



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS



LARISSA SOARES DE MENEZES

SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA (*FOAM-MAT DRYING*) APLICADA EM
ALIMENTOS: UMA REVISÃO

Patos de Minas

2022

LARISSA SOARES DE MENEZES

SECAGEM EM LEITO DE ESPUMA (*FOAM-MAT DRYING*) APLICADA EM
ALIMENTOS: UMA REVISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Química da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof^ª. Marta Fernanda Zotarelli

Coorientadora: Prof^ª. Carla Zanella Guidini

Patos de Minas

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



HOMOLOGAÇÃO Nº 75

LARISSA SOARES DE MENEZES

Secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*) aplicada em alimentos: uma revisão

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - *campus* Patos de Minas (MG) pela banca examinadora constituída por:

Prof.^a Dr.^a Marta Fernanda Zotarelli
Orientadora - FEQUI/UFU

Prof.^a Dr.^a Carla Zanella Guidini
Coorientadora - FEQUI/UFU

Prof.^a Dr.^a Marieli de Lima
FEQUI/UFU

Prof. Dr. Ricardo Corrêa de Santana
FEQUI/UFU

Patos de Minas, 5 de outubro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Marta Fernanda Zotarelli, Presidente**, em 05/10/2022, às 16:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carla Zanella Guidini, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/10/2022, às 16:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Correa de Santana, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/10/2022, às 16:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marieli de Lima, Professor(a) do Magistério Superior**, em 05/10/2022, às 16:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site



https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3974705** e o código CRC **3A4AB622**.

Referência: Processo nº 23117.001261/2022-59

SEI nº 3974705

Dedico este trabalho aos meus pais, amigos de curso e orientadores, pelo apoio e compreensão durante a realização do mesmo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me sustentou em todos os momentos durante a graduação, me dando força e saúde para concluir todas as etapas.

Agradeço também à minha mãe Clarice de Araújo Soares Chaves, pelo apoio emocional e financeiro, por não medir esforços para que eu estudasse em uma universidade pública, por estar sempre presente e me ajudar com palavras de carinho e compreensão.

Ao meu pai Gilmar Neves de Menezes, que mesmo longe sempre se preocupou comigo e com meus estudos, e também não mediu esforços para auxiliar a me manter em outra cidade durante a graduação.

Ao meu padrasto Marcelo Pereira Chaves pelo apoio financeiro que foi fundamental para a minha formação, e por cuidar da nossa família.

Aos meus pequenos irmãos Miguel Soares Chaves e Rafael Soares Chaves que trouxeram alegria e esperança até para os dias mais difíceis do meu curso.

Agradeço ao meu namorado Marco Aurélio Capecci Júnior, que me incentivou, me apoiou e não me deixou desistir em diversos momentos, me mostrando o quanto eu sou capaz.

Agradeço às minhas colegas de curso Mikaela, Raquel, Laila e Victória por todos os momentos compartilhados, pelo apoio e pela companhia, sem vocês tudo teria sido mais difícil.

Agradeço ao Programa de Educação Tutorial PET Engenharia de Alimentos UFU pela oportunidade de me desenvolver dentro do grupo, pela bolsa concedida durante três anos de curso e pela grande experiência de ter trabalhado por anos no programa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de iniciação científica atribuída durante um ano e meio de graduação.

Agradeço à minha orientadora Marta Fernanda Zotarelli que me auxiliou em todos os momentos em que foi necessário, pelo apoio, compreensão e paciência durante a realização deste trabalho.

Agradeço também à minha coorientadora, e por anos, minha orientadora de iniciação científica Carla Zanella Guidini, pela paciência, suporte e orientação durante os projetos de pesquisa.

Agradeço à banca examinadora pela disponibilidade e atenção ao meu trabalho.

E por fim, agradeço a todos que de alguma forma me auxiliaram no decorrer dos anos de graduação em Engenharia de Alimentos na UFU.

“Não é o que o mundo reserva para você, mas o
que você traz para o mundo.”

(Anne with an E)

RESUMO

A secagem é uma das operações unitárias mais utilizadas para a conservação de alimentos, e vários produtos de importância comercial passam por esse processo, como o café, o leite em pó, os grãos, as farinhas, as frutas desidratadas, entre outros. Todavia, o processo de desidratação por calor pode causar perdas na qualidade sensorial e no valor nutricional de variados produtos, devido a isso, são realizadas diversas pesquisas sobre os processos de secagem e combinação de métodos, para minimizar alguns destes prejuízos em alimentos. Neste aspecto, a secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*) se mostra como uma alternativa vantajosa em relação a outros métodos, por manter de forma eficiente algumas características sensoriais do produto. Este método consiste na produção de uma espuma estável do alimento que se deseja secar, com a utilização de agentes espumantes. Esta espuma é espalhada em uma superfície e seca pelo método adequado, podendo ser por secagem convectiva, por micro-ondas, por liofilização e até mesmo por pulverização. Por fim, o produto é moído para a obtenção do alimento em pó. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sobre a secagem em leito de espuma destacando os produtos que são secos por esta técnica, os principais métodos de secagem empregados na secagem da espuma, os agentes espumantes que são utilizados, e listar as vantagens e desvantagens ao se aplicar este método. Em suma, pode-se concluir com a realização deste estudo, que este método é mais aplicado para a secagem de frutas; os principais agentes espumantes e estabilizantes utilizados para a formação da espuma são: albumina de ovo, Emustab, maltodextrina e liga neutra; e o método mais utilizado para a secagem da espuma é a secagem convectiva.

Palavras-chave: Secagem de alimentos. Secagem em camada de espuma. Alimentos desidratados. Desidratação de alimentos. Agentes espumantes. Técnicas de secagem.

ABSTRACT

Drying is one of the most used unit operations for food preservation. Several products of commercial importance undergo this process, such as coffee, powdered milk, grains, flours, dehydrated fruits, and others. However, the heat dehydration process can cause losses in various product's sensory quality and nutritional value. Due to this, several kinds of drying processes (and process combinations) are carried out to minimize some of these losses in food. In this aspect, foam-mat drying is shown to be an advantageous alternative to other methods, as it efficiently maintains some sensory characteristics of the product. This method consists of producing a stable foam of the food to be dried with the use of foaming agents. This foam is spread on a surface and dried by the proper method, can be by convective drying, by microwave, by lyophilization and even by spray dryer. Finally, the product is ground to obtain powdered food. Thus, this work aims is to carry out a literature review on foam-mat drying, highlighting the products that are dried by this technique, the main drying methods used in foam drying, the foaming agents that are used, and list the advantages and disadvantages of using this method. In short, it can be concluded with the accomplishment of this study, that this method is more applied for the drying of fruits; the main foaming and stabilizing agents used for foam formation are: egg albumin, Emustab, maltodextrin and liga neutra; and the most used method for drying foam is convective drying.

Keywords: Food drying. Foam-mat drying. Dehydrated foods. Food dehydration. Foaming agents. Drying techniques.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos métodos de secagem segundo Singh e Heldman (2001).....	16
Figura 2 – Ilustração geral da secagem em leito de espuma da manga.	19
Figura 3 – Secador de bandejas.	21
Figura 4 – Secador de túnel.	21
Figura 5 – Liofilizador de bancada.....	22
Figura 6 – <i>Spray dryer</i> em escala laboratorial.....	22
Figura 7 – Secador micro-ondas industrial.....	23
Figura 8 – Obtenção do pó de jambolão por secagem em leito de espuma.....	33
Figura 9 – Representação da estrutura da espuma.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Aplicações da secagem em leito de espuma (<i>foam-mat drying</i>) em diferentes condições.....	24
Tabela 2 -	Agentes espumantes utilizados na secagem em leito de espuma e seus principais resultados.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	METODOLOGIA.....	15
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1	Secagem de Alimentos	15
4.2	Evolução dos métodos de secagem.....	16
4.3	Secagem em leito de espuma (<i>foam-mat drying</i>)	18
4.4	Métodos de secagem aplicados na secagem em leito de espuma (<i>foam-mat drying</i>).....	20
4.5	Aplicações da secagem em leito de espuma (<i>foam-mat drying</i>).....	23
4.6	Agentes espumantes e estabilizantes	33
5	CONCLUSÕES.....	40
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

O processo de secagem, também chamado de desidratação, é uma das técnicas mais antigas de conservação de alimentos, existem registros de diversas civilizações que utilizavam a secagem ao sol para manter e utilizar produtos como carnes, frutas e hortaliças na alimentação em períodos de entressafra. Ao longo dos anos, as técnicas de desidratação foram evoluindo de forma substancial, e em 1872, Samuel R. Percy patenteou o processo de atomização de substâncias líquidas chamado de (em português): “*Melhorias na secagem e concentração de substâncias líquidas por atomização*”, sendo um dos pioneiros a trabalhar com a secagem por pulverização. Mas foi a partir do século XX que houve um grande avanço nas tecnologias de desidratação de alimentos, e foram desenvolvidos e aprimorados *spray-dryers*, secadores de tambor rotativo, secagens à vácuo, liofilizadores, secadores de leite fluidizado, assim como o patenteamento da técnica de secagem em leite de espuma em 1961 por Morgan et al. (1959) (BRENNAN, 1994; FREIRE et al., 2014; MOUNIR, 2017).

A desidratação é amplamente utilizada na atualidade para a conservação de alimentos, pois este processo reduz a quantidade de água e a atividade de água do produto, o que diminui o crescimento de microrganismos, reduz a atividade enzimática e a taxa em que as reações químicas acontecem, prolongando assim, o tempo de vida útil dos alimentos (CELESTINO, 2010; FREIRIA, 2017). Considerando isso, a secagem em leite de espuma (*foam-mat drying*) se mostra uma alternativa importante e vantajosa em relação aos outros métodos de desidratação, principalmente por acontecer de forma mais rápida e preservar melhor as características sensoriais do produto, além de se utilizar temperaturas mais brandas, e permitir a secagem de alimentos sensíveis ao calor. Esta técnica consiste na obtenção de uma espuma estável do alimento que se deseja secar, utilizando agentes espumantes; após isso ocorre a disposição da espuma em uma superfície ampla para a realização da secagem; e por último faz-se a trituração ou desintegração para a obtenção do produto em pó (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998; FELLOWS, 2000; MOSES et al., 2014).

Assim, a secagem por *foam-mat drying* tem três pilares importantes, sendo eles: o produto que se deseja secar e suas propriedades, a formação da espuma (suas propriedades e estabilidade) e o processo de secagem que será utilizado para secar a espuma.

O processo de secagem em leite de espuma pode ser aplicado para diferentes alimentos como frutas, entre elas: banana (WATHARKAR et al., 2021), abacaxi (SAARI et al., 2017), pêssgo (BRAR et al., 2020), uva (TAVARES et al., 2019), manga (SINGH et al., 2019), mamão (QUADRI; OSAMA; SRIVASTAVA, 2020); e outros produtos como: leite

(FEBRIANTO; KUMALANINGSIH; ASWARI, 2012), soro de leite (CRUZ; SARAIVA; TEIXEIRA, 2017), iogurte (MALIK; SHARMA, 2019), beterraba (LING NG; SULAIMAN, 2018), camarão (AZIZPOUR et al., 2013), cebola (FAROOQ et al., 2021), gema de ovo de codorna (PINHEIRO, 2018), sangue bovino (OLIVEIRA, 2017), e etc. Geralmente a secagem é realizada em secadores convectivos. Entretanto, é possível encontrar na literatura o emprego de outros métodos para a secagem da espuma. Além disso, encontra-se também uma diversidade de agentes espumantes que podem ser empregados para a formação da espuma, e que podem, em combinação com o produto que se deseja secar, resultarem em propriedades diferentes ao produto seco (MOUNIR, 2017; QADRI; SRIVASTAVA; SANGAMITHRA et al., 2014; YOUSUF, 2019).

Tendo em vista a relevância desse processo de desidratação, suas vantagens em relação a outros métodos e a escassez de trabalhos de revisão bibliográfica na língua portuguesa sobre o assunto, este estudo tem a finalidade de realizar um levantamento bibliográfico sobre o método de secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*), destacando quais produtos são secos por esta técnica, os resultados obtidos pelos autores, assim como, a aplicação de agentes espumantes (quais são utilizados, e aspectos tecnológicos dos mesmos), além de listar as vantagens e desvantagens ao se aplicar a secagem em camada de espuma, como também é chamada.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho possui como objetivo geral realizar um levantamento bibliográfico qualitativo em português sobre os principais aspectos relacionados a secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*).

2.2 Objetivos específicos

- Revisar, por meio da literatura, os principais métodos de secagem utilizados na secagem da espuma (*foam-mat drying*).
- Listar as principais vantagens e desvantagens deste método de secagem.
- Revisar os principais produtos que foram secos pela secagem em leito de espuma.
- Revisar os principais agentes espumantes e suas características para a secagem em leito de espuma.

3 METODOLOGIA

Realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o método de secagem em leito de espuma e suas aplicações, abordando os diferentes tipos de aditivos utilizados para a obtenção da espuma, as metodologias de secagem, e vantagens e desvantagens desta técnica. Para isso, foram realizadas pesquisas tomando como base artigos científicos, livros e dissertações relevantes sobre o tema. Foram priorizados materiais com data de publicação recente, dos últimos seis anos, entretanto, conteúdos publicados antes de 2017 também foram utilizados nos casos em que poderiam agregar à pesquisa, principalmente o conteúdo encontrado em livros conceituados na área de alimentos.

As pesquisas de artigos, livros e dissertações foram realizadas por meio de plataformas *online* específicas para buscas científicas, dentre elas: *Science Direct*, *SciELO*, Google Acadêmico, Periódicos CAPES, e outros, utilizando palavras-chave para facilitar a pesquisa, como: secagem em leito de espuma, alimentos desidratados, técnicas de secagem de alimentos, camada de espuma e agentes espumantes. Termos em inglês também foram empregados nas pesquisas, principalmente para a reunião de materiais publicados em revistas internacionais, podendo destacar: *foam-mat drying*, *foam-mat drying vegetables*, *foam-mat meet*, *foaming agents* e *drying techniques*. Dessa forma, foram reunidos mais de trinta estudos científicos, englobando artigos e dissertações sobre a secagem em camada de espuma.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Secagem de Alimentos

A secagem é uma operação unitária que se baseia na remoção de parte da água de um alimento pela aplicação de calor sob condições controladas. Esta operação tem como principal objetivo prolongar a vida útil de alimentos, por meio da redução da umidade e da atividade de água. Isso permite que ocorra a redução do crescimento microbiano e das taxas de reações químicas e/ou enzimáticas, diminuindo também, a deterioração do produto durante o período de armazenamento e comercialização. Além disso, a secagem pode agregar valor e otimizar o transporte de alimentos, por tornar fácil o manuseio e por diminuir o peso e o volume dos mesmos (CELESTINO, 2010; FELLOWS, 2006; FOUST et al., 2011).

Diversos alimentos de importância comercial passam pela operação de secagem como o café, o leite em pó, as frutas desidratadas, as farinhas, o feijão e outras leguminosas, as castanhas, os chás, os temperos, além de ingredientes utilizados pelas indústrias de alimentos, como: corantes, aromatizantes, ovo em pó, sacarose, lactose, enzimas, entre outros. Produtos

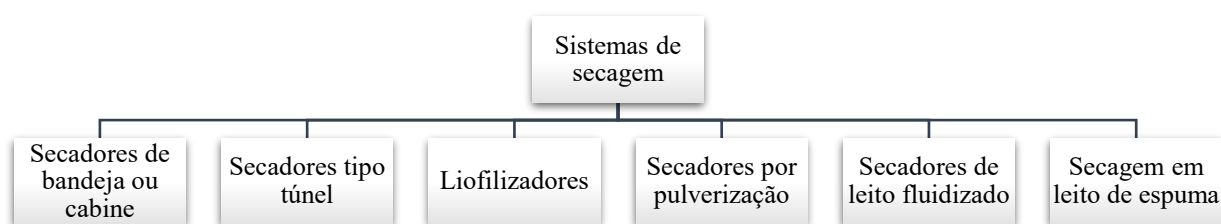
secos e, principalmente em pó, apresentam menor volume e facilitam a estocagem, além de trazer praticidade, por serem de rápido preparo e reidratação, e maior segurança microbiológica, por apresentarem baixa atividade de água (CELESTINO, 2010; FELLOWS, 2006; SILVA et al., 2015).

Para alguns alimentos, as características físicas e nutricionais se mantêm bastante estáveis após a secagem, e ao serem reconstituídos em água, retornam ao aspecto natural com poucas mudanças físico-químicas e sensoriais. Todavia, o processo de desidratação com a aplicação de calor pode causar perdas na qualidade sensorial e no valor nutricional de diversos produtos, devido a isso, deve-se trabalhar com as condições adequadas de secagem, específicas para cada alimento, para minimizar estas perdas e alterações causadas pela aplicação do calor (CELESTINO, 2010; FELLOWS, 2006; VASCONCELOS; FILHO, 2010). Devido a isso, atualmente ainda são realizadas diversas pesquisas sobre os processos de secagem e combinação de métodos, para que se consiga minimizar alguns dos prejuízos nutricionais e sensoriais em alimentos.

4.2 Evolução dos métodos de secagem

Os métodos de secagem foram evoluindo com o passar dos anos e com a evolução das pesquisas científicas diversas classificações dos métodos de secagem foram sendo desenvolvidas. Singh e Heldman (2001) propuseram uma classificação baseada nos diferentes sistemas de secagem de acordo com o mecanismo de transferência de calor e massa, que envolvem: secadores de bandeja ou cabine (*tray or cabinet dryers*), secadores de túnel (*tunnel drying*), liofilizadores (*freeze-drying*), secadores por pulverização (*spray drying*), secadores de leito fluidizado (*fluidized-bed drying*), e secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*), como pode-se observar na Figura 1 (CRUZ, 2016; QADRI; SRIVASTAVA; YOUSUF, 2019).

Figura 1 – Classificação dos métodos de secagem segundo Singh e Heldman (2001).



Fonte: adaptado de Qadri; Srivastava e Yousuf (2019).

Outra classificação foi proposta por Vega-Mercado, Gongora-Nieto e Barbosa-Cánovas (2001), que diferencia os métodos de secagem baseado em gerações. Os sistemas de secagem que utilizam a convecção de ar quente para remover a água da superfície de um alimento são classificados na categoria de primeira geração. Neste sistema, a transferência de calor e massa acontece de forma rápida, pois a velocidade do ar que flui sobre a superfície do produto é relativamente alta, o que torna o processo eficiente. Exemplos de equipamentos de primeira geração são: secadores de bandeja ou cabine, fornos e secadores tipo túnel, que na atualidade, ainda são demasiadamente empregados nas indústrias de alimentos para a secagem de grãos, leguminosas e frutas fatiadas (CHEN; MUJUMDAR, 2008; KUDRA; MUJUMDAR, 2002; VEGA-MERCADO; GONGORA-NIETO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2001).

Na categoria de segunda geração se encaixam os secadores por pulverização e por tambor rotativo, que desidratam alimentos líquidos, pastosos e grãos. No equipamento de tambor rotativo, a superfície do tambor conduz o calor proveniente do fluido de trabalho (vapor ou água quente), para a camada de produto aderida à superfície do tambor, promovendo uma alta eficiência energética. Na secagem por pulverização, o alimento líquido ou pastoso é transformado em um pó seco, através do contato direto com o ar ou gás quente que flui dentro do equipamento. E para alimentos termicamente sensíveis é empregada a dispersão do produto através de atomizadores ou bocais (MARTINS et al., 2020; VEGA-MERCADO; GONGORA-NIETO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2001).

Nos métodos de terceira geração podem-se citar a liofilização e a desidratação osmótica, que não utilizam calor durante o processo de secagem ou pré-secagem de alimentos. No processo de liofilização, o produto é primeiramente congelado e dentro do equipamento ocorre a sublimação da água sob a aplicação de pressão reduzida. É um método que mantém boa parte dos nutrientes, da cor e do sabor do alimento, entretanto, a demanda energética é demasiadamente alta e o tempo de secagem é longo. E a desidratação osmótica consiste num método que reduz a umidade do alimento, submetendo o mesmo a um ambiente hipertônico, todavia, este método não pode ser considerado como uma secagem completa, e sim como uma etapa pré-secagem para reduzir tempo e energia nos métodos de secagem convencionais (DUAN et al., 2016; VEGA-MERCADO; GONGORA-NIETO; BARBOSA-CÁNOVAS, 2001).

Por último, nos métodos de secagem de quarta geração se encontram técnicas mais modernas como o uso de micro-ondas, radiofrequência, fluidização e vácuo, sendo o uso destes métodos específicos de acordo com as características da matéria-prima e do produto que se deseja obter. Portanto, existem diversos métodos para realizar a secagem de alimentos, que

variam em relação a eficiência energética, o tempo de secagem e a qualidade do produto final, sendo muitas vezes, necessário um equilíbrio entre estes fatores para atingir os objetivos delineados. Neste caso, a secagem em leito de espuma não se encaixa na classificação de Vega-Mercado, Gongora-Nieto e Barbosa-Cánovas (2001), visto que neste método pode-se utilizar tanto secadores convectivos de primeira geração, quanto equipamentos mais modernos como micro-ondas para a realizar a secagem, entretanto, o *foam-mat drying* pode ser uma alternativa para balancear alguns dos fatores citados, e alcançar uma secagem eficiente e um produto final de ótima qualidade (CHEN; MUJUMDAR, 2008; MOUNIR, 2017; VEGA-MERCADO; GONGORA-NIETO; BARBOSA-CANOVAS, 2001).

4.3 Secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*)

O processo de secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*) foi desenvolvido por Morgan et al. (1959) na década de 50, sendo patenteado somente em 1961. Esta técnica promove uma acelerada desidratação de alimentos líquidos e semi-líquidos, sendo amplamente aplicada para a obtenção de pós a partir de sucos e purês, principalmente de frutas (BRENNAN, 1994; MOUNIR, 2017). Neste tipo de secagem, os alimentos líquidos são transformados em espumas estáveis, a partir da utilização de agentes espumantes e estabilizantes, com o auxílio da incorporação de ar ou nitrogênio pelo processo de batadura. Após a formação da espuma, a mesma é disposta em uma esteira ou bandejas de secagem com uma espessura de 2 a 3mm, onde a desidratação acontece rapidamente, por meio da aplicação de fluxos de ar em paralelo ou em contracorrente. Ao fim do processo, a fina camada de alimento seco é moída para a obtenção do pó, que possui boas propriedades de reidratação (BARUFFALDI; OLIVEIRA, 1998; FELLOWS, 2000; MOUNIR, 2017).

Nesta técnica, a secagem pode ser realizada através da aplicação de ar quente por secadores de bandeja ou cabine, secadores de túnel, ou por meio da liofilização, de secadores por pulverização e micro-ondas. A grande diferença entre a secagem em camada de espuma e os outros métodos de secagem, é que na secagem em leito de espuma, a estrutura física do material íntegro é alterada pela quebra das paredes celulares e incorporação de ar ou gás, enquanto em outros métodos, a estrutura do alimento não sofre nenhuma alteração antes da secagem, exceto em casos em que são realizados pré-tratamentos (MOSES et al., 2014; MOUNIR, 2017).

Um exemplo, em relação as etapas desse processo, pode ser observado no fluxograma ilustrado na Figura 2, sobre a secagem em leito de espuma da manga. Assim, primeiramente são obtidos a polpa ou o suco de manga, representados pela letra (a); em seguida é escolhido o

agente espumante ou estabilizante, que pode ser a albumina de ovo como está ilustrado na letra (b); na sequência, realiza-se a formação da espuma que pode ser através de métodos mecânicos de batimento, por exemplo, como é observado na letra (c); com isso, tem-se a formação de uma espuma estável (letra d), que é encaminhada para o processo de secagem, podendo ser realizado através de secadores de bandeja, sendo a secagem convectiva a mais utilizada para esta técnica (letra e); por fim, o produto seco é moído com equipamento de moagem adequado (letra f) e obtêm-se a manga em pó, representada pela letra (g).

Figura 2 – Fluxograma genérico da secagem em leito de espuma da manga.

a) Obtenção da polpa ou suco de manga



b) Escolha do agente espumante



c) Formação da espuma



d) Espuma estável



e) Processo de secagem



f) Moagem do produto seco



g) Manga em pó



Fonte: adaptado de Qadri; Srivastava e Yousuf (2019); a autora.

A secagem em leito de espuma apresenta vantagens em relação a outros métodos de desidratação de materiais líquidos ou pastosos, como ser aproximadamente três vezes mais rápida do que a secagem de um produto com a mesma espessura; possibilitar o uso de temperaturas mais brandas, o que auxilia na preservação do valor nutricional, da cor e do sabor do alimento, e permite seu uso para produtos sensíveis ao calor, viscosos, e com alta concentração de açúcar. Além disso, a eficiência da secagem é aumentada devido a maior área superficial exposta ao ar de secagem, o que aumenta a taxa de transferência de calor e massa; e o produto obtido é de alta qualidade com bom índice de reidratação, podendo ser comparado com os produtos provenientes da secagem por liofilização e a vácuo (FELLOWS, 2000; FRANCIS, 2000).

O método de secagem em camada de espuma possui também algumas desvantagens em relação à outras técnicas, principalmente de acordo com a grande área de superfície necessária para realizar o processo, o que torna o custo inicial da planta elevado. Além disso, é necessário que a espuma esteja bastante estável durante a secagem para garantir a eficiência da desidratação. Entretanto, a incorporação de aditivos que auxiliam na estabilidade das espumas pode interferir de forma negativa nas características sensoriais do alimento, e essa perda sensorial, e até mesmo nutricional pode acontecer de forma mais expressiva caso a secagem seja realizada por ar quente (FELLOWS, 2000; FRANCIS, 2000).

4.4 Métodos de secagem aplicados na secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*)

A secagem em leito de espuma é normalmente realizada por meio da secagem convectiva empregando ar quente, através de secadores convectivos. Outros métodos de secagem, apesar de serem menos empregados, também podem ser utilizados e estão sendo estudados para a aplicação da camada de espuma, que são o caso da liofilização, e da utilização de *spray dryers* e micro-ondas (MOUNIR, 2017; QADRI; SRIVASTAVA; YOUSUF, 2019).

Dos secadores convectivos utilizados na secagem em camada de espuma, dois deles podem ser destacados, como: os secadores de bandeja e os secadores de túnel. O secador de bandeja ou cabine consiste em uma câmara com isolamento térmico, com sistemas de aquecimento e convecção de ar sobre as bandejas e através das bandejas, que permanecem em uma base fixa. Além da utilização de ar, outros agentes secadores podem ser empregados, como o nitrogênio e outros gases inertes, e o vapor superaquecido. A eficiência térmica nesse tipo de secador pode variar entre 20 e 50%, isso depende da temperatura que se deseja utilizar e da umidade do ar de saída. Este equipamento é normalmente utilizado para a secagem de frutas e

hortaliças em pequena escala (FELLOWS, 2006; ORDÓÑEZ, 2005). Na Figura 3 pode ser observado um secador de bandejas.

Figura 3 – Secador de bandejas.



Fonte: DIRECT INDUSTRY, 2022.

O secador de túnel (Figura 4) é composto por um túnel que pode atingir até 24m de comprimento, apresentando seção circular ou retangular, permitindo a operação em sistema contínuo ou semi-contínuo. Para realizar a secagem neste equipamento, o produto é distribuído em camadas uniformes sobre as bandejas do equipamento, e é realizada a aplicação de ar forçado com a velocidade de 2,5 a 6,0m/s. A aplicação do ar quente pode acontecer de forma concorrente, contra-corrente, em fluxo transversal e através da evacuação central. E este tipo de secador é mais empregado para a secagem de frutas, hortaliças e massas alimentícias (FELLOWS, 2006; ORDÓÑEZ, 2005).

Figura 4 – Secador de túnel.



Fonte: MAXFRUT, 2022.

A liofilização, que também está sendo estudada na aplicação do método de secagem em leite de espuma, consiste em realizar o congelamento do alimento que deseja ser seco, e posteriormente realizar a desidratação através do liofilizador, que faz a secagem por meio da sublimação da água com a aplicação de baixas pressões. O liofilizador é composto por uma câmara de secagem, uma fonte geradora de calor, uma bomba à vácuo e um condensador (LIMA, 2021; STAPLEY, 2008). Uma imagem deste equipamento em escala laboratorial pode ser observada na Figura 5.

Figura 5 – Liofilizador de bancada.



Fonte: EDIBON, 2022.

A secagem utilizando *spray dryer* (Figura 6), também conhecida como secagem por atomização, é uma técnica de desidratação que transforma alimentos líquidos, como sucos e polpas de frutas, em um produto em pó, por meio da atomização do líquido em uma tubulação que recebe um fluxo de ar quente, ocorrendo assim, uma rápida evaporação da água presente na substância líquida (GAVA; SILVA; FRIAS, 2009; SILVA; MORAIS; MACIEL, 2013).

Figura 6 – *Spray dryer* em escala laboratorial.



Fonte: LABFREEZ, 2022.

E por fim, pode-se destacar a secagem por micro-ondas (Figura 7), em que neste equipamento, a geração de um campo elétrico oscilante, através da interação das ondas eletromagnéticas da radiação do micro-ondas, provoca a geração de calor no interior do alimento, aquecendo o produto de dentro para fora. Esta característica do forno micro-ondas faz com que o alimento seja seco de forma bem mais rápida do que os métodos de secagem convencionais, podendo ser utilizado para a secagem de diversos produtos como: frutas, massas, carnes e hortaliças (FELLOWS, 2006; PEREIRA, 2013).

Figura 7 – Secador micro-ondas industrial.



Fonte: GEA, 2022.

A realização da secagem em camada de espuma por diversas técnicas possibilita a combinação desses métodos de secagem para a obtenção de produtos de alta qualidade, minimizando os efeitos de perda sensorial e nutricional, e algumas desvantagens da secagem em camada de espuma realizada através da aplicação de calor.

4.5 Aplicações da secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*)

Algumas aplicações do método de secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*) em diferentes condições, utilizando variados agentes espumantes e estabilizantes podem ser observadas na Tabela 1

Tabela 1 – Aplicações da secagem em leito de espuma (*foam-mat drying*) em diferentes condições.

(continua)

Produto	Aditivos	Método e Temperaturas de secagem (°C)	Tempo de secagem	Principais resultados	Referência
Tomate (<i>Solanum lycopersicu</i>)	Albumina de ovo	Secagem convectiva (60, 65 e 70)	7 a 8,5h	De acordo com os autores, o aumento da concentração de agente espumante diminuiu o tempo do processo de secagem, e as condições que proporcionaram produtos com maior aceitabilidade em relação aos parâmetros cor, reidratação e difusividade foram as espumas secas a 8,5 e 7,5h, nas temperaturas de 60 e 70°C.	Kadam e Balasubramanian (2011)
Pequi (<i>Caryocar brasiliense</i>)	Emustab	Secagem convectiva (60, 70, 80 e 90)		Como o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da temperatura nas propriedades físico-químicas do produto em pó, a temperatura de 60°C foi a que proporcionou melhores características cromáticas e maior concentração de carotenoides ao final do processo.	Pinto (2012)
Camarão	Goma xantana	Secagem convectiva (50, 60 e 70)	1,3 a 2,25h	Os autores constataram que o aumento da concentração de goma xantana aumentou a estabilidade da espuma, entretanto, o aumento da razão de	Azizpour et al. (2013)

Produto	Aditivos	Método e Temperaturas de secagem (°C)	Tempo de secagem	Principais resultados	Referência
				água no purê diminuiu esta estabilidade, além disso, foi observado que o aumento da temperatura de 50 para 70°C reduziu o tempo de secagem em 55 minutos, passando de 135 para 80 minutos.	
Melão (<i>Cucumis melo L.</i>)	Albumina de ovo e goma xantana	Secagem convectiva (40, 55 e 70)	0,8 a 4,5h	Neste caso, os autores observaram que o aumento da temperatura e a utilização de uma menor camada de espuma (3mm) aceleraram o processo de desidratação. Além disso, pode-se destacar que a difusividade efetiva aumentou com o aumento da temperatura de secagem e da espessura da espuma.	Salahi, Mohebbi e Taghizadeh (2014)
Goiaba (<i>Psidium guajava L.</i>)	Albumina de ovo	Micro-ondas (40 e 50)	0,2 a 0,4h	As amostras que apresentaram melhores resultados físico-químicos (pH, acidez total, mudança de cor e teor de ácido ascórbico) e de operação, de todas as condições avaliadas pelos autores, neste caso, foram secas durante 14min a 50°C em micro-ondas com potência de 800W, e com espuma de 5mm de espessura. Foi observado uma redução no tempo de secagem ao	Qadriq e Srivastava (2015)

Produto	Aditivos	Método e Temperaturas de secagem (°C)	Tempo de secagem	Principais resultados	Referência
				aumentar a potência de operação do micro-ondas e diminuir a espessura da espuma.	
Jambolão (<i>Syzygium cumini</i> <i>L.</i>)	Emustab, super liga neutra e maltodextrina	Secagem convectiva (60, 70 e 80)	4,2 a 8,7h	Os produtos secos por camada de espuma apresentaram perdas de antocianinas, entretanto, pode-se dizer que o pó obtido conteve altas concentrações de compostos fenólicos.	Carvalho et al. (2017)
Soro de leite	Albumina de ovo	Secagem convectiva (50, 55, 60, 65, 70)	2,5 a 5h	O aumento da proporção de albumina de ovo adicionada ao soro de leite para a formação da espuma, promoveu a diminuição da densidade da espuma e aumento de sua estabilidade. Além disso, o aumento gradativo da temperatura do ar de secagem, reduziu também de forma gradual o tempo de secagem, e a umidade do produto em pó.	Cruz, Saraiva e Teixeira (2017)
Sangue bovino	Emustab	Secagem convectiva (50, 60 e 70)	3,2 a 6,8h	Neste estudo, as melhores condições para a obtenção do sangue bovino em pó foram: 3% de Emustab, 5 minutos de agitação para a formação da espuma e temperatura de secagem de 70°C. A atividade de água obtida em	Oliveira (2017)

Produto	Aditivos	Método e Temperaturas de secagem (°C)	Tempo de secagem	Principais resultados	Referência
				todos os experimentos apresentou valores abaixo de 0,3, além de um alto teor de proteínas, se mostrando um produto que pode ser utilizado para fins alimentícios.	
Maracujá (<i>Passiflora edulis</i>)	Metilcelulose	Secagem convectiva (60, 70 e 80)	0,7 a 5,1h	A adição de metilcelulose na polpa a 2,25%, produziu uma espuma de baixa densidade e alta estabilidade. O produto seco a 70°C por 90min, com 1mm de espessura, foi o que apresentou maior quantidade de compostos bioativos, quando comparado às outras condições de secagem estudadas.	Khamjae e Rojanakorn (2018)
Gema de ovo de codorna	Clara de ovo de codorna	Secagem convectiva (50, 60, 70)	3 a 5,3h	As condições que permitiram maior estabilidade da espuma foram: tempo de batimento de 4min, e concentração de clara de ovo de codorna de 7%. A incorporação de clara, além de funcionar como um agente espumante importante para a formação da espuma, ainda aumentou a concentração proteica do produto final.	Pinheiro (2018)

Produto	Aditivos	Método e Temperaturas de secagem (°C)	Tempo de secagem	Principais resultados	Referência
Cajá (<i>Spondias mombin</i> L.)	Emustab	Secagem convectiva (50, 60, 70, 80)	3,5 a 13h	Quanto maior a temperatura empregada, menor foi o tempo de secagem. Entretanto, dentre as temperaturas avaliadas neste estudo, a que melhor preservou as características da polpa <i>in natura</i> (em relação a acidez titulável, ao pH, e a cor) foi a secagem a 60°C.	Freitas et al. (2018)
Beterraba (<i>Beta vulgaris</i>)	Albumina de ovo e gelatina de peixe	Secagem convectiva (50)	6h	Neste caso, a utilização dos dois agentes espumantes proporcionaram uma secagem eficiente para a obtenção do pó de beterraba, entretanto, a expansão da espuma foi maior ao utilizar a gelatina de peixe. De forma geral, os produtos formados apresentaram alta higroscopicidade, e pouca perda dos atributos nutricionais e sensoriais, podendo ser utilizado para a produção de geleias, como corante e como ingrediente em produtos de confeitaria e panificação.	Ling Ng e Sulaiman (2018)
Graviola (<i>Annona muricata</i> L.)	Emustab e liga neutra	Secagem convectiva (70)	3,3h	A secagem em leito de espuma da graviola permitiu obter um produto com pouca umidade mas alta higroscopicidade. Além disso, o pó	Gomes (2019)

Produto	Aditivos	Método e Temperaturas de secagem (°C)	Tempo de secagem	Principais resultados	Referência
				obtido permitiu a confecção de <i>snacks</i> de graviola.	
Iogurte	Lecitina de soja	Secagem convectiva (58 a 63)	3 a 3,5h	O uso da lecitina de soja como agente espumante não foi satisfatório neste caso, pois resultou em uma espuma com baixa estabilidade, e ainda, interferiu de forma negativa em algumas das propriedades do produto, como a capacidade de absorção de água. Para trabalhos futuros os autores indicaram realizar testes utilizando outros agentes espumantes.	Malik e Sharma (2019)
Manga (<i>Mangifera indica</i> L.)	Monoestearato de Glicerol (GMS) e albumina de ovo	Secagem convectiva (60, 70 e 80)	6,5h	As amostras secas a 60°C com 5% de albumina e 5% de GMS foram as que apresentaram melhores resultados em relação ao teor de cinzas e umidade final, além de densidade e estabilidade da espuma, ao se comparar com todas as condições estudadas. A aplicação dos agentes espumantes aumentou o volume de espuma e a taxa de secagem em relação aos produtos secos sem os aditivos.	Singh et al. (2019)

Produto	Aditivos	Método e Temperaturas de secagem (°C)	Tempo de secagem	Principais resultados	Referência
Uva (<i>Vitis vinifera L.</i>)	Emustab, super liga neutra e maltodextrina	Secagem convectiva (60, 70 e 80)	2,7 a 6,3h	Os produtos obtidos por secagem em leito de espuma, apresentaram menor conteúdo de antioxidantes, quando comparado com aqueles obtidos por liofilização. Entretanto, o conteúdo de antocianinas não foi estatisticamente afetado pelas temperaturas de secagem. Além disso, o estudo confirmou a viabilidade do uso do pó de uva (por <i>foam-mat drying</i>), para a utilização como ingrediente na preparação de alimentos.	Tavares et al. (2019)
Mamão (<i>Carica papaya L.</i>)	Não utilizou-se aditivos	Micro-ondas com sistema de convecção (40, 45 e 50)	0,2 a 0,5h	A não utilização de agentes espumantes resultou na formação de uma espuma instável. Foi observado o aumento da taxa de secagem, com o aumento da potência do micro-ondas e temperatura do ar (640W e 50°C), associado a diminuição da espessura da espuma. E as mudanças de cor, pH, acidez e vitamina C foram aceitáveis.	Qadri, Osama e Srivastava (2020)
Pêssego (<i>Prunus persica L.</i>)	Isolados de proteína de soja e ervilha	Secagem convectiva (65, 70 e 75)	3,0 a 5,2h	Entre as condições de secagem avaliadas, as que se mostraram ideais neste caso, foram: concentração de agentes espumantes de 0,85 a 0,90%,	Brar et al. (2020)

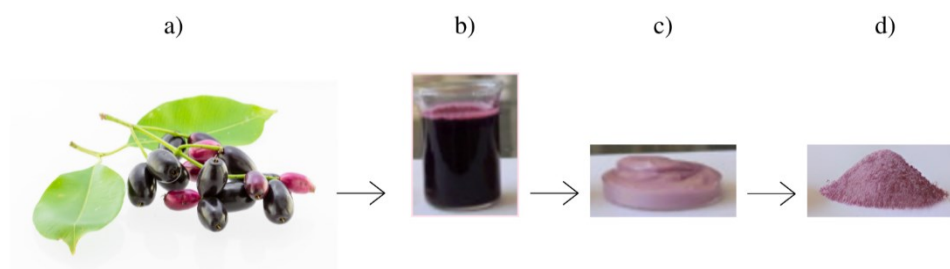
Produto	Aditivos	Método e Temperaturas de secagem (°C)	Tempo de secagem	Principais resultados	Referência
				espessura da espuma de 3mm e secagem a 65°C. Ao realizar as análises físico-químicas do pó de pêssago, observou-se retenção significativa de componentes bioativos, como fenóis totais e antioxidantes.	
Banana [<i>Musa balbisiana</i> (BB)]	Leite em pó desnatado	Secagem convectiva (50, 60 e 70)	7 a 10h	O leite em pó se mostrou útil para a formação da espuma, deixando-a mais estável e com maior expansão, ao se comparar com a espuma sem a adição do leite em pó. A banana em pó obtida apresentou baixa atividade de água, alta solubilidade e mostrou-se capaz de ser empregada como ingrediente em preparações alimentícias.	Watharkar et al. (2021)
Cebola (<i>Allium cepa</i>)	Proteína de soja e carboximetilcelulose	Secagem convectiva (55, 65, e 75)	5 a 10h	Segundo os autores, a pasta de cebola espumosa foi seca mais rapidamente do que a não espumosa, diminuindo consideravelmente o tempo de secagem nas temperaturas de 65 e 75°C. Além disso, a concentração de 12% de proteína de soja com a temperatura de secagem de 65°C, foram as condições que	Farooq et al. (2021)

Produto	Aditivos	Método e Temperaturas de secagem (°C)	Tempo de secagem	Principais resultados	Referência
				proporcionaram uma melhor secagem da pasta de cebola para desenvolver o produto em pó.	
Pitaya branca (<i>Hylocereus undatus</i>) e vermelha (<i>Hylocereus polyrhizu</i>)	Emustab e pré-tratamento com etanol	Secagem convectiva (50 e 70)	3 a 10h	Neste estudo, a maior temperatura do ar de secagem (70°C) e a utilização do pré-tratamento com etanol, aumentaram a difusividade efetiva e a taxa de secagem, reduzindo o tempo de secagem das espumas de pitaya branca e vermelha, quando comparado com as demais condições avaliadas.	Macedo et al. (2021)

Fonte: a autora.

No estudo de Carvalho et al. (2017), apesar da perda de antocianinas do jambolão, que são pigmentos de cor que podem variar do vermelho vivo ao violeta/azul, é possível observar pelo resumo gráfico dos autores, que o pó de jambolão ainda apresentou uma coloração roxa intensa, tendo potencial para ser utilizado como corante para alguns produtos alimentícios, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Obtenção do pó de jambolão por secagem em leito de espuma.



a) fruto jambolão; b) suco; c) espuma estável; d) pó de jambolão.

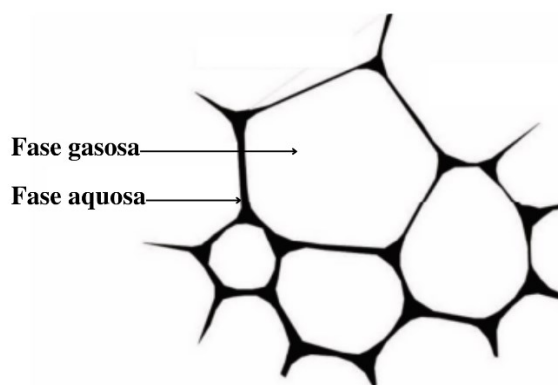
Fonte: adaptado de CARVALHO et al., 2017; a autora.

A partir dos estudos citados percebe-se que, apesar de ter sido encontrados estudos de secagem em leito de espuma aplicados em diferentes produtos, a maioria dos artigos e dissertações reunidos aplicaram este método para a secagem de frutas. Além disso, taxa de secagem pode ser influenciada diretamente pela temperatura de secagem do ar e pela espessura da camada de espuma. Quanto mais fina a camada e quanto maior a temperatura, mais rápido a secagem acontece. E em diversos estudos, os pós de frutas obtidos se apresentaram promissores para a utilização em preparações alimentícias, como ingrediente, e até mesmo como aditivo, principalmente em forma de corante natural.

4.6 Agentes espumantes e estabilizantes

As espumas podem ser definidas como uma fase gasosa (ar) dispersa em uma fase contínua aquosa (Figura 9), sendo que estas pequenas bolhas de ar dispersas na matriz garantem que o alimento possua propriedades sensoriais singulares e muito desejadas. Alguns exemplos de espumas alimentares são: cremes batidos, bolos, pães, merengues, sorvetes, suflês e *marshmallows*. Nestes produtos, os agentes tensoativos principais que auxiliam na formação e na estabilização da fase dispersa gasosa, são as proteínas (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010; LAJOLO; MERCADANTE, 2017).

Figura 9 – Representação da estrutura da espuma.



Fonte: adaptado de MOUNIR, 2017; a autora.

De forma geral, ao realizar o batimento ou a agitação de uma solução proteica, obtém-se uma espuma estabilizada por proteínas. Essa propriedade proveniente das proteínas, se dá pela sua capacidade de produzir uma fina e resistente película entre o gás e o líquido, reduzindo a tensão superficial entre as interfaces e permitindo que grandes quantidades de bolhas sejam incorporadas à matriz (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010; RIBEIRO; SERAVALLI, 2007). Muitos alimentos não possuem propriedades espumantes e não formam espumas estáveis, mesmo submetendo-os a agitação mecânica ou a injeção de gás, portanto, o emprego de agentes espumantes e estabilizantes na formação da espuma é bastante desejável. Um bom agente espumante ajuda na formação de uma película forte, viscoelástica e coesiva entre o gás e o líquido, promovendo excelente estabilidade térmica e mecânica. E os estabilizantes permitem que a espuma mantenha sua estrutura por mais tempo e retardam a coalescência (SANGAMITHRA et al., 2014).

Além das proteínas, outros tipos de substâncias também podem ser utilizadas como agentes espumantes, que é o caso dos surfactantes de baixo peso molecular, dos alginatos, e também dos polissacarídeos, empregados principalmente como estabilizadores de espuma, pois estes possuem a capacidade de aumentar a viscosidade da solução, que por sua vez, reduz a velocidade de drenagem e a permeabilidade dos gases (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010; RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

A estabilidade da espuma é de extrema importância para o sucesso da secagem em leito de espuma, devendo ser estável ao calor e permanecer intacta durante toda a secagem, pois qualquer falha ou colapso na estrutura da espuma, pode prejudicar a eficiência do método e a obtenção do produto final. Para realizar o controle sobre a espuma e sua estabilidade, deve-se

entender a natureza da mesma, além de suas propriedades e dos agentes espumantes e estabilizantes utilizados (FOEGEDING, 2006; SANGAMITHRA et al., 2014).

Ao analisar os estudos reunidos tanto na Tabela 1 quanto na Tabela 2 (que estará disposta na página 36), pode-se observar que os aditivos mais utilizados para a secagem em camada de espuma foram: a albumina de ovo, empregada em 11 de 29 dos trabalhos reunidos; podendo destacar também a utilização de: Emustab, presente em oito estudos; maltodextrina, presente em cinco estudos; e liga neutra citado em quatro estudos.

A albumina de ovo é a principal proteína encontrada nos ovos. Quando a albumina sofre ação mecânica de batimento, as proteínas desnaturam na interface, e interagem umas com as outras para formar um filme interfacial viscoelástico, resultando assim na formação da espuma. A espuma produzida a partir da albumina de ovo é volumosa, e isso pode ser devido ao alto teor de proteínas presentes na clara do ovo. As espumas estabilizadas com albumina de ovo geralmente colapsam após 20 minutos de batida, ficando instáveis. Portanto, neste caso, os estabilizadores de espuma podem ser adicionados para aumentar a estabilidade da espuma ao longo do tempo (FALADE et al., 2003; MOUNIR, 2017).

O Emustab é um emulsificante e estabilizante neutro comercial, composto por: água, monoglicerídeos de ácidos graxos destilados (INS 471), estearato de potássio (INS 470), monoestearato de sorbitana (INS 491) e polioxietileno de monoestearato de sorbitana (INS 435). Quando se adiciona um emulsificante como este a um sistema com água, o mesmo irá saturar a superfície do líquido até a tensão superficial ser reduzida a um valor muito pequeno. Dessa forma, a penetração das bolhas de ar no líquido, por meio da agitação, será facilitada, garantindo uma maior aeração do sistema (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2013, SELECTA[®], 2022).

A maltodextrina é um polissacarídeo resultante da hidrólise do amido, formada por unidades de maltose e dextrina. Geralmente é bastante utilizada como aditivo alimentício em molhos para saladas, formulações infantis, achocolatados em pó, produtos dietéticos e energéticos, formulados sólidos, coberturas para confeitaria, balas macias, barras de cereais e proteínas, entre outros. Também é empregada como auxiliar no processo de secagem por *spray dryer* evitando a aderência do produto na tubulação do equipamento. Já na aplicação do método de secagem em leito de espuma, a maltodextrina é empregada como estabilizante da espuma, pois em soluções com altas concentrações deste polissacarídeo (acima de 40%) há um aumento significativo na viscosidade do produto, o que auxilia na manutenção da estrutura da espuma por um tempo maior (ADITIVOS INGREDIENTES, 2022; SOARES, 2009).

Por último, a liga neutra é um produto à base de sacarose, carboximetilcelulose e goma guar, muito utilizada como espessante e estabilizante em sorvetes e produtos congelados derivados, pois melhora a consistência destes alimentos, evita a formação de cristais de gelo e retarda o derretimento. E para a secagem em leito de espuma, também é empregada como estabilizante de espuma, agindo da mesma forma que a maltodextrina (PINTO, 2009; SABORAMA®, 2022).

Na Tabela 2 é possível observar alguns dos agentes espumantes e estabilizantes que podem ser aplicados no método de *foam-mat drying* para a formação das espumas, assim como os principais resultados alcançados por estudos utilizando estes aditivos.

Tabela 2 – Agentes espumantes e estabilizantes utilizados na secagem em leite de espuma e seus principais resultados.

(continua)

Aditivos	Produto	Principais resultados	Referência
Emustab, super liga neutra (SLN), goma carragena, carbonato de cálcio e fosfato de cálcio	Caldo de cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i> L.)	De forma geral, as espumas apresentaram boas características para a secagem convectiva, como uma expansão adequada, baixa densidade, 0% de sinérese e 100% de estabilidade. O uso de SLN concedeu maior estabilidade às espumas do que a aplicação dos demais aditivos utilizados. Ademais, o produto obtido apresentou características físico-químicas (umidade, atividade de água e solubilidade), e sensoriais (aroma, aparência, cor e sabor) satisfatórias.	Marques (2009)
Maltodextrina e goma arábica	Leite	Para a formação da espuma de leite, as concentrações de maltodextrina e goma arábica que apresentaram melhores resultados, foram de 15% e 6%, respectivamente. Entretanto, o produto seco que obteve maior solubilidade e maior rendimento, comparado com todas as formulações testadas, foi aquele que se utilizou 15% de maltodextrina.	Febrianto, Kumalaningsih e Aswari (2012)
Albumina de ovo e <i>blend</i> de emulsificantes comercial (EMB)	Manga (<i>Mangifera indica</i> L.)	A utilização dos agentes espumantes/estabilizantes promoveu a maior retenção de carotenoides após a secagem, ao comparar-se com outros métodos de secagem, entretanto, os aditivos interferiram negativamente na cor final no produto, que apresentou coloração mais clara do que as polpas secas sem o emprego dos aditivos.	Chaux-Gutiérrez et al. (2016)

Aditivos	Produto	Principais resultados	Referência
Albumina de ovo	Abacaxi (<i>Ananas comosus</i>)	O aumento da concentração de agente espumante promoveu o aumento do tempo de batimento, ocasionando uma diminuição da densidade, e uma maior expansão da espuma. Além disso, o pó de abacaxi apresentou potencial para ser empregado em produtos alimentícios, inclusive como substituto para aditivos artificiais.	Saari et al. (2017)
Goma arábica	Melão (<i>Cucumis melo L.</i>)	Os resultados do estudo mostraram que a aplicação da goma arábica a 10% foi a que produziu espumas com melhor densidade, expansão e estabilidade, de todas as condições avaliadas. E ainda, o pó obtido foi promissor para a utilização como ingrediente na formulação de produtos alimentícios.	Suet Li et al. (2017)
Albumina de ovo e maltodextrina	Morango (<i>Fragaria spp</i>) e banana (<i>Musa spp</i>)	Os pós de banana e morango obtidos foram utilizados na produção de <i>smoothies</i> , que tiveram aceitação sensorial, a 5% de significância. Ademais, os <i>smoothies</i> apresentaram potencial de comercialização para nichos de mercado que procuram produtos com baixo teor de açúcar adicionado, e por bebidas de frutas naturais.	Guazi, Lago-Vanzela e Conti-Silva (2018)
Albumina de ovo e metilcelulose	Limão (<i>Citrus latifolia</i>)	O aumento da temperatura de secagem e a utilização dos aditivos proporcionou um aumento na fluidez do produto em pó, comprovado pelo índice de Carr e pela razão de Hausner. E ainda, o suco de limão em pó obtido no estudo, poderia ser comercializado como um produto mais “natural”, pela utilização de poucos aditivos em sua formulação.	Dehghannya et al. (2019)

Aditivos	Produto	Principais resultados	Referência
Albumina de ovo, carboximetilcelulose e maltodextrina	Figo (<i>Ficus carica L.</i>)	De todas as composições testadas, a proporção ideal para a secagem foi de: 52,9% de polpa de figo, 28,9% de albumina de ovo, 0,8% de carboximetil-celulose e 17,4% de maltodextrina. Nesta proporção, os autores alcançaram o maior volume e a máxima estabilidade da espuma de figo. E o produto obtido foi considerado promissor para a substituição de aditivos artificiais em alimentos.	Varhan, Elmas e Koç (2019)
Isolado proteico de soja (IPS), e agentes espumantes das marcas (Dimodan [®] , DuPont [™] e Grinsted [®] Lactem)	Acerola (<i>Malpighia emarginata</i>) e açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	Neste estudo, a espuma de açaí não alcançou as características necessárias para a secagem, mesmo com a utilização dos agentes espumantes. Por outro lado, a espuma de acerola se apresentou viável para a secagem, e a combinação de IPS em maior concentração com os outros agentes espumantes, foi a que apresentou melhores resultados, indicando que houve efeito sinérgico entre os agentes estudados para melhorar a capacidade de formação da espuma.	Cavalcanti e Mauro (2020)

Fonte: a autora.

Como pode ser observado nos dados apresentados na Tabela 2, e também nos trabalhos citados na seção 4.5, a utilização dos agentes espumantes e estabilizantes proporcionou, em diversos destes estudos, o aumento do volume e da estabilidade das espumas, e em alguns casos, como no estudo de Chaux-Gutiérrez et al. (2016), que realizou a secagem em leito de espuma da manga, o uso dos aditivos auxiliou na preservação do conteúdo de carotenoides do produto, apesar de terem interferido de forma negativa a cor final do pó, que se apresentou mais esbranquiçado do que o pó obtido sem o uso dos aditivos.

5 CONCLUSÕES

O método de secagem em leito de espuma para alimentos, mesmo sendo um método antigo, se apresenta ainda promissor para a obtenção de produtos em pó de alta qualidade, que podem ser utilizados como ingredientes e/ou aditivos em preparações alimentícias. Além disso, esta técnica apresenta vantagens em relação a outros métodos de secagem, como possibilitar o uso de temperaturas mais brandas, o que consequentemente auxilia na preservação das características sensoriais e nutricionais; e possuir alta eficiência, devido a maior área superficial exposta ao ar de secagem.

E apesar de apresentar também desvantagens, como a necessidade de uma grande área superficial para realizar a secagem, e a exigência de se trabalhar com espumas bastante estáveis, a secagem em leito de espuma pode ser realizada por diferentes métodos de secagem: por secadores convectivos, ou mesmo por meio de micro-ondas, liofilizadores e secadores por pulverização. Isso possibilita a combinação de métodos para a obtenção de produtos com qualidade ainda maior.

Em suma, a partir dos estudos reunidos neste trabalho pode-se concluir que no método de secagem em camada de espuma geralmente são empregados secadores convectivos por ar quente, sendo mais aplicado para a secagem de frutas, e em menor escala para a obtenção de pós de outros tipos de alimentos. Além disso, pode-se destacar que os principais aditivos empregados para a formação da espuma estável neste método, são a albumina de ovo, o Emustab, a maltodextrina e a liga neutra.

Por fim, acredita-se que esse trabalho, por ter reunido diferentes fontes da literatura abordando diversos aspectos que são importantes para esse processo, possa ser útil, como uma fonte de pesquisa, para outros pesquisadores ou empresas que desejam trabalhar com o *foam-mat drying*.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADITIVOS INGREDIENTES. **Maltodextrinas: propriedades e aplicações**. Disponível em: < <https://aditivosingredientes.com/artigos/todos/maltodextrinas-propriedades-e-aplicacoes> > Acesso em: setembro de 2022.

AZIZPOUR, M.; MOHEBBI, M.; KHODAPARAST, M. H. H.; VARID, M. Foam-mat drying of shrimp: characterization and drying kinetics of foam. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, vol. 15, p. 159-165, 2013.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. 316p.

BRAR, A. S.; KAUR, P.; KAUR, G.; SUBRAMANIAN, J.; KUMAR, D.; SINGH, A. Optimization of Process Parameters for Foam-Mat Drying of Peaches. **International Journal of Fruit Science**, 1–24, 2020.

BRENNAN, J. G. **Food Dehydration: a dictionary and guide**. Oxford: Butterworth Heinemann, 1994. 189p.

CARVALHO, T. I. M.; NOGUEIRA, T. Y. K.; MAURO, M. A.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; Da-SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. S. Dehydration of jambolan [*Syzygium cumini* (L.)] juice during foam mat drying: Quantitative and qualitative changes of the phenolic compounds. **Food Research International**, 102, p. 32–42, 2017.

CAVALCANTI, M. D.; MAURO, M. A. Aplicação de agentes espumantes veganos para a formação de espumas na polpa de acerola e açaí. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.10, p. 76702-76710, 2020.

CELESTINO, S. M. C. Documentos EMBRAPA – **Princípios de Secagem de Alimentos**. ISSN *online* 2176-5081. Planaltina 2010. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77765/1/doc-276.pdf> Acesso em: 10 fev 2021.

CHAUX-GUTIÉRREZ, A. M.; SANTOS, A. B.; GRANDA-RESTREPO, D. M.; MAURO, M. A. Foam mat drying of mango: Effect of processing parameters on the drying kinetic and product quality. **Drying Technology**, vol. 35, n. 5, p. 631–641, 2016.

CHEN, X. D.; MUJUMDAR, A. S. **Drying Technologies in Food Processing**. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2008, 350 p.

CRUZ, F. P. B. **Estudo, modelagem matemática e controle do processo de secagem de crambe (*Crambe Abyssinica*) em secador de leito fixo de bancada**. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE). Toledo, Paraná. 2016.

CRUZ, P. L.; SARAIVA, S. H.; TEIXEIRA, L. J. Q. Estudo do processo de secagem em leito de espuma de soro de leite adicionado de clara de ovo. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v. 14, n. 26, p. 346-360, 2017.

DEHGHANNYA, J.; POURAHMAD, M.; GHANBARZADEH, B.; GHAFFARI, H. Heat and mass transfer enhancement during foam-mat drying process of lime juice: Impact of convective hot air temperature. **International Journal of Thermal Sciences**, vol. 135, p. 30 - 43, 2019.

DUAN, X.; YANG, X.; REN, G.; PANG, Y.; LIU, L.; LIU, Y. Technical aspects in freeze-drying of foods. **Drying Technology**, vol. 34, n. 11, p. 1271–1285, 2016.

DIRECT INDUSTRY. **Secador de bandeja a vácuo**. Disponível em: < <https://www.directindustry.es/prod/italvacuum/product-27975-106869.html> > Acesso em: setembro de 2022.

EDIBON. **Liofilizador Blio**. Disponível em: < <https://www.edibon.com/es/liofilizador> > Acesso em: setembro de 2022.

FALADE, K. O.; ADEYANJU, K. I.; UZO-PETERS, P. I. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agents. **European Food Research and Technology**, p. 486 – 491, 2003.

FAROOQ, M.; IQBAL, M. J.; SHUKAT, R.; CRISTINA, M.; ILYAS, N.; SOLANGI, I. A.; WANG, Y. Drying of onion paste to develop powders by foam-mat drying process using soy protein as foaming agent. **Carpathian Journal of Food Science & Technology**, v.13 Issue 2, p. 30-42, 2021.

FEBRIANTO, A.; KUMALANINGSIH, S.; ASWARI, A. W. Process engineering of drying milk poeder with foam mat drying method, a study of the effect of the concentration and types of filler. **Journal of Basic and Applied Scientific Research**, vol. 2, n. 4, p. 3588-3592, 2012.

FELLOWS, P. **Food Processing Technology. Principles and Practice**. 2^a Ed. New York: CRC Press., 2000, 562p.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos. Princípios e Práticas**. 2^a edição. Porto Alegre: Editora Arthmed, 2006. 541p.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. 4^a edição. Porto alegre: Editora Artmed, 2010, p. 225-227, 900p.

FOEGEDING, E. A. Food biophysics of protein gels: A challenge of nano and macroscopic proportions. **Food Biophysics**, vol. 1, n. 1, p. 41–50, 2006.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. **Dossiê Emulsificantes**. Revista FI, n° 25, 2013. Disponível em: < https://revista-fi.com/upload_arquivos/201606/2016060526726001467053347.pdf > Acesso em: setembro de 2022.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das Operações Unitárias**. 2^a edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 670p.

FRANCIS, F. J. **Encyclopedia of Food Science and Technology**. 2 Ed., New York: John Wiley & Sons, v.1, 2000. 2907p.

FREIRE, F.B.; VIEIRA, G.N.; FREIRE, J.T.; MUJUMDAR, A.S. Trends in modeling and sensing approaches for drying control. **Drying Technology**, vol. 32, n. 13, p. 1524–1532, 2014.

FREIRIA, E. F. C. **Tecnologia de Alimentos**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional. S. A., 2017, p. 28-31, 208p.

FREITAS, B. S. M.; CAVALCANTE, M. D.; CAGNIN, C.; SILVA, R. M.; PLÁCIDO, G. R.; OLIVEIRA, D. E. C. Physical-chemical characterization of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) foam-mat drying at different temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 22, n. 6, p. 430-435, 2018.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de Alimentos: Princípios e Aplicações**, Editora Nobel, São Paulo, 2008, 512p.

GEA. **Microwave drying**. Disponível em: < <https://www.gea.com/pt/stories/accelerating-pharmaceutical-single-pot-processing-with-microwave-drying.jsp> > Acesso em: setembro de 2022.

GOMES, L. C. G. **Elaboração de snacks a partir da mistura de polpa e casca de graviola desidratados**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Patos de Minas, Minas Gerais. 2019.

GUAZI, J. S.; LAGO-VANZELA, E. S.; CONTI-SILVA, A. C. Development of smoothies from dehydrated products of strawberry and banana pulps obtained through foam-mat drying. **International Journal of Food Science & Technology**, 2018.

KADAM, D. M.; BALASUBRAMANIAN, S. Foam mat drying of tomato juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, vol. 35, n. 4, p. 488–495, 2011.

KHAMJAE, T.; ROJANAKORN, T. Foam-mat drying of passion fruit aril. **International Food Research Journal**, vol. 25, n. 1, p. 204-212, 2018.

KUDRA, T.; MUJUMDAR, A. S. **Advanced Drying Technologies**. New York: Marcel Dekker, Inc., 2002, 459 p.

LABFREEZ. **Spray dryer de bancada**. Disponível em: < <https://www.labfreez.com/sd-500-mini-spray-dryer-outlet-filter/> > Acesso em: setembro de 2022.

LAJOLO, F. M.; MERCADANTE, A. Z. **Química e bioquímica dos alimentos**. 1ª edição. Porto Alegre: Editora Atheneu, vol. 2, 2017, 432p.

LIMA, H. G. G. M. **Liofilização de alimentos com forma esferoidal: experimentação, modelagem e simulação**. Dissertação de Doutorado – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2021.

LING NG, M.; SULAIMAN, R. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying, LWT. **Food Science and Technology**, 2017.

MACEDO, L. L.; CORRÊA, L. G.; ARAÚJO, C. S.; VIMERCATI, W. C.; PIO, A. S. Process optimization and ethanol use for obtaining white and red dragon fruit powder by foam mat drying. **Journal of Food Science**, vol. 86, n. 2, p. 426-433, 2021.

MALIK, M.; SHARMA, A. Optimisation of foam-mat drying of yoghurt and properties of powdered yoghurt. **International Journal of Dairy Technology**, v. 72, p. 381-387, 2019.

MARQUES, G. M. R. **Secagem de caldo de cana em leito de espuma e avaliação sensorial do produto**. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Itapetinga, Bahia. 2009.

MARTINS, F. P.; NETO, J. C. B. N.; SILVA, A. J. O.; SIQUEIRA, A. M. O. Secagem: uma revisão. **The Journal of Engineering and Exact Sciences – jCEC**, vol. 6, n. 4, 2020.

MAXFRUT. **Túnel de secagem**. Disponível em: < <https://www.maxfrut.com/es/maquina/tunel-de-secado-tus-1/> > Acesso em: setembro de 2022.

MORGAN, A. I. Jr; GINETTE, L. F.; RANDALL, J. M.; GRAHAM, R. P. Technique for improving instant foods. **Food Engineering**, v.31, n.9, p.89-94, 1959.

MOSES, J.A.; NORTON, T.; ALAGUSUNDARAM, K.; TIWARI, B.K. Novel drying techniques for the food industry. **Food Engineering Reviews**, vol. 6, n. 3, p. 43–55, 2014.

MOUNIR, S. **Drying Technologies for Foods: Fundamentals and Applications**. CRC Press, 2017, 771 p.

OLIVEIRA, R. F. **Estudo da secagem em camada de espuma do sangue bovino**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB, 2017.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos - Componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Ed. Artmed, 2005, 294p.

PEREIRA, M. S. **Aplicação de secagem por micro-ondas no tratamento de cascalho de perfuração**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2013.

PINHEIRO, W. S. **Cinética de secagem da gema do ovo de codorna em camada de espuma (*foam-mat drying*)**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB, 2018.

PINTO, E. G. **Caracterização da espuma de jenipapo (*Genipa americana L.*) com diferentes aditivos visando à secagem em leito de espuma**. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga – BA, 2009.

PINTO, M. R. M. R. **Obtenção de extratos de carotenoides de polpa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) encapsulados pelo método de secagem em camada de espuma**. dissertação de mestrado – Universidade Federal de Viçosa (UFV). Viçosa, Minas Gerais, 2012.

QADRI, O. S.; SRIVASTAKA, A. K. Microwave-assisted foam mat drying of guava pulp: drying kinetics and effect on quality attributes. **Journal of Food Process Engineering**, vol. 40, n. 1, e1229, 2015.

QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K.; YOUSUF, B. Trends in foam mat drying of foods: Special emphasis on hybrid foam mat drying technology. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, vol 59, p. 1-10, 2019.

QADRI, O. S.; OSAMA, K.; SRIVASTAVA, A. K. Foam mat drying of papaya using microwaves: Machine learning modeling. **Journal of Food Process Engineering**, vol 43, ed. 6, 2020.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. 2ª edição. São Paulo: Editora Blucher, 2007, 190p.

SABORAMA®. **Qual o papel da Liga Neutra no desenvolvimento de gelados?** Disponível em: < <https://www.saborama.com.br/qual-o-papel-da-liga-neutra-no-desenvolvimento-de-gelados/> > Acesso em: setembro de 2022.

SALAH, M. R.; MOHEBBI, M.; TAGHIZADEH, M. Foam-mat drying of cantaloupe (*Cucumis melo*): optimization of foaming parameters and investigating drying characteristics. **Journal of Food Processing and Preservation**, 39(6), p. 1798–1808, 2014.

SANGAMITHRA, A. S.; VENKATACHALAM, S.; JOHN S. G.; KUPPUSWAMY, K. Foam mat drying of food materials: A review. **Journal of Food Processing and Preservation**, vol 39, n. 6, p. 3165–3174, 2014.

SELECTA®. **Emulsificante Emustab**. Disponível em: < <https://www.selectasorvetes.com/produto/emustab/> > Acesso em: setembro de 2022.

SHAARI, N. A.; SULAIMAN, R.; RAHMAN, R. A.; BAKAR, J. Production of pineapple fruit (*Ananas comosus*) powder using foam mat drying: Effect of whipping time and egg albumen concentration. **Journal of Food Processing and Preservation**, vol. 42, n. 2, 2017.

SILVA JÚNIOR, M. E.; MORAIS, B. D. M.; MACIEL, M. I. S. Secagem por atomização de polpa de ciriguela (*Spondias purpurea L.*): influência das variedades de processos e sua qualidade. In: **XIII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão**. Anais eletrônicos. Recife:

Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2013. Disponível em: <http://www.eventosufrpe.com.br/2013/cd/resumos/R_0321-1.pdf>. Acesso em: setembro de 2022.

SILVA, R. N. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FEITOSA, R. M. Isotermas de adsorção de umidade do umbu-cajá em pó. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 30, n. 1, p. 33-36, 2015.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introduction to Food Engineering**. Cambridge, MA: Academic Press, 2001, 1328 p.

SINGH, B.; SHUKLA, R.; SINGH, K.; SINGH, S. Optimization process parameters of foam mat drying in totapuri mango pulp with foaming agent GMS. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, vol. 8, n. 12, p. 2954-2963, 2019.

SOARES, E. C. **Caracterização de aditivos para secagem de araçá-boi (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) em leite de espuma**. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga – BA, 2009.

STAPLEY, A. **Freeze drying**. In: EVANS, J. A. (Org.). *Frozen Food Science and Technology*. United Kingdom, Blackwell Publishing Ltd, 2008, cap. 12, p. 248-275.

SUET LI, T.; SULAIMAN, R.; RUKAYADI, Y.; RAMILI, S. Effect of gum Arabic concentrations on foam properties, drying kinetics and physicochemical properties of foam mat drying of cantaloupe. **Food Hydrocolloids**, p. 116, 106492, 2021.

TAVARES, M. C. I.; CASTILHOS, B. M. M.; MAURO, A. M.; RAMOS, M. A.; SOUZA, T. R.; GÓMEZ-ALONSO, S.; LAGO-VANZELA, S. E. BRS Violeta (BRS Rúbea x IAC 1398-21) grape juice powder produced by foam mat drying. Part I: Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity. **Food Chemistry**, vol 298, 124971, 2019.

VARHAN, E.; ELMAS, F.; KOÇ, M. Foam mat drying of fig fruit: Optimization of foam composition and physicochemical properties of fig powder. **Journal of Food Process Engineering**, e13022, 2019.

VASCONCELOS, M. A. S.; FILHO, A. B. M. **Conservação de Alimentos**. Recife: EDUFRPE, 2010, 130 p.

VEGA-MERCADO, H.; GONGORA-NIETO, M. M; BARBOSA-CANOVAS, G. V. Advances in dehydration of foods. **Journal of Food Engineering**, vol. 49, n. 4, p. 271–89, 2001.

WATHARKAR, R. B.; CHAKRABORTY, S.; SRIVASTAV, P. P.; SRIVASTAVA, B. Foaming and foam mat drying characteristics of ripe banana [*Musa balbisiana* (BB)] pulp. **Journal of Food Process Engineering**, vol. 44, 13726, 2021.