

Secagem em leito de espuma para obtenção de extrato seco de frutos em pó: revisão e estudo cienciométrico

Foam-mat drying to obtain dry powder extract of fruits: review and scientometric study

Isaac dos Santos Nunes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, *Campus Suzano*, Suzano, SP, Brasil.

isaac.nunes@ifsp.edu.br - <https://orcid.org/0000-0003-1377-2918>

Jeferson Aloísio Ströher

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

jeferson.stroher@hotmail.com - <https://orcid.org/0000-0002-5314-9269>

Fabício Ferrarini

Instituto Federal Farroupilha, *Campus Santa Rosa*, Santa Rosa, RS, Brasil.

fabicio.ferrarini@iffarroupilha.edu.br - <https://orcid.org/0000-0002-7359-786X>

Joseana Severo

Instituto Federal Farroupilha, *Campus Santa Rosa*, Santa Rosa, RS, Brasil.

joseana.severo@iffarroupilha.edu.br - <https://orcid.org/0000-0002-5989>

Resumo

A secagem é uma técnica de eliminação de líquidos por aquecimento e contato com ar seco. Em alimentos, a técnica é utilizada para a conservação, ao reduzir o teor de água. A secagem em leito de espuma possibilita remoção facilitada da água de alimentos viscosos e açucarados, em menores temperaturas, o que pode reduzir perdas nutricionais. O objetivo neste estudo foi apresentar uma revisão e análise cienciométrica da utilização da técnica no processamento de frutos. Para a análise, selecionaram-se artigos relacionados aos tópicos descritos. A análise cienciométrica foi realizada considerando os artigos indexados na plataforma *Web of Science*. Embora o número de trabalhos classificados tenha sido pequeno (55), os resultados mostraram que a maioria dos artigos é publicada por pesquisadores do Brasil. A evolução da escolha das palavras-chave pode indicar maior complexidade nos estudos, apontando que ainda há espaço para novas pesquisas, sobretudo de frutos nacionais.

Palavras-chave: espumas alimentícias; secagem em camada de espuma; espumante; estabilidade.

Abstract

Drying is a technique for the removal of liquids through heating and contact with dry air. In food processing, this technique is employed for preservation by reducing the moisture content. Foam bed drying facilitates the removal of water from viscous and sugary foods at lower temperatures, which can help minimize nutritional

losses. The objective of this study was to present a review and scientometric analysis of the application of this technique in fruit processing. For the analysis, articles related to the described topics were selected. The scientometric analysis was conducted considering articles indexed in the Web of Science platform. Although the number of classified works was small (55), the results indicated that most of the articles were published by researchers from Brazil. The evolution of keyword selection may suggest increasing complexity in the studies, indicating that there is still room for further research, particularly on national fruits.

Keywords: food foams; foam mat drying; foaming agent, stability.

1 Introdução

A secagem é um dos processos mais antigos utilizados para conservar alimentos, sendo um método crucial para a indústria alimentícia. A remoção de água dos alimentos tem como objetivo diminuir o teor de água, o que reduz a atividade microbológica e as reações químicas que degradam os produtos, possibilitando maior durabilidade e estabilidade. As vantagens da secagem incluem maior facilidade no transporte e menor espaço requerido no armazenamento, os quais são fatores críticos para a comercialização em larga escala. Na antiguidade, os alimentos eram secos ao sol, o que comprometia a qualidade devido à falta de controle das condições, como temperatura, umidade e quantidade de ar (Qadri; Srivastava; Yousuf, 2019). Dentre as diversas técnicas disponíveis, industrialmente destacam-se a secagem por ar quente, a liofilização e a atomização. Em algumas aplicações, essas técnicas podem ser limitadas pelo alto custo ou pela perda de compostos bioativos sensíveis ao calor, como vitaminas e antioxidantes (Kumar *et al.*, 2020; Mohammad *et al.*, 2021).

Nesse cenário, a secagem em leito de espuma surge como uma alternativa promissora ao processamento de frutos. Essa técnica envolve a adição de agentes espumantes e estabilizantes ao produto líquido ou semilíquido, criando uma espuma com alta estabilidade. A espuma formada apresenta uma superfície de contato muito maior com o ar, permitindo uma secagem mais rápida e eficiente. A maior superfície de exposição ao calor reduz o tempo de processamento, o que é vantajoso na preservação de nutrientes e na obtenção de um produto com melhores características sensoriais (Singh *et al.*, 2020). Com isso, a secagem em leito de espuma tem sido estudada como uma opção eficaz para produtos sensíveis ao calor, que possuem alto teor de água e compostos termolábeis (Pratas *et al.*, 2021).

A aplicação da secagem em leito de espuma para frutos apresenta ainda outras vantagens significativas. Além de promover uma desidratação mais uniforme e rápida, o método também pode melhorar a solubilidade e reidratação dos produtos em pó resultantes. Essas características são

particularmente importantes para a produção de pós de frutos que serão utilizados em formulações alimentares, como bebidas instantâneas, suplementos e alimentos infantis. Outro benefício é a retenção de compostos bioativos, como polifenóis e flavonoides, o que contribui para a produção de alimentos funcionais, com maior valor agregado, e que atendem à demanda crescente por produtos saudáveis e práticos (Sahin-Nadeem *et al.*, 2021).

Nos últimos anos, tem havido um aumento significativo nas pesquisas relacionadas à secagem em leito de espuma, refletido em diversas publicações científicas que exploram desde os parâmetros operacionais ideais até a aplicação em diferentes tipos de frutos. Estudos focam na otimização de variáveis como a concentração de agentes espumantes, a temperatura do ar de secagem, a velocidade do fluxo de ar e o tempo de exposição. Além disso, a técnica tem sido comparada com outros métodos de secagem em termos de eficiência energética, custos operacionais e qualidade final do produto desidratado (Liu *et al.*, 2020). Esses avanços tecnológicos e científicos tornam a análise cienciométrica um recurso valioso para avaliar o estado da arte e identificar lacunas e oportunidades de pesquisa.

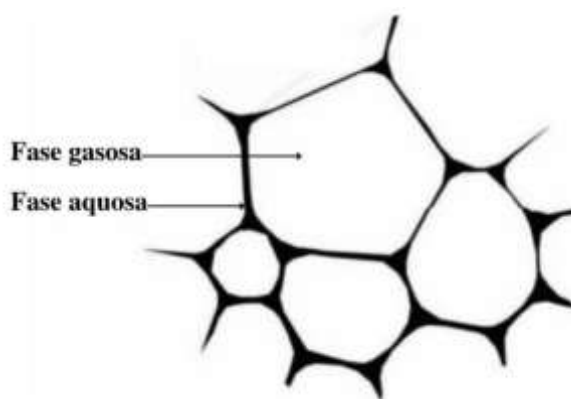
Este artigo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica e análise cienciométrica sobre o uso da técnica de secagem em leito de espuma para frutos, avaliando a evolução das publicações, as principais tendências de pesquisa e as áreas de maior impacto científico. A ciencimetria, ao fornecer um panorama quantitativo e qualitativo das pesquisas, permite não apenas entender o desenvolvimento da área, mas também apontar caminhos para inovações futuras. Dessa forma, o estudo visa contribuir para a consolidação do conhecimento sobre essa técnica e para o seu aperfeiçoamento, de modo a promover uma aplicação mais ampla na indústria de alimentos.

2 Referencial Teórico

2.1 Produção de Espumas Alimentícias

Uma espuma é um sistema de duas fases, uma dispersa e uma contínua, separadas por um filme fino conhecido como fase lamelar, que compõem as finas paredes das bolhas (Hardy; Jideani, 2017), como ilustra a Figura 1. Nos casos de produção de espumas de alimentos, estes sistemas complexos são formados de gás, que pode ser o ar atmosférico, líquidos e sólidos, provenientes do processamento do alimento, e surfactantes, os quais promovem a emulsão, resultando na formação da espuma.

FIGURA 1 - Representação da estrutura de uma espuma



Fonte: Mounir (2017) *apud* Menezes (2022).

As espumas estão presentes em diversos alimentos, como bolos, sorvetes e *marshmallow*, por exemplo. Com a adição do surfactante e batimento, ocorre a incorporação do ar no alimento, aumentando o volume e reduzindo a densidade. Os melhores valores de densidade das espumas para secagem variam de 0,3 a 0,6 g cm⁻³, os quais favorecem a secagem, pela maior mobilidade da água dentro da estrutura, com menor degradação térmica e melhor qualidade do pó (Girelli; Sant'anna; Klein, 2023).

A composição do alimento afeta a estrutura da espuma. Por exemplo, a presença de lipídios afeta a formação da dispersão, uma vez que esses migram preferencialmente para a superfície das bolhas, fazendo-as colapsarem no próprio batimento por reduzirem a tensão superficial da água com o ar (Kamath *et al.*, 2008).

Outro fator importante é a concentração de proteína, que afeta a formação e estabilidade da espuma. Há um teor máximo ideal para a obtenção do sistema, que atinge valores normalmente de 2 a 8%. Em se tratando da estabilidade, maiores concentrações de proteína resultam em maior estabilidade da espuma. A formação da espuma aumenta com o aumento da concentração de proteína a ser parcialmente desnaturada por agitação ou batimento (Girelli, 2021). Embora o aumento da concentração de proteína favoreça a formação da espuma, isso ocorre até se atingir um valor limite máximo, a partir do qual pode resultar em colapso da estrutura, aumentando a densidade.

Em relação à obtenção da espuma, de acordo com (Hardy; Jideani, 2017), esta etapa pode ser realizada por batimento, de forma manual ou em equipamentos mecânicos, como *mixers* e

homogeneizadores, por agitação vigorosa do líquido, mais raramente empregada, e por borbulhamento, com a injeção de gás em recipiente com o líquido. Os surfactantes mais utilizados são a albumina do ovo, proteínas do soro de leite e da soja e a gelatina, enquanto os estabilizantes são carboximetilcelulose, goma xantana, goma arábica e alginato de propileno glicol (Girelli, 2021).

Pesquisas publicadas com a utilização da secagem em leito de espuma reportam o uso de batimento do líquido com agentes espumantes e estabilizantes como 7% de albumina e 0,25% de goma xantana para butiá (Girelli; Sant'anna; Klein, 2023), 4% de emulsificante Emustab® para acerola (Araujo et al., 2017) e 4,05% de Emustab® e 2,05% de albumina para manga (Mançano, 2018). A avaliação de diferentes teores dos agentes é usual nas pesquisas encontradas, uma vez que diferentes combinações podem resultar em melhoria ou piora da expansão das espumas, afetando a etapa posterior, quando a espuma é submetida à secagem.

2.2 Secagem em Leito de Espuma

A secagem de espumas remonta o ano de 1917 (Hertzendorf; Moshy; Seltzer, 1970 *apud* Girelli, 2021) e, desde então, a técnica tem sido estudada e desenvolvida para melhor conhecimento de equipamentos e variáveis envolvidas no processo. Essa técnica possibilita a preservação de aspectos nutricionais de alimentos sensíveis ao calor, normalmente sendo realizada em temperaturas mais brandas, em intervalos de 50 a 80°C (Hardy; Jideani, 2017), e em menores tempos. A secagem em leito de espuma é favorecida pelo grande aumento da área superficial que a formação da espuma possibilita em comparação à forma líquida do alimento (Qadri; Srivastava; Yousuf, 2019).

A metodologia envolve a produção de uma polpa do alimento que é batida com um agente espumante até a obtenção de uma espuma estável. A espuma é disposta em um recipiente para a formação do leito, e, posteriormente, encaminhada para a secagem. Após a secagem, o material seco é removido do recipiente de secagem por raspagem e, quando necessário, moído para a obtenção de um pó (Girelli, 2021). A Figura 2 apresenta uma sequência generalizada das etapas envolvidas na secagem por leito de espuma.

FIGURA 2 - Etapas do processamento de frutos por secagem em leite de espuma



Fonte: adaptado de Sangamithra et al. (2014).

A técnica de secagem em leite de espuma possibilita a desidratação de alimentos sensíveis ao calor, com alto teor de açúcar e viscosos, os quais são difíceis de serem secos sem alteração de sua qualidade (Sangamithra et al., 2014). Dessa forma, ainda oferece vantagens reconhecidas para o processamento de frutos tropicais que são propensos à degradação em métodos tradicionais (Paiva et al., 2023). Os produtos obtidos por secagem em leite de espuma são mais baratos que os obtidos por outras técnicas (Gallardo-Rivera et al., 2021), podendo ser aplicados na indústria de alimentos como flavorizantes ou melhoradores de sabor.

Apesar das vantagens, um ponto muito importante neste processo envolve a estabilidade da espuma, que pode afetar a qualidade do produto obtido. Espumas instáveis podem conduzir a uma secagem desigual, alterando aspectos sensoriais. A estabilidade das espumas depende do agente surfactante a ser utilizado e da dosagem, por exemplo. As propriedades da espuma obtida influenciarão na secagem, assim como as condições em que a operação ocorrerá (patamares das variáveis de processo) e o método de secagem influenciarão no produto a ser obtido.

A partir da espuma formada, a secagem pode ser realizada em diferentes combinações de tempo e temperatura, assim como empregando distintos métodos de fornecimento de energia. Qadri,

Srivastava e Yousuf (2019) apresentam como mais comuns a secagem por ar quente, podendo ocorrer ainda com aquecimento em vácuo, por liofilização ou assistida por micro-ondas. A maior parte dos estudos encontrados nas bases científicas apresenta pesquisas que utilizam a secagem por ar quente para levantamento de parâmetros cinéticos e termodinâmicos do processo de secagem. No entanto, há também pesquisas que empregaram a secagem em leite de espuma de kiwi por liofilização (Bogusz *et al.*, 2024) e de *blueberry* em micro-ondas (Gao *et al.*, 2022), entre outros estudos.

As vantagens no uso da técnica são normalmente avaliadas pela presença de compostos bioativos após a secagem. Nesta caracterização, normalmente são analisados os teores de ácido ascórbico, teor de fenólicos totais, flavonoides e antocianinas (Paiva *et al.*, 2023), por exemplo. Diversos estudos apresentam a realização da caracterização com menores perdas destes compostos nas temperaturas mais brandas utilizadas na técnica como uma vantagem neste processo.

3 Metodologia

Para a condução da análise cienciométrica realizou-se uma busca das publicações na base de dados *Web of Science*, entre os dias 20 e 25 de setembro de 2024. Após buscas preliminares e ajustes, foram utilizadas as diferentes combinações das palavras-chave *fruit*, *foam-mat drying* ou *foam mat drying* com separações entre parênteses e o operador booleano OR entre os dois últimos termos.

Após obtenção dos resultados das buscas, foram selecionados os artigos de pesquisa relacionados com o escopo deste trabalho. Os metadados dos artigos selecionados foram utilizados para a avaliação de relações entre autores, citações de publicações, palavras-chave, revistas utilizadas nas publicações, entre outros. As análises foram realizadas no *software* VOSviewer 1.6.20.

4 Resultados e Discussão

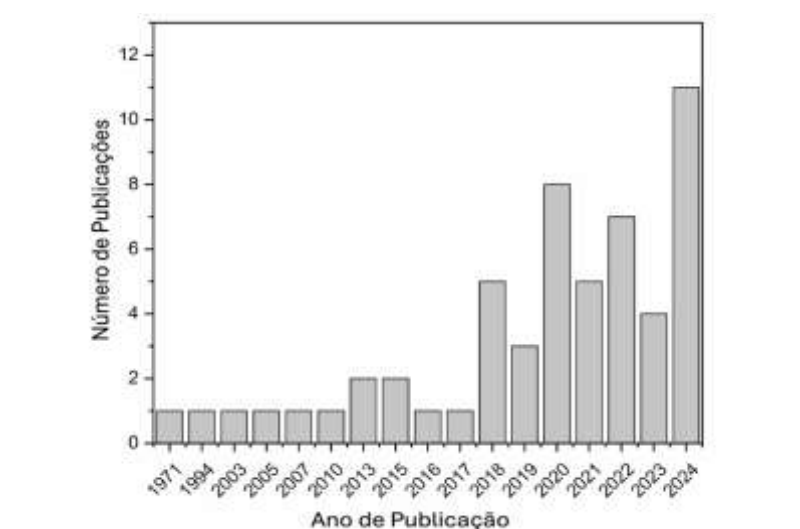
A busca pelos trabalhos científicos foi realizada apenas na plataforma *Web of Science* devido à formatação dos metadados que são disponibilizados nesta base, o que possibilita uma análise cienciométrica facilitada em *softwares* utilizados para este fim. Foram encontrados 66 trabalhos publicados entre os anos de 1971 e 2024, contabilizando-se os artigos científicos de pesquisas, *review* e *proceedings*. Na sequência, filtraram-se apenas os artigos de pesquisa, sendo encontrados 59 resultados.

A partir da leitura dos títulos dos artigos e, em alguns casos, também dos respectivos resumos,

foram excluídos os artigos que tratavam da secagem de alimentos, mas que não eram referentes a frutos (3 artigos de 2021 e 1 artigo de 2023). Assim, restaram apenas os artigos que tratavam do escopo do trabalho, totalizando 55 documentos.

Os resultados apresentados na Figura 3 mostram que, embora as publicações que se encaixam no escopo do trabalho tenham começado já em 1971, até 2010 ocorreram somente seis publicações, uma a cada ano. As publicações referentes ao tema secagem em leito de espuma para frutos destacaram-se a partir de 2018, sendo observado um crescente interesse na área nos últimos anos.

Figura 3 – Distribuição de publicações selecionadas no estudo, ao longo dos anos



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Verificou-se que oito países são mais produtivos em relação à publicação de artigos na temática de secagem em leito de espuma para processamento de frutos (Tabela 1). Os países destacados na Tabela 1 publicaram 52 artigos científicos (94,5%), sendo o Brasil responsável por 30,9% do total destas publicações. Brasil e Índia lideram o número de publicações e citações e, de modo geral, quanto maior o número de publicações, maiores são estes índices. Comparando-se os Estados Unidos e Irã, ambos os países têm quatro publicações e percebe-se grande diferença entre o número de citações, o que pode se relacionar com o tipo de fruto processado nas pesquisas.

TABELA 1 – Países mais produtivos na divulgação de pesquisas envolvendo a secagem de leite de espuma para processamento de frutos

País	Publicações	Citações
Brasil	17	244
Índia	11	230
Tailândia	5	51
Turquia	5	15
Estados Unidos	4	141
Irã	4	25
Malásia	3	105
Croácia	3	118

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

A Tabela 2 apresenta os autores mais citados dentre o grupo identificado de trabalhos, correlacionando-se com sua nacionalidade e afiliação. Cada um dos autores elencados possui três publicações e, dos seis que foram destacados, apenas um é da Malásia, o qual possui o maior número de citações (105, no total). Os demais cinco autores com maior destaque são brasileiros, sendo o de maior número de citações proveniente da Universidade do Estado de São Paulo (UNESP) e os outros quatro autores da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Esses resultados devem-se, possivelmente, ao fato de a secagem em leite de espuma ser adequada para o processamento de frutos, sobretudo tropicais, o que pode justificar o maior engajamento de autores brasileiros e demais regiões tropicais nesse tema de pesquisa.

TABELA 2 – Países mais produtivos na divulgação de pesquisas envolvendo a secagem de leite de espuma para processamento de frutos

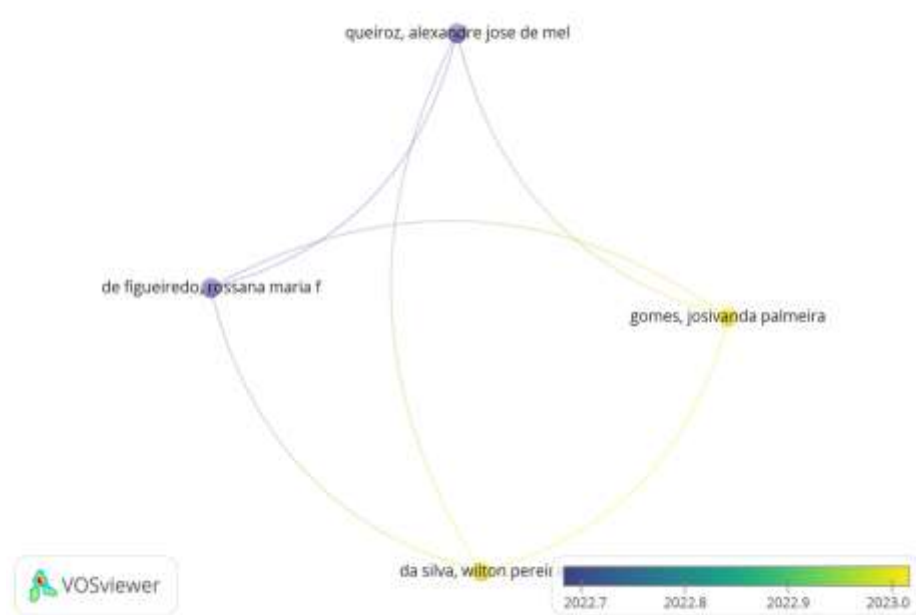
Autoria	País	Afiliação	Publicações	Citações
Sulaiman, R.	Malásia	Univ. Putra Malaysia	3	105
Lago-Vanzela, E. S.	Brasil	UNESP	3	102
Silva, W. P.	Brasil	UFCG	3	11
Gomes, J. P.	Brasil	UFCG	3	11
Queiroz, A. J. M.	Brasil	UFCG	3	9
Figueiredo, R. M. F.	Brasil	UFCG	3	9

Fonte: elaborado pelos autores (2026).

As relações entre os principais pesquisadores mostram que há quatro nomes representados (Figura 4) e de cada um deles saem/chegam três linhas, mostrando que há interação total entre eles. Ademais, foram encontrados trabalhos onde os pesquisadores são, inclusive, relacionados como coautores. Em relação à temporalidade, a análise apontou que as colaborações são recentes, com pesquisas publicadas nos anos de 2022 e 2023 (Figura 4).

A Figura 5 aponta as categorias da plataforma *Web of Science* onde os artigos foram publicados. Verificou-se que a maior parte deles encontra-se nas categorias de Ciência e Tecnologia de Alimentos (*Food Science Technology*), Engenharia (*Engineering*) e Agricultura (*Agriculture*) (Figura 5). Dessa forma, os resultados evidenciam a importância da Ciência e Tecnologia de Alimentos para as publicações da área. Constatou-se também que a Engenharia surge como uma grande área, dentre a qual poderiam se incluir Engenharia de Alimentos e Química, relevantes para os estudos dos fenômenos cinéticos e de transferência de calor e massa na secagem. Como observado na Figura 5, a Agricultura possui relação direta com o fornecimento de matérias-primas como os frutos, os quais estão dentro do escopo definido para este trabalho.

FIGURA 4 – Distribuição de publicações selecionadas no estudo, ao longo dos anos



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

FIGURA 5 – Categorias de publicação dos artigos pesquisados na plataforma Web of Science



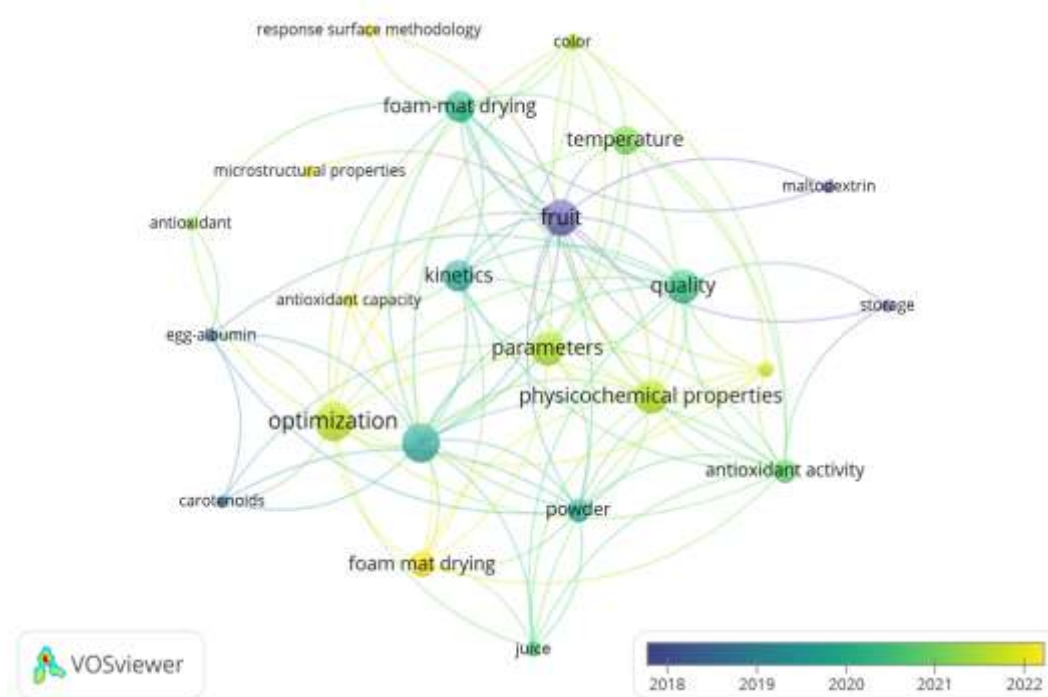
Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Neste estudo, realizou-se uma análise da coocorrência das palavras-chave nos artigos publicados. Tal análise pode contribuir na identificação de parâmetros, objetivos e objetos de estudo nos trabalhos. A Figura 6 apresenta a inter-relação das diversas palavras-chave que foram utilizadas pelos autores dos artigos selecionados. O tamanho dos círculos mostra a dimensão do uso de determinada palavra, as linhas que os unem representam as coocorrências associadas com outras palavras e a cor está relacionada com o ano da publicação. As palavras com maiores ocorrências são *optimization* (otimização – 15), *fruit* (fruta – 14), *parameter* (parâmetros – 13), *physicochemical properties* (propriedades físico-químicas, 13) e *quality* (qualidade – 13) (Figura 6).

As palavras mais relevantes e com mais relações foram automaticamente selecionadas pelo *software* no período entre os anos de 2018 e 2023. De acordo com a escala de cor da Figura 6, os círculos mais recentes apresentam coloração amarelada, o que condiz com as palavras *foam mat drying* (secagem em leito de espuma), *response surface methodology* (metodologia de superfície de resposta), *antioxidant capacity* (capacidade antioxidante) e *microstructural properties* (propriedade microestrutural). Os estudos publicados mais próximos ao ano de 2018 usaram com mais frequência as palavras *fruit* (fruto), *maltodextrin* (maltodextrina) e *storage* (armazenamento) (Figura 6). Os frutos são o objeto de estudo. A maltodextrina é um agente frequentemente utilizado na composição das espumas, enquanto o armazenamento (ou sua melhoria) compõe o objetivo de um estudo deste tipo, representando então

uma escolha simplificada de palavras-chave na descrição do estudo. Comparando-se com as palavras mais frequentemente usadas nos últimos anos, percebe-se maior complexidade na escolha, o que pode indicar maior complexidade também nos estudos. Este fato pode se justificar por um provável amadurecimento da metodologia, que começa a se estabelecer e acumular conhecimentos que permitem que novos estudos avancem.

FIGURA 6 – Interrelação entre as palavras-chave e classificação cronológica de seu uso pelos autores nos documentos selecionados



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

Ao analisar os estudos, de modo geral, os artigos apresentaram o preparo da polpa e a produção da espuma. A caracterização ocorre a partir da avaliação da estabilidade da espuma, variando-se tempos de batimento, agentes espumantes e estabilizantes utilizados e os percentuais destes. A secagem ocorre, na maioria dos casos, em estufa, mas há trabalhos na literatura reportando secagem em forno micro-

ondas de uso doméstico, por exemplo. A avaliação da degradação dos alimentos com indicadores como atividade antioxidante, como parâmetros físico-químicos e o uso de metodologia de superfície de resposta em anos recentes, indicam maior desenvolvimento na área de pesquisa.

5 Considerações Finais

O número de artigos selecionados na amostra ($n=55$) pode ser considerado reduzido, uma vez que trata do processamento de frutos, os quais apresentam grande variedade, despertam grande interesse e fazem parte da alimentação da população mundial, diariamente. Neste sentido, percebe-se que há grande margem de crescimento e potencial de aplicação dessa técnica, sobretudo no Brasil, que possui diversos frutos nativos que carecem de pesquisa e processamento adequado para comercialização e distribuição em maior escala.

A análise cienciométrica reportada aqui aponta para a possibilidade de aplicar a metodologia em novas pesquisas no Brasil. A secagem em leito de espuma pode ser uma metodologia adequada para a obtenção de extratos secos em pó de frutos com processamento adequado e baixas perdas nutricionais, colaborando para maior difusão de conhecimentos acerca de potenciais novos alimentos.

Em comparação às técnicas tradicionais de secagem, o uso de leito de espuma resulta em produtos com menores perdas nutricionais, reduzindo a atividade de água e permitindo maior aproveitamento dos alimentos. As potenciais aplicações do extrato incluem a produção de misturas instantâneas para sucos de frutos, misturas para bolos e sorvetes, *shakes*, saborizantes em produtos amiláceos, por exemplo. A baixa exploração da técnica em trabalhos científicos e mesmo industrialmente pode indicar oportunidades de exploração da técnica e estudos de viabilidade. Temperaturas reduzidas no processamento e menores tempos de aquecimento dos frutos podem resultar em economia energética no processo, aliados ao maior controle das propriedades físicas e nutricionais do alimento obtido, o que pode justificar a ampliação dos conhecimentos da técnica.

Referências

- ARAÚJO, C. et al. Cinética de secagem de acerola em leito de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, e2016152, 2017.
- BOGUSZ, R. et al. Foam-mat freeze drying of kiwiberry (*Actinidia arguta*) Pulp: drying kinetics, main properties and microstructure. **Applied Sciences**, v. 14, n. 13, 5629, 2024.
- GALLARDO-RIVERA, C. et al. Effect of three types of drying on the viability of lactic acid bacteria in foam-mat dried yogurt. **Processes**, v. 9, n. 12, 2123, 2021.
- GAO, R. et al. Production of blueberry pulp powder by microwave-assisted foam-mat drying: Effects of formulations of foaming agents on drying characteristics and physicochemical properties. **Food Science and Technology**, v. 154, n. 15, 112811, 2022.
- GIRELLI, A. **Obtenção do pó da polpa de *Butia* spp. Pelo método de secagem por camada de espuma**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Encantado, 2021.
- GIRELLI, A.; SANT'ANNA, V.; KLEIN, M. P. Drying of butiá pulp by the foam-layer method and characterization of the obtained powder. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, e03050, 2023.
- HARDY Z.; JIDEANI, V. A. Foam-mat drying technology: a review critical. **Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 12, p. 2560-2572, 2017.
- KAMATH, S. et al. The influence of temperature on the foaming of milk. **International Dairy Journal**, v. 18, n. 10, p. 994-1002, 2008.
- KUMAR, S. et al. Drying characteristics and quality evaluation of foam-mat-dried papaya pulp powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 6, p. 2115-2124, 2020.
- LIU, Y. et al. Comparative analysis of foam-mat drying and spray drying for passion fruit pulp powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 9, e14633, 2020.
- MANÇANO, L. F. Estudo da secagem em leito de espuma da polpa de manga Haden. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 8, n. 3, p. 15-20, 2018.
- MENEZES, L. S. D. **Secagem em leito de espuma (foam-mat drying) aplicada em alimentos: uma revisão**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2022.
- MOHAMMAD, H. et al. Drying of fruits and vegetables: critical factors affecting quality and energy consumption. **Journal of Food Engineering**, v. 294, p. 110351, 2021.
- PAIVA, Y. F. et al. Tropical red fruit blend foam mat drying: effect of combination of additives and drying temperatures. **Foods**, n. 12, 2508, 2023.
- PRATAS, S. D. et al. Optimization of foam-mat drying process for the production of guava powder. **Drying Technology**, v. 39, n. 12, p. 1860-1869, 2021.

QADRI, O. S.; SRIVASTAVA, A. K.; YOUSUF, B. Trends in foam mat drying of foods: Special emphasis on hybrid foam mat drying technology. **Food Science and Nutrition**, v. 60, n. 10, p. 1667-1676, 2019.

SAHIN-NADEEM *et al.* Effects of foam-mat drying on bioactive compounds, antioxidant activity, and color of blackberry and black mulberry powders. **Food Chemistry**, v. 356, p. 129667, 2021.

SANGAMITHRA, A. *et al.* Foam mat drying of food materials: a review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 39, n. 6, 3165-3174, 2014.

SINGH *et al.* Application of foam-mat drying in food products: a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 9, p. 3215-3224, 2020.

Recebido: 10/07/2025

Aceito: 24/07/2026



This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).