos entre leitos fluidizados e de jorro foram construídos e denominados como leitos fluidizados de bico (Sutkar, et al., 2013). A região de jorro com suas altas velocidades e baixas frações de vazios de partículas permite a secagem de partículas molhadas, tornando o leito de jorro aplicável para granulação por spray e revestimento (Pietsch, et al., 2019).

O leito de jorro é um dispositivo de fluidização com fluxo mais simples e regular em relação a um leito fluidizado padrão; o leito de jorro é amplamente utilizado em combustão, revestimento de partículas, secagem, gaseificação e pirólise (Liu, et al., 2020). Com o uso da tecnologia de ação de pulverização, vários tipos de leitos foram propostos e projetados, incluindo leitos de jorro com vários bicos, leitos de jorro com tubos guia, leitos fluidizados de bico e leitos de circulação interna. O leito de jorro, convencionalmente conhecido como reator químico, pode ser classificado nos estados líquido-sólido e gás-sólido (Lin & Wey, 2004).

Os leitos de jorro gás-sólido podem ser ainda classificados em processos de fluidização seca e fluidização úmida (Lin & Wey, 2004). Para fluidização úmida, quando as partículas úmidas entram em contato umas com as outras, são geradas pontes líquidas pela camada líquida que cobre a superfície sólida, causando agregação das partículas e ligação em reatores industriais, prejudicando o processo de fluidização (Wilson, et al., 2016).

Em um estudo realizado por Li et al. (2022), sobre as características de fluidização de partículas úmidas em leito de jorro concluíram que a aglomeração de partículas ocorreu durante o processo de fluidização em comparação com as partículas secas. Mudanças incrementais do teor de água na faixa de 0,01-1,00% tornaram as partículas úmidas mais coesas, causando aglomeração no topo da região da fonte e diminuindo a velocidade z . O teor de água de 0,10% melhorou o fluxo de partículas úmidas, mantendo um certo grau de transferência de calor e massa no leito de jorro.

Pietsch, et al. (2019), utilizaram um aparelho de leito de jorro para revestimento de pellets, pois o aparelho mostrou grande aplicabilidade para a fluidização de partículas de difícil manuseio em leitos fluidizados; por exemplo, partículas pequenas ou coesas. Estes mesmos autores quando avaliaram o revestimento utilizando uma suspensão de PEG, dióxido de titânio, água e azul de metileno observaram um progresso da mudança de cor durante a injeção da suspensão de revestimento que foi muito mais rápido do que no experimento anterior, quando utilizaram como revestimento água e azul de metileno, embora a concentração em peso de azul de metileno nas suspensões fosse a mesma. O comportamento diferenciado se deve ao aumento do teor de sólidos no segundo experimento permitindo uma melhor aplicação do corante nas partículas. Um teor de sólidos mais alto na mesma taxa de fluxo resulta em uma camada mais espessa ao redor das partículas que mostra uma intensidade de cor mais alta.

Ainda sobre o resultado relatado por Pietsch et al. (2019), concluíram que a fração do revestimento está ligada à uniformidade do revestimento das partículas no aparelho. O aumento súbito da fração de revestimento após 60 s está associado a um aumento acentuado de uniformidade do revestimento. Isso parece lógico, pois uma intensa explosão de pulverização coloriria intensamente uma pequena quantidade de partículas, deixando as partículas restantes sem revestimento. Se o processo de pulverização for lento e mais homogêneo, todas as partículas constroem uma camada de revestimento de forma mais consistente com menores coeficientes de variação.

O estudo da fluidodinâmica de sementes em leito de jorro é essencial para o entendimento do comportamento dinâmico das partículas de sementes e coleta de dados de parâmetros operacionais, ou seja, velocidade mínima de jorro, queda de pressão máxima e queda de pressão estável, que são necessárias para determinar o menor fluxo de gás que permite o jorro, a potência máxima a ser fornecida pelo soprador e a potência consumida durante a operação, respectivamente. Esses parâmetros são importantes para especificar condições operacionais para processos como secagem e revestimento de sementes no leito de jorro (Nascimento, et al., 2015).

Segundo Baudet & Peres (2004), o revestimento das sementes envolve a deposição de uma camada fina e uniforme de polímero na superfície da semente. A distribuição de massa de revestimento de um revestidor de leito de jorro é fortemente dependente da distribuição de tamanho de partícula inicial, assim a quantidade de revestimento em uma partícula é proporcional à sua massa. Não obstante, as partículas maiores são revestidas preferencialmente (LiuJ & Litster, 1993). No entanto, o uso de leitos de jorro nas indústrias ainda é limitado, pois é muito difícil manter um regime fluidodinâmico estável. Portanto, é muito importante buscar a estabilidade do regime para qualquer tipo de uso, pois a estabilidade resultaria em processos mais eficientes (Lopes, et al., 2009).

Nascimento, et al. (2015), ao estudarem a avaliação fluidodinâmica em sementes de milho (*Setaria itálica*) em leito de jorro cônico relataram que as sementes apresentam boa dinâmica em leito de jorro, o que está associado à sua densidade e condições de escoamento. Além disso, a partícula semente possui uma superfície não rugosa, o que favorece seu escoamento em leito de jorro. Para um leito de jorro, é benéfico promover o movimento uniforme das partículas que resulta em altas taxas de transferência de calor e massa. Concluíram que as sementes de milho podem ser adequadamente processadas em leito de jorro, mostrando que esta técnica pode ser útil para estudos posteriores, como para secagem e revestimento.

O leito de jorro tem mostrado grande aplicabilidade para partículas difíceis de fluidificar em leitos fluidizados clássicos e para uma grande variedade de aplicações diferentes, muitas vezes combinadas com injeção de líquido como em processos de granulação ou revestimento (Brandt, et al., 2013; Eichner, et al., 2017). Pela técnica do leito de jorro as partículas são suspensas pelo fluxo de um gás que entra através de um bocal de jorro localizado no fundo do leito. Consequentemente, o material do leito preenche toda a seção cônica e se estende até a seção cilíndrica (Rocha, et al., 2018). Convencionalmente, os leitos de jorro foram projetados para lidar com partículas maiores que 1 mm (grupo Geldart D) devido às suas vantagens em relação ao leito fluidizado (Geldart, 1973; Savari, et al., 2016). A alta relação área de superfície em relação ao volume, natureza coesiva e baixa fluidez de pequenas partículas aumentam os riscos de sobre-umedecimento e aglomeração durante a operação de revestimento. Além de que, fortes forças de adesão interpartículas entre partículas menores levam a uma fluidização geralmente ruim, o que compromete sua propensão a serem revestidas como partículas únicas devido à aglomeração (Benelli & Oliveira, 2016).

A taxa de fluxo do revestimento (ou seja, taxa de pulverização) deve ser determinada em combinação com as condições de secagem termodinâmicas apropriadas (fluxo de ar, temperatura e umidade), de modo que a evaporação do solvente ocorra em uma taxa adequada para obter um material com um revestimento de filme adequado (Rocha, et al., 2018). Tais defeitos podem resultar da pulverização de soluções de polímero sob condições abaixo do ideal (Rowe, 2008). Além disso, um processo de revestimento usando combinação desequilibrada de revestimento e condições de secagem também pode resultar num material

com baixa fluidez e baixa compressibilidade (Sakurai, et al., 2017; Zhu, et al., 2017). Assim, sementes para aplicação para alimentos, por exemplo, devem estar ausentes de defeitos de revestimento do filme aplicado, pois influenciam não apenas a aparência estética, mas também na qualidade do produto final.

Entre as razões pelas quais o revestimento de partículas é aplicado estão a melhoria da aparência do produto, a proteção da partícula das condições externas, o mascaramento de sabor e odor, o isolamento de substâncias ativas e o controle do tempo de liberação (Freire & Oliveira, 1992). O revestimento de partículas em leito de jorro tem se mostrado bastante promissor, tendo em vista seu potencial para aplicação em diversos produtos, como pílulas, cosméticos, sementes e fertilizantes, dentre outros. Estudos sobre leitos de jorro relacionados à viabilidade dos leitos de jorro para aplicação de revestimento têm sido desenvolvidos e relatados, dos quais: Efeito de variáveis de processo na fluidodinâmica e eficiência de adesão durante o revestimento em leito de jorro de cápsulas de gelatina (Martins, et al., 2008); Monitoramento de espectroscopia no infravermelho próximo e controle dos processos de granulação e revestimento – uma revisão (Liu, et al., 2017); Processo de revestimento de grânulos de *Phyllanthus niruri* Linn (Rocha, et al., 2018); Além disso, a secagem de suspensões utilizando partículas inertes também ganhou grande atenção na indústria alimentícia e química (Brito, et al., 2018; Sousa, et al., 2019; Hamedi, et al., 2021).

3.4 Revestimento a base de biopolímeros

O processo de revestimento é uma operação unitária que envolve trocas simultâneas de calor e massa entre uma corrente de ar de entrada, soluções de revestimento, material a ser revestido e o equipamento de secagem (Silva et al., 2014). A aplicação do revestimento de partículas visa manter, lote a lote, um produto de qualidade e morfologia uniformes. Porém, esse recurso pode ser desafiador, pois a aplicação de um filme de revestimento em uma partícula sólida é um processo muito complexo, exigindo inúmeras passagens para produzir uma cobertura completa (Rocha, et al., 2018).

3.4.1 Revestimentos de carboidrato

Devido à sua biocompatibilidade, biodegradabilidade, flexibilidade estrutural, os carboidratos são carreadores populares para muitas substâncias bioativas. Eles superam proteínas e lipídios em termos de estabilidade térmica, disponibilidade e capacidade de encapsular compostos hidrofílicos e hidrofóbicos. Ao contrário das proteínas que são menos sensíveis às mudanças ambientais (particularmente pH e força iônica) e responsáveis pela agregação e floculação coloidal (Fathi, et al., 2021). Outra técnica que também pode utilizar biopolímeros como revestimento é a encapsulação. Proteínas ou carboidratos podem ser usados como agentes encapsulantes adequados. Embora os carboidratos, como as maltodextrinas, forneçam boa estabilidade oxidativa ao óleo encapsulado (Shamaei, et al., 2017). O material dentro da cápsula é muitas vezes referido como núcleo ou enchimento, enquanto o material da parede se refere como material de revestimento ou invólucro (Umer, et al., 2011). Carboidratos como amidos hidrolisados, amidos modificados, amidos emulsificantes e gomas são os materiais carreadores mais comuns (Arshad, et al., 2018).

Em geral, um único material de revestimento não é suficiente para fornecer tais propriedades aos produtos e, portanto, sugere-se o uso de uma mistura de materiais de revestimento para o desenvolvimento dos produtos. A maltodextrina (MD) e a goma arábica (GA), são os dois materiais de revestimento comuns que estão sendo usados atualmente na indústria alimentícia (Mahdavi, et al., 2016).

Azeem, et al. (2018), utilizaram o biopolímero de amido modificado como material de revestimento para produzir ureia de liberação controlada de nitrogênio para plantas em leito fluidizado. Os valores ótimos de pressão de atomização, temperatura do gás de fluidificação, taxa de pulverização, temperatura de pulverização e tempo de revestimento resultaram em 0,23 bar, 80,38 °C, 2,71 RPM, 85 °C e 150 min., respectivamente, para o estudo da liberação de nutrientes, enquanto para o coeficiente de variância da espessura do revestimento, os valores ótimos dessas variáveis de processo resultaram em 0.30 bar, 83,09 °C, 2,46

RPM, 87,31 °C e 52,2 min., respectivamente. Concluíram que melhores características de liberação controlada não são apenas uma função da boa uniformidade do revestimento, mas também uma espessura significativa do revestimento e integridade do filme de revestimento.

Costa, et al. (2019), avaliaram os aspectos técnicos e ambientais da produção de uréia na forma cristalina revestida com uma suspensão polimérica natural. Os resultados da pesquisa mostram que os polímeros naturais (amido e gelatina) são materiais de revestimento potenciais que podem ser explorados para desenvolver ureia de liberação lenta com maior eficiência e menor risco ambiental. A uréia revestida apresentou liberação controlada de nitrogênio no solo, e a liberação é altamente dependente das condições de operação do revestimento (temperatura do ar e vazão da suspensão) no leito de jorro.

Em biscoitos, a aplicação de revestimento por pulverização com solução de polissacarídeo-lipídio (amido de milho-metilcelulose-óleo de soja) confirmou o potencial da embalagem/revestimento comestível se tornar parte integrante do alimento e reduziu a cinética de hidratação em alturas fixas de 40 cm entre o bico pneumático do aparelho e o produto em ambiente de alta atividade de água (Andrade, et al., 2012).

Benelli & Oliveira, (2019), avaliaram o processo de revestimento de extrato de alecrim por pulverização de leito fluidizado, utilizando maltodextrina, goma arábica (G), concentrado proteico de leite (P). A composição da mistura revestimento/encapsulante à base de lipídios foi a seguinte: MMC: Poloxamer 407 (20% p/p), ácido esteárico (10% p/p), maltodextrina DE10 (30% p/p) e goma arábica (40% p/w) para a composição G ou concentrado de proteína de soro de leite (40% p/p) para a composição P. O sistema à base de lipídios carregado com um extrato rico em polifenóis adicionado com goma arábica (G) ou proteína de soro de leite concentrado (P) mostrou-se eficiente para revestimento por pulverização de núcleos inertes de MCC em leito fluidizado. Em média, as composições G e P não apresentaram diferenças perceptíveis no desempenho do sistema e nas propriedades do produto, apresentando baixo percentual de aglomeração e eficiências de revestimento em torno de 73%.

Um estudo relata o encapsulamento de óleo essencial de laranja, utilizando amido modificado (*N*-Lok) em secador de leito fluidizado de bico com tubo de sucção em leito de sólidos inertes; a eficiência obtida foi menor do que a obtida utilizando apenas a secagem por pulverização. Ao contrário, proporcionou melhor proteção ao óleo essencial e a maioria dos compostos foi encapsulada (94% frente a 70% no spray dryer) (Velazquez-Contreras, et al., 2014).

Os leitos fluidizados e jorro também pode ser usados para secagem de produtos. A secagem do arroz envolve a redução do teor de umidade dos grãos a um certo nível, evaporando a umidade usando energia térmica. Os secadores mais comuns para arrozais são o secador ao sol aberto, secador de leito fixo, secador de leito de jorro, secador rotativo, secador de leito inclinado e secador de leito fluidizado, sendo estes considerados populares e promissores. Os secadores de leito fluidizado são adequados para a secagem de materiais particulados e granulados úmidos, como produtos agrícolas, como o arroz, e trigo (Yahya, et al., 2022).

3.4.2 Revestimentos de proteínas

Para prolongar a vida de prateleira de produtos as embalagens/revestimento de base biológica têm sido investigadas como uma alternativa mais sustentável para embalagens de plástico (Xiang, et al., 2021; Zhang, et al., 2021). O uso de biopolímeros naturais como polissacarídeos, lipídeos e proteínas como base para o desenvolvimento de embalagens/revestimento biodegradáveis tem ganhado cada vez mais atenção (Lionetto & Corcione, 2021; Moslehi, et al., 2021).

Dentre vários materiais biopoliméricos, as proteínas têm recebido considerável atenção por seu potencial de apresentar filmes transparentes que podem atuar como excelentes barreiras ao oxigênio e fornecer propriedades mecânicas específicas. Além disso, as capacidades únicas das proteínas de formar redes e induzir plasticidade e elasticidade são benéficas na preparação de materiais de embalagem à base de biopolímeros (Jafarzadeh, et al., 2020).

A qualidade dos alimentos é definida como a combinação de atributos ou características de um produto que têm importância na determinação do grau de aceitabilidade dos consumidores (Grosso, et al., 2019). Assim, estudos de estabilidade de armazenamento são realizados para garantir a vida útil prolongada de vários produtos alimentícios, como a adição de um revestimento comestível à base de nanofibrilas isoladas de proteína de soro de leite para antioxidação e inibição do escurecimento em maçãs se mostra bastante promissor (Feng, et al., 2018).

Estudo apontam na valorização de resíduos ou subprodutos da indústria de alimentos, tanto pelos problemas ambientais associados à sua eliminação quanto pelo alto potencial para o desenvolvimento de novos produtos, materiais de embalagem e compostos bioativos (Ananey-Obiri, et al., 2018). A filetagem do pescado gera grandes quantidades de subprodutos (carcaças, cabeças e sobras de carne no osso e na pele), sendo ricos em nutrientes e são frequentemente descartados sem nenhum esforço para recuperação de nutrientes desses subprodutos (Gehring, et al., 2011; Pereira, et al., 2020; Pereira, et al., 2021a). Esses subprodutos são boas fontes de proteínas miofibrilares que podem ser recuperadas e usadas como materiais de revestimento (Pereira, et al., 2021b), hidrocolóides comestíveis, como proteína são comumente usados para produzir filmes e revestimentos de embalagens (Moghadam, et al., 2021).

A capacidade da proteína do alimento muscular para formar filmes indicará sua capacidade de ser usada como revestimento comestível. As matérias-primas capazes de formar filmes devem ser capazes de formar uma matriz contínua e devem ser de fonte renovável e abundante (Sharaf & Tahergorabi, 2017). Para que as proteínas sejam capazes de formar essas estruturas estendidas que são necessárias para formar filmes, deve perder sua estrutura tridimensional nativa (desnaturação) por meio de ácidos, bases ou tratamentos térmicos. A miosina pode formar uma estrutura de rede tridimensional que impede o escape de água quando os géis se formam (Tahergorabi & Jaczynski, 2016). Assim, a formação de revestimentos à base de proteínas de pescado envolve a desnaturação para obter a gelificação.

Pereira, et al. (2021b) e colaboradores analisaram a caracterização reológica e influência de revestimentos comestíveis a base de proteínas miofibrilares de pescado, amido de milho e goma arábica na qualidade pós-colheita de goiaba, e observaram que os revestimentos com proteínas miofibrilares e amido de milho retardaram o amadurecimento dos frutos quando comparados ao controle (Pereira, et al., 2021b). Assim como esta, outras soluções de revestimento podem ser aplicadas em estudos futuros através da tecnologia automatizada por leite fluidizado e/ou jorro com o intuito de verificar a viabilidade tecnológica dessas suspensões de recobrimento nestes equipamentos. Meiners (2012), ao estudar microencapsulação em leite fluidizado e outros métodos de revestimento para ingredientes alimentícios, relataram em seu estudo que proteínas, como proteínas de soro de leite ou gelatina, ou proteína de soja ou ervilha, possuem cargas elétricas diferentes em diferentes níveis de pH, o que as torna um material interessante para fins de microencapsulação. Principalmente quando facilmente solúveis em água, as proteínas são excelentes fontes de material de barreira, em particular contra o oxigênio.

A microencapsulação eficiente protegerá o composto ativo e será liberado no momento certo. Agentes químicos de fermentação, como bicarbonato de sódio, o componente alcalino da reação de CO₂, reagirão imediatamente quando misturados com o componente ácido para gerar o dióxido de carbono para criar a estrutura de poros típicos da maioria dos produtos de panificação. A microencapsulação em processo de leite fluidizado com proteínas, amidos ou lipídios, pode conferir características de panificação perfeitas (Meiners, 2012).

As proteínas lácteas são altamente valorizadas como materiais de revestimento no processo de encapsulamento por secagem em spray drying, leites fluidizado e jorro. Eles têm muitas propriedades funcionais inerentes, incluindo sua capacidade de estabilizar emulsões e formar matrizes de gel, o que lhes permite funcionar como encapsulantes eficazes. Elas podem ser usadas para encapsular uma ampla gama de ingredientes alimentares hidrofílicos e hidrofóbicos. As proteínas do leite podem ser usadas sozinha ou em combinação com outros ingredientes alimentares, como carboidratos, gomas, surfactantes e lipídios para a formulação de ingredientes alimentícios encapsulados e bioativos alimentares (Augustin & Oliver, 2014).

3.4.3 Revestimento a base de celulose

Fibras de amido, proteína e celulose são alguns dos materiais que têm sido usados para desenvolver espumas biodegradáveis (Regubalan, et al., 2018). Devido à sua biodegradabilidade, baixo custo, baixa densidade, boas propriedades de tração e facilidade de processamento, as fibras naturais à base de celulose são reforços atraentes para a produção de biocompósitos (Kim & Netravali, 2010; Lu et al., 2012). No entanto, como as fibras de celulose são hidrofílicas, elas apresentam baixa compatibilidade com polímeros comuns usados em embalagens, resultando em baixa adesão interfacial e baixa estabilidade térmica (Kim, et al., 2022). Portanto, se as fibras de celulose forem incorporadas em polímeros para produzir compósitos, devem ser modificadas quimicamente para melhorar sua compatibilidade com a matriz polimérica, e essa modificação química pode ser alcançada por tratamento alcalino, acetilação e acoplamento maleado, entre outras técnicas (Faruk et al., 2014; Sair et al., 2018).

O tratamento alcalino de fibras de cânhamo foi relatado para remover materiais não celulósicos, melhorar sua resistência à tração e amolecê-los (Lu, et al., 2012). A celulose microcristalina tratada com ácido fítico e taninos condensados apresentou propriedades retardantes de chama e absorção de corante catiônico (Yuan, et al., 2022). Além disso, os nanocristais de celulose foram modificados por acetilação, oxidação, esterificação, ligação de hidrogênio, silanização e outras técnicas para projetar suas propriedades de acordo com a aplicação desejada (Rana, et al., 2021).

Revestimento comestível é um método ideal para conservar frutas e hortaliças frescas, sendo um potencial para prevenir a perda de água devido à propriedade de barreira à água (Kwak, et al., 2021; Li, et al., 2020). A técnica de revestimento por pulverização de revestimentos atraiu muita atenção industrial recentemente e pode ser aplicado em frutas e vegetais frescos, sendo eficiente comparado a técnica tradicional de revestimento por imersão (Ghoora & Srividya, 2020). Estudos reportados por Yu, et al. (2022) e colaboradores elaboraram revestimento a base de carboximetilcelulose, parafina líquida e nanocristais de celulose para controlar a perda de água pós-colheita em vegetais e dados fisiológicos detalhados de repolho chinês – par choi (*Brassica chinensis* L.) através da técnica de pulverização, e declaram que o revestimento pode ser um método promissor para melhorar seu valor nutricional e comercial da verdura, pois evitou efetivamente a perda de água e melhorou a aparência do produto revestido armazenado a 25°C e 60% de umidade relativa por 48 h.

Celina, et al. (2010), avaliaram sementes de brócolis revestidas em leito de jorro com uma suspensão de hidróxi-etil-celuloses, com a finalidade de proteger as sementes do ambiente saturado de vapor d'água à temperatura ambiente. As sementes de brócolis de diâmetro médio $1,6 \times 10^{-3}$ m, foram revestidas nos seguintes valores: temperaturas do ar de 50 e 70°C, pressão do ar de atomização de 15 e 25 psi e revestimento caudal mássico da suspensão de 6 e 8 ml/min. As sementes revestidas apresentaram de 2 a 10% menos umidade do que as sementes não revestidas, evidenciando um comportamento protetor proporcionado pela hidróxi-etil-celulose.

Outra aplicação muito utilizada é na preparação de fármacos. Szafran, et al. (2012), avaliaram a construção e o desempenho de um novo aparelho, leito de jorro, para revestimento e encapsulamento de núcleos de partículas Partículas Cellets com diâmetros inferiores a 1 mm, utilizando como agente de revestimento entérico celulósico comercial para revestimento seco e encapsulamento e concluíram que a alta velocidade das partículas na zona de revestimento permite obter revestimentos homogêneos, evita a granulação do material e sua aderência às paredes do aparelho e bicos pneumáticos. O aparelho pode ter aplicação na produção de preparações fármacos, caracterizados por liberação retardada ou prolongada na forma de micropartículas envolvidas pelo revestimento com propriedades controladas ou microcápsulas.

3.4.4 Revestimento a base de polissacarídeo

A utilização dos polissacarídeos, incluindo celulose, amido, quitosana e alginato, estão sendo considerados polímeros promissores para uma ampla variedade de aplicações em diversos campos envolvendo alimentos, cosméticos e medicamentos

devido à sua biocompatibilidade, biodegradabilidade, abundância, baixo custo e propriedades mecânicas melhoradas (Forgács, et al., 2021).

Yang, et al. (2022), avaliaram um processo de fabricação de carreadores de clorofila pelo leito fluidizado de pulverização lateral rotativa. Os extratos de clorofila foram revestidos com alginato de sódio (A1) e caseinato de sódio (CA1) como camada primária nas esferas de açúcar e o rendimento do produto foi de 96,98 e 96,71%, respectivamente. Diferentes polissacarídeos aniônicos foram usados como material de revestimento da camada secundária, O CA1 foi revestido com alginato de sódio (CA-A), carboximetilcelulose de sódio (CA-C) e goma xantana (CA-X), o que pode aumentar a integridade do revestimento, a resistência da película e a estabilidade térmica. Após ser armazenada com e sem luz por 24 dias, a amostra com camada secundária apresentou melhor estabilidade de qualidade. Esses parâmetros podem ser usados como referência para o desenvolvimento de partículas de múltiplas camadas.

Costa-Silva, et al. (2021), estudaram o revestimento de partículas sólidas (quitosana ativada) com lipase localizada na superfície das micropartículas pulverizadas com solução de revestimento por secagem em leito fluidizado para criação de um filme contínuo ao redor das partículas. Concluíram que foi aplicado grânulos de quitosana como um suporte “verde” e econômico com excelente biocompatibilidade com a enzima, e obtiveram lipase imobilizada com alta retenção de atividade enzimática (↑46,5%) e maior termoestabilidade. Além disso, a secagem em leito fluidizado desidratou compostos biológicos termossensíveis, gerando um produto com baixo teor de umidade (3,84 % p/p) e atividade de água (~0,10).

4. Conclusão

Esta revisão reúne as informações sobre a importância e as funções do revestimento aplicados em produtos com viabilidade tecnológica e biológica e podem melhorar a qualidade dos produtos alimentícios e reduzir a contagem microbiana. A revisão concluiu que todos os métodos abordados estão aumentando a eficiência e a duração do material de revestimento ou dos produtos revestidos. Essas técnicas são usadas para produzir espessura uniformes na superfície dos produtos após a secagem por pulverização das suspensões de revestimento e podem controlar os danos físicos, mecânicos e biológicos e prolongar a vida útil dos produtos revestidos e podem ser usados em nível comercial para aplicações em massa em produtos alimentícios e fármacos.

Todos os métodos de deposição dos revestimentos aqui apresentados em produtos no geral, para trabalhos futuros, requerem validação adicional por meio de mais levantamento teórico e aplicações práticas. Novos estudos também devem explorar os métodos de revestimentos para aplicação em uma variedade de produtos com alta eficiência, melhores desempenhos e com baixo custo que proporcionarão boa qualidade para novos revestimentos e segurança aos produtos revestidos.

Referências

- Aguirre-Joya, J. A., De Leon-Zapata, M. A., Alvarez-Perez, O. B., Torres-León, C., Nieto Oropeza, D. E., Ventura-Sobrevilla, J. M., Aguilar, M. A., Ruelas-Chacón, X., Rojas, R., Ramos-Aguiñaga, M. E., & Aguilar, C. N. (2018). Basic and Applied Concepts of Edible Packaging for Foods. *Food Packaging and Preservation*, 1–60.
- Ananey-Obiri, D., Matthews, L., Azahrani, M. H., Ibrahim, S. A., Galanakis, C. M., & Tahergorabi, R. (2018). Application of protein-based edible coatings for fat uptake reduction in deep-fat fried foods with an emphasis on muscle food proteins. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 167-174.
- Andrade, R.D., Skurtys, O., & Osorio, F.A. (2012). Atomizing Spray Systems for Application of Edible Coatings. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(3), 323-337.
- Arshad, H., Ali, T. M., & Hasnain, A. (2018). Native and modified Sorghum starches as wall materials in microencapsulation of nutmeg oleoresin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114,700-709.
- Azeem, B., KuShaari, K., Man, Z., & Trinh, T. H. (2018). Effect of fluidized-bed process variables on controlled-release of nitrogen and coating. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 35(2), 587 – 604.
- Alves, A.M.A., Santos, A.F., Morais, E.F.F., Pessoa, R.I. & Silva, R.S. (2020). Storage of minimally processed 'Cantaloupe' melons with edible coatings. *Research, Society and Development*, 9(7), 1-21, e394972796.

- Augustin, M. A., & Oliver, M.C. (2014). Chapter 19 - Use of Milk Proteins for Encapsulation of Food Ingredients. *Microencapsulation in the Food Industry. A Practical Implementation*, 211-226.
- Baudet, L., & Peres, W. (2004). Recobrimento de sementes. *Seed News*, 8(1), 20-23. (in Portuguese).
- Benelli, I., & Oliveira, W. P. (2016). System dynamics and product quality during fluidized bed agglomeration of phytochemical compositions. *Powder Technology*, 300, 2–13.
- Benelli, L., & Oliveira, W. P. (2019). Fluidized bed coating of inert cores with a lipid-based system loaded with a polyphenol-rich *Rosmarinus officinalis* extract. *Food and Bioproducts Processing*, 114, 216-226.
- Bhardwaj, A., Alam, T., & Talwar, N. (2019). Recent advances in active packaging of agri-food products: A review. *Journal of Postharvest Technology*, 7(1), 33-62.
- Brandt, K., Wolff, M. F. H., Salikov, V., Heinrich, S., & Schneider, G. A. (2013). A novel method for a multi-level hierarchical composite with brick-and-mortar structure. *Scientific Reports*, 3, 1–8.
- Brito, R. C., Sousa, R. C., Béttega, R., Freire, F. B., & Freire, J. T. (2018). Analysis of the energy performance of a modified mechanically spouted bed applied in the drying of alumina and skimmed milk. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 130, 1–10.
- Butler, A., Hall, H., & Copnell, B. (2016). A guide to writing a qualitative systematic review protocol to enhance evidence-based practice in nursing and health care. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 13(3), 241-249.
- Cazon, P., Velazquez, G., Ramirez, J. A., & Vazquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68, 136-148.
- Celina, A., Cristina, S. S. R., & Maria, I. D. F. (2010). Water vapor absorption by hydroxy-ethyl cellulose coated seeds. Conference Proceeding - 4th International Conference, TAE 2010: Trends in Agricultural Engineering, 64 – 68.
- Chen, Y., Yang, J., Mujumdar, A., & Dave, R. (2009). Fluidized bed film coating of cohesive Geldart group C powders. *Powder Technology*, 189(3), 466-480.
- Correia, A. M. R., & Mesquita, A. (2014). *Mestrados e Doutoramentos*. Porto: Vida Econômica Editorial, 328 p.
- Costa F., Braga, R. C., Bastos, M. S. R., Santos, D. N., & Frota, M. M. (2022). Revestimentos comestíveis à base de fécula de mandioca (manihot esculenta) em produtos vegetais: uma revisão. *Research, Society and Development*, 11(4), e54511427428.
- Costa, P. T., Westphalen, G., Nora, D. B. F., Silva, Z. B., & Rosa, G. S. (2019). Technical and environmental assessment of coated urea production with a natural polymeric suspension in spouted bed to reduce nitrogen losses. *Journal of Cleaner Production*, 222, 324-334.
- Costa-Silva, T.A., Carvalho, A.K.F., Souza, C.R.F., Castro, H.F., Bachmann, L., Said, S., & Oliveira, W.P. (2021). Enhancement lipase activity via immobilization onto chitosan beads used as seed particles during fluidized bed drying: Application in butyl butyrate production. *Applied Catalysis A: General*, 622, 118217.
- Debeaufort, F., & Voilley, A. (2009). Lipid-Based Edible Films and Coatings. In: Huber, K., Embuscado, M. (eds) *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer, New York, NY.
- Dehghani, S., Hosseini, E., & Roustaei, E. (2022). Shelf-life extension of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using an edible coating of bitter almond gum-fish gelatin conjugates. *Progress in Organic Coatings*, 170, 106980.
- Eichner, E., Salikov, V., Bassen, P., Heinrich, S., & Schneider, G. A. (2017). Using dilute spouting for fabrication of highly filled metal-polymer composite materials. *Powder Technology*, 316, 426–433.
- Epstein, N., & Grace, J. R. (2011). Spouted and spout-fluid beds: Fundamentals and applications N. Epstein, J. R. Grace (Eds.), Introduction, Cambridge University Press, Cambridge.
- Fakhouri, F. M., Martelli, S. M., Caon, T., Velasco, J. I., & Mei, L. H. (2015). Edible films and coatings based on starch/gelatin: Film properties and effect of coatings on quality of refrigerated Red Crimson grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 57-64.
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H.-P., & Sain, M. (2014). Progress report on natural fiber reinforced composites. *Macromol. Macromolecular Materials and Engineering*, 299, 9–26.
- Fathi, M., Vinceković, M., Jurić, S., Viskić, M., RežekJambrak, A., & Donsì, F. (2021). Food-grade colloidal systems for the delivery of essential oils. *Food Reviews International*, 37(1), 1-45.
- Feng, Z., Wu, G., Liu, C., Li, D., Jiang, B., & Zhang, Z. (2018). Edible coating based on whey protein isolate nanofibrils for antioxidation and inhibition of product browning. *Food Hydrocolloids*, 79, 179-188.
- Forgács, A., Papp, V., Paul, G., Marchese, L., Len, A.I., Dudás, Z., Fábíán, I., Gurikov, P., & Kalmár, J. (2021). Mechanism of hydration and hydration induced structural changes of calcium alginate aerogel. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 13, 2997-3010.
- Freire, J. T., & Oliveira, W. P. (1992). *Technological aspects in the process of particles coating*, in: Freire, J. T. & Sartori, D. J. M. (Eds.), *Special Topics in Drying*, Federal University of São Carlos, Brazil, 1992, pp. 253–293 (in Portuguese).
- Gehring, C. K., Gigliotti, J. C., Moritz, J. S., Tou, J. C., & Jaczynski, J. (2011). Functional and nutritional characteristics of proteins and lipids recovered by isoelectric processing of fish by-products and low-value fish: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 422–431.

- Geldart, D. (1973). Types of gas fluidization. *Powder Technology*, 7, 285–292.
- Ghoola, M. D., & Srividya, N. (2020). Effect of packaging and coating technique on postharvest quality and shelf life of *Raphanus sativus* L. and *Hibiscus sabdariffa* L. microgreens. *Foods*, v. 9, n. 5, 653.
- Grosso, L., Asensio, C. A., Grosso, N. R., & Nepote, V. (2019). Increase of walnuts' shelf life using a walnut flour protein-based edible coating Antonella. *LWT - Food Science and Technology*, 118, 108712.
- Hamed, S. H., Afsahi, M. M., Nematollahi, M. H., & Akhavan, H. R. (2021). Spouted bed drying of skimmed milk: Multivariable optimization of the conditions to improve physicochemical properties of the dried milk. *LWT - Food Science and Technology*, 146, 111448.
- Hanani, Z. A. N., Roos, Y. H., & Kerry, J. P. (2014). Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products. *International Journal of Biological Macromolecules*, 71, 94-102.
- Hassan, B., Chatha, S. A. S., Hussain, A. I., Zia, K. M., & Akhtar, N. (2018). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 1095-1107.
- Huber, K. C., & Embuscado, M. (Eds.). *Applications edible films and coatings for food*. Springer Science & Business Media, 2009.
- Jafarzadeh, S., Jafari, S. M., Salehabadi, A., Nafchi, A. M., Uthaya, U. S., & Khalil, H. P. S. A. (2020). Biodegradable green packaging with antimicrobial functions based on the bioactive compounds from tropical plants and their byproducts. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 262–277.
- Kim, B. S., Garcia, C. V., Shin, G. H., & Kim, J. T. (2022). Development of soy protein concentrate/hemp fiber-based biocomposite foams: Effects of alkaline treatment and poly (lactic acid) coating. *Industrial Crops and Products*, 186, 115288.
- Kim, J. T., & Netravali, A. N. (2010). Mercerization of sisal fibers: effect of tension on mechanical properties of sisal fiber and fiber-reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41, 1245–1252.
- Kumar, N., Neeraj, P., & Petkoska, A. T. (2021). Improved shelf life and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by using chitosan-pullulan composite edible coating enriched with pomegranate peel extract. *Journal of the American Chemical Society*, 1, 500–510.
- Kwak, H., Shin, S., Kim, J., Kim, J., Lee, D., Lee, H., Lee, E. J., & Hyun, J. (2021). Protective coating of strawberries with cellulose nanofibers. *Carbohydrate Polymers*, 258, 117688.
- Li, H., Shi, H. B., He, Y. Q., Fei, X., & Peng, L. C. (2020). Preparation and characterization of carboxymethyl cellulose-based composite films reinforced by cellulose nanocrystals derived from pea hull waste for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 4104–4112.
- Li, Y., Zhu, L., & Jin, Y. Fluidization characteristics of wet particles in a spouted bed using computational fluid dynamics and discrete element method. *Powder Technology*, 407, 117649.
- Lin, C. L., & Wey, M. Y. (2004). The effect of mineral compositions of waste and operating conditions on particle agglomeration/defluidization during incineration. *Fuel*, 83, 2335-2343.
- Link, K. C., & Schlünder, E. U. (1997). Fluidized bed spray granulation. Investigation of the coating process on a single sphere. *Chemical Engineering and Processing*, 36, 443-457.
- Lionetto, F., & Corcione, C. E. (2021). Recent applications of biopolymers derived from fish industry waste in food packaging. *Polymers*, 13(14), 2337.
- Liu, R., Li, L., Yin W., Xu, D., & Zang, H. (2017). Near-infrared spectroscopy monitoring and control of the fluidized bed granulation and coating processes—a review. *International Journal of Pharmaceutics*, 530, 308-315.
- Liu, X. J., Gan, J.Q., Zhong, W. Q., & Yu, A. B. (2020). Particle shape effects on dynamic behaviors in a spouted bed: CFD-DEM study. *Powder Technology*, 361, 349-362.
- LiuJ, L.X., & Litster, D. (1993). Coating mass distribution from a spouted bed seed coater: Experimental and modelling studies. *Powder Technology*, 74(3), 259-270.
- Lopes, N.E.C., Moris, V.A.S., & Taranto, O.P. (2009). Analysis of spouted bed pressure fluctuations during particle coating. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 48(6), 1129-1134.
- Lu, N.; Oza, S., & Ferguson, I. (2012). Effect of alkali and silane treatment on the thermal stability of hemp fibers as reinforcement in composite structures. *Advanced Materials Research*, v. 415-417, 666–670.
- Mahdavi, S. A., Jafari, S.M., Assadpoor, E., & Dehnad, D. (2016). Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatina. *International Journal of Biological Macromolecules*, 85, 379-385.
- Mar, J. M., da Silva, L. S., Lira, A. C., Kinupp, V. F., Yoshida, M. I., Moreira, W. P., Bruginski, e., Campos, F. R., Machado, M. B., de Souza, T. P., Campelo, P. H., de Araújo Bezerra, J., & Sanches, E. A. (2020). Bioactive compounds-rich powders: Influence of different carriers and drying techniques on the chemical stability of the *Hibiscus acetosella* extract. *Powder Technology*, 360, 383-391.
- Maringgal, B., Hashim, N., Tawakkal, I. S. M. A., & Mohamed, M. T. M. (2020). Recent advance in edible coating and its effect on fresh/fresh-cut fruits quality. *Trends in Food Science and Technology*, v. 96, p. 253-267. Doi: doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.024
- Martins, G. Z., Souza, C. R. F., Shankar, T. J., & Oliveira, W. P. (2008). Effect of process variables on fluid dynamics and adhesion efficiency during spouted bed coating of hard gelatine capsules. *Chemical Engineering and Processing*, 47, 2238–2246.
- Mathur, K.B., & Gishler, P.E. (1995). A technique for contacting gases with coarse solid particles. *AIChE Journal*, 1(2), 157-164.

- Meiners, J. A. (2012). Fluid bed microencapsulation and other coating methods for food ingredient and nutraceutical bioactive compounds. *Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals*, 151–176.
- McClements, D. J. (2020). Advances in nanoparticle and microparticle delivery systems for increasing the dispersibility, stability, and bioactivity of phytochemicals. *Biotechnology Advances*, 38, 107287.
- Moghadam, M., Salami, M., Mohammadian, M., & Emam-Djomeh, Z. (2021). Development and characterization of pH-sensitive and antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with Echinium amoenum anthocyanins. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(4), 2984–2994.
- Moslehi, Z., Nafchi, A. M., Moslehi, M., & Jafarzadeh, S. (2021). Aflatoxin, microbial contamination, sensory attributes, and morphological analysis of pistachio nut coated with methylcellulose. *Food science & nutrition*, 9(5), 2576–2584.
- Mostafidi, M., Sanjabi, M. R., Shirkhan, F. & Zahedi, M. T. (2020). A review of recent trends in the development of the microbial safety of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 103, 321-332.
- Murrieta-Martínez, C., Soto-Valdez, H., Pacheco-Aguilar, R., Torres-Arreola, W., Rodríguez-Felix, F., Ramírez-Wong, B., Santacruz-Ortega, H., Santos-Sauceda, I., Olibarría-Rodríguez, G., & Márquez-Ríos, E. (2019). Effect of different polyalcohols as plasticizers on the functional properties of squid protein film (*Dosidicus Gigas*). *Coatings*, 9(2), 1-12.
- Nascimento L. D., Corumbá, L. G., Rocha, S. C. S., Taranto, O. P., Costa, C. M. L., & Faria, L. J. G. (2015). Fluid-dynamics evaluation in a conical spouted bed and characterization of foxtail millet seeds. *Particuology*, 23, 75-81.
- Obiri, D. A., Matthews, L., Azahrani, M. H., Ibrahim, S. A., Galanakis, C. M., & Tahergorabi, R. (2018). Application of protein-based edible coatings for fat uptake reduction in deep-fat fried foods with an emphasis on muscle food proteins. *Trends in Food Science and Technology*, 80, 167-174.
- Panahirad, S., Dadpour, M., Peighambaridoust, H. S., Soltanzade, M., Gullon, B., Alirezalu, K., & Lorenzo, M. J. (2021). Applications of carboxymethyl cellulose- and pectin-based active edible coatings in preservation of fruits and vegetables: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 110, 663–673.
- Parreidt, S.T., Markus, S., & Kajetan, M. (2018). Effect of dipping and vacuum impregnation coating techniques with alginate based coating on physical quality parameters of cantaloupe melon. *Journal of Food Science*, 83(4), 929-936.
- Paulo Filho, M., Rocha, S.C.S., & Lisboa, A.C.L. (2006). Modeling and experimental analysis of polydispersed particles coating in spouted bed. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 45(11), 965-972.
- Peelman, N., Ragaert, P., Meulenaer, B., Adons, D., Peeters, R., Cardon, L., Van Impe, F., & Devlieghere, f. (2013). Application of bioplastics for food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 32(2), 128–141.
- Pereira, G. V. S., Pereira, G. V. S., Araújo, E. F., Xavier, E. M. P., Joele, M. R. S. P., & Lourenço, L. F. H. (2019a). Optimized process to produce biodegradable films with myofibrillar proteins from fish byproducts. *Food Packaging and Shelf Life*, 21, 100364.
- Pereira, G. V. S., Pereira, G. V. S., Neve, E. M. P. X., Joele, M. R. S. P., Lima, C. L. S., & Lourenço, L. F. H. (2019b). Effect of adding fatty acids and surfactant on the functional properties of biodegradable films prepared with myofibrillar proteins from acoupa weakfish (*Cynoscion acoupa*). *Food Science and Technology*, 39(1), 287–294.
- Pereira, G. V. S., Pereira, G. V. S., Neve, E. M. P. X., Rego, J. A. R., Brasil, D. S. B., Lourenço, L. F. H., & Joele, M. R. S. P. (2020). Glycerol and fatty acid influences on the rheological and technological properties of composite films from residues of *Cynoscion acoupa*. *Food Bioscience*, 38, 100773.
- Pereira, G. V. S., Pereira, G. V. S., Neves, E. M. P. X., Albuquerque, G. A., Rego, J. A. R., Cardoso, D. N. P., Brasil, D. S. B., & Joele, M. R. S. P. (2021a). Effect of the Mixture of Polymers on the Rheological and Technological Properties of Composite Films of Acoupa Weakfish (*Cynoscion acoupa*) and Cassava Starch (*Manihot esculenta* C.). *Food and Bioprocess Technology*, 14, 1199–1215.
- Pereira, G. V. S., Pereira, G. V. S., Oliveira, L. C., Cardoso, D. N. P., Calado, V., & Lourenço, L. F. H. (2021b). Rheological characterization and influence of different biodegradable and edible coatings on post-harvest quality of guava. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, e15335.
- Pietsch, S., Poppinga, F. O., Heinrich, S., Müller, M., Schönherr, M., & Jäger, F. K. (2019). A novel method of quantifying the coating progress in a three-dimensional prismatic spouted bed. *Particuology*, 42, 137-145.
- Rana, A. K., Frollini, E., & Thakur, V. K. (2021). Cellulose nanocrystals: pretreatments, preparation strategies, and surface functionalization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 1554–1581.
- Regubalan, B., Pandit, P., Maiti, S., Nadathur, G. T., & Mallick, A. (2018). *Potential bio-based edible films, foams, and hydrogels for food packaging*. In: Ahmed, S. (Ed.), *Bio-Based Materials for Food Packaging*. Springer, Singapore, Singapore, pp. 105–123.
- Rocha, A. P. T., Lisboa H. M., Alsina, O. L. S., & Silva, O. S. (2018). Coating process of *Phyllanthus niruri* Linn granules using spouted bed. *Powder Technology*, 336, 85-91.
- Rowe, R. C. (2008). Defects in Aqueous Film-Coated Tablets. *Drugs and the Pharmaceutical Sciences*, 176, 129.
- Sair, S., Oushabi, A., Kammouni, A., Tanane, O., Abboud, Y., & El Bouari, A. (2018). Mechanical and thermal conductivity properties of hemp fiber reinforced polyurethane composites. *Case Studies in Construction Materials*, 8, 203–212.
- Sakurai, Y., Mise, R., Kimura, S.-I., Noguchi, S., Iwao, Y., & Itai, S. (2017). Novel method for improving the water dispersibility and flowability of fine green tea powder using a fluidized bed granulator. *Journal of Food Engineering*, 206, 118–124.
- Santana, E. B., Valente, Lorena, M. C. C., Corumbá, G., Andrade, E. L., Costa, C. M. L., & Faria, L.J.G. (2017). Fluid-dynamic behavior of flaxseed fluidized and spouted bed. *Ciência Rural*, 47(10), e20160644.

- Savari, C., Kulah, G., Sotudeh-Gharebagh, R., Mostoufi, N., & Koksai, M. (2016). Early detection of agglomeration in conical spouted beds using recurrence plots. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55, 7179–7190.
- Saxena, A., Sharma, L., & Maity, T. (2020). Enrichment of edible coatings and films with plant extracts or essential oils for the preservation of fruits and vegetables. *Biopolymer-Based Formulations*, 10, 859–881.
- Shamaei, S., Seiedlou, S. S., Aghbashlo, M., Tsotsas, E., & Kharaghani, A. (2017). Microencapsulation of walnut oil by spray drying: Effects of wall material and drying conditions on physicochemical properties of microcapsules. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 39, 101-112.
- Sharaf, E. A., & Tahergorabi, R. (2017). Application of a surimi-based coating to improve the quality attributes of shrimp during refrigerated storage. *Foods*, 6(9), 76.
- Silva, C. A. M., Butzge, J. J., Nitz, M., & Taranto, O. P. (2014). Monitoring and control of coating and granulation processes in fluidized beds—a review, *Adv. Powder Technology*, 25, 195–210.
- Simões, L. S., Madalena, D. A., Pinheiro, A. C., Teixeira, J. A., Vicente, A. A., & Ramos, Ó. L. (2017). Micro-and nano bio-based delivery systems for food applications: In vitro behavior. *Advances in Colloid and Interface Science*, 243, 23–45.
- Sousa, R. C., Ferreira, M. C., Altzibar, H., Freire, F. B., & Freire, J. T. (2019). Drying of pasty and granular materials in mechanically and conventional spouted beds. *Particuology*, 42, 176-183.
- Suhag, R., Kumar, N., Petkosk, A. T., & Upadhyay, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136, 109582.
- Sutkar, V.S., Deen, N.G., & Kuipers, J.A.M. (2013). Spout fluidized beds: Recent advances in experimental and numerical studies. *Chemical Engineering Science*, 86, 124-136.
- Szafran, G. R., WojciechLudwig, W., & Kmiec, A. (2012). New spout-fluid bed apparatus for electrostatic coating of fine particles and encapsulation. *Powder Technology*, 225, 52-57.
- Tahergorabi R., & Jaczynski, J. (2016). *Seafood proteins and human health*. In: Raatz, S., & Bibus, D. (Eds.). Fish and fish oil in health and disease prevention. (pp. 323 – 330). Cambridge, MA, USA: Academic Press.
- Tahergorabi R., Hosseini S.V., & Jaczynski J. (2011). *Seafood proteins*. In: Phillips, G. O., & Williams, P. A. (Eds.). Handbook of food proteins. (pp. 116 – 143). Cambridge, MA, USA: Elsevier.
- Teunou, E., & Poncelet, D. (2002). Batch and continuous fluid bed coating — review and state of the art. *Journal of Food Engineering*, v. 53, p. 325-340.
- Turton, R., Tardos, G. I., & Ennis, B. J. (1999). Fluidized bed coating and granulation. W.-C. Yang (Ed.), Fluidization, Solids Handling and Processing, *Noyes Publications*, Westwood, NJ, 331-434.
- Umer, H., Nigam, H., Tamboli, A. M., & Nainar, M.S.M. (2011). Microencapsulation: process, techniques and applications. *International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences*, 2(2). 474-481.
- Velazquez-Contreras, C., Osorio-Revilla, G., & Gallardo-Velazquez, T. Encapsulation of Orange Essential Oil in a Spout-Fluid Bed Dryer with a Draft Tube on a Bed of Inert Solids. *Drying Technology*, 32(14). 1718-1726.
- Vieira, W. T., Nicollini, M. V. S., Silva, M. G. C., Nascimento, L. O., & Vieira, M. G. A. Natural polysaccharides and proteins applied to the development of gastroresistant multiparticulate systems for anti-inflammatory drug delivery – A systematic review. *European Polymer Journal*, 172, 111205.
- Werner, S. R. L., Jones, J. R., Paterson, A. H. J., Archer, R. H., & Pearce, D. L. (2007). Air-suspension particle coating in the food industry: Part I — state of the art. *Powder Technology*, 171(1), 25-33.
- Wilson, R., Dini, D., & Wachem, B. V. (2016). A numerical study exploring the effect of particle properties on the fluidization of adhesive particles. *AIChE Journal*, 62(5), 1467-1477.
- Xiang, F., Xia, Y., Wang, Y., Wang, Y., Wu, K., & Ni, X. (2021). Preparation of konjac glucomannan based films reinforced with nanoparticles and its effect on cherry tomatoes preservation. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100701.
- Yang, Z-S., Song, H-Y., Yang, K-M., & Chiang, P-Y. (2022). The physicochemical properties and the release of sodium caseinate/ polysaccharide gum chlorophyll multiple-layer particles by rotary side-spray fluid bed technology. *Food Chemistry*, 394, 133442.
- Yahya, M., Rachman, A., & Hasibuan, R.. (2022). Performance analysis of solar-biomass hybrid heat pump batch-type horizontal fluidized bed dryer using multi-stage heat exchanger for paddy drying. *Energy*, 254(Part B), 124294.
- Yu, K., Zhou, L., Xu, J., Jiang, F., Zhong, Z., Zou, L., & Liu, W. (2022). Carboxymethyl cellulose-based water barrier coating regulated postharvest quality and ROS metabolism of pakchoi (*Brassica chinensis* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 185, 111804.
- Yuan, H. B., Tang, R. C., & Yu, C. B. (2022). Microcrystalline cellulose modified by phytic acid and condensed tannins exhibits excellent flame retardant and cationic dye adsorption properties. *Industrial Crops and Products*, 184, 115035.
- Zank, J., Kind, M., & Schlünder, E.U. (2001). Particle growth and droplet deposition in fluidised bed granulation. *Powder Technology*, 120, 76-81.
- Zhalehrajabi, E., Lau, K. K., Shaari, K. Z. K., Zahraee, S. M., Seyedin, S. H., Azeem, B., & Shaaban, A. (2019). Effect of Biodegradable Binder Properties and Operating Conditions on Growth of Urea Particles in a Fluidized Bed Granulator. *Materials*, 12(14), 2320.

Zhang, C., Yang, Z., Shi, J., Zou, X., Zhai, X., Huang, X., Li, Z., Holmes, M., Daglia, M., & Xiao, J. (2021). Physical properties and bioactivities of chitosan/gelatin-based films loaded with tannic acid and its application on the preservation of fresh-cut apples. *LWT - Food Science and Technology*, 144, 111223.

Zhu, X.; Zhang, Q., Huang, C., Wang, Y., Yang, C., & Wei, F. (2017). Validation of surface coating with nanoparticles to improve the flowability of fine cohesive powders. *Particuology*, 30, 53–61.

Zink, Z., Wyrobnik, T., Prinz, T., & Schmid, M. (2016). Physical, chemical and biochemical modifications of protein-based films and coatings: An extensive review. *International Journal of Molecular Sciences*, 17, 1-45.