



**UFRRJ**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO  
DE JANEIRO INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

**DISSERTAÇÃO**

**SECAGEM DE RESÍDUO SÓLIDO DE COGUMELO COMESTIVEL  
(*Agaricus bisporus*) EM CAMADA DE ESPUMA (*FOAM-MAT DRYING*)**

**JOÃO TRAJANO DA SILVA JUNIOR**

2022



**UFRRJ**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO  
DE JANEIRO INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

**SECAGEM DE RESÍDUO SÓLIDO DE COGUMELO COMESTIVEL  
(*Agaricus bisporus*) EM CAMADA DE ESPUMA (FOAM-MAT DRYING)**

**JOÃO TRAJANO DA SILVA JUNIOR**

*Sob a Orientação do Professor*  
José Lucena Barbosa Junior

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Ciência de Alimentos.

Seropédica, RJ

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586s Silva Junior, João Trajano da, 1996-  
Secagem de resíduo sólido de cogumelo comestível  
(Agaricus bisporus) em camada de espuma (foam-mat  
drying) / João Trajano da Silva Junior. - Seropédica,  
2022.  
98 f.

Orientador: José Lucena Barbosa Junior.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro, PPGCTA/Ciência e Tecnologia de  
Alimentos, 2022.

1. Secagem em camada de espuma. 2. Cinética de  
secagem. 3. Ajuste de modelos matemáticos. 4.  
Agaricus bisporus. 5. resíduo agroindustrial. I.  
Lucena Barbosa Junior, José, 1975-, orient. II  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.  
PPGCTA/Ciência e Tecnologia de Alimentos III. Título.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.”



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS



TERMO Nº 1029/2022 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.059676/2022-56

Seropédica-RJ, 23 de setembro de 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**JOÃO TRAJANO DA SILVA JUNIOR**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Ciência de Alimentos.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23/09/2022

JOSE LUCENA BARBOSA JUNIOR (Dr) UFRRJ (orientador)  
MAURICIO CORDEIRO MANCINI (Dr.) UFRRJ  
RÚBNER GONÇALVES PEREIRA (Dr) FTT

*Documento não acessível publicamente*

*(Assinado digitalmente em 23/09/2022 21:36)*

JOSE LUCENA BARBOSA JUNIOR  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)  
Matrícula: 2455049

*(Assinado digitalmente em 26/09/2022 10:02)*

MAURICIO CORDEIRO MANCINI  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DEQ (12.28.01.00.00.00.45)  
Matrícula: 387671

*(Assinado digitalmente em 25/09/2022 19:24)*

RÚBNER GONÇALVES PEREIRA  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 076.975.556-97

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **1029**, ano: **2022**, tipo: **TERMO**, data de emissão: **23/09/2022** e o código de verificação: **f90188051b**

À minha família e amigos, especialmente  
ao meu marido Hanns Schults; aos meus  
pais João e Maria. Dedico e ofereço.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao universo pelas coisas positivas que me são proporcionadas e por me fortalecer a cada dia para que eu possa permanecer no meu caminho de aprendizado em todos os instantes da minha vida.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia em Alimentos pela oportunidade de realizar este curso e a CAPES pela bolsa concedida.

Agradeço ao meu orientador José Lucena Barbosa Junior pela paciência e sabedoria, e aos professores e profissionais não apenas por suas orientações e conselhos, mas também, pela boa convivência e pelo vínculo de respeito e consideração que se criou entre nós no decorrer deste curso.

Aos colegas e amigos de pós graduação, pelo convívio e amizade, em especial a Vanessa Biancardi, Marcus Vinicius, Siraj Mohamed, Fernanda de Jorge Gouvea, William Bonner e Larissa Almeida pela convivência e amizade que levarei para vida.

A ajuda indispensável para a realização deste trabalho: Maria Ivone, Sael Sanchez Vinicius da Costa, Rúbner Pereira, Hanns Schults e a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a conclusão deste projeto.

Minha gratidão.

## RESUMO

SILVA JUNIOR, João Trajano. **SECAGEM DE RESÍDUO SÓLIDO DE COGUMELO COMESTIVEL (*Agaricus bisporus*) EM CAMADA DE ESPUMA (FOAM-MAT DRYING)**. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia. Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica RJ, 2022.

*Agaricus bisporus*, conhecido popularmente como Champignon de Paris, é o cogumelo mais cultivado no Brasil e no mundo, sua produção gera anualmente 1.200 toneladas de resíduos, representado por corpos frutíferos de dimensões e formas irregulares e, principalmente por parte de seus estipes, seu descarte é um problema para os produtores em razão das dificuldades em armazená-los ou reutilizá-los devido sua perecibilidade. A técnica de secagem é um processo frequentemente utilizado para reduzir a umidade nos alimentos a um nível que minimize o crescimento microbiano e as reações de deterioração, colaborando assim para um maior tempo de armazenamento do produto. O método de secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*), faz o uso de baixas temperaturas e curtos tempos de secagens, diminuindo a resistência à transferência de massa, tornando o processo relativamente mais simples e de baixo custo, colaborando para a preservação das características nutricionais e tecnológicas dos produtos quando comparado a outros tipos de métodos de secagem aplicados em cogumelos comestíveis. O presente estudo teve como objetivo a realização do processo de secagem do resíduo sólido do cogumelo *A. Bisporus* em camada de espuma (*foam-mat drying*) sob as temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C, avaliando a cinética do processo de secagem e a influência da temperatura nas características físico-químicas e propriedades tecnológicas. Por meio das curvas de secagem e da taxa de secagem, observou-se que a temperatura exerce grande influência na secagem do bagaço, pois quando se aumenta a temperatura ocorre uma diminuição do tempo de secagem e um conseqüente aumento na taxa e na difusividade efetiva. As curvas de secagem foram ajustadas aos modelos propostos por de Page, Peleg, Newton e Fick, respectivamente. O modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem com base nos maiores valores do R<sup>2</sup> e menores valores dos desvios relativos médios.

**Palavras-chave:** Secagem em camada de espuma; Cinética de secagem, Ajuste de modelos matemáticos, *Agaricus bisporus*, resíduo agroindustrial.

## ABSTRACT

SILVA JUNIOR, João Trajano. **FOAM-MAT DRYING OF SOLID RESIDUE OF EDIBLE MUSHROOM (*Agaricus bisporus*)**. 2022. Dissertation (Master degree in Food Science and Technology). Technology Institute. Department of Food Technology. Rural Rio de Janeiro Federal University, Seropédica, RJ, 2022.

**Key words:** Foam-mat drying; Kinetic study, Mathematical models *Agaricus bisporus*, Waste.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. JUSTIFICATIVA GERAL .....	3
3. OBJETIVOS .....	4
4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	4
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL .....	5
5.1. Cogumelo <i>A. Bisporus</i> .....	5
5.2. Produção de <i>A. Bisporus</i> x geração de resíduo .....	6
5.3. Valor nutricional .....	8
5.4. Potencial de aplicação do resíduo .....	10
5.5. Secagem .....	11
5.5.1 Mecanismo de secagem .....	12
5.5.2 Curva de secagem .....	13
5.5.3 Cálculo de cinética de secagem .....	15
5.6 Secagem em camada de espuma .....	16
5.6.1 Espuma.....	17
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	18
CAPITULO I - ARTIGO DE REVISÃO: ADVANCES IN THE APPLICATION OF DIFFERENT DRYING METHODS OF EATABLE MUSHROOM	
1 INTRODUCTION .....	39
2 DEVELOPING .....	39
2.1 Centesimal composition.....	39
2.2 PRE-TREATMENTS BEFORE DRYING.....	41
2.3 DRYING MUSHROOM.....	43
2.4 SOLAR DRYING .....	43
2.5 CONVECTING FORCED DRYING WITH HOT AIR .....	45
2.6 DRYING BY FREEZING .....	47
2.7 MICROWAVE DRYING .....	49
2.8 DRYING BY INFRARED HEATING .....	50
2.9 EFFECTS OF DRYING CONDITIONS .....	51
2.10 New perspectives and challenges.....	54
3 CONCLUSION.....	54
4 Acknowledgment .....	55
5 CONFLICT OF INTEREST DECLARATION .....	55
6 REFERENCES .....	55

CAPITULO II - ARTIGO DE RESULTADOS: CINÉTICA DE SECAGEM DE RESÍDUO SÓLIDO DE COGUMELO COMESTIVEL (*Agaricus bisporus*) EM CAMADA DE ESPUMA E DETERMINAÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE.

1	INTRODUÇÃO .....	67
2	MATERIAIS E MÉTODOS .....	67
2.1	Preparação da espuma.....	68
2.3	Secagem .....	69
2.4	Modelagem matemática .....	69
2.5	Analises físico-químicas .....	70
2.5.1	Acidez Titulável e pH .....	70
2.5.2	Teor de sólidos solúveis totais.....	71
2.6	Propriedades tecnológicas.....	71
2.6.1	Índice de Absorção em água (IAA) e leite (IAL).....	71
2.6.2	Índice de Absorção em Óleo (IAO) .....	71
2.6.3	Índice de Solubilidade em Água (ISA), em leite (ISL) e em óleo (ISO) .....	72
2.7	Capacidade antioxidante .....	72
2.7.1	Capacidade de eliminação do radical DPPH.....	72
2.7.2	Capacidade de redução de ferro (FRAP).....	72
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	73
3.1	Caracterização físico-químicas .....	73
3.2	Cinética de Secagem .....	74
3.3	Analises físico-químicas .....	79
3.4	Propriedades tecnológicas.....	80
3.5	Capacidade antioxidante .....	83
4	CONCLUSÃO .....	84
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	84
7.	CONCLUSÃO GERAL.....	89

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Devido às suas propriedades benéficas, os cogumelos tornaram-se atrativos como alimentos funcionais ou por apresentar compostos bioativos que podem ser extraídos e incorporados em produtos alimentares (PAPOUTSIS et al., 2020; REIS, 2019) pois são fontes de substâncias bioativas como polifenóis, aminoácidos, polissacarídeos, terpenoides, vitaminas e esteróis, associados cientificamente com capacidades antioxidantes, anticancerígenos, atividades antiglicêmica, anti-inflamatória, hepatoprotetora, antialérgica, antimicrobiana e antiviral (ATILA; OWAID; SHARIATI, 2017; CHANG; MILES, 2004; KALARAS et al., 2017; RONCERO-RAMOS; DELGADO-ANDRADE, 2017).

O cultivo de *Agaricus Bisporus* contribui com cerca de 35 a 45% da produção mundial, liderando o ranking global de produção de cogumelos comestíveis (REZAEIAN et al., 2016; ROYSE, 2014). No Brasil, essa espécie é a mais cultivada com uma taxa de 8.000 ton/ano, equivalente a 67% da produção total brasileira, segundo a Associação Nacional dos Produtores de Cogumelos (ANPC, 2020). Esse volume de produção está diretamente relacionado com o seu crescente consumo e gera grandes quantidades de resíduos sólidos (ANPC, 2020; CHANG; MILES, 2004; COUTINHO, 2004), que representam até 20% do volume e 15% em peso de toda a sua produção e constitui principalmente por parte de seus estipes e corpos frutíferos de dimensões e formas irregulares e seu descarte é um problema para os produtores de cogumelos devido à sua elevada perecibilidade e às dificuldades em seu armazenamento e/ou reutilização (GARCIA, 2019; PAPOUTSIS et al., 2020).

A literatura afirma que há semelhanças nutricionais, dados de composição centesimal e potencial bioativo deste resíduo em relação ao cogumelo tradicionalmente consumido e comercializado (RAMOS et al., 2019). Além disso, o descarte inadequado deste material, está vinculado ao gerenciamento de custos e alto impacto ambiental, incluindo aquecimento global, esgotamento abiótico, acidificação, eutrofização, toxicidade humana, ecotoxicidade, esgotamento de recursos naturais e consumo de energia (LEIVA et al., 2015).

Assim, esses produtos devem ser submetidos a tratamentos que prolonguem seu armazenamento e aumentem sua estabilidade, para que possam ser aproveitados posteriormente na preparação de extratos para aplicações futuras como ingrediente funcional adicionado em alimentos, agregando valor ao setor (PAPOUTSIS et al., 2020; UMAÑA et al., 2020).

Deste contexto, a secagem surge como uma alternativa de conservação, sendo uma tecnologia utilizada no tratamento de diversos tipos de alimentos (CHEN; MUNJUMBA, 2008). Esse processo tem diversas finalidades, como produção de novos produtos, redução de

massa e volume, mas seu objetivo principal é aumentar a conservação do alimento, mediante a diminuição do teor de água no alimento, o que eleva sua estabilidade (ZHANG et al., 2013). Associado a isto, a perda de massa, que ocorre quando um alimento é seco, diminui consideravelmente os custos de transporte e manuseio (AREVÁLO-PINEDO; MURR, 2005).

Existem diversos métodos de secagem, como liofilização, secagem solar, secagem por micro-ondas, secagem convectiva, secagem em leito de espuma, entre outros. Os diferentes métodos apresentam diversas características de processo, como tempo e temperatura de secagem, e diferenças de resultados, como qualidade nutricional e características sensoriais do produto final e gasto energético, além de utilizar equipamentos diversos (WANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2014).

A secagem em camada de espuma visa obter um material de melhor qualidade nutricional e tecnológica, com um baixo tempo operacional, quando comparado a outros tipos de métodos de secagem (RONCHETTI, 2014). Para isso, o alimento é convertido em uma espuma estável por meio da adição de agentes espumantes e incorporação de ar, nitrogênio ou outros gases, em batedeiras ou outros equipamentos geradores de espuma (SOUZA, 2011). A incorporação de ar ao líquido aumenta a capilaridade do alimento em questão, auxiliando a passagem de vapor de água do interior do alimento até o ar de secagem. A espuma obtida deve ser espalhada em bandejas, que serão levadas à câmara de secagem. A secagem por este método resulta em um material poroso e quebradiço, de fácil moagem e transformação em pó com boas propriedades de reidratação (BARRETO, 2010).

O uso da técnica de secagem em camada de espuma para a operação de secagem de resíduos de cogumelos comestíveis, representa algo inédito academicamente registrado. Assim, buscando viabilizar uma metodologia focada no resíduo de *A. Bisporus* como uma alternativa de baixo custo, fácil aplicabilidade e reprodução, combatendo às dificuldades de armazenamento e reutilização deste subproduto, é proposto o estudo do processo de secagem do resíduo sólido do cogumelo *A. Bisporus* em camada de espuma (foam-mat drying) em diferentes temperaturas de secagem.

## 2. JUSTIFICATIVA GERAL

Apesar das diferenças físicas em sua estrutura, a constituição química e biológica do resíduo sólido de cogumelo *A. Bisporus* é semelhante à do cogumelo tradicionalmente consumido de acordo com a literatura (GARCIA, 2019).

Os fluxos de resíduos de fazendas maiores deste cogumelo podem ser valorizados como uma fonte de extratos nutritivos com componentes bioativos para aplicações potenciais na indústria alimentícia, devido às qualidades já conhecidas deste cogumelo comestível, em razão de seu alto teor de proteínas, vitaminas e esteróis, associados cientificamente com capacidades antioxidantes e aminoácidos essenciais contidos (ATILA; OWAID; SHARIATI, 2017; RAMOS et al., 2019).

O resíduo de cogumelos *A. Bisporus* vem sendo explorado em literatura por meio de seu uso como ração animal (GARCIA, 2019), para bioadsorção (MENK et al., 2019) ou para extrair compostos que podem ser usados como ingredientes seguros para alimentos, como quitina, quitosana,  $\beta$ -glucana, esteróis e polissacarídeos prebióticos (GIL-RAMÍREZ et al., 2014; MAHFUZ et al., 2019; MENK et al., 2019; YANG et al., 2020). No entanto, esforços precisam ser realizados para aumentar a estabilidade, contribuindo com o armazenamento e utilização deste subproduto, com menores danos as suas características nutricionais e tecnológicas.

Visando a reprodutibilidade e a aplicação de tecnologias com baixo custo deste resíduo na indústria de alimentos, a técnica de secagem é um processo frequentemente utilizado para reduzir a umidade nos alimentos a um nível que minimize o crescimento microbiano e as reações de deterioração, colaborando assim para um maior tempo de armazenamento do produto (XU et al., 2021).

O método de secagem em camada de espuma (*foam-mat drying*) faz uso de baixas temperaturas e curtos tempos de secagens, devido ao fato da estrutura da espuma apresentar espaços preenchidos de ar, onde se formam caminhos preferenciais para passagem da água, além disso, sua estrutura pode permanecer inalterada durante o processo aumentando a área exposta ao ar seco e facilitando a saída da água, otimizando o tempo de operação, diminuindo a resistência à transferência de massa, tornando o processo relativamente mais simples e de baixo custo, colaborando para a preservação das características nutricionais e tecnológicas do produto (CARNEIRO, 2008).

Não há na literatura nenhum relato sobre o uso da técnica de secagem em camada de espuma para a operação de secagem de cogumelos comestíveis e seus subprodutos. Assim,

viabilizar uma metodologia focada no resíduo de *A. Bisporus* potencializando e possibilitando sua utilização como ingrediente industrial, contrário ao seu descarte, focado em inovação e ineditismo, aumentando sua estabilidade, agregar valor à toda a cadeia de suprimentos envolvida, e se faz válida para a geração de dados e perspectivas em relação a futuros estudos e aplicações.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo geral**

Estudar o processo de secagem de resíduo sólido de cogumelo *Agaricus bisporus*

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Levantar e comparar bibliograficamente diferentes métodos de secagem de cogumelos comestíveis;
- Realizar a secagem dos resíduos de cogumelos *Agaricus bisporus* em camada de espuma em diferentes temperaturas;
- Avaliar a cinética de secagem do resíduo sólido de cogumelo *Agaricus bisporus* através de diferentes modelos matemáticos: Page, Peleg, Newton e Fick;
- Avaliar as características físico-química e propriedades tecnológicas do resíduo após o processo de secagem;
- Avaliar o efeito do processo de secagem na capacidade antioxidante do resíduos secos.

### **4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A Dissertação está estruturada em dois capítulos. O presente estudo inicia o embasamento da pesquisa realizada com uma apresentação ao assunto proposto através de uma introdução geral, justificativa geral, objetivos e revisão bibliográfica geral. Este último, acerca das principais definições envolvidas relacionadas ao cogumelo *A. Bisporus*, seu resíduo sólido, junto às especificações do processo e metodologia de secagem em camada de espuma (foam-mat drying).

O Capítulo I (intitulado: “Advances in the application of different drying methods of eatable mushroom”) apresenta um artigo de revisão bibliográfica submetido à Revista Ciência Rural, que discute os avanços e fatores que influenciam o uso de diferentes métodos de secagem aplicados a cogumelos comestíveis e seus efeitos qualitativos, oferecendo à literatura científica informações valiosas que possam ser consultadas e utilizadas sobre o assunto.

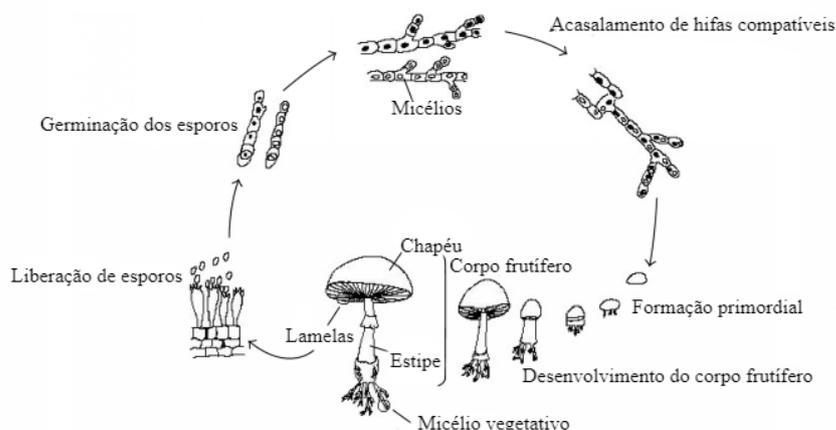
O Capítulo II (intitulado: “Cinética de secagem de resíduo sólido de cogumelo comestível (*Agaricus bisporus*) em camada de espuma”) apresenta um artigo de resultados perante a realização do processo de secagem do resíduo sólido do cogumelo *A. Bisporus* em camada de espuma (foam-mat drying) sob as temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C, avaliando a cinética de secagem do produto através dos modelos matemáticos de Page, Peleg, Newton e Fick, avaliando também as características físico-química e propriedades tecnológicas e capacidade antioxidante do resíduo após o processo de secagem, expondo resultados inéditos. O artigo de resultados será submetido à Revista Ciência Rural.

Por fim, são apresentadas as conclusões gerais do estudo dentro da temática abordada.

## 5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL

### 5.1. Cogumelo *A. Bisporus*

O cogumelo *A. Bisporus*, conhecido popularmente no Brasil como "Champignon de Paris" é uma espécie comestível pertencente ao sub-reino *Dikarya* (HIBBETT et al., 2007; JAMES et al., 2006), filo *Basidiomycota* e sub-filo *Agaricomycotina* (BAUER et al., 2006). Apresenta duas fases distintas em seu desenvolvimento: na primeira, ou estágio vegetativo, a reprodução é assexuada e ocorre o desenvolvimento das hifas e formação do micélio; na segunda fase, ou estágio reprodutivo, a reprodução é sexuada e ocorre a formação do basidioma ou corpo de frutificação, responsável pela produção de esporos e cuja formação é dependente das condições do ambiente e da estabilização do micélio no substrato (ATILA; OWAID; SHARIATI, 2017; CHANG; MILES, 2004; LEIVA et al., 2015), conforme pode ser observado na Figura 1.



**Figura 1.** Ciclo de vida do cogumelo *Agaricus bisporus* adaptado de Rahi & Malik (2016).

O corpo de frutificação dos basidiomicetos é composto pelo estipe, anel, lamelas e píleo. A estipe é uma estrutura semelhante a um caule, composta pelas hifas do fungo e que sustenta as demais estruturas como pode ser visto na Figura 2. No topo do estipe, encontra-se o anel, estrutura de junção entre a estipe e o píleo, cuja parte inferior é formada pelas lamelas, estruturas portadoras dos esporos do cogumelo, que permanecem fechadas até que o cogumelo atinja o desenvolvimento ideal para colheita e consumo, abrindo-se após esta condição (KIRK et al., 2008; CHANG; MILES, 2004).



**Figura 2.** Cogumelo *A. Bisporus* e a representação de sua estrutura fisiológica adaptado de Ramos e colaboradores (2019).

O Cogumelo *A. Bisporus* é amplamente cultivado em todo mundo (ROYSE, 2014), contribuindo com 35 a 45% da produção mundial total de cogumelos comestíveis (REZAEIAN; POURIANFAR, 2016). O consumo de *A. Bisporus* perde apenas para a levedura de padeiro *Saccharomyces cerevisiae* como a espécie de fungo mais comumente ingerida (RAMOS et al., 2019). No Brasil, a cultura de *A. Bisporus* é a mais cultivada com uma taxa de 8.000 t/ano, equivalente a 67% da produção total brasileira (ANPC, 2020; ROYSE, 2014).

Além de seu sabor único e propriedades sensoriais, esses cogumelos são dotados de excelentes propriedades nutricionais (RONCERO-RAMOS; DELGADO-ANDRADE, 2017). Mas foi somente nas últimas três ou quatro décadas que houve um grande desenvolvimento em biotecnologia, reprodução, pesquisa e conhecimento prático que levou à criação de uma indústria mundial para o cultivo de cogumelos comestíveis (CHANG; MILES, 2004).

## 5.2. Produção de *A. Bisporus* x geração de resíduo

A produção brasileira de cogumelos comestíveis atingiu, em 2016, 12.050 t. Em território nacional, essa cultura é a mais cultivada, equivalente a 67% da produção total brasileira, segundo a Associação Nacional dos Produtores de Cogumelos em 2016 (ANPC,

2020).

A produção de *A. Bisporus* ainda é realizada de forma rudimentar e familiar, geralmente sem o emprego de tecnologia sofisticada e conhecimentos científicos aprofundados (COUTINHO, 2004). Em geral, a produção ocorre em galpões, onde são encontradas prateleiras de madeira com as caixas que contém o substrato para cultivo, normalmente composto por palhas e bagaços. A umidade é garantida por umidificadores que borrifam água sobre o substrato, porém, sem controle da quantidade de água utilizada e da umidade atingida. Para verificar a umidificação, os produtores apenas apalpam o substrato e a decisão de adicionar água é subjetiva. A temperatura do ambiente é mantida em torno de 19 °C com o auxílio de exaustores, porém, sem controle rigoroso, estando sujeita às variações da temperatura externa. Neste galpão, as caixas são mantidas fechadas por cerca de 15 dias, permanecendo abertas posteriormente até que os cogumelos entrem no estágio de frutificação e possam ser colhidos. Após a abertura das caixas, a umidade do substrato deve ser reduzida, e os produtores ajustam empiricamente a quantidade de água aspergida. Ao término do cultivo, desocupa-se o galpão e se inicia um novo cultivo. O tempo em que a embalagem permanece fechada proporciona baixa disponibilidade de oxigênio ao cogumelo e é responsável por induzir a formação dos corpos de frutificação, como resposta à condição adversa de baixa concentração de oxigênio (DIAS, 2010; GARCIA, 2019).

No entanto, novas tecnologias são empregadas para garantir maior volume de produção de *A. Bisporus*, com boas práticas, maior segurança e garantia de produto de origem orgânica para o abastecimento do mercado consumidor. Por exemplo, a empresa Champetit apresenta volume de produção médio de 20 toneladas por mês com processo de cultivo e produção automatizados através do uso de um computador central que monitora e realiza os ajustes as condições extrínsecas ao produto, efetuando os ajustes ambientais necessários para otimizar seu desenvolvimento (CHAMPETIT, 2020).

Com maiores volumes produtivos, são gerados maiores volumes de resíduos. Dependendo do tamanho da fazenda de cogumelos, a quantidade de resíduos varia entre 5 e 20% do volume de produção e resulta, de acordo com Ramos e colaboradores (2019), na remoção de cogumelos com comprimentos de estipe em excesso, descoloração e variações de tamanho bruto, porção descartada após colheita, a qual corresponde a 25% da produção total (GARCIA, 2019). Com uma produção nacional anual de 8000 t de cogumelos *A. Bisporus*, a de geração de resíduo corresponde a média de 2000 t/ano no Brasil (ANPC, 2020). Está quantidade de resíduo não é tratada, com descarte realizado em lixo orgânico comum, recolhido pelas prefeituras responsáveis. Sua comercialização, quando raramente realizada, com valor de

mercado extremamente baixo, é destinada a adubação de hortas (CHAMPETIT, 2020), não havendo políticas de geração de valor ou estímulo a transformação deste resíduo, que apesar das diferenças e deformações físicas, apresenta constituição inatamente semelhante ao corpo frutífero, e os fluxos de resíduos de fazendas maiores de cogumelos *A. Bisporus* podem ser valorizados como uma fonte de componentes bioativos para a indústria de alimentos e farmacêutica (ATILA; OWAID; SHARIATI, 2017; RAMOS et al., 2019).

### 5.3. Valor nutricional

O valor nutricional do cogumelo *A. Bisporus* pode ser verificado pela sua composição centesimal (base seca) de acordo com a literatura, contendo proteínas (29,14%), carboidratos (51,05%), gordura (1,56%), fibras (23,3%) e valores de umidade (91 a 92 g / 100 g), cinzas (0,9 a 1 g / 100 g) e energia (29 a 31 kcal / 100 g) (ATILA; OWAID; SHARIATI, 2017; BARROSO et al., 2019; REIS et al., 2012).

Esteves e colaboradores (2001) utilizaram cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) para quantificar as vitaminas B1 e B2, os valores encontrados foram 1,0 e 6,37 µg/g. Martín-Belloso e colaboradores (2001) pesquisaram *A. Bisporus* para vitaminas B1, B2 e B6, os resultados foram 0,41, 1,62 e 0,42 mg/100 g, respectivamente. Furlani e Godoy (2004) em seu estudo encontraram conteúdos de sólidos totais na faixa de 8% para *A. Bisporus* em base úmida. Todos os demais resultados foram apresentados em base seca. Para carboidratos o teor médio ficou em 54,12%, proteínas 28,45%, lipídios 5,40%, cinzas 11,98% e fibra alimentar 20,44%. O resultado da análise de ácido ascórbico foi de 6,3 mg/100g e essa espécie também apresentou um alto teor de fósforo, entre 113,3 e 89,4 mg/100g.

Pesquisas bibliográficas demonstraram que os ácidos palmítico, esteárico, oleico e linoleico são os ácidos graxos mais abundantes nas espécies *Agaricus* (PEDNEAULT et al., 2006; BARROS et al., 2007). Em relação ao seu conteúdo mineral de acordo com Pauli (2010) *A. Bisporus* destaca-se pela quantidade de cobre 28 mg/kg, potássio 45720,0 mg/kg, cálcio 200 mg/kg e sódio 345 mg/kg superior às outras espécies.

Segundo Ramos (2019) a espécie *A. Bisporus* se destaca na indústria de alimentos, pela presença de seu valor nutritivo, como pode ser observado no Quadro 1. Destaca-se na literatura os teores de proteína de *A. Bisporus*, variando entre 26,8% (CHEUNG, 1997) a 39,3% (VETTER, 2003) em base seca, Esta espécie possui todos os aminoácidos essenciais conforme observado em estudo de Mattila e colaboradores (2002) exposto a Tabela 1. Estudos recentes publicados têm enfoque na manutenção deste valor nutricional, juntamente com aumento da vida útil dessa espécie em particular (CARDOSO et al., 2019)

**Quadro 1.** Composição nutricional de Cogumelo *A. Bisporus* (base úmida)

	Composição	Valor nutricional em 100g	%
Energia	Valor energético	93 KJ	
	Calorias	22 Kcal	
Carboidratos	Carboidratos totais	3,26g	
	Açúcares	1,98g	
	Fibras dietéticas	1g	
Gorduras	Gorduras totais	0,34g	
Proteínas	Proteínas totais	3,09g	
Vitaminas	Tiamina (B1)	0,081 mg	7%
	Riboflavina (B2)	0,402 mg	34%
	Niacina (B3)	3,607 mg	24%
	Ácido pantotênico (B5)	1,497 mg	30%
	Vitamina B6	0,104 mg	8%
	Folato (B9)	17 µg	4%
	Vitamina B12	0,04 µg	2%
	Vitamina C	2,1 mg	3%
Metais	Vitamina D	0,2 µg	1%
	Ferro	0,5 mg	4%
	Magnésio	9 mg	3%
	Fósforo	86 mg	12%
	Potasio	318 mg	7%
	Sódio	3 mg	0%
Outros	Zinco	0,52 mg	1%
	Água	92,45 g	

Fonte: RAMOS et al., 2019, Adaptado.

Kakon e colaboradores (2012) relataram que as proteínas do cogumelo contêm todos os nove aminoácidos essenciais exigidos pelos humanos, permitindo seu uso como um substituto para uma dieta com ausência de carne de origem animal. Os aminoácidos encontrados em *A. Bisporus* nas maiores quantidades são alanina, ácido aspártico, ácido glutâmico, arginina, leucina, lisina, fenilalanina, serina, prolina, tirosina e treonina (MUSZYŃSKA et al., 2013). A qualidade dos substratos de cultivo (GOTHWAL et al., 2012), o estágio de desenvolvimento e as condições pré e pós-colheita (GUILLAMON et al., 2010) podem influenciar a composição química e o valor nutricional dos cogumelos cultivados. Portanto, os dados de composição nutricional de cogumelos publicados por diferentes autores trabalhando até mesmo com a mesma espécie são variáveis.

**Tabela 1.** Conteúdo de aminoácidos presentes no cogumelo *A. Bisporus*

<b>Composição de Aminoácidos</b>	<b>Quantidade (mg/100g base úmida*)</b>
Cistina	23
Metionina	30
Ácido aspártico	270
Treonina	102
Serina	110
Ácido glutâmico	478
Prolina	103
Glicina	97
Alanina	158
Valina	120
Isoleucina	85
Leucina	142
Histidina	54
Lisina	127
Arginina	108
Tirosina	292
Fenilalanina	97

\*100 gramas de massa úmida equivalem a 7,07 gramas de massa seca

Fonte: MATTILA et al., 2002, Adaptado.

#### **5.4. Potencial de aplicação do resíduo**

Os cogumelos comestíveis tem seu valor nutritivo afirmado pela literatura, De acordo com Ramos e colaboradores (2019) estes subprodutos são uma importante fonte de compostos, uma vez que podem ser aplicados em muitos campos diferentes.

Há presentes tocoferóis e micosteróis, em particular ergosterol que possui propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e anticancerígenas (ATILA; OWALD; SHARIATI, 2017; BOONSONG; KLAYPRADIT; WILAI PUN, 2016).

Pela similaridade nutricional verificada nos resíduos sólidos de cogumelo *A. Bisporus*, composto principalmente por seus estipes de acordo com estudo de Nasiri e colaboradores (2013), as estipes contém 90% de umidade e seu conteúdo de sólidos com 19% de proteína, 31% de carboidrato, 2% de gordura, 38 % de fibra e 9,5% de cinza em base seca. Apesar das diferenças físicas, o seu potencial como agente funcional é foco de direcionamento em estudos como de Garcia (2019) que buscou a aplicação do resíduo de *A. Bisporus* na alimentação animal, elaborando e produzindo uma ração com substituição da fonte proteica animal pelo resíduo sólido, devido aos aminoácidos presentes em sua proteína para demonstração de sua

eficiência tanto quanto sua eficácia em relação ao corpo frutífero.

Além de direcionamento alimentício, é verificado em estudo realizado por Menk e colaboradores (2019) a destinação ecológica para o resíduo, realizando sua aplicação como tecnologia de biossorção em água contaminada com EE2 e paracetamol, a fim de propor um processo mais eficiente e ecológico.

A busca por inovação pela aplicação de novas técnicas ou procedimentos para aumentar a estabilidade e extrair destes resíduos esses compostos com altos rendimentos e seletividades, torna-se um marco para o sucesso neste campo de pesquisa. Porém, estudos mais aprofundados ainda são necessários para se obter sucesso na introdução sólida desses produtos no mercado, devido à elevada perecibilidade deste subproduto, falta de informações sobre questões de segurança e tratamentos a serem aplicados. Além disso, as legislações restritivas dependendo da aplicação final devem ser implantadas para garantir a segurança do consumidor.

## **5.5. Secagem**

O objetivo de qualquer processamento é realizar alguma transformação na matéria-prima, gerando um produto (e talvez alguns subprodutos). Nesse processo, é essencial que seja garantida também a qualidade do(s) produto(s) obtido(s). Portanto, para o dimensionamento e controle ótimos de processos e equipamentos de processamento é necessário quantificar a deterioração de qualidade do material que está sendo manuseado. A qualidade de um produto depende no uso final do produto que, por sua vez, dirá qual a característica necessária da qualidade que deverá ser conservada. Assim, é o critério de conservação de qualidade que dita o processo de secagem. A secagem de sólidos é uma das mais antigas e usuais operações unitárias encontradas nos mais diversos processos usados em indústrias agrícolas, cerâmicas, químicas, alimentícias, farmacêuticas, de papel e celulose, mineral e de polímeros. É também uma das operações mais complexas e menos entendida, devido à dificuldade e deficiência da descrição matemática dos fenômenos envolvidos de transferência simultânea de calor, massa e quantidade de movimento no sólido. Assim a secagem é um conjunto de ciência, tecnologia, ou seja, um know-how baseado em extensiva observação experimental e experiência operacional (MENON & MUJUMDAR, 1987).

Segundo KEEY (1972), a secagem durante muitos séculos foi realizada com métodos totalmente sem técnica. Dur ante a Revolução Industrial na França foi descrita uma das primeiras técnicas de secagem de papel em folhas em uma sala com circulação de ar. Um século depois, outra técnica foi descrita em Londres na “Grande Exibição”, também para a secagem de papel em cilindros aquecidos. Leite e vegetais também eram secos através de um pequeno

aquecimento. Fornos simples eram usados para a secagem de amido e porções de sal. A partir daí uma série de novos métodos de secagem foram surgindo, devido à crescente necessidade de métodos mais eficientes e rápidos. Apesar desta evolução na arte da secagem, métodos complexo de secagem começaram a ser propostos só no fim do século 19, como por exemplo patentes de secador a radiação térmica e secador à vácuo. Estas inovações foram gradualmente sendo proliferadas e incorporadas pela indústria.

Segundo Geankoplis (2003), a secagem refere-se à remoção de água de materiais de processo e outras substâncias. O termo secagem também é usado com referência a remoção de líquidos, tais como benzeno ou solventes orgânicos, em materiais sólidos. Em geral, a secagem é a retirada de grandes quantidades de água de um material em um determinado tempo. A temperatura, tempo de residência e a umidade relativa do ar de secagem são parâmetros que devem ser estudados com intuito de reduzir o tempo de secagem (BARBOSA et al, 2009).

Segundo Chen e Mujumdar (2008), existem vários métodos ou processos para secar alimentos. Em geral, o processo de secagem de material alimentar ocorre quando o vapor de água é removido de sua superfície em espaço circundante, resultando em uma superfície com baixo teor de água, gerando um gradiente de umidade, no interior do alimento. Isso faz com que a pressão de vapor d'água no interior do alimento seja maior que na sua superfície, fazendo com que o vapor d'água migre do interior para a superfície (CHEN; MUJUMDAR, 2008).

O mecanismo de secagem consiste nos processos de transferência simultânea de calor e massa com mudança de fase, em que o ar aquecido transfere energia na forma de calor ao alimento suficiente até atingir o calor latente de vaporização da água. Os fatores que governam esse mecanismo de transferência determinam a taxa de secagem. Os principais fatores são as condições psicrométricas, a velocidade do ar de secagem, o tempo de residência e a condição do produto e suas características como pressão de vapor, área superficial, e o mecanismo de difusão da água em seu interior (BOEIRA, 2007).

### **5.5.1 Mecanismo de secagem**

A secagem é dividida em três fases. A primeira fase inicia-se quando o alimento ainda se encontra em temperatura menor do que a de equilíbrio com o ar de secagem, ou seja, uma etapa de aquecimento do alimento até que sua temperatura seja igual à temperatura de bulbo úmido do ar. Na segunda fase a superfície do alimento se encontra úmida e o mecanismo de secagem é a convecção. Nessa etapa, a massa do produto reduz rapidamente, e a taxa de secagem permanece constante. A terceira fase se caracteriza com a superfície do alimento já seca, assim formando um gradiente de concentração em que o deslocamento da água no interior

do alimento dependerá das características do mesmo. Nessa etapa a massa reduz lentamente e a taxa de secagem se torna decrescente ao longo do tempo (SAMPAIO e QUEIROZ, 2006).

Os métodos e processos de secagem podem ser diferenciados de várias maneiras. O processo de secagem pode ser contínuo ou intermitente. Para os processos contínuos o material deve entrar no secador e sofrer secagem sem a interrupção no equipamento. Assim a matéria será obtida seca por operação contínua. No processo intermitente, o produto úmido permanece no secador até que se atinja a umidade desejada.

Segundo GEANKOPLIS (2003), o ar de secagem possui dois mecanismos para a remoção de água em um material. O primeiro seria a transferência de calor sobre a superfície do material, suficiente para a água da superfície mudar da fase líquida para a fase gasosa. O segundo mecanismo seria a transferência de massa no interior do alimento para a superfície e a capacidade do ar de carrear água.

Segundo FELLOWS (2000), há três fatores inter-relacionados que governam a capacidade do ar para remover a água de um alimento: quantidade de vapor de água presente no ar, temperatura de secagem e a quantidade e velocidade de ar que passa sobre os alimentos. O alimento absorve calor do ar quente, o que provê a entalpia de vaporização necessária para evaporar a água, a qual será carregada pelo ar de secagem.

### **5.5.2 Curva de secagem**

As condições de secagem podem ser determinadas através de características específicas de cada produto, associadas tanto às propriedades que o ar oferece a cada secagem, quanto ao meio de transferência de calor adotado (PARK, 2001).

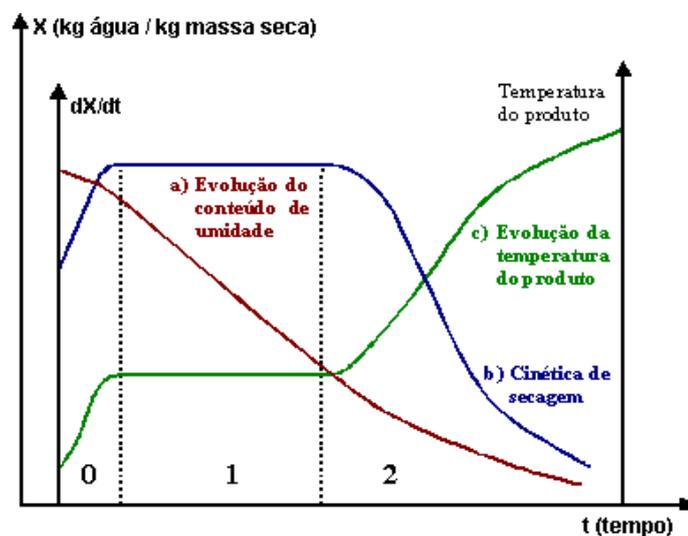
A partir dos dados da secagem, é possível construir curvas de secagem características a cada produto. A utilização de modelos matemáticos para ajustá-los aos dados experimentais tem mostrado grande importância na prática, pois permite a redução dos exaustivos ensaios de laboratório, porque predizem os resultados. Existem na literatura vários modelos matemáticos, teóricos, semi-empíricos e empíricos que podem ser empregados (WUAGHON e PENA, 2008).

Segundo CANO-CHAUCA e colaboradores (2004) as curvas de secagem podem auxiliar na escolha do tempo de secagem para a obtenção do produto com a umidade requerida, assim obtendo um produto de boa qualidade. Para DIONELLO e colaboradores (2009), as características encontradas na curva de secagem de qualquer produto, incluindo a avaliação e escolha dos modelos matemáticos que melhor descrevem o processo, são importantes na

seleção e desenvolvimento de equipamentos e no cálculo dos custos operacionais.

Page avaliou os fatores com influência significativa sobre a taxa máxima de secagem convectiva de sementes de milho em camada delgada, e comparou os resultados obtidos experimentalmente com aqueles obtidos com o modelo, obtendo uma grande proximidade do valor estimado com o valor experimental (CHEN e MUNJUMDAR, 2008). Segundo SANTOS (2010) os vários modelos existentes devem ser testados para condição de secagem específica. Modelos para o ajuste de curvas de secagem incluem o modelo de Henderson e Pabis (H&P), e o exponencial, também conhecido como modelo de Newton e Lewis, modelo de Midili, esses são os modelos mais utilizados para secagem de alimentos em geral.

Segundo PARK e colaboradores (2001), o processo de secagem, baseado na transferência de calor e de massa, pode ser dividido em três períodos (Figura 3), onde são mostradas as curvas de evolução do teor de água do produto ( $X$ ), de sua temperatura ( $T$ ) e da velocidade de secagem ( $dX/dt$ ), também chamada de taxa de secagem, ao longo do tempo, para um experimento utilizando ar de propriedades constantes. Dentre esses três períodos se encontram três curvas. A curva (a) representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem, em relação à evolução do tempo de secagem. A curva (b) representa a taxa de secagem do produto, variação do conteúdo de umidade do produto por tempo,  $dX/dt$  em relação à evolução do tempo, isto é, é a curva obtida diferenciando a curva (a). A curva (c) representa a variação da temperatura do produto durante a secagem (variação da temperatura do produto ( $T$ ) em relação à evolução do tempo ( $t$ ), isto é, é a curva obtida medindo a temperatura do produto durante a secagem.



**Figura 3.** Curvas típicas de secagem. Fonte: Adaptado de PARK e colaboradores (2001).

Analisando os períodos da taxa de secagem é possível observar o primeiro período (período mais curto) quando ocorre uma elevação da temperatura e da pressão de vapor de água. O segundo período é denominado como período de taxa constante (período regido pela convecção) a superfície do alimento se encontra na temperatura de bulbo úmido do ar de secagem e com elevada umidade. O terceiro período descreve o início da taxa de secagem decrescente, a cinética de secagem nesta etapa é mais lenta em comparação ao segundo período, pois a secagem é influenciada pela difusão da água no interior do material, enquanto no período de taxa constante é influenciado pela convecção (PARK, 2001; GEANKOPLIS, 2003).

Tamanha complexidade dos Fenômenos existentes na secagem induz a formulação de inúmeras teorias e diversas equações empíricas para prever a taxa de secagem. Entre elas, a que tem maior destaque é a teoria difusional, baseada na segunda Lei de Fick, Equação 1, que expressa o fluxo de massa por unidade de área sendo proporcional ao gradiente de concentração de água no alimento (PARK, 2001). Para transferência de massa unidimensional na direção  $x$ , essa lei pode ser descrita como:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial X}{\partial x^2} \quad (1)$$

Onde,  $D_{ef}$  é a difusividade em  $m^2/h$ ,  $x$  é a posição ao longo da direção do escoamento, em  $m$ , e  $X$  é o teor de água ( $kg$  de água/ $kg$  de sólidos secos).

### 5.5.3 Cálculo de cinética de secagem

A cinética de secagem tem por finalidade promover o estudo do comportamento do material analisado ao longo do processo, e ainda, estima-se o tempo necessário de secagem (CARVALHO, 2014). Os dados experimentais extraídos no processo de secagem, são representados através de curvas, de maneira, a relacionar o teor de umidade com o tempo (GURGEL, 2014).

O objetivo da análise da secagem relatada à predição de tempo de secagem. As taxas de secagem devem ser relacionadas para um determinado produto e para uma determinada operação (processo e equipamento).

Os estudos da transferência de calor e massa, além do estabelecimento de possíveis mecanismos de migração interna de umidade possibilitará o estabelecimento da taxa de secagem. Com o conhecimento das limitações dos processos para um determinado produto

pode-se avaliar, projetar e/ou otimizar o processo de secagem permitindo a avaliação do tempo de secagem. Os métodos de cálculo da taxa de secagem diferem quando se trata de período de velocidade constante ou decrescente. No primeiro período, as transferências de calor e massa são analisadas da superfície do material e ar de secagem, enquanto que no segundo período as análises são baseadas nas transferências internas que governam a secagem (PARK, 2001).

## 5.6 Secagem em camada de espuma

A secagem em leito ou camada de espuma (foam-mat drying) foi desenvolvida em 1959 por Arthur Morgan Jr. e seus colaboradores no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e patentado em 1961 (SOUZA, 2011). Esse método consiste de três etapas básicas:

1. A primeira etapa baseia-se na mudança do alimento líquido ou pastoso em uma espuma por meio de equipamentos geradores de espuma, como uma batedeira, por exemplo, e adição de agentes espumantes;
2. Espalhamento da espuma sobre uma superfície, perfurada ou não, em camada com espessura em torno de 2 a 10 mm;
3. Processo de desidratação, geralmente por corrente de ar quente. Durante a secagem, a espuma mantém seu volume resultando em um produto poroso e quebradiço que é facilmente transformado em pó (MARQUES, 2009).

O método de leito em espuma, quando comparado com outros métodos como *spray-drying* ou tambor rotativo apresenta vantagens e desvantagens. Uma das vantagens são as baixas temperaturas e curtos tempos de secagens, isso se deve ao fato da estrutura da espuma apresentar espaços preenchidos de ar, onde se formam caminhos preferenciais para passagem da água, além disso, sua estrutura pode permanecer inalterada durante o processo aumentando a área exposta ao ar quente e facilitando a saída da água, o que preserva melhor o sabor e o valor nutricional (MARQUES, 2009). Isso também torna o processo mais simples e barato. Porém, para atender as elevadas taxas de produção, necessita de equipamentos com grande superfície de secagem, pois a camada de material é muito fina (2 a 10 mm), elevando os custos do processo para grandes produções (CARNEIRO, 2008; MARQUES, 2009).

Entretanto, a espessura da espuma influencia diretamente no tempo de secagem, como ocorre na secagem convencional. No entanto, esse efeito é maior para alimentos que serão desidratados na forma sólida (RAJKUMAR et al., 2007).

Segundo Souza (2011), a utilização de secadores pequenos para secagens de leito de espuma para suco de maçã e de polpa de manga, quando comparado com a secagem convectiva

convencional apresentou maiores taxas de secagem e menores tempos de secagem, reduzindo em até 50% no tempo e uma redução no custo de produção de cerca de 10%.

O menor tempo de exposição do produto a alta temperatura permite a obtenção de produtos em pó com suas características nutricionais preservadas, o que pode gerar grandes possibilidades comerciais (SOUZA, 2011).

Como desvantagens, além do elevado custo para grandes demandas de produção, esse método necessita da utilização de agentes espumantes, que podem modificar características sensoriais do alimento como sabor, aroma e cor. Outra desvantagem e ponto crítico do processo é a dificuldade encontrada na formação da espuma e estabilidade da espuma durante o processo de secagem. A formação, a densidade e a estabilidade das espumas são afetadas por diversas variáveis como a natureza química do material, teor de sólidos solúveis e, principalmente, pelo tipo e concentração do agente espumante (MARQUES, 2009; CARNEIRO, 2008).

### **5.6.1 Espuma**

A espuma é uma dispersão de um fluido “hidrofóbico” (afinidade com óleo) em um líquido “hidrofilico” (afinidade com água). É muito similar a uma emulsão. Possui em sua estrutura gotículas gasosas cobertas por um líquido contínuo e descrito termodinamicamente como um sistema instável (FOLEGATTI, 2001).

A instabilidade da espuma está relacionada com a desproporcionalidade (Maturação de Ostwald), que é a difusão de gás para as bolhas grandes pelas bolhas menores (isso ocorre pela diferença de pressão entre as bolhas); com a gravidade, que ao longo da camada em espuma ocorre o escoamento de líquido e; com a coalescência das bolhas, devido ao filme entre elas não permanecer estável (DAMODARAN et. al., 2010).

A estabilidade da emulsão é o atributo físico de maior importância na avaliação da qualidade da espuma. Para a análise da estabilidade da espuma pode-se observar alguns fatores, entre eles, volume reduzido na fase dispersa, baixa tensão interfacial, repulsão das duplas camadas elétricas, filme interfacial forte, gotículas pequenas e viscosidade elevada. Os dois principais fatores que definem a estabilidade da espuma são: drenagem de filmes líquidos para se tornarem mais finos e perturbações aleatórias com tendência a quebra. Para a formação de uma emulsão é necessário a presença de um aditivo (MUTHUKUMARAN et al., 2008).

Para a escolha do agente espumante para a desidratação em leito de espuma deve-se escolher o agente que promove a maior redução de densidade, pois, a redução da densidade é causada pela incorporação de ar durante a agitação da mistura do líquido (polpa do produto) com o aditivo, que caracteriza a formação da espuma (THUWAPANICHAYANAN et al.

(2008).

A presença de substâncias geradoras de espuma e estabilizantes são verificadas em alguns alimentos, como clara de ovo e leite. Entretanto, em geral, a estabilidade dessas emulsões não é capaz de suportar as condições de um processamento de secagem. O uso de emulsificante é para auxiliar a formação da espuma e estabilizá-la reduzindo a energia livre e a tensão interfacial (CAPITANI, 2004). Os emulsificantes mais utilizados são: Emulstab<sup>®</sup>, Albumina, Maltodextrina e Liga Neutra (SOUZA, 2011).

O estudo da porosidade da espuma vem sendo muito pesquisado, pois esse fator influencia na taxa de secagem. Prachayawarakorn e colaboradores (2008), estudaram o efeito das posições dos poros ao longo da espuma sobre a taxa de secagem e descobriram que diferentes arranjos de poros apresentaram diferentes taxas de secagem. Quando os poros maiores estão posicionados no exterior da rede e os poros menores no interior, a taxa de secagem é consideravelmente mais rápida. Prakotmak e colaboradores (2010), apontaram a densidade da espuma como o fator de maior impacto na porosidade da espuma, visto que quanto menor a densidade maior será o número e tamanho dos poros. Os autores encontraram que para os valores de densidades de espuma de banana de 0,21 e 0,26 g/cm<sup>3</sup>, os valores de porosidade eram 31 % e 26% de espaços vazios, respectivamente.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUD, S. A. et al. A comprehensive review on infrared heating applications in food processing. **Molecules**, v. 24, n. 22, p. 1–20, 2019.
- ADLER-NISSEN J. Some Fundamental Aspects of Food Protein Hydrolysis. **Enzymic hydrolysis of food proteins**. p 9–19. 1985.
- AHMED, M. et al. Yield and nutritional composition of oyster mushroom strains newly introduced in Bangladesh. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 48, n. 2, p. 197–202, 2013.
- AKATA, I.; ERGONUL, B.; KALYONCU, F. Chemical Compositions and Antioxidant Activities of 16 Wild Edible Mushroom Species Grown in Anatolia. **International Journal of Pharmacology**, v. 8, n. 2, p. 134–138, 1 fev. 2012.
- ALAIZ, M. et al. Modification of delipidated apoprotein B of low density lipoprotein by lipid oxidation products in relation to macrophage scavenger receptor binding. **Biological and Pharmaceutical Bulletin**, v.17, p. 51–57, 1994.
- ALASHI, A. M. et al. Antioxidant properties of Australian canola meal protein hydrolysates. **Food Chemistry**, v. 146, p. 500–506, 2014.

ANPC. **Associação Nacional dos Produtores de Cogumelos**. Disponível em: <<https://www.anpccogumelos.org/cogumelos>>. Acesso em: 15 maio. 2020.

ANVISA. **Ministério da Saúde**. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0272\\_22\\_09\\_2005.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0272_22_09_2005.html)>. Acesso em: 8 nov. 2020.

AOAC. Official methods of analysis (18th ed.). Arlington VA, USA: **Association of Official Analytical Chemists**, 2005.

AREVALO-PINEDO, A.; MURR, F. E. X.; Influência da Pressão, Temperatura e Pré-tratamentos na Secagem a Vácuo de Cenoura e Abóbora. **Ciê. Tecnol. Alim.** Campinas, v..25, n. 4, p. 636-643, 2005.

ARGYROPOULOS, D.; HEINDL, A.; MÜLLER, J. Assessment of convection, hot-air combined with microwave-vacuum and freeze-drying methods for mushrooms with regard to product quality. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 2, p. 333–342, 2011.

ARISE, A. K. et al. Antioxidant activities of bambara groundnut (: *Vigna subterranea*) protein hydrolysates and their membrane ultrafiltration fractions. **Food and Function**, v. 7, n. 5, p. 2431–2437, 2016.

ATILA, F.; OWALD, M. N.; SHARIATI, M. A. The nutritional and medical benefits of *Agaricus bisporus* : A review. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v. 7, n. 3, p. 281–286, 2017.

BARBOSA, F. F.; et. al.; Manejo térmico do ar na secagem estacionária e seus efeitos no desempenho industrial de arroz branco e parboilizado. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 27, n. 2, 2009.

BARRETT, Lan et al. **Handbook of Proteolytic Enzymes**. 3. ed. S.L: Elsevier, 2012. 4094 p.

BARROS, L. et al. Fatty acid and sugar compositions, and nutritional value of five wild edible mushrooms from Northeast Portugal. **Food Chemistry**, v. 105, p. 140–145, 2007

BARROSO, L. S. et al. Physicochemical and Sensory Evaluation in Sautéed Caps and Stems of Edible Mushrooms. **Journal of Culinary Science and Technology**, v. 0, n. 0, p. 1–11, 2019.

BAUER, R. et al. 2006. The simple-septate basidiomycetes: a synopsis. **Mycological Progress**, v. 5, p. 41–66, 2006.

BENEFIELD, L. D.; JUDKINS, J. F.; WEAND, B. L. Fundamentals of surface and colloidal chemistry. **Process chemistry for water and wastewater treatment**, cap. 6, p. 191-202, 1982.

BENKAJUL, S., MORRISSEY, M. T. Protein Hydrolysates from pacific whiting solid wastes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.45, p.3423–3430, 1997.

BEZERRA, T. K. A., et al.. (2016). Proteolysis in goat “coalho” cheese supplemented with probiotic lactic acid bacteria. **Food Chemistry**, 196, 359-366

BISEN, P. S. et al. *Lentinus edodes*: A Macrofungus with Pharmacological Activities P.S. p. 2419–2430, 2010.

BOEIRA, J.B. et al. Estudo da Desidratação de Pêssegos por Tratamento Osmótico e Secagem. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 77-90, 2007.

BOONSONG, S.; KLAYPRADIT, W.; WILAI PUN, P. Antioxidant activities of extracts from five edible mushrooms using different extractants. **Agriculture and Natural Resources**, v. 50, n. 2, p. 89–97, 2016.

BOSCHIN, G., et al. ACE-inhibitory activity of enzymatic protein hydrolysates from lupin and other legumes. **Food Chemistry**, 145, 34–40.

BRENNAN, M. et al. The Effect of Sodium Metabisulphite on the Whiteness and Keeping Quality of Sliced Mushrooms. **LWT - Food Science and Technology**, v. 32, n. 7, p. 460–463, 1999.

Buruleanu, L. C. et al. Statistical characterization of the phytochemical characteristics of edible mushroom extract. **Analytical Letters** v 7, p. 1039–1059, 2018.

ÇAKMAK, R. Ş. et al. Effects of electrical and sonication pretreatments on the drying rate and quality of mushrooms. **LWT - Food Science and Technology**, v. 69, p. 197–202, 2016.

CANO-CHAUCA, M. et. al., Curvas de secagem e avaliação da atividade de água da banana passa. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 22, , p. 121 -132, 2004.

CAPITANI, C. D. **Interação de proteínas do soro de leite com polissacarídeo: fracionamento e estudo das propriedades funcionais dos complexos**. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição). Universidade Estadual de Campinas. Campinas - SP, 2004.

CARDOSO, R. V. C. et al. Effectiveness of gamma and electron beam irradiation as preserving technologies of fresh *Agaricus bisporus* Portobello: A comparative study. **Food Chemistry**, v. 278, n. November 2018, p. 760–766, 2019.

CARDWELL, G. et al. A review of mushrooms as a potential source of dietary vitamin D. **Nutrients**, v. 10, n. 10, p. 1–11, 2018.

CARNEIRO, D. D. **Desidratação de alimentos por Foam-Mat Drying**. Seminário: Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica - RJ, 2008.

CARREIRA, R. L. et al. Peptide profile of protein hydrolysates from wheat flour. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p. 481–489, 2011.

CHABAANE, L. Et al. Immobilization of vegetable tannins on tannery chrome shavings and their use for the removal of hexavalent chromium from contaminated water. **Chemical Engineering Journal**. v. 174, p. 310–317, 2011.

CHAMPETIT. **Champetit**. 2020. Disponível em: <https://champetit.com.br/>. Acesso em: 12 set. 2020.

CHANG, S. T.; MILES, P. G. **Mushrooms: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact**: Second edition.

CHEN, X.D.; MUJUMDAR, A.S.; **Drying Technologies in Food Processing**. p. 1- 42, 2008.

Cheung P.C.K. **The nutritional and health benefits of mushrooms**. British Nutrition

CHEUNG, P. C. K. Dietary Fibre Content and Composition of Some Edible Fungi Determined by Two Methods of Analysis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 73, n. 2, p. 255–260, 1997.

CHUNG, I. M. et al. Fatty acids and stable isotope ratios in shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) indicate the origin of the cultivation substrate used: A preliminary case study in Korea. **Foods**, v. 9, n. 9, 2020.

CLEMENTE, A. Enzymatic protein hydrolysates in human nutrition. Trends in Food Science and Technology, v. 11, n. 7, p. 254–262, 2000.

COUTINHO, L. N. **Doenças fúngicas e fungos competidores em cogumelos comestíveis**. São Paulo: [s.n.].

Cvjetko B. Et al. New perspective in extraction of plant biologically active compounds by green solvents. **Food and and Bioproducts Processing**, v. 109, p. 52–73, 2018.

D’ALESSANDRO, L. G et al. Integrated process extraction–adsorption for selective recovery of antioxidant phenolics from Aronia melanocarpa berries. **Separation and Purification Technology**. v. 120, p. 92–101, 2013

DAMODARAN, S.; FENNEMA, O. R.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 4ª edição. Porto alegre: Artmed, 2010.

DAS, I.; ARORA, A. Alternate microwave and convective hot air application for rapid mushroom drying. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p. 208–219, 2018.

DEVI, S.; ZHANG, M.; LAW, C. L. Effect of ultrasound and microwave assisted vacuum frying on mushroom (*Agaricus bisporus* ) chips quality. **Food Bioscience**, v. 25, n. August, p. 111–117, 2018.

DHAVAL, A.; YADAV, N.; PURWAR, S. Potential Applications of Food Derived Bioactive Peptides in Management of Health. **International Journal of Peptide Research and Therapeutics**, v. 22, p. 377–398, 2016.

DIAS, E. S. Cultivo de cogumelos no Brasil: Desafios e potencialidades. , Federal University of Lavras, , 2010.

DIONELLO, R. G.; et. al.; Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 29(1): 232-240, 2009.

DU, H. et al. Enrichment and purification of total flavonoid c-glycosides from *Abrus mollis* extracts with macroporous resins. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 51, p. 7349–7354, 2012.

DUAN, X. et al. Browning behavior of button mushrooms during microwave freeze-drying. **Drying Technology**, v. 34, n. 11, p. 1373–1379, 2016.

ESTEVE, M. Et al. Simultaneous determination of thiamine and riboflavin in mushrooms by liquid chromatography. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 3, p. 1450-1454, 2001

EVANGELHO, J. A. DO et al. Black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein hydrolysates: Physicochemical and functional properties. **Food Chemistry**, v. 214, p. 460–467, 2017.

FAN, L. et al. Effects of drying methods on the antioxidant activities of polysaccharides extracted from *Ganoderma lucidum*. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 2, p. 1849–1854, 2012.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#search/mushroom>>. Acesso em: 17 maio. 2020.

FARZANEH, P. et al. Bioactive properties of *Agaricus bisporus* and *Terfezia clavaryi* proteins hydrolyzed by gastrointestinal proteases. **LWT - Food Science and Technology**, v. 91, n. January, p. 322–329, 2018.

FELLOW, J.P.; **Food processing Technology Principles and Practice**. 1ed. p. 309-339, 2000.

FOLEGATTI, M.I.S.; **Estudo do efeito do uso de diferentes agentes aerantes e gelificantes e do processamento nas características físicas e sensoriais e na estabilidade do produto mousse de maracujá**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). UNICAMP, Campinas - SP, 2001.

**Foundation Nutrition Bulletin**, v. 35, 292–299, 2010.

FU, Y. et al. Exploration of collagen recovered from animal by-products as a precursor of bioactive peptides: Successes and challenges. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 13, p. 2011–2027, 2019.

FU, Y. et al. Optimization of luteolin separation from leaves by macroporous resins. **Journal of Chromatography**, v. 1137, p. 145–152, 2006.

FURLANI, R. P. Z.; GODOY, H. T. Valor nutricional de cogumelos cultivados no Brasil.

**Ciência e Tecnologia de Alimentos.**, Campinas, 27(1): 154-157.

GARCIA, R. L. **Produção de alimentação para cães com incorporação de resíduos do cogumelo *Agaricus bisporus*** . [s.l.] Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2019.

GAŞECKA, M. et al. The effect of drying temperature on bioactive compounds and antioxidant activity of *Leccinum scabrum* (Bull.) Gray and *Hericium erinaceus* (Bull.) Pers. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 2, p. 513–525, 2020.

GEANKOPLIS, C. J.; **Processo de transporte e operações unitárias**. 3 ed. p. 579- 634, 2003.

GEIDOBLE, R.; WINTER, G. Controlled ice nucleation in the field of freeze-drying: Fundamentals and technology review. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 85, n. 2, p. 214–222, 2013.

GIL-RAMÍREZ, A. et al. Effect of ergosterol-enriched extracts obtained from *Agaricus bisporus* on cholesterol absorption using an in vitro digestion model. **Journal of Functional Foods**, v. 11, n. C, p. 589–597, 2014.

GIRGIH, A. T. et al.. Kinetics of enzyme inhibition and antihypertensive effects of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) protein hydrolysates. **Journal of the American Oil Chemists’ Society**. v. 88, p. 1767–1774, 2011.

GOMEZ-GUILLEN, M. C. et al. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from 55 alternative sources: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 8, p. 1813–1827, 2011

GOTHANDAPANI, L.; PARVATHI, K.; JOHN KENNEDY, Z. Evaluation of different methods of drying on the quality of oyster mushroom (*pleurotus* sp.). **Drying Technology**, v. 15, n. 6–8, p. 1995–2004, 1997.

GOTHWAL, R. et al. Feasibility of dairy waste water (DWW) and distillery spent wash (DSW) effluents in increasing the yield potential of *Pleurotus flabellatus* (PF 1832) and *Pleurotus sajor-caju* (PS 1610) on bagasse. **Biotechnology**, v. 2, p. 249-257, 2012.

GUERARD, F., et al. Enzymatic hydrolysis of proteins from yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) wastes using Alcalase. **Journal of Molecular Catalysis: Enzymatic**, v.11, p.1051–1059, 2001.

GUILLAMÓN, E., et al. Edible mushrooms: Role in the prevention of cardiovascular diseases. **Fitoterapia**, v 81, p. 715–723, 2010.

GÜNHAN, T. et al. Mathematical modelling of drying of bay leaves. **Energy Conversion and Management**, v. 46, n. 11-12, p. 1667-1679, 2005.

GUO, L. et al. Effect of hot air drying temperature on the quality and antioxidant activity of *Boletus edulis* Bull.: Fr. **Journal of Food Processing and Preservation**. December 2020, p.

1–9, 2021.

GUO, X. HUI et al. Mathematical Modeling and Effect of Various Hot-Air Drying on Mushroom (*Lentinus edodes*). **Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, n. 1, p. 207–216, 2014.

HAIWEI, Z. L. J. Y. J. L. Methods on the Quality Characteristics and Microstructure of Shiitake Mushrooms (*Lentinus edodes*). **Food science**, v. 41, n. 11, p. 0–1, 2020.

HALLIWELL, B. Free radicals, antioxidants, and human disease: Curiosity, cause, or consequence? **Lancet**, v. 344, p. 721–724, 1994.

HAQ, M. et al. Biofunctional properties of bacterial collagenolytic protease-extracted collagen hydrolysates obtained using catalysts-assisted subcritical water hydrolysis. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 81, p. 332–339, 2020.

HAYES, M.; TIWARI, B. K. Bioactive carbohydrates and peptides in foods: An overview of sources, downstream processing steps and associated bioactivities. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 9, p. 22485–22508, 2015.

HE, R. et al. **Antioxidant activities of enzymatic rapeseed protein hydrolysates and the membrane ultrafiltration fractions.** **Journal of Functional Foods**, v.5, p.219–227, 2013.

HELENO, S. A. et al. Nutritional value, bioactive compounds, antimicrobial activity and bioaccessibility studies with wild edible mushrooms. **LWT - Food Science and Technology**, v. 63, n. 2, p. 799–806, 2015.

HIBBETT, D. S. et al. A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. **Mycological Research**, v. 111, p. 509-547, 2007.

HU, L. et al. Study on the rehydration quality improvement of shiitake mushroom by combined drying methods. **Foods**, 2021.

HU, S. et al. Effects of drying methods on non-volatile taste components of *Stropharia rugoso-annulata* mushrooms. **LWT - Food Science and Technology** , v. 127, n. March, 2020.

HUANG, G.; CAI, W.; XU, B. Vitamin D<sub>2</sub>, Ergosterol, and Vitamin B<sub>2</sub> Content in Commercially Dried Mushrooms Marketed in China and Increased Vitamin D<sub>2</sub> Content Following UV-C Irradiation. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000294>, v. 87, n. 5–6, p. 1–10, 21 nov. 2016.

JAMES, T. Y. et al. Reconstructing the early evolution of the fungi using a six gene phylogeny. **Nature**, v. 443, p. 818–822, 2006.

JIANG, Q.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A. S. UV induced conversion during drying of ergosterol to vitamin D in various mushrooms: Effect of different drying conditions. **Trends in Food Science and Technology**, v. 105, n. August, p. 200–210, 2020.

JIN, D. X. et al. Preparation of antioxidative corn protein hydrolysates, purification and evaluation of three novel corn antioxidant peptides. **Food Chemistry**, v. 204, p. 427–436, 2016.

JOSHI, M.; KUMAR, N.; BAREDAR, P. The optimization techniques used in solar dryers: A review. **International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development**, v. 9, n. 4, p. 83–92, 2019.

Kakon, A.J. et al. Mushroom is an ideal food supplement. **Journal of Dhaka National Medical College and Hospital**, n. 18, p. 58- 62, 2012

KALACĚ, P. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 2, p. 209–218, 2013.

KALARAS, M. D. et al. Mushrooms: A rich source of the antioxidants ergothioneine and glutathione. **Food Chemistry**, v. 233, p. 429–433, 2017.

KARAASLAN, S.; TUNÇER, İ. Development of Drying Model and Determination of Color Characteristics for Combined Microwave-Fan Assisted Convection Drying of Green Tea. **The Philippine agriculturist**, v. 94, 8 jul. 2011.

KASPER, J. R.; ANDREWS, E. C.; PARK, C. Product inhibition in native-state proteolysis. **Plos one**, v. 9, n. 10, 2014.

KEEY, R. B. Drying: principles and practice. Oxford: Pergamon Press, 1972.

KIC, P. Mushroom drying characteristics and changes of colour. **Engineering for Rural Development**, v. 17, p. 432–438, 2018.

KIMATU, B. M. et al. Antioxidant potential of edible mushroom (*Agaricus bisporus*) protein hydrolysates and their ultrafiltration fractions. **Food Chemistry**, v. 230, p. 58–67, 2017.

KRISHNAMURTHY, K. et al. Infrared heating in food processing: An overview. **Comprehensive Reviews. Food Science and Food Safety**, 2008.

KUMAR, V.; SHRIVASTAVA, S. L. Vacuum-assisted microwave drying characteristics of green bell pepper. **International Journal of Food Studies**, v. 6, n. 1, p. 67–81, 2017.

KUMLA, J. et al. Comparative Evaluation of Chemical Composition, Phenolic Compounds, and Antioxidant and Antimicrobial Activities of Tropical Black Boletus Mushroom Using Different Preservation Methods. **Foods**, v. 10, n. 4, p. 781, 2021.

LAEMMLI, U. K.. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. **Nature**, v. 227, p. 680–685, 1970.

LAU, C. et al. (2014). Novel angiotensin I- converting enzyme inhibitory peptides derived from edible mushroom *Agaricus bisporus* (JE Lange) Imbach identified by LC–MS/MS. **Food Chemistry**, 148, 396–401.

LAUFENBERG, G.; KUNZ, B.; NYSTROEM, M. Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. **Bioresource Technology**, v. 87, n. 2, p. 167–198, 2003.

LAWRIE, R. A.; LEDWARD, D. A. Chapter 4-chemical and biochemical constitution of muscle. **Meat science**. 7 ed., England, Cambridge: Woodhead Publishing, p. 75–127, 2006

LEE, J.; KOO, N.; MIN, D. B. Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 3, p. 21–33, 2004.

LEIVA, F. J. et al. Environmental impact of *Agaricus bisporus* cultivation process. *European Journal of Agronomy*, v. 71, p. 141–148, 2015.

LI, G. et al. Study on Extraction Technology for Chlorogenic Acid from Sweet Potato Leaves by Orthogonal Design. **Procedia Environmental Sciences**, 2011, v. 8, p. 403-407.

LIN, L. Z.; ZHAO, H.; DONG, Y.; YANG, B.; ZHAO, M. Macroporous resin purification behavior of phenolics and rosmarinic acid from *Rabdosia serra* (MAXIM.) HARA leaf. **Food Chemistry**. v. 130, p. 417- 424, 2012

LIU, C. et al. Separation of capsaicin from capsaicinoids by macroporous resin adsorption chromatography. **Journal of Separation Science**. v. 38, p. 4141–4145, 2015.

LIU, Y. et al. Preparative separation and purification of rebaudioside a from steviol glycosides using mixed-mode macroporous adsorptionresins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 59, p. 9629–9636, 2011.

LOMBRAÑA, J. I.; RODRÍGUEZ, R.; RUIZ, U. Microwave-drying of sliced mushroom. Analysis of temperature control and pressure. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, n. 4, p. 652–660, 2010.

LOWRY, O. H., ROSEBROUGH, N. J., FARR, A. L., & RANDAL, R. J. C. (1951). Protein measurements with Folin phenol reagent. **Journal of Biological Chemistry**, 193, 265- 275.

MAHFUZ, S. et al. Dietary inclusion of mushroom ( *Flammulina velutipes* ) stem waste on growth performance and immune responses in growing layer hens. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 2, p. 703–710, 30 jan. 2019.

MAO, Y., MAO, J., & MENG, X. Extraction optimization and bioactivity of exopolysaccharides from *Agaricus bisporus* . **Carbohydrate polymers**, v, 92, p. 1602–1607, 2013.

MARÇAL, S. et al. Impact of postharvest preservation methods on nutritional value and bioactive properties of mushrooms. **Trends in Food Science and Technology**, v. 110, n. October 2020, p. 418–431, 2021.

MARGARIDA, A.; ALVES, D. J. **Determinação experimental de difusividades**

**intraparticulares de aminoácidos em resinas de Permuta iónica.** [s.l.] Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2015.

Markwell, M. A. C., Haas, S. M., Biebar, L. L., & Tolbert, N. E.. A modification of lowry procedure to simplify protein determination in membrane and protein samples. **Anal. Biochem**, v.87, p. 206–211, 1978.

MARTÍN BELLOSO, et al. Proximate composition, minerals and vitamins in selected canned vegetable. **European Food Research Technology**, v. 212, n. 2, p. 182-187, 2001.

MATTILA, P. Basic Composition and Amino Acid Contents of Mushrooms Cultivated in Finland. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 6419-6422, 2002.

MAU, J. L. et al. Non-volatile taste components of several speciality mushrooms. **Food Chemistry**, v. 73, n. 4, p. 461–466, 2001.

MEADA, Y., et al. (1993). Utilization of heat- dried stipe of mushroom (*Agaricus bisporus* ) for animal feed. **Journal of Japanese Society of Grassland Science**. V. 39(1) p. 22-27.

MENK, J. DE J. et al. Biosorption of pharmaceutical products by mushroom stem waste. **Chemosphere**, v. 237, 2019.

MUJUMDAR, A. S. **Handbook of Industrial Drying**. New York: Marcel Dekker Inc., 1987. cap. 9, p. 295-326.

MORR, C.V.; GERMAN, B.; KINSELLA, J. E.; REGENSTEIN, J. M.; VAN BUREN, J.P.; KILARA, A.; LEWIS, B.A.; MANGINO, M.E. A collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 1715- 1718, 1985

MSHANDETE, ANTHONY; CUFF, J. Proximate and nutrient composition of three types of indigenous edible wild mushrooms grown in tanzania and their utilization prospects. v. 7, n. 6, p. 1–16, 2007.

MUJUMDAR, A. S.; LAW, C. L. Drying Technology: Trends and Applications in Postharvest Processing. **Food and Bioprocess Technology**, v. 3, n. 6, p. 843–852, 2010.

MUSLAT, M.M.et al. *Agaricus bisporus* product development by using local substrate with bio-amendment. *International Journal for Environment and Global Climate*, .v. 4, p. 176-188, 2014.

MUSZYŃSKA, B., et al. Levels of physiologically active indole derivatives in the fruiting bodies of some edible mushrooms (Basidiomycota) before and after thermal processing. **Mycoscience**, v. 54, p. 321–326, 2013.

NASIRI, F. et al. Comparative Study on the Main Chemical Composition of Button Mushroom's (*Agaricus bisporus* ) Cap and Stipe. **Journal of Food Biosciences and Technology**, v. 3, p. 41–48, 2013.

- NDHLALA, A. R. et al. Natural antioxidants: Fascinating or mythical biomolecules? **Molecules**, v.15, p. 6905–6930, 2010.
- NIJHUIS, H. H. et al. Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetables. **Trends in Food Science and Technology**, v. 9, n. 1, p. 13–20, 1998.
- OBOH, G; SHODEHINDE, S. A. Distribution of nutrients, polyphenols and antioxidant activities in the pilei and stipes of some commonly consumed edible mushrooms in Nigeria. **Chemical Society of Ethiopia**, v. 23, p. 391-398, 2009.
- OMARI, A.; BEHROOZI-KHAZAEI, N.; SHARIFIAN, F. Drying kinetic and artificial neural network modeling of mushroom drying process in microwave-hot air dryer. **Journal of Food Process Engineering**, v. 41, n. 7, p. 1–10, 2018.
- ONUH, J. O. et al. In vitro antioxidant properties of chicken skin enzymatic protein hydrolysates and membrane fractions. **Food Chemistry**, v. 150, p. 366–373, 2014.
- PAOLA, C. M. et al. Functional textile finishing of type I collagen isolated from bovine bone for potential healthtech. **Heliyon**, v. 5, n. 2, 2019.
- PAPOUTSIS, K. et al. Recovery of ergosterol and vitamin D2 from mushroom waste - Potential valorization by food and pharmaceutical industries. **Trends in Food Science and Technology**, v. 99, n. January, p. 351–366, 2020.
- PAULI, A. P. **Avaliação da composição química, compostos bioativos e atividade antioxidante em cogumelos comestíveis**. 2010. 73f. Dissertação. Programa de Pós- Graduação em Alimentos e Nutrição da Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Araraquara, UNESP. Araraquara, 2010.
- PEDNEAULT, K. P. et al. Fatty acid composition of lipids from mushrooms belonging to the family Boletaceae. **Mycological Research**, Cambridge, v. 110, n. 10, p. 1179–1183, 2006.
- PEI, F. et al. Comparison of Freeze-Drying and Freeze-Drying Combined with Microwave Vacuum Drying Methods on Drying Kinetics and Rehydration Characteristics of Button Mushroom (*Agaricus bisporus*) Slices. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 6, p. 1629–1639, 2014.
- PEI, F. et al. Effect of the two drying approaches on the volatile profiles of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by headspace GC-MS and electronic nose. **LWT - Food Science and Technology**, v. 72, p. 343–350, 2016.
- PEREIRA, E. et al. Towards chemical and nutritional inventory of Portuguese wild edible mushrooms in different habitats. **Food Chemistry**, v. 130, n. 2, p. 394–403, 2012.
- PISKOV, S. et al. Effects of various drying methods on some physico-chemical properties and the antioxidant profile and ACE inhibition activity of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*).

**Foods**, v. 9, n. 2, 2020.

PRADO, R.; FURLANI, Z.; GODOY, H. T. Nutritional value of edible mushrooms. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 154–157, 2007.

RAHI, D. K.; MALIK, D. Diversity of Mushrooms and Their Metabolites of Nutraceutical and Therapeutic Significance. **Journal of Mycology**, v. 2016, p. 1–18, 2016.

RAMOS, M. et al. *Agaricus bisporus* and its by-products as a source of valuable extracts and bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 292, n. November 2018, p. 176–187, 2019.

RAVINDRAN, R. et al. A review on bioconversion of agro-industrial wastes to industrially important enzymes. **Bioengineering**, v. 5, n. 4, p. 1–20, 2018.

RAVINDRAN, R.; JAISWAL, A. K. Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products. **Trends in Biotechnology**, v. 34, n. 1, p. 58–69, 2016.

Rawlings ND. Protease families, evolution and mechanism of action. *Proteases: structure and function.*: Springer-Verlag. p 1–36, 2014.

REIS, F. S. et al. Chemical composition and nutritional value of the most widely appreciated cultivated mushrooms: An inter-species comparative study. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, n. 2, p. 191–197, 2012.

REIS, G. C. L. DOS. **Aminas bioativas e aminoácidos no cogumelo *Agaricus bisporus* : caracterização, processamento e bioacessibilidade**. Campinas. Universidade Estadual de Campinas, 2019.

REIS, G. C. L. et al. In vitro digestion of spermidine and amino acids in fresh and processed *Agaricus bisporus* mushroom. **Food Research International**, v. 137, n. August, p. 109616, 2020.

REYES, A. et al. Mushroom dehydration in a hybrid-solar dryer. **Energy Conversion and Management**, v. 70, p. 31–39, 2013.

REYES, A.; MAHN, A.; VÁSQUEZ, F. Mushrooms dehydration in a hybrid-solar dryer, using a phase change material. **Energy Conversion and Management**, v. 83, p. 241–248, 2014.

REZAEIAN, S., POURIANFAR, H. R. Antimicrobial properties of the button mushroom, *Agaricus bisporus* : A mini-review. **International Journal of Advanced Research**, v. 4, p.426–429, 2016.

RODRIGUES, R. N. **Extração, purificação e aplicação de compostos fenólicos a partir de folhas de olerícolas orgânicas utilizando resinas macroporosas de adsorção**. Tese. Programa Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. p. 104, 2018.

RONCERO-RAMOS, I.; DELGADO-ANDRADE, C. The beneficial role of edible mushrooms

in human health. **Current Opinion in Food Science**, v. 14, p. 122–128, 2017.

ROSELLÓ-SOTO, E. et al. Application of non-conventional extraction methods: Toward a sustainable and green production of valuable compounds from mushrooms. **Food Engineering Reviews**, v.8, p. 214–234, 2016.

ROYSE, D. J. A Global Perspective on the High Five : Agaricus , Pleurotus. **International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products**, n. Usite 2010, p. 2010–2015, 2014.

ROYSE, D. J.; BAARS, J.; TAN, Q. Current Overview of Mushroom Production in the World. **Edible and Medicinal Mushrooms**, v. 2010, p. 5–13, 2017.

RÓZSA, S. et al. The effect of processing on chemical constituents of Agaricus spp. mushrooms. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 45, n. 2, p. 507–516, 2017.

RUTHES, A. C. et al. D-glucans from edible mushrooms: A review on the extraction, purification and chemical characterization approaches. **Carbohydrate Polymers**, v.117,p. 753–761, 2015.

S. K. GIRI; SURESH PRASAD. **Quality and Sorption Characteristics of Microwave-Vacuum, Air and Freeze dried Button Mushrooms**. v. 1, n. 1, p. 24–31, 2013.

SAIFULLAH, M. et al. Effects of different drying methods on extractable phenolic compounds and antioxidant properties from lemon myrtle dried leaves. **Heliyon**, v. 5, n. 12, 2019.

SAKARE, P. et al. **Infrared Drying of Food Materials: Recent Advances Food Engineering Reviews**, 2020.

SARAVACOS, G.; KOSTAROPOULOS, A. E. Mechanical processing equipment. [s.l: s.n.].

SARMADI, B. H.; ISMAIL, A. **Antioxidative peptides from food proteins: A review. Peptides**, v.31, p.1949–1956, 2010.

SCHÄGGER, H. Tricine–SDS–PAGE. **Nature Protocols**, v.1, p. 16–22, 2006.

SCHARF, D. et al. Secagem de cogumelos comestíveis como prática sustentável. **R. gest. sust. ambient**, n. 9, p. 830–846, [s.d.].

SEYHAN, F. G.; EVRANUZ, Ö. Low temperature mushroom (*A. Bisporus*) drying with desiccant dehumidifiers. **Drying Technology**, v. 18, n. 1–2, p. 433–445, 2000.

SHEN, Q. et al. Hot-air drying properties and kinetics model of *Agaricus bisporus* waste stipe. **Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology**, v. 15, n. 1, p. 129–135, 31 jan. 2015.

SILVA, E. M. et al. Optimisation of the adsorption of polyphenols from *Inga edulis* leaves on macroporous resins using an experimental design methodology. **Separation and Purification**

**Technology**, v. 53, p. 274–280, 2007.

SILVA, I. Q. DA. **Estudo da adsorção seletiva de misturas de compostos fenólicos puros e de extrato de frutos de Euterpe oleracea sobre resinas macroporosas**. p. 84, 2010.

SILVA, L. **Avaliação da composição química e determinação de compostos bioativos em cogumelos comestíveis**. Dissertação. Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, p. 74, 2013.

SINGH, P. et al. Recent advances in extending the shelf life of fresh *Agaricus* mushrooms: A review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 9, p. 1393–1402, 2010.

SŁAWIŃSKA, A. et al. Study on Vitamin D2 stability in dried mushrooms during drying and storage. **Food Chemistry**, v. 199, p. 203–209, 2016.

SMOLSKAITE, L.; VENSKUTONIS, P. R.; TALOU, T. Comprehensive evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of different mushroom species. **LWT- Food Science and Technology**, v. 60, p. 462–471, 2015.

STRØM-ANDERSEN, N. Innovation and by-product valorization: A comparative analysis of the absorptive capacity of food processing firms. **Journal of Cleaner Production**, v. 253, n. 1, p. 119943, 2020.

SULTANA, S.; ALI, M. E.; AHAMAD, M. N. U. Gelatine, collagen, and single cell proteins as a natural and newly emerging food ingredients. **Preparation and Processing of Religious and Cultural Foods**. 2018. p. 215-239.

TASKIN, O. Evaluation of Freeze Drying for Whole, Half Cut and Puree Black Chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.). **Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung**, v. 56, n. 8, p. 2503–2513, 2020.

TEICHMANN, A. et al. Sterol and vitamin D2 concentrations in cultivated and wild grown mushrooms: Effects of UV irradiation. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 5, p. 815–822, 2007.

THAKUR, M. P. Advances in post-harvest technology and value additions of edible mushrooms. **Indian Phytopathology**, v. 71, n. 3, p. 303–315, 2018.

TIAN, Y. et al. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms. **Food Chemistry**, v. 197, p. 714–722, 2016.

TSAI, S.Y. et al. Nonvolatile taste components of *Agaricus bisporus* harvested at different stages of maturity. **Food Chemistry**, 103,1457–1464, 2007.

UCAR, T. M.; KARADAG, A. The effects of vacuum and freeze-drying on the physicochemical properties and in vitro digestibility of phenolics in oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 13, n. 3, p.

2298–2309, 15 set. 2019.

UMAÑA, M. et al. Ultrasound-assisted extraction of ergosterol and antioxidant components from mushroom by-products and the attainment of a  $\beta$ -glucan rich residue. **Food Chemistry**, v. 332, n. December 2019, p. 127390, 2020.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Changes in quality of microwave-treated agricultural products-a review. **Biosystems Engineering**, v. 98, n. 1, p. 1–16, 2007.

VALENCIA DEL TORO, G. et al. Biological quality of proteins from three strains of *Pleurotus* spp. **Food Chemistry**, v. 94, n. 4, p. 494–497, 2006.

VALVERDE, M. E.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, T.; PAREDES-LÓPEZ, O. Inside Front Cover (Editorial Board). **Phytochemistry Letters**, v. 20, n. Table 1, p. IFC, 2017.

VAMANU, E. et al , I. In vitro ecological response of the human gut microbiome to bioactive extracts from edible wild mushrooms. **Molecules**, v. 23, p.2128, 2018.

VÁSQUEZ, J. et al. Experimental evaluation of fuzzy control solar drying with thermal energy storage system. **Drying Technology**, v. 34, n. 13, p. 1558–1566, 2016.

VETTER, J. Chemical composition of fresh and conserved *Agaricus bisporus* mushroom. **European Food Research and Technology**, v. 217, n. 1, p. 10– 12, 2003.

VETTER, J. Chitin content of cultivated mushrooms *Agaricus bisporus* , *Pleurotus ostreatus* and *Lentinula edodes*. **Food Chemistry**, v. 102, p. 6– 9, 2007.

VIMERCATI, W. C. et al. Ajustes De Modelos Matemáticos À Cinética De Secagem Da Polpa. **Educação e ciência**, p. 1–4, 2016.

WALDE, S. G. et al. Effects of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 1, p. 108–115, 2006.

WAN, P. et al Enrichment and purification of total flavonoids from Flos Populi extracts with macroporous resins and evaluation of antioxidantactivities in vitro. **Journal of Chromatography**. P. 68– 74, 2014.

WANG, C.et al. Optimization of extraction and enrichment of phenolics from pomegranate (*Punica granatum* L.) leaves. **Industrial Crops and Products**. v. 42, p. 587– 594, 2013.

WANG, H.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A. S. Comparison of Three New Drying Methods for Drying Characteristics and Quality of Shiitake Mushroom (*Lentinus edodes*). **Drying Technology**, v. 32, n. 15, p. 1791–1802, 2014.

WOUTERS, A. G. B. et al. Relevance of the Functional Properties of Enzymatic Plant Protein Hydrolysates in Food Systems. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 4, p. 786–800, 2016.

WU, F. et al. The influence of four drying methods on nonvolatile taste components of White

- Hypsizygus marmoreus. **European Food Research and Technology**, v. 240, n. 4, p. 823–830, 2015.
- WU, S et al. Adsorption and desorption properties of macroporous resins for flavonoids from the extract of Chinese wolfberry (*Lycium barbarum* L.). **Food and bioproducts processing**, 2015, v. 93, p. 148–155, 2015.
- WU, W. et al. Preparation process optimization of pig bone collagen peptide-calcium chelate using response surface methodology and its structural characterization and stability analysis. **Food Chemistry**, v. 284, n. October 2018, p. 80–89, 2019.
- WUBSHET, S. G. et al. **Bioanalytical Aspects in Enzymatic Protein Hydrolysis of By-Products**. 2019.
- XANTHOPOULOS, G. et al. Color and Mass Transfer Kinetics During Air Drying of Pretreated Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* spp.). **Drying Technology**, v. 32, n. 1, p. 77–88, 2014.
- XI, L.; MU, T.; SUN, H. Preparative purification of polyphenols from sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves by AB-8 macroporous resins. **Food Chemistry**. v. 172, p. 166–174, 2015.
- XU, D. et al. Effect of different drying methods on the physicochemical properties and phycobiliprotein structure of *Porphyra haitanensis*. **International Journal of Food Engineering**, v. 17, n. 2, p. 111–120, 2020.
- XU, L. et al. Effects of high-temperature pre-drying on the quality of air-dried shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*). **Food Chemistry**, v. 285, n. September 2018, p. 406–413, 2019.
- XU, Z. et al. Identification of post-digestion angiotensin-I converting enzyme (ACE) inhibitory peptides from soybean protein isolate: Their production conditions and in silico molecular docking with ACE. **Food Chemistry**, v. 345, n. October 2020, 2021.
- YANG, K. X. et al. Polyamine biosynthesis and distribution in different tissues of *Agaricus bisporus* during postharvest storage. **Scientia Horticulturae**, v. 270, n. April, p. 109457, 2020.
- ZHANG, M. et al. Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 6, p. 1239–1255, 2017.
- ZHANG, M.; BHANDARI, B.; FANG, Z. **Handbook of drying of vegetables and vegetable products**. v. 36
- ZHANG, N. et al. Comparative studies on chemical parameters and antioxidant properties of stipes and caps of shiitake mushroom as affected by different drying methods. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 12, p. 3107–3113, 2013.
- ZHANG, Y. L. et al. Extraction optimisation, purification and major antioxidant component of

red pigments extracted from *Camellia japonica*. **Food Chemistry**, v. 129, p. 660-664, 2011.

ZHAO, J. H. et al. Glass transition and state diagram for freeze-dried *Lentinus edodes* mushroom. **Thermochimica Acta**, v. 637, p. 82–89, 2016.

ZHAO, Q., et al.. Enzymatic hydrolysis of rice dreg protein: Effects of enzyme type on the functional properties and antioxidant activities of recovered proteins. **Food Chemistry**, v.134, p. 1360–1367, 2012

ZHAO, Y. et al. Evaluation of sensory, textural, and nutritional attributes of shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) as prepared by five types of drying methods. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 4, p. 1–10, 2019.

ZOU, Y.; ZHAO, M.; LIN, L.; WANG, Y. Enrichment of antioxidants in black garlic juice using macroporous resins and their protective effects on oxidation-damaged human erythrocytes. **Journal of Chromatography B**, 2017, v.1060, p. 443-450.

**CAPITULO I**

**ARTIGO DE REVISÃO**

**ADVANCES IN THE APPLICATION OF DIFFERENT DRYING METHODS OF  
EATABLE MUSHROOM**

**JOÃO TRAJANO DA SILVA JUNIOR**

**Manuscrito submetido à Revista Ciencia Rural**



**Advances in the application of different drying methods of  
eatable mushroom**

Journal:	<i>Ciência Rural</i>
Manuscript ID	CR-2022-0044
Manuscript Type:	Review
Keyword:	Edible mushrooms, Drying techniques, Nutritional proprieties

## SEROPÉDICA

2022

### **RESUMO**

Os cogumelos comestíveis são consumidos em todo o mundo, tanto na forma fresca ou como ingrediente adicionado à diferentes preparações ou produtos alimentícios, porém logo após a colheita estas matérias-primas podem sofrer reações químicas, bioquímicas ou microbiológicas, o que requer o uso de métodos de conservação para aumentar sua vida útil. Dentre as técnicas mais utilizadas, destaca-se a secagem que é um método de conservação de baixo custo e um dos mais adotados comercialmente. Entretanto, verificam-se diferentes efeitos nos atributos de qualidade dos cogumelos comestíveis desidratados. Esta revisão analisa os avanços verificados em diferentes métodos de secagem e seus efeitos sobre as propriedades nutricionais, características físicas e funcionais de cogumelos comestíveis desidratados, listando os fatores e sua interdependência às técnicas de secagem utilizadas (secagem solar, secagem convectiva forçada com ar quente, liofilização, micro-ondas e infravermelho) A análise também discute os avanços e fatores que influenciam o uso dos diferentes métodos de secagem em cogumelos comestíveis, descreve os desafios a serem superados e propõe perspectivas subsequentes a futuros estudos em relação a temática de secagem de cogumelos comestíveis.

**PALAVRAS CHAVES:****Cogumelos comestíveis; Técnicas de secagem; Propriedades nutricionais;****ABSTRACT**

Eatable mushroom is consumed worldwide, as fresh food as well as an ingredient added to different formulations. However, it rapidly starts to lose its quality right after harvest, which requires preservation methods to extend its shelf life. The use of drying technique is a method of Low-cost preservation and one of the best commercially adopted, however, there are different effects in the quality attributes of eatable mushrooms dehydrated. This review summarizes and discusses the effects of different drying techniques (solar drying, forced convective drying using hot air, lyophilization, microwave and infrared). The analysis also comprehends the advances and factors that influence the use of different drying methods of drying eatable mushrooms, describes the challenges to be overcome and proposes new perspectives to future studies regarding the drying of eatable mushrooms' theme.

**KEYWORDS:****Edible mushrooms; Drying techniques; Nutritional proprieties;**



## 1 INTRODUCTION

The consumption of mushrooms as part of the for human diet has been happening for many years (PAPOUTSIS et al., 2020; REIS et al., 2020). It is estimated that thousands of species of mushrooms can be considered edible, where 25 are cultivated commercially (CHANG; MILES, 2004; ZHANG; BHANDARI; FANG, 2017). Among the most cultivated species, we have the *Agaricus bisporus* (Champignon or Portobello), *Lentinus edodes* (Shiitake) and *Pleurotus ssp* (Oyster mushroom or Shimeji) that correspond to 85% of these products world production of these products (ROYSE, 2014; ROYSE; BAARS; TAN, 2017).

Mushrooms are perishable products, which due to their high humidity content and respiration rate, must be subjected to refrigeration their short shelf life (i.e. 10 days) (JIANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2020). Therefore, good preservation methods are crucial to extend the shelf life of these products.

Drying is the most used low-cost preservation techniques being used recently (DAS; ARORA, 2018) it reduces the water activity, and consequently, inhibits the growth of microorganisms, by the time it reduces the biochemical reactions (DEVI; ZHANG; LAW, 2018). Additionally, this process can reduce the weight and volume of the product, diminishing the cost of storing and transport, which facilitates its marketing (JIANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2020; PRADO; FURLANI; GODOY, 2007; XU et al., 2021; ZHANG; BHANDARI; FANG, 2017).

However, it is seeing the negative effects in the attributes of the dehydrated mushrooms, such as color, dehydration capacity, besides its structure. That leads to a negative alteration in texture and nutrient degradation, which is not acceptable by consumers. (ZHANG; BHANDARI; FANG, 2017).

Several studies explore the drying conditions, as well as their effects upon the mushroom's quality in general. This review analyzes the advance verified in different methods of drying and their effects on nutritional properties, physical characteristics of edible-dehydrated mushrooms.

## 2 DEVELOPING

### 2.1 Centesimal composition

Mushrooms are rich in carbohydrates (Glycogen, chitin, mannitol, trehaloses and  $\beta$ -glucan) (HELENO et al., 2015). They have significant values of protein, peptides, fibers, vitamins, minerals and unsaturated fat (KALACĚ, 2013).

Mushrooms are considered a very useful food in many diets (VALVERDE;

HERNÁNDEZ-PÉREZ; PAREDES-LÓPEZ, 2017). They contain more protein (20–25%, dry basis) than, the majority of vegetables, having, however, a big variation among the species, since low values, such as 4,2 a 7,7% for the *Auricularia* species, to high values 21,3 a 43,0% for *Volvarella* and 33,2% to the genus *Agaricus* (CHANG; MILES, 2004; PRADO; FURLANI; GODOY, 2007; RAMOS et al., 2019; MARÇAL et al., 2021). Table 1 represents the mean values of the most consumed edible mushroom composition. Besides the biological value of the protein is bigger, once the mushroom contains essential nine amino acids, such as histidine, isoleucine, leucine, lysine, methionine, phenylalanine, threonine, tryptophan valine (KALAČ, 2013). The limiting amino acid is methionine and the more abundant are valine, glutamine, glutamic acid, aspartic acid and arginine (RATHORE et al., 2017; VALVERDE et al., 2015). According to the study of VALENCIA DEL TORO et al (2006) the use of liquid proteins (NPU) of *Pleurotus .spp* is between 84 and 87%. These values are elevated in the NPU of cereal, such as wheat (60%) and rice (82%) and they are similar to eggs (87%) (ATILA; OWAID; SHARIATI, 2017; CARDWELL et al., 2018; HELENO et al., 2015; MARÇAL et al., 2021).

It is estimated that the dry matter from most mushrooms contains 50 to 65 % of carbohydrates and 2 to 6% of fat. The latter corresponds to unsaturated fatty acids, such as oleic and linoleic acid (PRADO; FURLANI; GODOY, 2007; ZHANG; BHANDARI; FANG, 2017).

The major mineral content in mushrooms is potassium and phosphorus or magnesium, which varies according to its specie (GUILLAMÓN et al., 2010). It also presents calcium, iron, copper, zinc, manganese, selenium and sodium (MARÇAL et al., 2021). The high potassium and low sodium content, make mushrooms an excellent product in the prevention and treatment of diabetes and hypertension (KALAČ, 2013). The problem that may emerge with the consumption of mushrooms lies in the fact that some heavy metals may be occasionally present (GUILLAMÓN et al., 2010).

**Table 1.** Mean composition of popular eatable mushroom species (dry matter).

<b>Eatable specie</b>	<b>Carbohy- drate</b>	<b>Proteins</b>	<b>Lipids</b>	<b>Ashes</b>	<b>Reference</b>
<i>Agaricus bisporus</i> (white)	74,0%	14,0%	2,0%	10,0%	(REIS et al., 2012)
<i>Agaricus bisporus</i> (brown)	71.5%	15.4%	1.7%	11.4%	(REIS et al., 2012)
<i>Flammulina velutipes</i>	70.9%	17.9%	1.8%	9.4%	(PEREIRA et al., 2012)
<i>Hericium erinaceus</i>	57.0%	22.3%	3.5%	9.4%	(MAU et al., 2001)
<i>Lactarius deliciosus</i>	51.5%	26.6%	7.4%	6.6%	(AKATA; ERGONUL; KALYONCU, 2012)
<i>Lentinula edodes</i>	64.4%	22.8%	2.1%	6.0%	(BISEN et al., 2010)
<i>Pleurotus eryngii</i>	81.4%	11.0%	1.5%	6.2%	(REIS et al., 2012)
<i>Pleurotus ostreatus</i>	35.4%	28.4%	4.7%	8.6%	(AHMED et al., 2013)
<i>Tricholoma matsutake</i>	36.7%	14.3%	5.0%	8.9%	(LIU et al., 2010)
<i>Volvarellia volvacea</i>	50.0%	28.0%	3.3%	10.0%	(MSHANDETE, AN- THONY; CUFF, 2007)

Besides, mushroom contains specific bioactive compounds, such as phenolic compounds and other antioxidants (KIMATU et al., 2017). Its content makes it suitable for therapeutic value as well as in the strengthening of the immune system, as in the treatment and prevention of heart diseases, hypertension and cancer (ATILA; OWALD; SHARIATI, 2017; CHANG; MILES, 2004; KALARAS et al., 2017; RAMOS et al., 2019; RONCERO-RAMOS; DELGADO-ANDRADE, 2017). Mushroom also has shown to have, anti-tumours, antifungal, anti-inflammatory, antiviral, antibacterial effects, as well as to prevent diabetic and hepatic problems (HELENO et al., 2015).

Once dehydrated through different drying techniques, the mushrooms can be commercialized individually or as ingredients in vast types of formulation, such as instant pre-mix for soups and seasoning for snacks, fillings, pizza, salads and other products (PAPOUTSIS et al., 2020; REIS et al., 2012).

## 2.2 PRE-TREATMENTS BEFORE DRYING

The mushrooms are extremely sensitive to dry conditions. Many morphological and physiological changes occur during its processing (CARDWELL et al., 2018), Even though different types of the genus, show similarities regarding its physical condition (ZHANG;

BHANDARI; FANG, 2017). Pre-treatments, such as branching with water or vapour, sulphite immersion, potassium metabisulfite, citric acid and other solutions are often employed before the drying phase to minimize the physical alterations, such as color degradation, enzymatic inhibition, reduction in several microorganisms, increase in flavor retention and overall mushroom stability during the dehydration process (BRENNAN et al., 1999; GOTHANDAPANI; PARVATHI; JOHN KENNEDY, 1997; XU et al., 2020). Among the chemical treatments, the use of potassium metabisulfite and citric acid are the most common on an industrial scale to prevent darkening reactions and color degradation during drying and storing of mushrooms (ARGYROPOULOS; HEINDL; MÜLLER, 2011; BRENNAN et al., 1999). Between 3 to 20 minutes, the chemical treatment is fully applied at room temperature. The absorbed chemical products on the sample surface can protect it against oxidation. The disadvantages of this treatment lie in the reduction of the nutrients as a result of the subtraction of soluble nutrients in the water (GOTHANDAPANI; PARVATHI; JOHN KENNEDY, 1997). The dosage of these chemical products and their processing time must be optimized to maximize the desirable effects and minimize the unwanted ones (nutrients losses).

Various treatment combinations can be found in the literature, with different proportions in the chemical substances and time processing. Argyropoulos et al (2011) studied the immersion of mushroom samples (i.e. *A. Bisporus*) using two thermal treatments (branching with water and vapor at 98 °C for 3 min) and two chemical treatments (citric acid 0.25% and metabisulfite 0.25% for 10 min) at room temperature. These treatments are standards in the food industry. The results indicated that both pre-treatment is suitable to preserve the mushroom; however, the application of different methods of drying would influence the characteristics of the materials, as it presents different effects in color and texture. Hassan et al (2014) evaluated the influence of pre-treatments with sodium chloride, citric acid and metabisulfite solution in the quality of *Pleurotus ostreatus* e *Pleurotus eryngi* dried mushroom, respectively. The immersion of these products in solution for 10 min before the drying air at 50 °C prevented the darkening in both samples, especially the one immersed with sodium metabisulfite. Besides, the pre-treatment with immersion resulted in a satisfactory rehydration rate for the dried products.

Despite the use of the usual chemical treatment, the heat-based ones, such as bleaching has been applied to mushrooms that will be used in different preparations. The use of bleaching in mushrooms can increase significantly the drying rate and negatively affect many aspects in the hardness and color in comparison to the treatments undergone at room temperature conditions; however, bleaching process inhibits the enzymatic activity and microbiological

populations (ARGYROPOULOS et al., 2011).

The literature highlights globally that the orientation of pre-treatment is yet based on the experience, on the mushroom variety and the concentration conditions of pre-treatment, as well as based on specific criteria of heat transfer times and inactivation time.

### **2.3 DRYING MUSHROOM**

The drying process of mushrooms is a standard post-harvest technique to grant the acquisition of this food in the long term, reducing water activity and the microbiology safety level, as well as minimizing the biochemical alterations, enzymatic and non-enzymatic darkening (RÓZSA et al., 2017). Apart from that, the drying also enhances the variety of mushrooms (XANTHOPOULOS et al., 2014).

The suitable drying techniques for mushrooms can enhance the unique flavor, to keep color, to produce less injuries in texture (MUJUMDAR; LAW, 2010; WANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2014). To meet these demands, several studies have been published on mushroom drying techniques and their effect on maintaining their quality. Different drying techniques, such as solar drying (REYES et al., 2013), hot air drying (WANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2014), and more advanced and complex methods such as dried by freezing (HU et al., 2021), drying microwave-assisted drying (DEVI; ZHANG; LAW, 2018), infrared drying (ZHANG et al., 2017) and combined drying methods, which combine two or more technologies have been used.

The quality attributes in what the researchers focus on are, color, nutrient concentration, mostly amino acids, texture, flavor, sensory properties and rehydration rate. Besides, it was given exceptional attention to antioxidant properties of dried mushrooms (GUO et al., 2021) and the factors that affect the drying rate are temperature, mushroom thickness, drying method and moisture diffusiveness (WALDE et al., 2006).

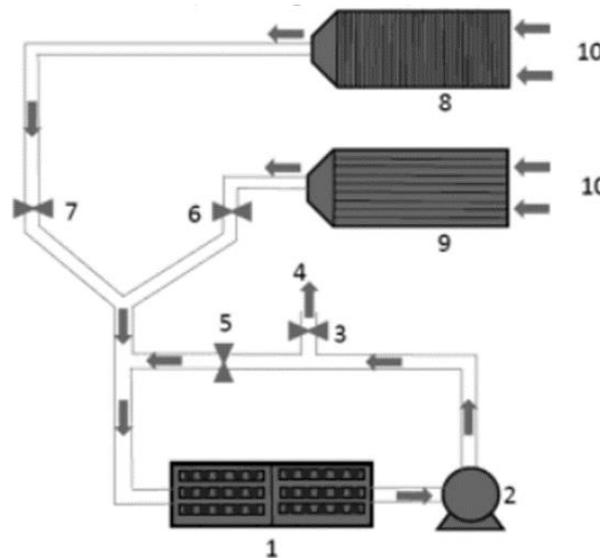
Mushroom is a very sensitive matrix to processing conditions, especially temperature that directly affects its physical and biological characteristics. Therefore, choosing the methods and drying conditions and the most suitable drying methods are key factors to obtain a successful drying process with less or no losses to the physical and nutritional properties of the mushroom.

### **2.4 SOLAR DRYING**

In many countries, natural drying, with the use of solar energy is still frequently used

due to its economic advantages, such as low investment and simpler operation upon the production. The most common method is to put the mushroom on a tray and expose it to solar radiation and air (ZHANG; BHANDARI; FANG, 2017). We can visualize in Figure 1 the scheme of a solar dryer with a storage panel of thermal energy.

However, due to vulnerability to insects attacks, pollution level, incomplete drying, microorganism growth and other factors, the drying solar process outdoors can cause considerable deterioration of the exposed mushroom (SEYHAN; EVRANUZ, 2000). Besides that, the natural drying by the sun is highly dependent on the climatic conditions; therefore, limited. To manage this disadvantage, some solar dryers were developed to increase the efficiency of drying. Thus, the mushroom is kept in a chamber, as opposed to being exposed to environmental conditions (WANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2014).



**Figure 1.** Scheme of solar dryer: (1) Drying Chamber, (2) Fan, (3) Ventilation valve, (4) fans (5) Reverse circulation valve (6) Solar Panel Valve (7) Solar accumulation valve (8) Solar Accumulator (9) Solar Panel (10) Fresh air entrance. SOURCE: (VÁSQUEZ et al., 2016).

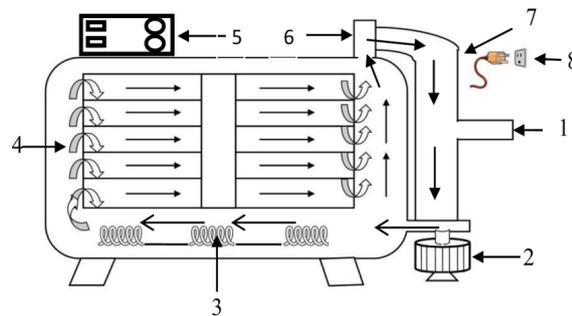
Reyes et al (2013) utilized a hybrid dryer to dehydrate mushrooms, that included a 3 squared meter solar panel with electric resistance. The total solar energy saved 3.5% - 12.5 % from the total energy employed to the procedure. A new hybrid solar dryer model for dehydration of mushroom was proposed by Reyes et al (2014) for dehydration process, where the equipment was equipped with a 10 squared meter, electrical resistance and paraffin as changing phase material, as well as the effect in the energy saving in the drying process of similar mushroom.

Vasquez et al (2016) dried slices of mushroom in the solar drying, that consisted in a chamber of 1.2 (m) width, 2.9 (m) length and 0.07 (m) height and to increase the heat transfer inside of the solar panel, they added zinc fins painted in black. After 10 hours of drying, the humidity content of the mushroom was reduced from 85% to 10%. The solar dryers were mostly used in areas of intense solar radiation but now they are being used in broad areas, including those of moderated solar radiation using the more technological and advanced solar dryer (REYES et al., 2013).

Solar Drying is a sustainable alternative to deal with the energy crisis and global warming effect, as the standard drying process utilized is based on a technology that consumes lots of energy (JIANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2020).

## 2.5 CONVECTING FORCED DRYING WITH HOT AIR

In the industry, convective drying is still a dominant drying method due to its simplicity and economical characteristics (ARGYROPOULOS et al., 2011). The most common drying method of mushroom with hot air is to place this full or sliced product on a tray in a cabinet or tunnel dryer. Normally, the drying temperature is kept between 50 ° C and 70 °, taking into the account the characteristics of mushroom and the necessary time for the operation (WANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2014), together with convection, the air, with low relative humidity, remove water from the mushroom. Thus, the temperature and velocity of air are fundamental in the controlling velocity and drying of mushrooms (RÓZSA et al., 2017). In Figure 2, we can observe the scheme of a hot air dryer.



**Figure 2.** Convective hot air dryer scheme (1) Air in; (2) fan; (3) heater; (4) drying cabinet with removable trays; (5) Control Panel; (6) Exhaustion air out; (7) Air junction line; (8) Feed plug.

SOURCE: (KUMAR; SHRIVASTAVA, 2017).

Even though research on hot air drying is limited due to its intensive hot process it is the most used technology. Therefore, is the drying rate is very fast and if the diffusion velocity

or capillarization of internal water is not enough to compensate for this superficial humidity removal, the product surface may experience overheating (XU et al., 2020). As the process advances, the humidity content, the humidity and the drying rate of mushrooms reduce, which requires more energy making the process more difficult each time. Thus, an misled drying application using hot air can cause changes in the color characteristics and structural deformations in dehydrated mushrooms (DAS; ARORA, 2018; OMARI; BEHROOZI-KHAZAEI; SHARIFIAN, 2018). KIC (2018) investigated that the major alteration in color due to darkening occurs during the drying processing of *Agaricus bisporus* and that the least alteration could be verified for the *Pleurotus ostreatus* mushroom.

Being the drying temperature higher than the ideal conditions, the texture of the mushroom shows higher hardness, besides, the darkening phenomenon is more intense due to the presence of reducing carbohydrates and great quantities of amino acids present in the mushroom, resulting in a significant darkening process (ARGYROPOULOS et al., 2011; KANTRONG et al., 2014; QI et al., 2014; RÓZSA et al., 2017; GUO et al., 2021).

Wang et al (2014) reported a significant loss in the aroma in mushroom *Lentinus edodes* during drying with hot air in the range of 70°C. As these quality attributes are very sensitive to temperature; therefore, choosing a moderate temperature and project targeting ideal temperatures that products undergo, which may minimize the quality deterioration of product's quality. Guo et all (2021) verified that the greater the drying temperature, the higher the negative impact on the physical properties and the chemical compounds, such as low rate of rehydration and protein content in mushrooms (*B. edulis*). On the other hand, the temperature did not influence the polysaccharides, polyphenols, total flavonoids and their antioxidant capacity, indicating that the temperature of 70°C was more adequate for drying with hot air considering the drying efficiency and quality of *B. edulis*.

However, some papers showed positive effects up in mushrooms submitted to the drying process of convective drying. Zhang et al (2013) verified that at 50 °C, the amino acids content and total phenolic were higher in mushroom *Lentinula edodes* and noticed that the antioxidant activities raised as the elevation of process's temperature. Likewise, Tian et al (2016) found that drying with hot air resulted in a raise in the vitamin B12 content, as well as in the total free amino acids and total quantity of volatile compounds, as the short time and drying process can protect the vitamin B12 from degradation, and the use of temperature above 50 °C end up promoting the proteolysis during the drying process and originate volatile compounds derived especially from chemical or enzymatic oxidation of unsaturated fatty acids and other interaction with protein, peptides and free amino acids.

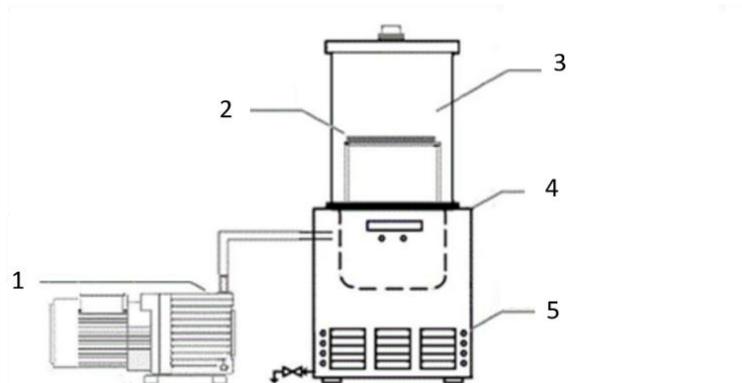
The data available in the literature is scarce regarding studies evaluating the drying kinetics of mushroom, especially when evaluating different varieties of existent mushroom. Rhim & Lee (2011) performed a study that involved drying kinetics of full and sliced shiitake mushroom in different drying temperatures 40 °C, 50 °C, 60 °C e 70 °C. The rise in temperature had a significant increase ( $p < 0,05$ ), about drying rates, sliced mushroom showed raised in drying rate when compared to full mushroom. Shen et al (2015) demonstrated that the drying time with hot air was reduced with the rise of the hot air's temperature and the decrease of thickness of mushroom slices of *Agaricus bisporus* and its respective stipe. Guo et al (2014) Through mathematical models they found that non-uniform intermittent drying of shiitake reached a high chemical composition, better color retention and better re-hydration properties.

To overcome variations related to forced convective drying with hot air, alternative methods, such as dried by freezing, microwave drying and drying through infrared, emerged one right after the other (ÇAKMAK et al., 2016; JIANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2020; OMARI; BEHROOZI-KHAZAEI; SHARIFIAN, 2018).

## **2.6 DRYING BY FREEZING**

To beat the limitation of drying of mushroom performance, alternative methods such as dried by freezing are seen with good eyes for this operation that works in two steps: (1) product's freezing: (2) diminish the vacuum to sublime the frozen water to the solid phase to gas phase at a much lower temperature, which protects the original structure and the shape of the mushroom with a minimum reduction in volume. The material's surface will not form a hard and thin film, making the mushroom hydrate faster after dried by freezing (SARAVACOS; KOSTAROPOULOS, 2016).

Due to low temperature and lack of water, the major part of the microorganism activity and enzymatic reactions were broken, resulting in high-quality products, besides low temperature better protect the mushroom nutrients, especially the components that are sensitive to heat and loss of aromatic substances in mushroom; therefore these temperatures can be reduced to the minimum (RÓZSA et al., 2017; ZHANG et al., 2013; ZHAO et al., 2016). In Figure 3 we can observe the drying diagram by dried by freezing.



**Figure 3.** Dried by freezing Diagram: (1) Vacuum pump; (2) Sample rack; (3) Vacuum chamber; (4) Freezing chamber; (5) condenser. SOURCE: (TASKIN, 2020)

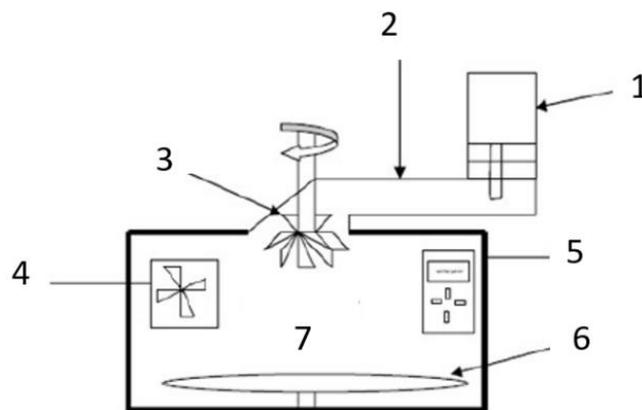
Recently, dried by freezing is considered one of the best methods of drying due to its excellent performance in the maintenance of the quality of dehydrated products (SAIFULLAH et al., 2019). Researches about dried by freezing were performed in some mushroom species, such as *Agaricus bisporus* (PEI et al., 2014) and *Lentinula edodes* (ZHAO et al., 2016), *Pleurotus ostreatus* (UCAR; KARADAG, 2019). Argyropoulos et al. (2011) evaluated various methods of drying in different aspects in the characteristics, including various quality attributes, better preservation in color and less hardness. Dried by freezing obtained the highest. In color maintenance, nutritional value, re-hydration capacity, crunchiness and fresh appearance. Hu et al (2021) showed that dried by freezing promotes a greater rate of volume retention and hydrates faster when compared to traditional methods of drying *Pleurotus ostreatus* mushrooms. Piskov et al (2020) showed greater inhibition (ECA) in lyophilized *Pleurotus Ostreatus* mushroom, being this technique an excellent alternative to the obtention of a dried functional food product or an ingredient with a high inhibition activity for ECA in the production of bioseparations, providing an antioxidant effect.

As per the negative effects of its use, we can reassure that dried by freezing is an operation that has a high energy demand, being a process with high costs for the production of dehydrated products, since it requires the freezing of fresh products in lower temperatures (i.e. - 50°C) (ZHANG; BHANDARI; FANG, 2017) and involves a reduction in pressure in the drying pressure in a certain level of vacuum, vapor sublimation of water through heating and condensation of water vapor, where all would require energy. Besides, the high cost, the process requires the availability of high investment in equipment (SARAVACOS; KOSTAROPOULOS, 2016). Therefore the application of dried by freezing requires the evaluation of its cost-benefit on its implementation for the drying of mushrooms (HU et al.,

2021). To solve this problem, many studies have been concentrating on improving the whole dried by freezing process and some assisted technologies, such as microwaves, infrared and ultrasonic drying, that have been used each day in combination to increase drying efficiency and reduce energy consumption (JIANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2020; PEI et al., 2014; UCAR; KARADAG, 2019).

## 2.7 MICROWAVE DRYING

Microwave drying can transfer energy from the electromagnetic field and thermal energy directly, which means that the material can absorb energy from micro-waves internally and convert them into heat (VADIVAMBAL & JAYAS, 2007), that can be generated in the whole material, as a result, drying using micro-waves have an advantage of greater and uniform heating. Besides being a more efficient process of dehydration in terms of energy when compared to conventional convective drying (NIJHUIS et al., 1998). Among other qualities aspects, in the case of drying mushrooms, as micro-waves presented can inactivate enzymes responsible for enzymatic darkening (DUAN et al., 2016). In figure 4, we can observe the drying diagram by microwave.



**Figure 4.** Microwave heating diagram: (1) microwave emission; (2) wave-guide; (3) distributor; (4) fan; (5) Control Panel; (6) turntable; (7) oven cavity. SOURCE: (KARAASLAN; TUNÇER, 2011)

As a type of product sensitive to heat, the mushroom can be dried by micro-waves and instead of thermic conventional drying. Lombraña et al (2010) studied sliced mushroom drying in the microwave in different operational conditions. An alternative hot microwave and hot air using convection were analyzed by DAS and ARORA (2018) for fast drying of mushrooms. They suggested that their hybrid drying process could improve color and other quality parameters.

However, drying by microwave can have many disadvantages, which includes non-

homogenous heating, compromising texture, carbonization of the borders and penetration of microwave radiation limited to the product; therefore it is not recommended according to quality control guidelines (HAIWEI, 2020; LOMBRAÑA; RODRÍGUEZ; RUIZ, 2010; WANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2014). The continuous exposition of microwaves can also cause overheating, especially if the geometry of the final product is identified (DAS & ARORA, 2018).

To exceed the limitations of drying by microwave alone and other drying conventional methods, many investigations are performed to combine the heating by microwave with a variety of other methods of efficient dryings, such as hot air drying assisted with microwave (ARGYROPOULOS; HEINDL; MÜLLER, 2011), drying by microwave and vacuum (S. K. GIRI; SURESH PRASAD, 2013) and microwave drying combined with dried by freezing (HAIWEI, 2020).

Giri & Prasad (2013) reported that mushrooms dried in vacuum by microwave had protection to the re-hydration significantly better, less density, better color and a softer texture from those that had only hot air. Besides, a sensorial panel reported that mushrooms dried by microwave had a sensorial quality similar to the ones dried by freezing, from appearance, color and global acceptability perspective. Argyropoulos et al (2011) observed that in comparison to conventional drying with hot air, mushrooms combined with hot air and vacuum drying by microwave had excellent quality, with the less overall change in color, soft texture and high rate of rehydration.

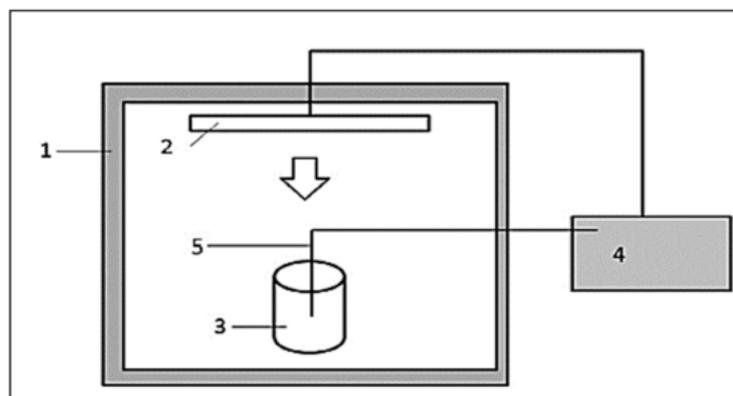
Mixed drying can promote crunchiness to mushroom's structure with potential for the application and development of new snacks. Haiwei et al (2020) investigated different combinations of drying for *Lentinula edodes*, the results demonstrated that the drying technique combined with microwave and dried by freezing had a better rate of rehydration and after it, the cooking, the flavor of the mushroom samples dried with this combined method was significantly better from the dried products only with dried by freezing or drying with hot air.

In all the other cases with the drying methods, there is an increase in the drying rate and quality of products dehydrated using this technique compared to the ones submitted only to microwave or conventional drying (ZHANG; BHANDARI; FANG, 2017).

## **2.8 DRYING BY INFRARED HEATING**

Among different technologies, infrared heating is the most suitable for drying in food, since the molecules present in the food can absorb the energy from infrared radiation (KRISHNAMURTHY et al., 2008). The drying technique theory. Was used with success in

many groups of food including fruits, oleraceous and fish (SAKARE et al., 2020). This drying method has advantages of fast drying and high energy efficiency, however, there are also limitations, such as irregular heating (ABOUD et al., 2019). In figure 5 there is a diagram from infrared heating.



**Figure 5.** Infrared heating diagram (1) Heating chamber, (2) lâmpada emissora de infravermelho, (3) sample, (4) thermostat, (5) double thermostat. SOURCE: (ABOUD et al., 2019)

The application of infrared in the mushroom drying can be seen in some studies that are in the literature such as the ones from Jo et al (2009) that observed a great improvement in the external in mushroom external appearance of *Phellinus gilvus* after the drying using infrared heating when compared to dried samples that used the oven and drying with hot air, both a 60 °C. Kantrong et al (2014) demonstrated that dried *Lentinus edodes* dried with the use of infrared had better quality when compared to color and dehydration rate and texture (KANTRONG, TANSAKUL, & MITTAL, 2014). Wang et al (2015). It was observed that dried by freezing combined with infrared radiation saves up to 48% of the time when compared to dried by freezing alone and it can keep a better quality of *Lentinus edodes* (WANG et al, 2015).

In recent studies, Zhao et al (2019) evaluated nutritional, structural and sensorial properties of *Lentinus edodes* prepared by 5 drying methods, including drying with hot air, drying with dropping controlled combined pressure, dried by freezing, drying by hot pump and infrared heating. The results showed that the drying velocity is faster and more economic when compared to dried by freezing. *Lentinus edodes* dried by infrared heating showed better global quality and appearance when compared to the other studied drying methods (ZHAO et al., 2019).

## 2.9 EFFECTS OF DRYING CONDITIONS

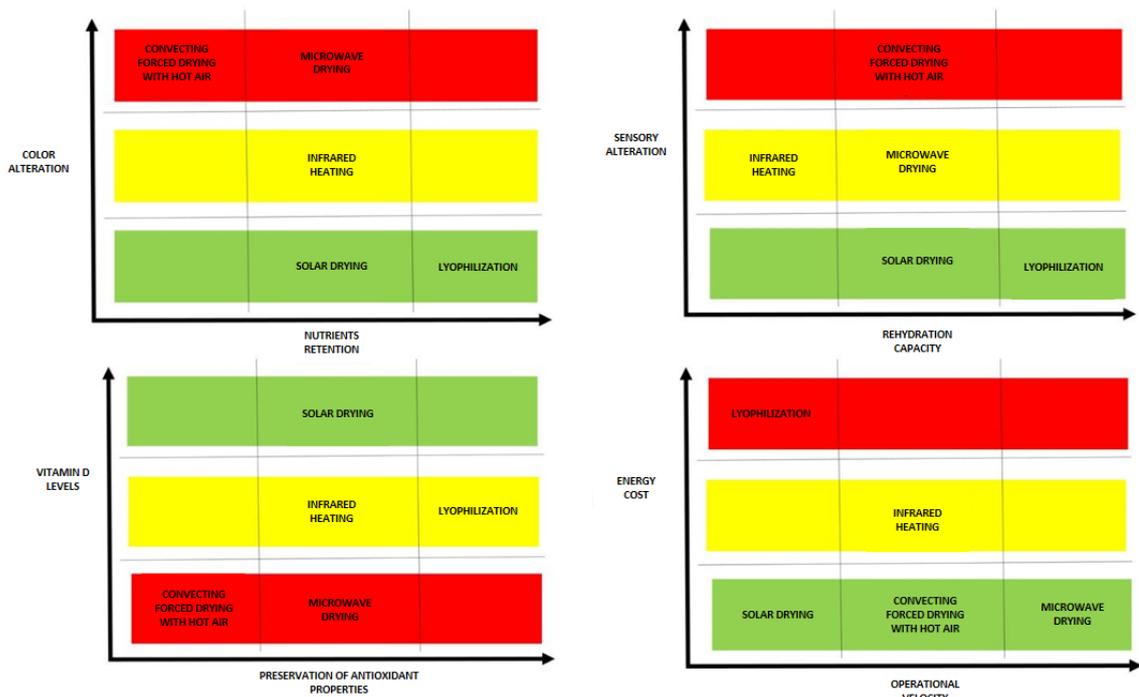
Eatable mushroom has a significant quantity of good polysaccharides, proteins e

vitamins, especially vitamin D, due to the high amount of ergosterol and volatile compounds that contribute to their preferred consumption (CHUNG et al., 2020; KUMLA et al., 2021). However, these content may vary after drying conditions due to biochemical changes, enzymatic activity and the effect of storing (HAIWEI, 2020; THAKUR, 2018).

Despite being trivial, mushrooms dried by the sun, exposed to ultraviolet light are rich in vitamin D (HUANG; CAI; XU, 2016). However, the drying method has many drawbacks, such as low drying velocity, low heat transfer, high environmental dependency, as well as, being anti-allergic regarding food safety. Therefore this method is not recommended at the industrial level (JOSHI; KUMAR; BAREDAR, 2019). Drying by hot air, dried by freezing, microwave and infrared heating, many times require additional conditions of ultraviolet before or after drying to promote vitamin D production (JIANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2020). In this process, the dose and type of UV irradiation (UV-A, UV-B or UV -C), type of mushroom or exposed tissue to UV, temperature and water content of irradiated mushroom, among others are described as factors that affect the production of vitamin D during the drying of these materials (CARDWELL et al., 2018; HUANG; CAI; XU, 2016; JIANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2020).

Teichmann et al (2007) in a study observed that the vitamin D content in lyophilized chanterelles mushroom raised significantly over ultraviolet radiation. Sławinska et al (2016) found that the exposition to UV-B in dried mushrooms had a significant effect on the production of vitamin D, where the content showed a straight relation proportional to the time of UV-radiation exposition. The results showed that the parts of the fruit lyophilized exposed to UV-B had more vitamin D<sub>2</sub> than those that were lyophilized exposed to UV-B and had more vitamin D<sub>2</sub> (SŁAWIŃSKA et al., 2016).

A summary of drying techniques under mushroom conditions methods can be observed in Figure 6.



**Figure 6.** Drying techniques under mushroom conditions. SOURCE: (FAN et al., 2012; GAŞECKA et al., 2020; HU et al., 2020; PEI et al., 2016; TIAN et al., 2016; UCAR; KARADAG, 2019; WU et al., 2015; XU et al., 2019).

Regarding the nutrient preservation of mushrooms, Gąsecka et al. (2020) reported that the use of drying technologies convective with hot air reduced the mineral content and phenolic compounds content, such as ergosterol and organic acids in *Leccinum scabrum*. Zhao et al (2019) concluded that the drying technique by dried by freezing was significantly better compared to other dehydration methods in the preservation of proteins and polysaccharides in dried mushrooms. Geidobler and Winter (2013) outlined that dried by freezing preserves the nutritional value of different food, including mushrooms. Xu et al (2012) found that drying by dried by freezing was the best drying method to retain protein and polysaccharides from *Lentinula edodes*, followed by infrared and convective drying with hot air. According to Akonor et al (2016), drying will result in a small reduction in the protein content and sugar compared to fresh samples, which can be related to the denaturation of protein during the process. Besides, some polysaccharides were converted into melanoidins and oligosaccharides, as a result of this Maillard reaction and caramelization (WANG et al., 2014).

Ucar et al (2019) observed that the use of dried by freezing preserved the phenol content and flavonoids and the antioxidant capacity of *P. ostreatus*. Besides preserving the nutritional quality of eatable mushrooms, the use of the dried by freezing technique is also capable to preserve the volatile compounds present in the mushroom (HU et al., 2020).

## **2.10 New perspectives and challenges**

All edible mushrooms available are treated as good nutritional sources, new techniques are projected with one single aim, which is to produce the best quality attributes to edible mushrooms. However, they are onerous, since many edible mushrooms, as opposed to exotic ones, are food low cost, which includes them in the diet of many consumers. To maintain that trend its price needs to be kept low. This forces the producers to choose thermal dehydration, which is economic without compromising the final product quality, such as solar drying or hot air drying due to its elevated energy price. This reality contributes to the high initial investment for operational and maintenance costs related to more technological methods that require more robust equipment and complex operation, such as drying by infrared, microwave and dried by freezing.

As per the studies from this theme of scientific exploring, the number of studies tanging mushroom drying represents only 5% of them, with an increasing number of investigations in the last 10 years, according to the Scopus database (SCOPUS, 2021). Where It is necessary more studies searching for the implementation and optimization of this method focusing in a good way of intensifying the drying technique, as per its application in different methods of drying (isolated and combined) or for the way edible mushrooms are exposed (whole, cubes, sliced, foam layers) for the optimization of drying tracking and the retention of wanted nutritional and functional compounds, considering the least loss and greater retention of components. Thus, future researchers should consider simplicity, economy, high yield, energetic efficiency, easiness of maintenance and nutritional retention. Together with the right yield and appropriate quality, where the application of sophisticated techniques accelerates the process, together with a better yield quality, whereas the application of simpler techniques takes care of the economic aspects of the combined process.

## **3 CONCLUSION**

Edible Mushrooms are each day more popular due to their high nutritional values and potential effects on human body health. Due to its characteristics of being highly perishable, the use of drying is an alternative to its deterioration, where this predominant technology to mushroom conservation. Despite the differences in the physical and nutritional aspects and regardless of the drying method used, it is necessary the development of a pre-treatment to retain the color of edible mushroom, since it is a key factor to the consumers. Similar to drying the process consume a lot of energy, considering the choice of drying method aiming to decrease the global energy, such as the ones that are energy efficient is an urgent global need.

Besides looking for the quality aspects and the effects of different methods of drying in the nutritional quality and the functional potential of edible mushrooms are essential once all the drying methods have their advantages and disadvantages in many aspects. Therefore, the way they aim to use combined methods considering greater retention of nutritional and functional compounds as an alternative together with the economic and operational aspects. Thus, the choice between the drying method will depend on the final product based on the producers' desire.

#### **4 Acknowledgment**

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

#### **5 CONFLICT OF INTEREST DECLARATION**

The authors declare not having any conflict of interest. The sponsors had no role in the study draft, in the collection and interpretation of data, in the writing process of this manuscript as well as in the final decision of publishing the work.

#### **6 REFERENCES**

- ABOUD, S. A. et al. A comprehensive review on infrared heating applications in food processing. **Molecules**, v. 24, n. 22, p. 1–20, 2019.
- AHMED, M. et al. Yield and nutritional composition of oyster mushroom strains newly introduced in Bangladesh. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 48, n. 2, p. 197–202, 2013.
- AKATA, I.; ERGONUL, B.; KALYONCU, F. Chemical Compositions and Antioxidant Activities of 16 Wild Edible Mushroom Species Grown in Anatolia. **International Journal of Pharmacology**, v. 8, n. 2, p. 134–138, 1 fev. 2012.
- ANPC. **Associação Nacional dos Produtores de Cogumelos**. Disponível em: <<https://www.anpccogumelos.org/cogumelos>>. Acesso em: 15 maio. 2020.
- ARGYROPOULOS, D.; HEINDL, A.; MÜLLER, J. Assessment of convection, hot-air combined with microwave-vacuum and freeze-drying methods for mushrooms with regard to product quality. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 2, p. 333–342, 2011.
- ATILA, F.; OWAID, M. N.; SHARIATI, M. A. The nutritional and medical benefits of *Agaricus bisporus* : A review. **Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v. 7, n. 3, p. 281–286, 2017.

- BARROSO, L. S. et al. Physicochemical and Sensory Evaluation in Sautéed Caps and Stems of Edible Mushrooms. **Journal of Culinary Science and Technology**, v. 0, n. 0, p. 1–11, 2019.
- BISEN, P. S. et al. *Lentinus edodes*: A Macrofungus with Pharmacological Activities P.S. p. 2419–2430, 2010.
- BOONSONG, S.; KLAYPRADIT, W.; WILAI PUN, P. Antioxidant activities of extracts from five edible mushrooms using different extractants. **Agriculture and Natural Resources**, v. 50, n. 2, p. 89–97, 2016.
- BRENNAN, M. et al. The Effect of Sodium Metabisulphite on the Whiteness and Keeping Quality of Sliced Mushrooms. **LWT - Food Science and Technology**, v. 32, n. 7, p. 460–463, 1999.
- ÇAKMAK, R. Ş. et al. Effects of electrical and sonication pretreatments on the drying rate and quality of mushrooms. **LWT - Food Science and Technology**, v. 69, p. 197–202, 2016.
- CARDOSO, R. V. C. et al. Effectiveness of gamma and electron beam irradiation as preserving technologies of fresh *Agaricus bisporus* Portobello: A comparative study. **Food Chemistry**, v. 278, n. November 2018, p. 760–766, 2019.
- CARDWELL, G. et al. A review of mushrooms as a potential source of dietary vitamin D. **Nutrients**, v. 10, n. 10, p. 1–11, 2018.
- CHANG, S. T.; MILES, P. G. **Mushrooms: Cultivation, nutritional value, medicinal effect, and environmental impact: Second edition**. [s.l: s.n.].
- CHUNG, I. M. et al. Fatty acids and stable isotope ratios in shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) indicate the origin of the cultivation substrate used: A preliminary case study in Korea. **Foods**, v. 9, n. 9, 2020.
- COUTINHO, L. N. **Doenças fúngicas e fungos competidores em cogumelos comestíveis do gênero**. São Paulo: [s.n.].
- DAS, I.; ARORA, A. Alternate microwave and convective hot air application for rapid mushroom drying. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p. 208–219, 2018.
- DEVI, S.; ZHANG, M.; LAW, C. L. Effect of ultrasound and microwave assisted vacuum frying on mushroom (*Agaricus bisporus*) chips quality. **Food Bioscience**, v. 25, n. August, p. 111–117, 2018.
- DIAS, E. S. **Cultivo de cogumelos no Brasil: Desafios e potencialidades** **Ciencia e Agrotecnologia** Federal University of Lavras, , 2010.
- DUAN, X. et al. Browning behavior of button mushrooms during microwave freeze-drying. **Drying Technology**, v. 34, n. 11, p. 1373–1379, 2016.

- FAN, L. et al. Effects of drying methods on the antioxidant activities of polysaccharides extracted from *Ganoderma lucidum*. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 2, p. 1849–1854, 2012.
- FARZANEH, P. et al. Bioactive properties of *Agaricus bisporus* and *Terfezia clavaryi* proteins hydrolyzed by gastrointestinal proteases. **LWT - Food Science and Technology**, v. 91, n. January, p. 322–329, 2018.
- GARCIA, R. L. **Produção de alimentação para cães com incorporação de resíduos do cogumelo *Agaricus bisporus***. [s.l.] Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2019.
- GAŹECKA, M. et al. The effect of drying temperature on bioactive compounds and antioxidant activity of *Leccinum scabrum* (Bull.) Gray and *Herichium erinaceus* (Bull.) Pers. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 2, p. 513–525, 2020.
- GEIDOBLE, R.; WINTER, G. Controlled ice nucleation in the field of freeze-drying: Fundamentals and technology review. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 85, n. 2, p. 214–222, 2013.
- GIL-RAMÍREZ, A. et al. Effect of ergosterol-enriched extracts obtained from *Agaricus bisporus* on cholesterol absorption using an in vitro digestion model. **Journal of Functional Foods**, v. 11, n. C, p. 589–597, 2014.
- GOTHANDAPANI, L.; PARVATHI, K.; JOHN KENNEDY, Z. Evaluation of different methods of drying on the quality of oyster mushroom (*pleurotus* sp.). **Drying Technology**, v. 15, n. 6–8, p. 1995–2004, 1997.
- GUILLAMÓN, E. et al. Edible mushrooms: Role in the prevention of cardiovascular diseases. **Fitoterapia**, v. 81, n. 7, p. 715–723, 2010.
- GUO, L. et al. Effect of hot air drying temperature on the quality and antioxidant activity of *Boletus edulis* Bull.: Fr. **Journal of Food Processing and Preservation**, n. December 2020, p. 1–9, 2021.
- GUO, X. HUI et al. Mathematical Modeling and Effect of Various Hot-Air Drying on Mushroom (*Lentinus edodes*). **Journal of Integrative Agriculture**, v. 13, n. 1, p. 207–216, 2014.
- HAIWEI, Z. L. J. Y. J. L. Methods on the Quality Characteristics and Microstructure of Shiitake Mushrooms (*Lentinus edodes*). **FOOD SCIENCE**, v. 41, n. 11, p. 0–1, 2020.
- HELENO, S. A. et al. Nutritional value, bioactive compounds, antimicrobial activity and bioaccessibility studies with wild edible mushrooms. **LWT - Food Science and Technology**, v. 63, n. 2, p. 799–806, 2015.

- HU, L. et al. **Study on the rehydration quality improvement of shiitake mushroom by combined drying methods***Foods*, 2021.
- HU, S. et al. Effects of drying methods on non-volatile taste components of *Stropharia rugoso-annulata* mushrooms. *Lwt*, v. 127, n. March, 2020.
- HUANG, G.; CAI, W.; XU, B. Vitamin D<sub>2</sub>, Ergosterol, and Vitamin B<sub>2</sub> Content in Commercially Dried Mushrooms Marketed in China and Increased Vitamin D<sub>2</sub> Content Following UV-C Irradiation. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000294>, v. 87, n. 5–6, p. 1–10, 21 nov. 2016.
- JIANG, Q.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A. S. UV induced conversion during drying of ergosterol to vitamin D in various mushrooms: Effect of different drying conditions. **Trends in Food Science and Technology**, v. 105, n. August, p. 200–210, 2020.
- JOSHI, M.; KUMAR, N.; BAREDAR, P. The optimization techniques used in solar dryers: A review. **International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development**, v. 9, n. 4, p. 83–92, 2019.
- KALÁČ, P. A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 2, p. 209–218, 2013.
- KALARAS, M. D. et al. Mushrooms: A rich source of the antioxidants ergothioneine and glutathione. **Food Chemistry**, v. 233, p. 429–433, 2017.
- KARAASLAN, S.; TUNÇER, İ. Development of Drying Model and Determination of Color Characteristics for Combined Microwave-Fan Assisted Convection Drying of Green Tea. **The Philippine agriculturist**, v. 94, 8 jul. 2011.
- KIC, P. Mushroom drying characteristics and changes of colour. **Engineering for Rural Development**, v. 17, p. 432–438, 2018.
- KIMATU, B. M. et al. Antioxidant potential of edible mushroom (*Agaricus bisporus*) protein hydrolysates and their ultrafiltration fractions. **Food Chemistry**, v. 230, p. 58–67, 2017.
- KRISHNAMURTHY, K. et al. **Infrared heating in food processing: An overview***Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2008.
- KUMAR, V.; SHRIVASTAVA, S. L. Vacuum-assisted microwave drying characteristics of green bell pepper. **International Journal of Food Studies**, v. 6, n. 1, p. 67–81, 2017.
- KUMLA, J. et al. Comparative Evaluation of Chemical Composition, Phenolic Compounds, and Antioxidant and Antimicrobial Activities of Tropical Black Bolete Mushroom Using Different Preservation Methods. **Foods**, v. 10, n. 4, p. 781, 2021.
- LEIVA, F. J. et al. Environmental impact of *Agaricus bisporus* cultivation process.

**European Journal of Agronomy**, v. 71, p. 141–148, 2015.

LOMBRAÑA, J. I.; RODRÍGUEZ, R.; RUIZ, U. Microwave-drying of sliced mushroom. Analysis of temperature control and pressure. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, n. 4, p. 652–660, 2010.

MAHFUZ, S. et al. Dietary inclusion of mushroom ( *Flammulina velutipes* ) stem waste on growth performance and immune responses in growing layer hens. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 2, p. 703–710, 30 jan. 2019.

MARÇAL, S. et al. Impact of postharvest preservation methods on nutritional value and bioactive properties of mushrooms. **Trends in Food Science and Technology**, v. 110, n. October 2020, p. 418–431, 2021.

MAU, J. L. et al. Non-volatile taste components of several speciality mushrooms. **Food Chemistry**, v. 73, n. 4, p. 461–466, 2001.

MENK, J. DE J. et al. Biosorption of pharmaceutical products by mushroom stem waste. **Chemosphere**, v. 237, 2019.

MSHANDETE, ANTHONY; CUFF, J. PROXIMATE AND NUTRIENT COMPOSITION OF THREE TYPES OF INDIGENOUS EDIBLE WILD MUSHROOMS GROWN IN TANZANIA AND THEIR UTILIZATION PROSPECTS. v. 7, n. 6, p. 1–16, 2007.

MUJUMDAR, A. S.; LAW, C. L. Drying Technology: Trends and Applications in Postharvest Processing. **Food and Bioprocess Technology**, v. 3, n. 6, p. 843–852, 2010.

NASIRI, F. et al. Comparative Study on the Main Chemical Composition of Button Mushroom's (*Agaricus bisporus* ) Cap and Stipe. **Journal of Food Biosciences and Technology**, v. 3, p. 41–48, 2013.

NIJHUIS, H. H. et al. Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetables. **Trends in Food Science and Technology**, v. 9, n. 1, p. 13–20, 1998.

OMARI, A.; BEHROOZI-KHAZAEI, N.; SHARIFIAN, F. Drying kinetic and artificial neural network modeling of mushroom drying process in microwave-hot air dryer. **Journal of Food Process Engineering**, v. 41, n. 7, p. 1–10, 2018.

PAPOUTSIS, K. et al. Recovery of ergosterol and vitamin D2 from mushroom waste - Potential valorization by food and pharmaceutical industries. **Trends in Food Science and Technology**, v. 99, n. January, p. 351–366, 2020.

PEI, F. et al. Comparison of Freeze-Drying and Freeze-Drying Combined with Microwave Vacuum Drying Methods on Drying Kinetics and Rehydration Characteristics of Button Mushroom (*Agaricus bisporus* ) Slices. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 6, p. 1629–1639, 2014.

- PEI, F. et al. Effect of the two drying approaches on the volatile profiles of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by headspace GC-MS and electronic nose. **LWT - Food Science and Technology**, v. 72, p. 343–350, 2016.
- PEREIRA, E. et al. Towards chemical and nutritional inventory of Portuguese wild edible mushrooms in different habitats. **Food Chemistry**, v. 130, n. 2, p. 394–403, 2012.
- PISKOV, S. et al. Effects of various drying methods on some physico-chemical properties and the antioxidant profile and ACE inhibition activity of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*). **Foods**, v. 9, n. 2, 2020.
- PRADO, R.; FURLANI, Z.; GODOY, H. T. Nutritional value of edible mushrooms. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 154–157, 2007.
- RAHI, D. K.; MALIK, D. Diversity of Mushrooms and Their Metabolites of Nutraceutical and Therapeutic Significance. **Journal of Mycology**, v. 2016, p. 1–18, 2016.
- RAMOS, M. et al. *Agaricus bisporus* and its by-products as a source of valuable extracts and bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 292, n. November 2018, p. 176–187, 2019.
- REIS, G. C. L. DOS. **Aminas bioativas e aminoácidos no cogumelo *Agaricus bisporus* : caracterização, processamento e bioacessibilidade**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2019.
- REIS, F. S. et al. Chemical composition and nutritional value of the most widely appreciated cultivated mushrooms: An inter-species comparative study. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, n. 2, p. 191–197, 2012.
- REIS, G. C. L. et al. In vitro digestion of spermidine and amino acids in fresh and processed *Agaricus bisporus* mushroom. **Food Research International**, v. 137, n. August, p. 109616, 2020.
- REYES, A. et al. Mushroom dehydration in a hybrid-solar dryer. **Energy Conversion and Management**, v. 70, p. 31–39, 2013.
- REYES, A.; MAHN, A.; VÁSQUEZ, F. Mushrooms dehydration in a hybrid-solar dryer, using a phase change material. **Energy Conversion and Management**, v. 83, p. 241–248, 2014.
- RONCERO-RAMOS, I.; DELGADO-ANDRADE, C. The beneficial role of edible mushrooms in human health. **Current Opinion in Food Science**, v. 14, p. 122–128, 2017.
- ROYSE, D. J. A Global Perspective on the High Five : *Agaricus* , *Pleurotus* . **International Conference on Mushroom Biology and Mushroom Products**, n. Usitc 2010, p. 2010–2015, 2014.
- ROYSE, D. J.; BAARS, J.; TAN, Q. Current Overview of Mushroom Production in the

World. **Edible and Medicinal Mushrooms**, v. 2010, p. 5–13, 2017.

RÓZSA, S. et al. The effect of processing on chemical constituents of *Agaricus* spp. mushrooms. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 45, n. 2, p. 507–516, 2017.

S. K. GIRI; SURESH PRASAD. Quality and Sorption Characteristics of Microwave-Vacuum, Air and Freeze dried Button Mushrooms. v. 1, n. 1, p. 24–31, 2013.

SAIFULLAH, M. et al. Effects of different drying methods on extractable phenolic compounds and antioxidant properties from lemon myrtle dried leaves. **Heliyon**, v. 5, n. 12, 2019.

SAKARE, P. et al. **Infrared Drying of Food Materials: Recent Advances Food Engineering Reviews**, 2020.

SARAVACOS, G.; KOSTAROPOULOS, A. E. **Mechanical processing equipment**. [s.l.: s.n.].

SCHARF, D. et al. SECAGEM DE COGUMELOS COMESTÍVEIS COMO PRÁTICA SUSTENTÁVEL. **R. gest. sust. ambient**, n. 9, p. 830–846, [s.d.].

SEYHAN, F. G.; EVRANUZ, Ö. Low temperature mushroom (*A. Bisporus*) drying with desiccant dehumidifiers. **Drying Technology**, v. 18, n. 1–2, p. 433–445, 2000.

SHEN, Q. et al. Hot-air drying properties and kinetics model of *Agaricus bisporus* waste stipe. **Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology**, v. 15, n. 1, p. 129–135, 31 jan. 2015.

SINGH, P. et al. Recent advances in extending the shelf life of fresh *Agaricus* mushrooms: A review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, n. 9, p. 1393–1402, 2010.

SŁAWIŃSKA, A. et al. Study on Vitamin D2 stability in dried mushrooms during drying and storage. **Food Chemistry**, v. 199, p. 203–209, 2016.

TASKIN, O. Evaluation of Freeze Drying for Whole, Half Cut and Puree Black Chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.). **Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung**, v. 56, n. 8, p. 2503–2513, 2020.

TEICHMANN, A. et al. Sterol and vitamin D2 concentrations in cultivated and wild grown mushrooms: Effects of UV irradiation. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 5, p. 815–822, 2007.

THAKUR, M. P. Advances in post-harvest technology and value additions of edible mushrooms. **Indian Phytopathology**, v. 71, n. 3, p. 303–315, 2018.

TIAN, Y. et al. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms. **Food Chemistry**, v. 197, p. 714–722, 2016.

UCAR, T. M.; KARADAG, A. The effects of vacuum and freeze-drying on the physicochemical properties and in vitro digestibility of phenolics in oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 13, n. 3, p. 2298–2309, 15 set. 2019.

UMAÑA, M. et al. Ultrasound-assisted extraction of ergosterol and antioxidant components from mushroom by-products and the attainment of a  $\beta$ -glucan rich residue. **Food Chemistry**, v. 332, n. December 2019, p. 127390, 2020.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Changes in quality of microwave-treated agricultural products-a review. **Biosystems Engineering**, v. 98, n. 1, p. 1–16, 2007.

VALENCIA DEL TORO, G. et al. Biological quality of proteins from three strains of *Pleurotus* spp. **Food Chemistry**, v. 94, n. 4, p. 494–497, 2006.

VALVERDE, M. E.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, T.; PAREDES-LÓPEZ, O. Inside Front Cover (Editorial Board). **Phytochemistry Letters**, v. 20, n. Table 1, p. IFC, 2017.

VÁSQUEZ, J. et al. Experimental evaluation of fuzzy control solar drying with thermal energy storage system. **Drying Technology**, v. 34, n. 13, p. 1558–1566, 2016.

VIMERCATI, W. C. et al. Ajustes De Modelos Matemáticos À Cinética De Secagem Da Polpa. **Educação e ciência**, p. 1–4, 2016.

WALDE, S. G. et al. Effects of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom. **Journal of Food Engineering**, v. 74, n. 1, p. 108–115, 2006.

WANG, H.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A. S. Comparison of Three New Drying Methods for Drying Characteristics and Quality of Shiitake Mushroom (*Lentinus edodes*). **Drying Technology**, v. 32, n. 15, p. 1791–1802, 2014.

WU, F. et al. The influence of four drying methods on nonvolatile taste components of White Hypsizygus marmoreus. **European Food Research and Technology**, v. 240, n. 4, p. 823–830, 2015.

XANTHOPOULOS, G. et al. Color and Mass Transfer Kinetics During Air Drying of Pretreated Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* spp.). **Drying Technology**, v. 32, n. 1, p. 77–88, 2014.

XU, D. et al. Effect of different drying methods on the physicochemical properties and phycobiliprotein structure of *Porphyra haitanensis*. **International Journal of Food Engineering**, v. 17, n. 2, p. 111–120, 2020.

XU, L. et al. Effects of high-temperature pre-drying on the quality of air-dried shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*). **Food Chemistry**, v. 285, n. September 2018, p. 406–413, 2019.

- XU, Z. et al. Identification of post-digestion angiotensin-I converting enzyme (ACE) inhibitory peptides from soybean protein Isolate: Their production conditions and in silico molecular docking with ACE. **Food Chemistry**, v. 345, n. October 2020, 2021.
- YANG, K. X. et al. Polyamine biosynthesis and distribution in different tissues of *Agaricus bisporus* during postharvest storage. **Scientia Horticulturae**, v. 270, n. April, p. 109457, 2020.
- ZHANG, M. et al. Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 6, p. 1239–1255, 2017.
- ZHANG, M.; BHANDARI, B.; FANG, Z. **Handbook of drying of vegetables and vegetable products**. [s.l: s.n.]. v. 36
- ZHANG, N. et al. Comparative studies on chemical parameters and antioxidant properties of stipes and caps of shiitake mushroom as affected by different drying methods. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 12, p. 3107–3113, 2013.
- ZHAO, J. H. et al. Glass transition and state diagram for freeze-dried *Lentinus edodes* mushroom. **Thermochimica Acta**, v. 637, p. 82–89, 2016.
- ZHAO, Y. et al. Evaluation of sensory, textural, and nutritional attributes of shiitake mushrooms (*Lentinula edodes*) as prepared by five types of drying methods. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 4, p. 1–10, 2019.

**CAPITULO II**

**ARTIGO DE RESULTADOS**

**CINÉTICA DE SECAGEM DE RESÍDUO SÓLIDO DE COGUMELO  
COMESTIVEL (*Agaricus bisporus*) EM CAMADA DE ESPUMA.**

**JOÃO TRAJANO DA SILVA JUNIOR**

SEROPÉDICA

2022

## RESUMO

A secagem em camada de espuma visa obter um produto com melhores propriedades tecnológicas e nutricionais, diminuindo a resistência à transferência de massa, tornando o processo mais simples e barato, quando comparado a outros tipos de métodos de secagem. O presente estudo teve como objetivo a realização da operação de secagem do resíduo sólido do cogumelo *Agaricus Bisporus* (champignon de Paris) em camada de espuma (*foam-mat drying*) sob as temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C, avaliando a cinética do processo de secagem e a influência da temperatura nas características físico-químicas e propriedades tecnológicas. Por meio das curvas de secagem e da taxa de secagem, observou-se que a temperatura exerce grande influência no processo de secagem, pois quando se aumenta a temperatura ocorre uma diminuição do tempo de secagem e um consequente aumento na taxa e na difusividade efetiva. As curvas de secagem e de taxa de secagem foram ajustadas aos modelos propostos por de Page, Peleg, Newton e Fick, respectivamente. Por meio dos resultados foi verificado que o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de secagem com base nos maiores valores do  $R^2$ , e no menor valor da raiz do erro médio.

**PALAVRAS CHAVES:** Secagem em camada de espuma; *Agaricus bisporus* ; modelos matemáticos, curva de secagem.

## ABSTRACT

Foam-mat dry aims to aims to obtain a product with better technological and nutritional properties, reducing mass transfer resistance, making the process relatively simpler and cheaper when compared to other types of drying methods. The present study aimed to carry out the drying process of the solid residue of the *A. Bisporus* mushroom in a foam layer (foam-mat drying) under temperatures of 40 °C, 50 °C and 60 °C, evaluating the kinetics of the drying process and the influence of temperature on physicochemical characteristics and technological properties. Through the drying curves and the drying rate, it was observed that the temperature has a great influence on bagasse drying, because when the temperature is increased, there is a decrease in the drying time and a consequent increase in the rate and effective diffusivity. The drying and drying rate curves were fitted to the models proposed by de Page, Peleg, Newton and Fick, respectively. Through the results, it was verified that the Page model was the one that best adjusted to the experimental drying data based on the highest values of  $R^2$ , and the lowest value of the root of the mean error.

**KEYWORDS:** Foam-mat dry; *Agaricus bisporus* ; Mathematical models, Drying curve.

## 1 INTRODUÇÃO

O resíduo sólido de *Agaricus bisporus* representa até 20% do volume e 15% em peso de sua produção, constituído principalmente por parte de seus estipes e corpos frutíferos de dimensões e formas irregulares (GARCIA, 2019; PAPOUTSIS et al., 2020). Seu descarte é um problema para os produtores de cogumelos devido às dificuldades em armazená-lo devido à sua elevada perecibilidade ou reutilizá-lo, apesar das semelhanças nutricionais com o chapéu, em teores de proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas, aminoácidos essenciais e potencial bioativo (RAMOS et al., 2019). Além disso, seu descarte está vinculado ao gerenciamento de custos e alto impacto ambiental, incluindo aquecimento global, esgotamento abiótico, acidificação, eutrofização, toxicidade humana, esgotamento de recursos naturais e consumo de energia (LEIVA et al., 2015). Os resíduos de cogumelos *A. Bisporus* devem ser tratados de maneira que aumente sua estabilidade, colaborando com o armazenamento e utilização deste subproduto, com menores danos as suas características nutricionais e tecnológicas (PAPOUTSIS et al., 2020; UMAÑA et al., 2020).

A secagem em camada de espuma visa obter um produto de melhor qualidade nutricional, com um baixo tempo operacional, quando comparado a outros tipos de secagem (RONCHETI, 2014). Para isso o alimento é convertido em uma espuma estável por meio da adição de agentes espumantes e incorporação de ar, nitrogênio ou outros gases. A incorporação de ar ao líquido aumenta a capilaridade do alimento em questão, auxiliando a passagem de vapor de água do interior do alimento até o ar de secagem. A secagem por este método resulta em um material poroso e quebradiço, de fácil moagem e transformação em pó com boas propriedades de reidratação (BARRETO, 2010).

Este estudo tem como objetivo a realização do processo de secagem do resíduo sólido do cogumelo *A. Bisporus* em camada de espuma (*foam-mat drying*) sob as temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C avaliando a cinética de secagem do produto através dos modelos matemáticos de Page, Peleg, Newton e Fick, suas características físico-químicas, propriedades tecnológicas e capacidade antioxidante.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do estudo foram utilizados resíduos sólidos de cogumelo *A. Bisporus* (Champignon de paris), cedidos pela empresa CHAMPETIT DO BRASIL IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO LTDA localizada na cidade de Louveira – SP. Os resíduos de cogumelos foram acondicionados em sacos plásticos, e armazenados sob temperatura de congelamento em

freezer até o momento do experimento. A pesquisa foi conduzida no Laboratório Multiusuário de Análises Instrumentais (LABMULTI) do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizado no município de Seropédica-RJ.

## 2.1 Preparação da espuma

Para a elaboração da polpa, os resíduos foram limpos com auxílio de pincel e pano úmido para remoção das sujidades. Em seguida, foi utilizada água clorada (7 ppm) por imersão para eliminação de contaminantes e para enxague os resíduos foram imersos em água contendo ácido cítrico (0,25%) e metabissulfito (0,1%). Por fim, as amostras foram branqueadas em água a 85 °C de 3 a 8 minutos em cestas perfuradas, seguido por resfriamento em água a temperatura ambiente. Com os resíduos limpos e pré-tratados, os mesmos foram adicionados em Mixer modelo HB1621B1 da marca Arno, adicionando água até 10% em volume de massa total. Para produção de espuma, utilizou-se o agente espumante Emustab® (produto à base de monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e polisorbato 60) nas concentrações de 2,5%, 5%, 7,5% e 10%, em massa, com o intuito de encontrar a melhor concentração. O emulsificante foi adicionado à polpa de resíduos de cogumelos *A. Bisporus* e essa mistura foi submetida à agitação, em uma batedeira doméstica, modelo Facilita, por 20 minutos para a obtenção da espuma. Na Figura 1, está ilustrado o fluxograma da produção da espuma que foi submetida à secagem.

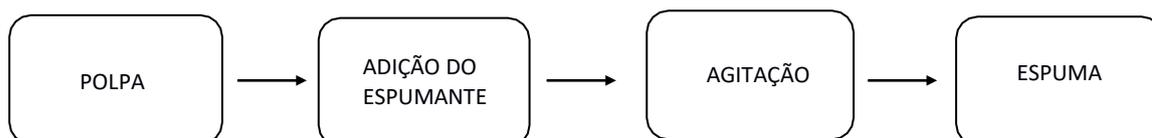


Figura 1 - Fluxograma da produção de espuma

## 2.2 Caracterização da espuma

Para caracterização da espuma foram feitas as seguintes análises em triplicata:

- Massa específica: a massa específica foi determinada dividindo-se a massa da espuma pelo seu volume;
- Determinação de estabilidade: 15 gramas de espuma foram colocadas numa tela de aço inox apoiada sobre um béquer, a temperatura ambiente. Durante 2 horas, a cada 30 minutos, foi registrada a massa de espuma coalescida depositada no béquer. A

estabilidade da espuma (E%) é calculada pela seguinte equação (BAPTISTA, 2002):

$$E\% = 100 \cdot \frac{Mt - Mc}{Mt} \quad (1)$$

Onde, Mc é a massa coalescida, Mt a massa total da espuma.

### 2.3 Secagem

Para a realização da secagem, a menor concentração de emulsificante que apresentou estabilidade (5%) para o processo foi escolhida. A espuma formada foi disposta em três bandejas lisas de aço inoxidável com 10 mm de altura, previamente pesadas. As bandejas foram imediatamente colocadas em um secador convectivo. Foi medida a massa ao longo do tempo, até atingir massa constante. Para isso, foram pesadas as bandejas no tempo zero, de 15 em 15 minutos durante a primeira hora, de 30 em 30 minutos durante a segunda hora e de 1 em 1 hora até que se atingiu massa constante. As bandejas foram giradas a 180° a cada hora e foi mudada a posição das bandejas para não ocorrer interferência de posição durante a secagem.

Para a avaliação da razão de umidade ao longo do tempo, o experimento foi realizado por um delineamento inteiramente casualizado (DIC), para isso teve como variável dependente a razão de umidade (RU) e variável independente o tempo (t) com a velocidade superficial do gás de secagem foi mantida constante. O tratamento temperatura teve respectivamente três níveis: 40 °C, 50 °C e 60 °C.

### 2.4 Modelagem matemática

Para a avaliação do comportamento cinético do processo de secagem empregado, foram realizados cálculos e os dados tratados conforme análise de regressão não linear com modelos semi-empíricos conforme apresentado na Tabela 1 para cada nível de temperatura.

Foram obtidos valores de Umidade conforme equação 1, valores de Taxa de secagem conforme equação 2 e a Difusividade, para cada nível de temperatura.

Subtraindo a massa seca da amostra temos o teor de água a cada instante:

$$M_{sc} \cdot X_{bs} = M_w \Rightarrow X_{bu} = \frac{M_{sc} \cdot X_{bs}}{M_{sc} \cdot X_{bs} + M_{sc}} \Rightarrow \frac{X_{bu}}{1 + X_{bs}} = X_{bs} \quad (2)$$

Numericamente a taxa poderá ser calculada pela diferença entre as umidades no intervalo considerado, ou seja:

$$\text{Taxa} = \frac{dX}{X_{n+1} - X_n} \Rightarrow \text{Taxa} = \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{X_{n+1} - X_n}{t_{n+1} - t_n} \quad (3)$$

$$\frac{dt}{\Delta t} = t_{n+1} + t_n$$

Para o cálculo do coeficiente de difusão foi utilizada a equação 4, a qual é uma solução analítica da segunda lei de Fick, em que foram feitas as seguintes considerações: No início a umidade do produto é uniformemente distribuída; O encolhimento do produto durante a secagem é desprezível; ocorre remoção de água somente em uma direção; A camada de produto forma uma placa plana com espessura (L) de 1 cm.

$$Def = \frac{4 \cdot k \cdot L^2}{\pi^2} \quad (4)$$

Para o ajuste dos modelos matemáticos apresentados na Tabela 1, aos dados experimentais, realizou-se análise de regressão não linear, utilizando-se o programa computacional Statistica versão 10.0. Estimaram-se os valores dos parâmetros em função da variável independente temperatura do ar de secagem e teor de água de equilíbrio da amostra. Como critério de seleção, para o modelo que melhor representou o processo de secagem utilizou-se o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e o desvio relativo médio.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados no ajuste das curvas de secagem

Designação dos modelos	Modelos
Page	$Y = \exp(a \cdot t^b)$
Peleg	$Y = t / (k_1 + k_2 \cdot t)$
Fick - com 3 termos e 15 termos	$Y = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[ -n^2 \cdot \pi^2 \cdot Def \cdot \frac{1}{R^2} \right]$

Fonte: (GOUVEIA et al. 2011; AKPINAR et al. 2006)

Onde, Y - Razão de umidade; a tem dimensão de t<sup>(-b)</sup>; k<sub>1</sub> tem dimensão de t; b e k<sub>2</sub> são adimensionais; t - Tempo de secagem (h); Def - Difusividade efetiva (m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>); R - Raio do produto (m).

## 2.5 Análises físico-químicas

Foram realizadas análises de pH, acidez titulável e sólidos solúveis totais, para caracterização da espuma e dos pós obtidos pelo processo de secagem nas diferentes temperaturas de 40 °C, 50 °C, 60 °C, e do produto liofilizado (controle). As análises foram realizadas em triplicata para cada amostra.

### 2.5.1 Acidez Titulável e pH

A acidez total titulável foi determinada por meio do método titulométrico conforme as normas da AOAC (2012), cujas amostras foram tituladas com solução padronizada de NaOH 0,1 N e o resultado expresso em porcentagem (g ácido cítrico/100g).

O pH foi determinado por potenciometria em titulador automático Metrohm 794 Basic Titrino, segundo o método AOAC (2012).

### **2.5.2 Teor de sólidos solúveis totais**

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado por refratometria, utilizando um refratômetro de bancada conforme as normas da AOAC (2012).

## **2.6 Propriedades tecnológicas**

Foram realizadas as análises de índice de absorção e solubilidade em água, leite e óleo dos pós obtidos pelo processo de secagem nas temperaturas de 60 °C, 50 °C, 40 °C e do produto liofilizado (controle). As análises foram realizadas em triplicata para cada amostra.

### **2.6.1 Índice de Absorção em água (IAA) e leite (IAL)**

Para determinação do IAA e IAL, utilizou-se metodologia descrita por Santana (2005), com modificações. Dois gramas do pó foram adicionados em 25 mL de água destilada e leite respectivamente, a 50 °C e colocados em tubos de centrífuga de 45 mL, previamente pesados, submetidos à agitação por 30 minutos. Após isso, os tubos foram centrifugados a 2500 rpm durante 10 minutos. O sobrenadante foi transferido para placa de Petri e o tubo, contendo amostra final com água, foi pesado. O índice de absorção, em gramas de amostra hidratada por gramas de amostra seca, foi obtido pela Equação 5:

$$IAA = IAL = \frac{\text{massadaamostrahidratada}}{\text{massadaamostradesidratada}} \quad (5)$$

### **2.6.2 Índice de Absorção em Óleo (IAO)**

Para determinação do IAO, utilizou-se metodologia descrita por Santana (2005), com modificações. Um grama do pó foi adicionado em 10 mL de óleo de soja a 25 °C e colocados em tubos de centrífuga de 45 mL, previamente pesados, submetidos à agitação por 30 minutos. Após isso, os tubos foram centrifugados a 2500 rpm durante 10 minutos. O sobrenadante foi colocado em placa de Petri e o tubo, contendo amostra final com óleo, foi pesado. O índice de absorção em óleo, em gramas de amostra hidratada por gramas de amostra seca, foi obtido pela Equação 6:

$$IAO = \frac{\text{massaresíduoinsolúvel}}{\text{massadaamostradesidratada}} \quad (6)$$

### 2.6.3 Índice de Solubilidade em Água (ISA), em leite (ISL) e em óleo (ISO)

Para determinação dos ISA, ISL e ISO, utilizou-se metodologia descrita por Santana (2005), com modificações. O índice de solubilidade em água, leite e óleo foi obtido com a mesma metodologia do IAA e IAL. As placas de Petri, com sobrenadante, foram colocadas em estufa a 60 °C por, aproximadamente, 15 horas, até secagem completa da amostra. O índice de solubilidade foi calculado em porcentagem, pela Equação 7:

$$ISA = ISL = ISO = \frac{\text{massadaamostraseca}}{\text{massadaamostra}} \times 100 \quad (7)$$

## 2.7 Capacidade antioxidante

### 2.7.1 Capacidade de eliminação do radical DPPH

A atividade de eliminação do radical livre estável 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH) do pó obtido de *A. Bisporus* foi medido usando um método descrito por Zhang e colaboradores (2011) com pequenas modificações. A solução estoque de DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) foi preparada na concentração de 50 mmol. L<sup>-1</sup> em metanol. Para leitura das absorvâncias das amostras foram diluídos em metanol 25 µL do extrato e 2mL do radical, em quadruplicata. Soluções metanólicas de Trolox em diferentes concentrações foram utilizadas para a obtenção da curva de calibração abaixo:

$$(y = -0,0094x + 0.6503) - R^2 = 0.9929$$

Sendo a capacidade antioxidante expressa em µmol de equivalente Trolox por grama de amostra (µmol ET g<sup>-1</sup>). Os valores de absorção para o controle (Ac) e as amostras (As) foram lidos a 517 nm em espectrofotômetro conforme estudo de Kimatu e colaboradores (2017).

### 2.7.2 Capacidade de redução de ferro (FRAP)

A solução de FRAP foi preparada pela diluição de uma solução aquosa de TPTZ (2,4,6-Tris(2-piridil)-1,3,5-triazina) (10 mmol. L<sup>-1</sup>) e de cloreto férrico (20 mmol. L<sup>-1</sup>) em uma solução tampão (pH 3,6) de acetato de sódio (300 mmol. L<sup>-1</sup>) na proporção de 1:1:10 (v/v/v), como descrito por Benzie e Strain (1996) com modificações. As leituras de absorvância foram realizadas em 593 nm. Soluções metanólicas de trolox em diferentes concentrações foram utilizadas para a obtenção da curva de calibração abaixo:

$$(y = 0,0111x + 0,0098) - R^2 = 0.999$$

Sendo a capacidade antioxidante expressa em µmol de equivalente trolox por grama de amostra (µmol. ET g<sup>-1</sup>).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização físico-químicas

A espuma apresentou teor de umidade de 91,01% (Tabela 2), valor semelhante aos verificados em literatura e encontrados por Contado e colaboradores (2010) e Ronchetti (2014) em diferentes variedades de frutas e legumes como cenoura, tomate, beterraba e morango. O valor de pH da amostra in natura (6,03), mostrou similaridade ao obtido por Branco e colaboradores (2001), correspondente a 5,84.

Tabela 2. Resultados das características físicoquímicas da espuma dos resíduos de cogumelo

<b>Características</b>	<b>Resultados</b>
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	0,30 ± 0,036
Estabilidade da espuma (%)	99,33 ± 0,007
Acidez (g ácido cítrico/100g)	0,19 ± 0,012
pH	6,03 ± 0,010
Umidade em base seca (%)	91,01 ± 0,075

\*Valores expressos em média ± desvio padrão de três determinações independentes.

Branco e colaboradores (2001) encontraram 0,80% de acidez (em ácido cítrico), valor diferente ao obtido no experimento (Tabela 2). Contudo, Souza e colaboradores (2007) relatam grande variabilidade no valor da acidez titulável, dada a diferenciação entre espécies e fatores de cultivo. Deve-se, portanto, buscar qualificar os resultados baseados em sua origem, substrato e espécie analisada para esta variável.

A massa específica encontrada para a polpa (Tabela 2) está de acordo com os encontrados na literatura para polpa de frutas, com teor de água semelhante, embora não existam trabalhos que abordem o estudo da polpa de cogumelos comestíveis e existam poucos trabalhos sobre a massa específica da polpa de frutas e hortaliças. Mata e colaboradores (2005) determinaram a massa específica para polpa de cajá, encontrando 1,253 kg/m<sup>3</sup>. Lima e colaboradores (2003) encontraram valores de 1,006 kg/m<sup>3</sup> para polpa de umbu.

De acordo com Thuwapanichayanan e colaboradores. (2008), quanto menor a densidade da espuma mais fácil e rápido é o processo de difusão da água através da espuma na

desidratação. Segundo Soares e colaboradores (2001), os quais avaliaram a secagem de acerola em espuma, a densidade da espuma deve pertencer ao intervalo de 0,1 a 0,6 g/mL para ser considerada adequada e submetida ao processo secagem, logo os resultados obtidos para a espuma de resíduos mostraram-se dentro da faixa especificada.

Observa-se que a espuma apresentou valores de estabilidade próximos a 100% (Tabela 2), dessa forma, a ocorrência de coalescido foi mínima, demonstrando boa estabilidade para a concentração de emulsificante adicionado, fato que juntamente com a densidade justifica o uso adequado do Emulstab<sup>®</sup> para a formação da espuma.

### 3.2 Cinética de Secagem

As Figura 2, 3 e 4 demonstram individualmente as curvas de secagem em camada de espuma do resíduo sólido de cogumelos *A. Bisporus* ajustadas aos modelos matemáticos, apresentadas na forma adimensional do conteúdo de umidade ( $X_{bs}$ ) em função do tempo para cada temperatura do ar de secagem (40 °C, 50 °C e 60 °C).

A figura 5 apresenta as curvas das diferentes temperaturas de secagem (40 °C, 50 °C e 60 °C) utilizadas na cinética de secagem de resíduo sólido de cogumelos *A. Bisporus* (conforme citado acima), onde se pode observar o comportamento da temperatura na razão entre umidade e tempo de secagem.

A figura 6 apresenta a taxa de secagem obtida durante o experimento

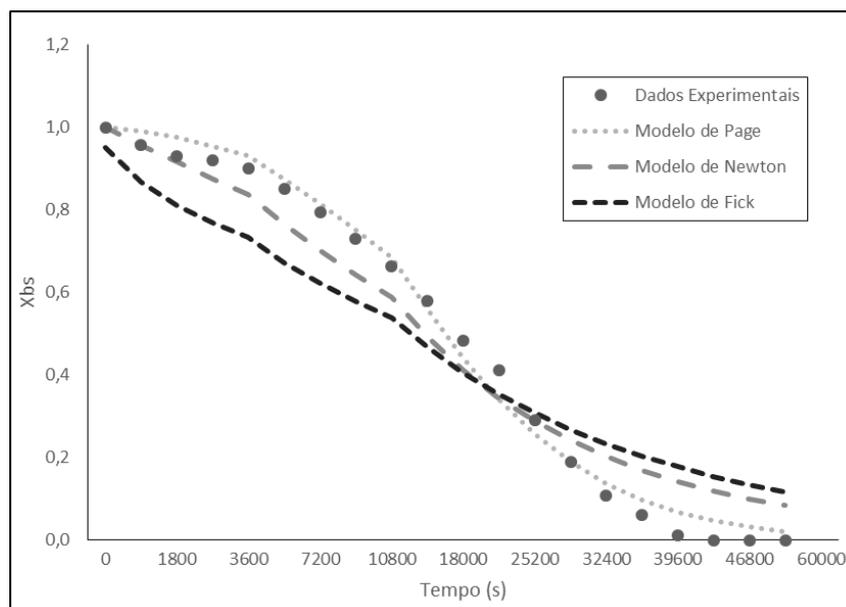


Figura 2. Curvas de secagem em camada de espuma do resíduo sólido de cogumelos *A. Bisporus* ajustadas aos modelos matemáticos de Page, Newton e Fick a 40 °C.

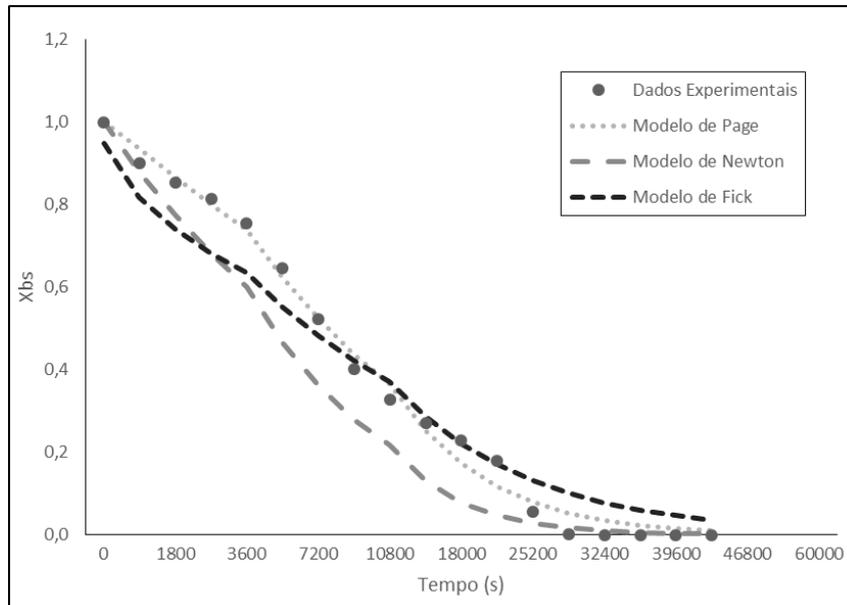


Figura 3. Curvas de secagem em camada de espuma do resíduo sólido de cogumelos *A. Bisporus* ajustadas aos modelos matemáticos de Page, Newton e Fick a 50 °C.

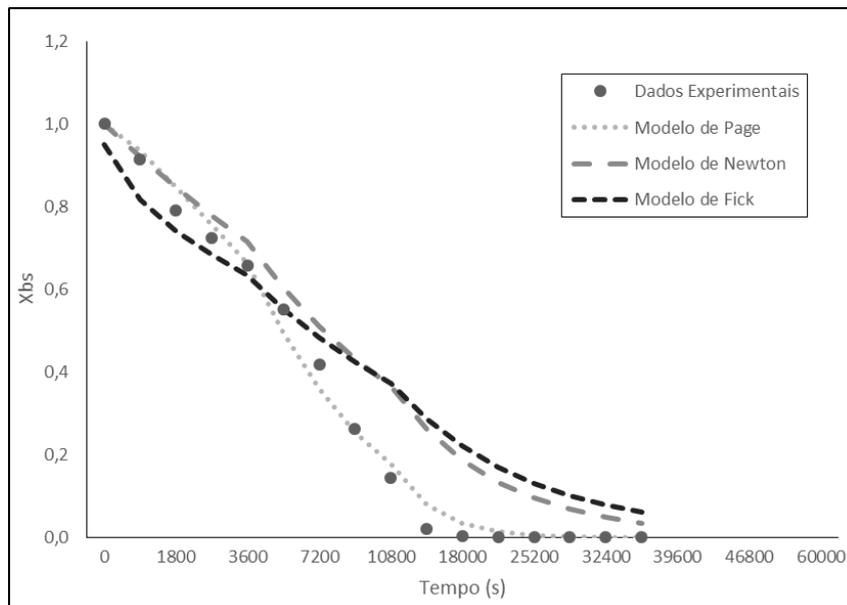
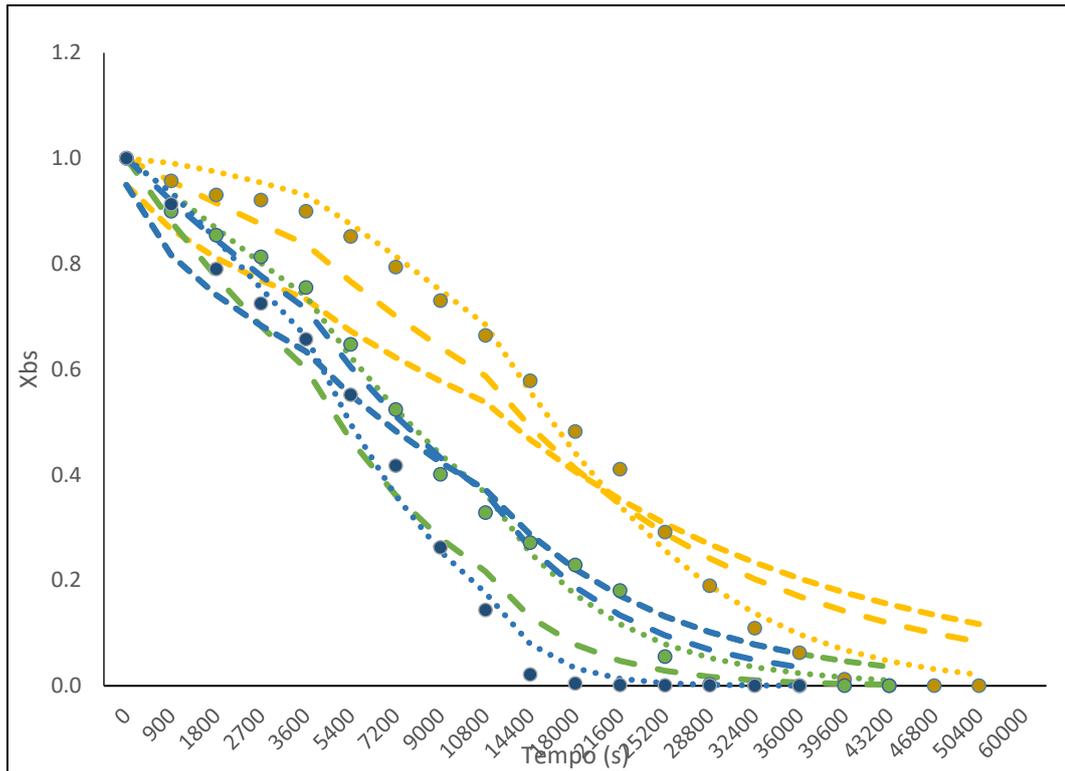
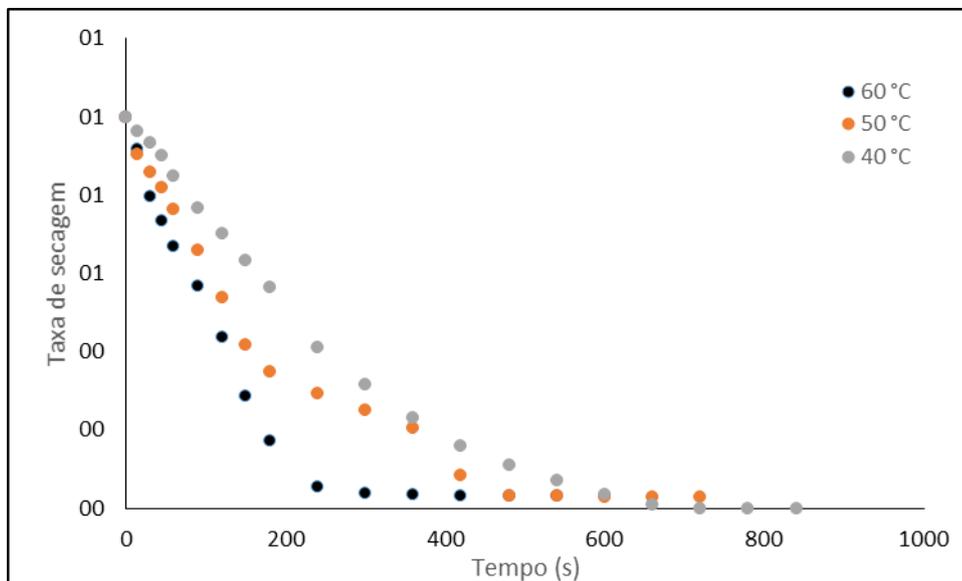


Figura 4. Curvas de secagem em camada de espuma do resíduo sólido de cogumelos *A. Bisporus* ajustadas aos modelos matemáticos de Page, Newton e Fick a 60 °C.



**Figura 5.** Efeito da temperatura de secagem na cinética de secagem de resíduo sólido de cogumelos *A. Bisporus*.



**Figura 6** Taxa de secagem de resíduo sólido de cogumelos *A. Bisporus*.

Tabela 3. Valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e Parâmetros obtidos dos modelos ajustados aos dados de secagem nas temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C

Modelos	40°C					50°C					60°C				
	$R^2$	R	k	a	b	$R^2$	R	k	a	b	$R^2$	R	k	a	b
Page	0,991	0,995	---	0,00004	1,508	0,992	0,996	---	0,00004	1,09	0,993	0,996	---	0,000009	1,309
Newton	0,955	0,977	---	0,000049	---	0,997	0,995	---	0,00009	---	0,998	0,991	---	0,00014	---
Fick	0,833	0,939	0,000038	---	---	0,96	0,98	0,000072	---	---	0,948	0,973	0,0001	---	---

Tabela 4. Valores de  $R^2$ , desvio relativo médio (P) e Difusividade dos modelos ajustados aos dados de secagem nas temperaturas de 40 °C, 50 °C e 60 °C.

Modelos	40°C			50°C			60°C		
	$R^2$	P(%)	Difusividade (m <sup>2</sup> /s)	$R^2$	P(%)	Difusividade (m <sup>2</sup> /s)	$R^2$	P(%)	Difusividade (m <sup>2</sup> /s)
Page	0,991	9,38	---	0,992	10,97	---	0,993	7,05	---
Newton	0,955	23,36	---	0,997	26,64	---	0,998	12,39	---
Fick	0,833	14,57	1,06E-08	0,96	19,81	2,00E-08	0,948	9,62	2,78E-08

A análise de regressão dos ajustes dos modelos aos dados experimentais mostrou que o modelo de Peleg não se ajustou bem aos dados experimentais de secagem, resultando em valor de  $R=0$  para as diferentes temperaturas de secagem estudadas. Para Fick com 15 termos não foi possível verificar valores preditos adequados a modelagem, não havendo resultados válidos de modelagem.

Pode-se compreender que o comportamento cinético de secagem em camada de espuma do resíduo sólido de cogumelo *A. Bisporus* nas três temperaturas estudadas conforme Figuras 2, 3 e 4 está de acordo com os resultados esperados, com tempo de secagem inversamente proporcional à temperatura. Observa-se que o aumento de temperatura favoreceu o processo de transferência de massa e, conseqüentemente, o aumento da difusividade efetiva. Pois quanto maior a difusividade menor a resistência de transferência de massa dentro da espuma, ou seja quanto maior a temperatura menor a resistência a transferência de massa, como também observou Araújo (2005) trabalhando com nectarina e Azoubel (2008) para manga.

Page foi o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais nas três temperaturas de secagem, pois apresentou os maiores valores do  $R^2$  coeficiente de determinação ajustado ( $>0,98$ ) e os menores valor do desvio relativo médio percentual (P). O fato desse modelo ser exponencial (natureza de todas as curvas de cinética de secagem) e ainda possuir dois parâmetros ajustáveis (a e b) favorece um melhor ajuste. Verificou-se ainda que, com o aumento da temperatura do ar de secagem, ocorre maior taxa de remoção de água do produto, evidenciando o aumento da taxa de secagem, como pode ser observado na Figura 5, no entanto a mesma não é constante, demonstrando que a atividade de água no produto possivelmente  $<1$  fato este observado por outros pesquisadores para inúmeros produtos agrícolas (RESENDE et al., 2008; PESSOA et al., 2011).

Silva et al. (2016) observaram o efeito das temperaturas de 40, 50 e 60 °C sobre as curvas de secagem em camada delgada da polpa de carambola, notando que com o aumento da temperatura do ar de secagem, ocorreu uma elevação das taxas de remoção de água do produto. Dieb et al. (2015) ao determinarem as curvas de cinética de secagem da polpa de graviola pelo processo de secagem em camada de espuma nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, confirmaram o efeito da temperatura no sentido de diminuir o tempo de secagem, considerando, todavia, que temperaturas muito elevadas podem comprometer a qualidade do produto. Ferreira et al. (2012) explicaram que a influência da temperatura se dá pelo aumento do potencial de transferência de calor entre o ar e o produto. Silva et al. (2014), ao desidratarem banana em camada fina nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, também observaram redução nos tempos de secagem.

Na Figura 4, nota-se a proximidade entre as curvas ajustadas dos modelos propostos

frente a temperatura de 60 °C, que apresentou menor desvio entre os modelos utilizados. Ronchetti (2014) avaliou a cinética de secagem da cenoura, tomate, beterraba e morango em leito de espuma, e ajustou os modelos de Page, Henderson & Pabis, Lewis, Midili e Midili Modificado. Ele verificou que os modelos de Page, Henderson e Pabis e Lewis representam de forma satisfatória a cinética de secagem em leito de espuma dos alimentos testados  $R^2_{adj}$  ( $> 0,97$ ). Para o morango, alimento rico em água, assim como o cogumelo champignon, o modelo de Page foi que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentando maior valor de  $R^2_{adj}$  ( $> 0,98$ ).

### 3.3 Análises físico-químicas

Os valores das características físico-químicas dos pós obtidos a partir da secagem da espuma estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados físico-químicos dos pós obtido

Análises	Resultados			
	40 °C	50 °C	60 °C	Liofilizado (Controle)
Acidez (g ácido cítrico/100g)	0,191 <sup>a</sup> ± 0,036	0,191 <sup>a</sup> ± 0,038	0,191 <sup>a</sup> ± 0,042	0,190 <sup>a</sup> ± 0,005
pH	6,03 <sup>a</sup> ± 0,007	6,03 <sup>a</sup> ± 0,007	6,03 <sup>a</sup> ± 0,007	6,13 <sup>b</sup> ± 0,010
Sólido solúvel (°Brix)	5,0 <sup>a</sup> ± 0,0022	5,0 <sup>a</sup> ± 0,0021	5,0 <sup>a</sup> ± 0,0022	5,0 <sup>a</sup> ± 0,0023

\*Valores expressos em médio desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra na horizontal não diferem significativamente entre si ao nível de 5% pelo teste F da ANOVA.

Observa-se que, por mais que o pH e o teor de acidez permaneçam praticamente inalterado nos três tratamentos propostos ainda assim o pH diminuiu em relação a amostra controle (liofilizada), o mesmo pode ser observado nos estudos de Breda (2012) quando comparado os valores dos pós obtidos com o produto in natura.

O pH é um dos principais fatores intrínsecos de avaliação da acidez. Esse parâmetro têm a capacidade de determinar o crescimento, a sobrevivência e a multiplicação dos microrganismos nos alimentos, classificando-os como pouco ácidos (pH  $> 4,5$ ), ácidos (pH 4,0-4,5) e muito ácidos (pH  $< 4,0$ ). O resultado observado no presente estudo poderia ser explicado através da relação que a composição do substrato empregado no cultivo exerce sobre as características finais do cogumelo. O desenvolvimento do corpo de frutificação é estabelecido em uma faixa de pH entre 6,0-7,0, estando os valores encontrados para os produtos obtidos (BELLETTINI et al., 2016).

Muitos são os fatores que explicam a baixa acidez e constância do pH nas amostras,

como por exemplo o método utilizado para determinação de acidez. Este método, se limita a valores de acidez detectáveis por titulação e as substâncias responsáveis por esta acidez detectável aparente são: os fosfatos e citratos, a caseína e albumina (proteínas) e gás carbônico dissolvido. Sabendo que os cogumelos são ricos em sais e minerais alcalinos, que por sua vez tem ação neutralizadora de pH (BACCAR, 2016), é possível detectar acidez do produto mesmo mantendo seu pH inalterado.

Outro componente detectável por meio de titulação é o ácido cítrico que é um ácido orgânico fraco, frequentemente encontrado nas frutas, sua acidez é devida aos três grupos carboxilas -COOH que podem perder um próton em soluções. Como consequência forma-se um íon de citrato, os citratos, por sua vez são controladores de pH nas soluções ácidas (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2014). Deste modo explica a baixa concentrações de acidez detectada na titulação, mesmo sem a alteração do pH.

Com relação os teores de sólidos solúveis, Sales-Campos, (2008) quando cultivou uma linhagem de *Pleurotus ostreatus* em diferentes resíduos regionais e encontrou teores de sólidos solúveis variando de 1,64 a 5.64. O resultado diferenciado pode ser devido à diferença entre as espécies de cogumelos, ou ainda pelas diversas condições de cultivo ou mesmo do substrato. Os elevados teores de sólidos solúveis (8,00 a 9,23%) nos cogumelos *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes* e *Pleurotus ostreatus* observados no estudo de Furlani e Godoy (2007) confirmam o alto teor de umidade desses produtos, geralmente 90%. Não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os valores obtidos por diferentes temperaturas, pois são frutos do mesmo lote, diferentes lotes possivelmente seriam afetados por alguns fatores, tais como condições de cultivo, armazenamento pós-colheita, entre outros, segundo os autores.

### 3.4 Propriedades tecnológicas

Os valores referentes aos índices de Absorção em água (IAA) e leite (IAL) e óleo (IAO) dos pós obtidos a partir da secagem da espuma estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados de Absorção em água (IAA) e leite (IAL) e óleo (IAO)

Parametros (g 100 g-1)	Resultados			
	40 °C	50 °C	60 °C	Liofilizado (Controle)
IAA	5,345 <sup>b</sup> ± 0,075	5,246 <sup>b</sup> ± 0,083	3,970 <sup>a</sup> ± 0,118	9,076 <sup>c</sup> ± 0,095
IAL	5,337 <sup>b</sup> ± 0,074	5,223 <sup>b</sup> ± 0,074	4,012 <sup>a</sup> ± 0,190	9,162 <sup>c</sup> ± 0,102
IAO	5,042 <sup>b</sup> ± 0,080	5,208 <sup>b</sup> ± 0,079	4,082 <sup>a</sup> ± 0,123	9,186 <sup>c</sup> ± 0,109

\*Valores expressos em médio desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra na horizontal não diferem significativamente entre si ao nível de 5% pelo teste F da ANOVA.

O índice de absorção em água das amostras reduziu com aumento da temperatura de secagem, as amostras secas na temperatura de 40 °C e 50°C diferiram das 60 °C e do controle liofilizado. O índice de absorção em água indica a quantidade de água absorvida, sendo que alta capacidade de absorção de água em pós e farinhas é desejável para o preparo de sopas, mingaus e pudins instantâneos (Anderson et al., 1969, Torres et al., 2005). O índice de absorção em água está associado principalmente ao elevado teor de fibras presentes nas farinhas e seus pós derivados (Porte et al., 2011), neste trabalho pode-se observar com os resultados que o conteúdo de fibra das amostras é reduzido com o aumento da temperatura de secagem, fator que pode ser o responsável pelos maiores valores encontrados nas amostras secas à 40 e 50 °C em relação ao controle, ao qual não sofreu aquecimento.

O mesmo comportamento pode ser observado para o índice de absorção em leite e óleo, onde as amostras secas na temperatura de 40 °C e 50 °C diferiram das 60 °C e do controle liofilizado. Esta característica confere propriedades de consistência, adesão e viscosidade, melhorando a textura e facilitando na substituição de outros ingredientes em formulações alimentares (Rodriguez-Ambriz et al., 2005). A propriedade do índice de absorção em leite é importante quando se pretende elaborar produtos como cereais matinais ou produtos à base de leite como alimentos infantis instantâneos, sobremesas lácteas, requeijão e doces (Becker, 2010). A redução no índice de absorção em óleo pode estar associada com a baixa hidrofobicidade dos constituintes da farinha, dificultando a interação entre proteínas e óleo. A absorção de gordura varia em função do número de grupos hidrofóbicos expostos da proteína e da interação destes com as cadeias hidrofóbicas da gordura (Dench et al., 1981).

Para apresentar potencialidade para inserção e enriquecimento de alimentos, é necessário que produtos que apresentam valores de IAA, IAL E IAO, superiores a 1,49 (Aletor; Oshodi; Ipinmoroti, 2002). O valor encontrado em ambas amostras, superiores a 1,49 pode estar relacionado com a elevada hidrofobicidade, facilitando a interação entre as proteínas presentes e óleo (Zhang et al., 2012).

Os IAA, IAL E IAO em alimentos são fundamentais em formulações de produtos, de acordo com Kinsella (1976), a capacidade de retenção de água, leite e óleo é um parâmetro de extrema importância para artefatos de panificação e alimentos viscosos como sopas, uma vez que esta propriedade está relacionada com a aceitabilidade do produto final pelo consumidor.

Os valores referentes aos índices de solubilidade em água (ISA) e leite (ISL) e óleo (ISO) dos pós obtidos a partir da secagem da espuma estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Resultados de Solubilidade em água (ISA) e leite (ISL) e óleo (ISO)

Parâmetros (%)	Resultados			
	40 °C	50 °C	60 °C	Liofilizado (Controle)
<b>ISA</b>	10,140 <sup>a</sup> ± 0,221	10,224 <sup>a</sup> ± 0,174	10,114 <sup>a</sup> ± 0,288	18,554 <sup>b</sup> ± 0,556
<b>ISL</b>	9,669 <sup>a</sup> ± 0,250	9,504 <sup>a</sup> ± 0,244	9,434 <sup>a</sup> ± 0,301	18,393 <sup>b</sup> ± 0,547
<b>ISSO</b>	6,574 <sup>a</sup> ± 0,131	6,531 <sup>a</sup> ± 0,056	6,494 <sup>a</sup> ± 0,225	13,499 <sup>b</sup> ± 0,350

\*Valores expressos em médio desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra na horizontal não diferem significativamente entre si ao nível de 5% pelo teste F da ANOVA.

O ISA varia de acordo com o grau de dextrinização sofrido pelo amido. Quanto maior a dextrinização, maior a degradação das moléculas de amido em moléculas menores (dextrinas), que são mais solúveis em água e, conseqüentemente, maior o ISA (CLERECI e EL-DASH, 2008). A farinha de batata-doce apresentou valor inferior de ISA ao encontrado por Abreu et al. (2016) para a farinha de trigo, foi de 43,14%. Segundo Moura et al. (2011), a solubilidade depende não só do amido, mas também da interação com outros nutrientes, como as proteínas e suas modificações estruturais pós gelatinização. Tavares et al., (2012), encontrou valores de ISA de 1,2% para farinha de arroz cru, valor inferior aos encontrados neste estudo. A ISA do controle (liofilizado) foi próximo ao relatado por Gomes et al. (2012) de 18-20% em farinha de feijão caupi.

Farinhas e outros pós altamente solúveis em água podem ser empregadas em alimentos que requerem baixas temperaturas para serem preparados (instantâneos) ou que requerem ingredientes com maior solubilidade em água, por exemplo, sopas, sobremesas e molhos (SANTANA et al., 2017). Os pós obtidos apresentaram maior solubilidade em água seguido de leite e óleo. Segundo Becker (2010), pode-se indicar a aplicação deste produto seco, com essa característica em produtos requerem aquecimento brando, como produtos à base de leite, alimentos infantis e sobremesas.

### 3.5 Capacidade antioxidante

Os valores referentes aos parâmetros de capacidade antioxidante dos pós obtidos a partir da secagem da espuma estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados de capacidade oxidante pelos métodos DPPH e FRAP

Parâmetros	Resultados			
	40 °C	50 °C	60 °C	Liofilizado (Controle)
DPPH ( $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ )	4,755 <sup>b</sup> $\pm$ 0.453	12,090 <sup>a</sup> $\pm$ 0,912	14,329 <sup>a</sup> $\pm$ 0.566	45,002 <sup>c</sup> $\pm$ 0.113
FRAP ( $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ )	136,171 <sup>b</sup> $\pm$ 9,603	136,342 <sup>b</sup> $\pm$ 7,494	123,648 <sup>a</sup> $\pm$ 1,661	156,627 <sup>c</sup> $\pm$ 6.347

\*Valores expressos em médio desvio padrão. Médias seguidas da mesma letra na horizontal não diferem significativamente entre si ao nível de 5% pelo teste F da ANOVA

A análise de captura do radical DPPH é considerada como um teste colorimétrico fácil e válido para se avaliar propriedades antioxidantes. Esse método vem sendo utilizado com sucesso para se avaliar grãos, vegetais, ácidos linoleicos conjugados, ervas, sementes comestíveis, farinhas e produtos secos em diferentes sistemas de solvente, incluindo etanol, acetona aquosa, metanol, sistemas hidroalcoólicos e benzênicos. Entretanto, tornou-se difícil comparar dados referentes à capacidade de captura do radical DPPH de diferentes laboratórios ou até mesmo do mesmo grupo, mas em diferentes condições e períodos de tempo. Isso se deve ao fato de que a maioria dos resultados, em relação a sistemas que fazem uso desse radical, foram relatados em % de DPPH restante ou inibido, o que depende muito do tempo de reação e das concentrações iniciais tanto do DPPH como do antioxidante sendo testado (CHENG; MOORE; YU, 2006). Em relação aos valores encontrados para a atividade antioxidante contra o DPPH, os dados aqui apresentados possuem uma aproximação aceitável com aqueles encontrados na literatura científica. Comparativamente entre os diferentes tratamentos, o uso da temperatura de secagem de 60 °C demonstrou maior atividade antioxidante contra o DPPH, com um valor de captura de 12, 329  $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ ; seguido do tratamento com 50° e 40 °C posteriormente. Com o tratamento a temperatura mais branda resultando no menor valor. Proporcionalmente, esses valores também puderam ser observados na literatura científica disponível (ARBAAYAH; KALSOM, 2013). A atividade antioxidante evidenciada para os extratos hidroalcoólicos dos cogumelos da espécie estudada neste trabalho pode ser considerada baixa quando comparada com outras espécies de cogumelos analisadas na literatura. A *Ganoderma lucidum*, por exemplo, apresentou um valor de DPPH acima de 33  $\mu\text{mol ET g}^{-1}$  (SALTARELLI et al, 2009), e no estudo de Silva (2016), o extrato do cogumelo *Pleurotus ostreatus* apresentou um valor de 21  $\mu\text{mol ET g}^{-1}$ .

Entre os resultados obtidos, pode-se observar que as temperaturas mais brandas de secagem, foram as que apresentaram uma melhor atividade antioxidante no método FRAP foi, porém com queda de 12% em relação ao controle (liofilizado). Estes são valores de atividade antioxidante quando comparado com o resultado encontrado por Heidmann e colaboradores, (2016) para a farinha de cajá-manga (*Spondias dulcis*) de 77,65  $\mu\text{M}$  trolox equivalente/g de extrato e Cazarin e colaboradores. (2014) que avaliaram farinha de casca de maracujá (*Passiflora edulis*) e encontraram o valor de 34,95  $\mu\text{M}$  trolox equivalente/g de amostra. Os valores de 40 e 50 °C não diferiram estatisticamente, no entanto eles diferenciam estatisticamente dos demais, sendo esta uma faixa de equilíbrio, pode-se observar que conforme o aumento da temperatura há a diminuição desta capacidade antioxidante. Pois, o calor faz com que as paredes celulares se tornem permeáveis, aumentando a solubilidade e a difusão dos compostos presentes (XU; CHANG, 2007).

#### 4 CONCLUSÃO

O modelo de Page obteve melhor ajuste, podendo ser utilizado para predição da cinética de secagem do resíduo de cogumelos *A. Bisporus*, nas condições experimentais utilizadas neste estudo. Após a secagem, os resíduos apresentaram comportamento físicoquímico e propriedades tecnológicas similares entre os pós obtidos nas diferentes temperaturas. No entanto quando comparados ao produto liofilizado, os resíduos secos em camada de espuma apresentam desempenho inferior em relação as propriedades tecnológicas e propriedade antioxidante.

#### 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, B.B. et al. **Composição centesimal, índice de absorção em água e índice de solubilidade em água de farinha de trigo e fécula de mandioca.** 2016.
- AKPINAR, E. K. Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 1, p. 75–84, 2006.
- ALETOR, O., OSHODI, A.A.; IPINMOROTI, K. Chemical composition of common leafy vegetables and functional properties of their leaf protein concentrates. **Food Chemistry**, v. 78. n. 1, p. 63–68, 2002.
- ANDERSON, R. A., Conway, V. F. P. & Griffin, E. L. (1969) Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. **Cereal Science Today**, (14) 1, 4-7.
- AOAC - **Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis.** 19 ed. **Gaithersburg**, 2012.
- ARAÚJO. E.A.F. **Estudo do processo de desidratação osmótica e secagem de nectarina**

(**Prunus persica**). Campinas, 2005. 115p. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas.

ARBAAYAH, H. H.; KALSOM, Y. U. Antioxidant properties in the oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) and split gill mushroom (*Schizophyllum commune*) ethanolic extracts. **Mycosphere**, 2013, Volume 4, Páginas 661-673.

BACCAR, L. C. M. Equilíbrio do pH e saúde, medicina alternativa. **Portal da Educação**. 2016.

BARRETO, I. M. A.; **Caracterização de polpa de pitanga roxa (*Eugenia uniflora*) desidratada em leito de espuma**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, Itapetinga, 2010.

BECKER, F.S. **Caracterização de farinhas cruas e extrusadas obtidas de grãos quebrados de diferentes genótipos de arroz**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

BELLETTINI, M.B; FIORDA, F.A; MAIEVES, H.A; TEIXEIRA, G.L; ÁVILA, S; HORNUNG, P.S; MACCARI JÚNIOR, A; RIBANI, R.H. Factors affecting mushroom *Pleurotus* spp. Saudi **Journal of Biological Sciences**. 2016.

BRANCO, I. G. **Estudo do comportamento reológico de misturas ternárias com sucos de manga, laranja e cenoura**. 2001. 140f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

BREDA, C. A. **Desidratação da polpa do fruto da guavira (*campomanesia adamantium*) pelo processo em camada de espuma**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Universidade Federal da Grande Dourados. Dourados – MS. 2011.

CAZARIN, C. B. B.; SILVA, J. K. da; COLOMEU, T. C. ZOLLNER, R. L.; JUNIOR, M. R. M. Capacidade antioxidante e composição química da casca de maracujá (*Passiflora edulis*). **Ciência Rural**. v. 44, n.9, 2014.

CLERECI, M.T.P.S; EL-DASH, A.A. Características tecnológicas de farinhas de arroz pré-gelatinizadas obtidas por extrusão termoplástica. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 5, 2008. ‘

CHENG, Z.; MOORE, J.; YU, L. High-throughput relative DPPH radical assay. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2006, Volume 54, Páginas 7429-7436.

CONTADO, E. W. N. da F. et al. Estudo dos métodos de extração de carotenoides em cenoura por fluido supercrítico (EFS) e convencional. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, Edição Especial, p. 1617-1623, 2010.

DENCH, J. E. Rivas, R. N. & Caygill, J. C. (1981) Selected functional properties of

sesame (*Sesamun indicum* L.) flour and two protein isolates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, (32) 6, 557-564. **termoplástica Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, (23)2, 273-290.

FERREIRA, L. F. D., PIROZI, M. R., RAMOS, A. M., & PEREIRA, J. A. M. (2012). Modelagem matemática da secagem em camada delgada de bagaço de uva fermentado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 47(6), 855-862. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000600017>.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Aplicações do ácido cítrico na indústria de alimentos. **Revista Food Ingredients Brasil**, v. 1, n. 30. 2014.

Furlani, R. P. Z.; Godoy, H. T. 2007. Valor nutricional de cogumelos comestíveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 27(1): 154-157.

GARCIA, R. L. **Produção de alimentação para cães com incorporação de resíduos do cogumelo *Agaricus bisporus***. [s.l.] Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2019.

GOMES, G.M.S.; REIS, R.C.; SILVA, C.A.D.T.S. Obtenção de farinha de feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande-PB, v. 14, n. 1, p. 31-36, 2012.

GOUVEIA, D. S. et al. **Cinética de feijão preto (*Phaseolus vulgaris*, L.) em secador de bandeja**. *Holos*, Natal, v. 1, n. 27, p. 38-48, 2011.

HEIDMANN, P. M.; PATEL, V. **Farinha De Casca De Cajá-Manga E Elaboração De Pão: Avaliação os Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2016.

KIMATU, B. M. et al. Antioxidant potential of edible mushroom (*Agaricus bisporus*) protein hydrolysates and their ultrafiltration fractions. **Food Chemistry**, v. 230, p. 58–67, 2017.

KINSELLA, J. E. (1976). Functional properties in foods; a survey. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 7(3), 219-280

LEIVA, F. J. et al. Environmental impact of *Agaricus bisporus* cultivation process. **European Journal of Agronomy**, v. 71, p. 141–148, 2015.

MATA, M. E. R. C.; BRAGA, M. E. D, M. E. M.; ZANINI, H. L. H. T. Calor específico e densidade da polpa de cajá (*Spondias lutea* L.) com diferentes concentrações de sólidos solúveis sob baixas temperaturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.488-498, 2005.

MOURA, L.S. de M. et al. **Propriedades de absorção e solubilização de extrudados e solubilização de farinha mista de feijão, milho e arroz biofortificados**. In: REUNIÃO

DE BIOFORTIFICAÇÃO, 4., 2011, Teresina. Anais... Teresina - Piauí, 201

PAPOUTSIS, K. et al. Recovery of ergosterol and vitamin D2 from mushroom waste - Potential valorization by food and pharmaceutical industries. **Trends in Food Science and Technology**, v. 99, n. January, p. 351–366, 2020.

PORTE, A. Silva, E. F. Almeida, V. D. S. Silva, T. X. & Porte, L. H. M. (2011) Propriedades funcionais tecnológicas das farinhas de sementes de mamão (*Carica papaya*) e de abóbora (*Cucurbita sp*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, (13) 1, 91-96.

RAMOS, M. et al. *Agaricus bisporus* and its by-products as a source of valuable extracts and bioactive compounds. **Food Chemistry**, v. 292, n. November 2018, p. 176–187, 2019P.

P. (2005) Composition and functional properties of *Lupinus campestris* protein isolates. **Plants Foods for Human Nutrition**, (60), 99-107.

RESENDE, O.; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 171-178, 2010.

RONCHETI, E. F. S. **Estudo do processo de secagem em leito de espuma de cenoura, tomate, beterraba e morango**. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

SALES-CAMPOS, C. 2008. **Aproveitamento de resíduos madeireiros e da agroindústria regional para o cultivo de fungos comestíveis de ocorrência na região amazônica**. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM.

SALTARELLI, R.; CECCAROLI, P.; IOTTI, M.; ZAMBONELLI, A.; BUFFALINI, M.; CASADEI, L.; VALLORANI, L.; STOCCHI, V. Biochemical characterization and antioxidant activity of mycelium of *Ganoderma lucidum* from Central Italy. **Food Chemistry**, 2009, Volume 116, Páginas 143-151.

SANTANA, G.S.; OLIVEIRA FILHO, J.G. de; EGEEA, M. B. Características tecnológicas de farinhas vegetais comerciais. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n.2, 2017.

SILVA, R. B., SILVA, F. S., PORTO, A. G., & ALVES, A. P. (2016). Estudo da cinética de secagem de polpa de carambola. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, 10(2), 2069-2080. 10.3895/rbta.v10n2.3261.

SILVA, W. P., SILVA, C. M. D. P. S., GAMA, F. J. A., & GOMES, J. P. (2014). Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine rate of whole bananas. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 13(1), 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.01.003>.

SILVA, Rodrigo Bacila Borges. **ANÁLISE DE COMPOSTOS FENÓLICOS E**

## **AValiação DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE EXTRATOS HIDROALCOÓLICOS DE BASIDIOMICETOS.** 2016. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de

Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA, J. A. S.; FILHO, M. S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo foam-mat. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v. 21, n. 2, p.164-170, 2001.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA, J. A. S.; FILHO, M. S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo foam-mat. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas-SP, v. 21, n. 2, p.164-170, 2001.

SOUZA, J. S.; ARAÚJO, V. P. U; PEDRINI, M. R. S.; ROCHA, S. C. S.; MEDEIROS, M. F. D.; SOUZA JR, F. E. Estudo comparativo das propriedades físicas e físico-químicas de um mix de polpa in natura e a polpa reconstituída. **47º Congresso Brasileiro de Química**. 2007. Natal – Rio Grande do Norte – Brasil.

TAVARES, J.A.S. et al. Mudanças funcionais de farinha de arroz torrada com micro-ondas em função do teor de umidade e do tempo de processamento. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v. 42, n. 6, p. 1102–1109, 2012.

THUWAPANICHAYANAN, R.; PRACHAYAWARAKORN, S.; SOPONRONNARIT, S. Drying characteristics and quality of banana foam mat. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v. 86, n. 4, p. 573-583, 2008.

TORRES, L. L. G. El-Dash, A. A. Carvalho, C. W. P. Ascheri, J. L. R. Germani R, & Miguez, M. (2005) Efeito da umidade e da temperatura no processamento de farinha de banana verde (*Musa acuminata*, Grupo AAA) por extrusão termoplástica **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, (23)2, 273-290.

UMAÑA, M. et al. Ultrasound-assisted extraction of ergosterol and antioxidant components from mushroom by-products and the attainment of a  $\beta$ -glucan rich residue. **Food Chemistry**, v. 332, n. December 2019, p. 127390, 2020.

VIMERCATI, W. C. et al. Ajustes De Modelos Matemáticos À Cinética De Secagem Da Polpa. **Educação e ciência**, p. 1–4, 2016.

XU, B.J.; CHANG, S.K. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. **Journal of Food Science**, v.72, S159-166, 2007

ZHANG, H. J., Wang, L., & Guo, X. N. (2012). Preparation and functional properties of ricebran proteins from heat-stabilized defatted rice bran. **Food Research International**, 47, 359–363. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.08.014>

## 7. CONCLUSÃO GERAL

Devido as características de perecibilidade dos cogumelos comestíveis, o uso da secagem é uma alternativa para a sua deterioração, onde predomina o uso esta tecnologia para sua conservação. Apesar das diferenças nos aspectos físicos e nutricionais entre as diferentes espécies de cogumelos comestíveis e independentemente do método de secagem utilizado, é necessário o desenvolvimento de um pré-tratamento para otimizar o processo de secagem, considerando uma maior retenção de compostos nutricionais e funcionais como alternativa aliada aos aspectos econômicos e operacionais.

Os resultados apresentados no presente estudo evidenciam que o método de secagem em camada de espuma é uma alternativa eficiente para a manutenção e prolongamento do armazenamento do resíduo sólido de cogumelo *A. Bisporus*. Contudo, são necessários estudos mais amplos que comprovem e validem a possível aplicação do do resíduo de *Agaricus bisporus* secos através desta metodologia em diferentes matrizes alimentícias, avaliando seu shelf life e contribuição nutricional e tecnológica, cooperando assim para a expansão da cadeia de suprimentos da indústria de cogumelos comestíveis.