

## SECAGEM DE COGUMELOS COMESTÍVEIS COMO PRÁTICA SUSTENTÁVEL

DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020830-846>

**Davi Scharf Higino da Silva<sup>1</sup>**

**Thaynã Gonçalves Timm<sup>2</sup>**

**Tania Maria Costa<sup>3</sup>**

**Cristiane Vieira Helm<sup>4</sup>**

**Lorena Benathar Ballod Tavares<sup>5</sup>**



### RESUMO

Resíduos sólidos agroindustriais, que podem gerar impactos negativos à sustentabilidade ambiental, são empregados como biomassa lignocelulósica para produção comercial de cogumelos comestíveis, um alimento de alta qualidade nutricional e terapêutica. No entanto, estes fungos comestíveis são altamente perecíveis e o processo de secagem apresenta-se como alternativa para sua armazenagem segura. Neste trabalho foram investigados os efeitos da temperatura de secagem (35°C e 55°C) do micélio do fungo comestível *Lentinus crinitus* cultivado em meio sintético utilizando cinética de secagem. Curvas experimentais de secagem foram obtidas em períodos crescentes até a obtenção de massa constante, empregando estufa de circulação. Os micélios secos a 55°C demandaram menor tempo de processo e, conseqüente, redução do consumo energético, sem comprometimento das funções biológicas do fungo. Os modelos matemáticos (Empíricos e Semi-empíricos) testados se ajustaram as curvas de ambas as temperaturas. Porém, os melhores ajustes foram o modelo Page para 35°C e o modelo Midilli para 55°C. Com base nas equações dos modelos, os resultados indicaram que o tempo para secagem do fungo será de aproximadamente 70 minutos, nas condições geométricas da amostra empregada, quando realizado em temperaturas próximas de 55°C.

**Palavras-chave:** Basidiomicetos. Desidratação. Desenvolvimento sustentável. *Lentinus crinitus*.

<sup>1</sup> Discente de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Regional de Blumenau (FURB). E-mail: [davi.scharf@hotmail.com](mailto:davi.scharf@hotmail.com)

<sup>2</sup> Discente de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Regional de Blumenau (FURB). E-mail: [ttimm@furb.br](mailto:ttimm@furb.br)

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail: [tmcosta02@gmail.com](mailto:tmcosta02@gmail.com)

<sup>4</sup> Doutora em Ciência de Alimentos (UFSC), Pesquisadora A da Embrapa Florestas - Colombo/PR. E-mail: [cristiane.helm@embrapa.br](mailto:cristiane.helm@embrapa.br)

<sup>5</sup> Bolsista de Produtividade Desen. Tec. e Extensão Inovadora 1D. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB). E-mail: [lorena@furb.br](mailto:lorena@furb.br)

# EDIBLE MUSHROOM DRYING PROCESS AS A SUSTAINABLE PRACTICE

## ABSTRACT

Agro-industrial solid waste that may negatively affect environmental sustainability are used as lignocellulosic biomass in commercial edible mushroom production, a high-quality food with nutritional and therapeutic properties. However, these edible fungi are highly perishable and the drying process is an alternative for safe storage. This study aimed to investigate the drying temperature effect (35°C and 55°C) on mycelia of the edible fungi *Lentinus crinitus* cultivated on synthetic culture medium using the drying kinetics. The experimental drying curves were obtained in the increasing period until the constant mass of the sample using an oven with air circulation. The mycelia dried at 55°C have the least process time and, consequently, there is a reduction of energetic consumption, probably with no impair on the fungi's biological functions. All the mathematic models (empiric and semi-empiric) were fit on the drying curves for both studied temperatures. However, the best fitting was by Page model at 35°C and Midilli model at 55°C. The model equations indicated that the optimum drying time at 55°C is 70 minutes in the geometric conditions of the sample.

**Key words:** Basidiomycete. Dehydration. Sustainable development. *Lentinus crinitus*.

## 1 INTRODUÇÃO

Resíduos sólidos agroindustriais são gerados em quantidades expressivas em todo o mundo. Grande parte destes resíduos são descartados de maneira inadequada, causando impactos ambientais negativos (TSEGAYE; TEFERA, 2017). A alta carga orgânica e os diversos tipos de nutrientes presentes neste tipo de resíduo, acabam dificultando o seu manejo adequado (KAMTHAN; TIWARI, 2017). Nesta perspectiva, há uma busca contínua de métodos sustentáveis para gestão de resíduos sólidos agroindustriais, de custo apropriado e que contribuem para a diminuição da poluição ambiental. Dentre estes métodos, a utilização de resíduos agroindustriais como substrato para cultivo de fungos basidiomicetos vêm se destacando (KAMTHAN; TIWARI, 2017). Por serem ricos em material lignocelulósico, estes resíduos são

bioconvertidos pelos cogumelos, podendo gerar produtos de alto valor agregado (KAMTHAN; TIWARI, 2017; TSEGAYE; TEFERA, 2017).

Além de serem fundamentais para o equilíbrio ambiental, auxiliando na redução de impactos ambientais pela decomposição e ciclagem dos nutrientes da natureza (ABREU *et al.*, 2015; JUDD *et al.*, 2009), os cogumelos comestíveis são alimentos de alta qualidade nutricional e terapêutica. Estes fungos contém alto valor nutricional, com significativas quantidades de proteínas, fibra alimentar, minerais e vitaminas (SARI *et al.*, 2017),  $\beta$ -glucanas, hemiceluloses, matérias pécticas, aminoácidos essenciais e carboidratos, incluindo quitina, glicogênio, trealose e manitol, além de apresentarem baixos níveis calóricos e lipídicos (HENRIQUES *et al.*, 2016; VALVERDE, HERNÁNDEZ-PÉREZ & PAREDES-LÓPEZ, 2015).

Além de seu valor nutricional, distintos cogumelos contêm compostos com propriedades medicinais (JULIAN; REYES; EGUCHI, 2018) e são utilizados na prevenção de doenças como hipertensão, hipercolesterolemia, câncer e diabetes. Possuem elevadas atividades antioxidante e antimicrobiana, podendo ser ainda utilizados para controlar o colesterol, inibir o desenvolvimento de tumores e funcionar como imunomoduladores (VAZ *et al.*, 2010). Dentre as espécies de cogumelos, o fungo comestível e medicinal *Lentinus crinitus* com distribuição pantropical e neotropical, consumido por grupos étnicos da Amazônia, vem sendo estudado e reportado como grande produtor de enzimas e polissacarídeos bioativos (FARIA *et al.*, 2019). Comparado com outros fungos comestíveis, este é considerado um dos cogumelos medicinais com maior atividade antioxidante (FARIA *et al.*, 2011), sendo seu crescimento micelial vigoroso em diferentes condições de cultivo e substratos, desde materiais com açúcares simples até complexos lignocelulósicos (SANTANA *et al.*, 2018).

Pouco se tem estudado o fungo *Lentinus crinitus* e suas propriedades bioativas, o que estimula o desenvolvimento de pesquisas desta espécie em virtude de seu potencial biológico e terapêutico. No entanto, fungos comestíveis são altamente perecíveis, estando sujeitos a mudanças microbiológicas e bioquímicas muito rápidas (NIKSIC; KLAUS; ARGYROPOULOS, 2016), além de constituir um obstáculo para distribuição e comercialização (TIAN *et al.*, 2016). Pela importante bioatividade destes fungos e para aumentar sua vida de prateleira, métodos adequados de preservação precisam ser estudados. Dentre

os processos de conservação, a secagem ou desidratação mostra-se como alternativa, pois reduz a umidade do produto significativamente, mantendo a qualidade e proporcionando armazenagem prolongada, segura e com proliferação de microrganismos reduzida (SHUKLA; SINGH, 2007).

O mecanismo de secagem consiste na remoção da umidade, no qual ocorre a transferência simultânea de calor e massa, levando a diminuição da atividade de água no produto, evitando assim a deterioração e contaminação durante o armazenamento. Nesse sentido, a cinética de secagem é crucial para a otimização do processo, auxiliando no controle dos parâmetros operacionais (VEGA-GÁLVEZ *et al.*, 2014).

Dentro desta perspectiva, o objetivo deste estudo foi realizar a cinética de secagem do micélio do fungo *Lentinus crinitus*, por meio da construção de curvas de secagem, visando verificar o comportamento do processo como alternativa de conservação da espécie em futuros cultivos envolvendo materiais lignocelulósicos, permitindo assim sua comercialização segura. Além disso, modelos matemáticos encontrados na literatura foram ajustados às curvas de secagem, visando descrever o comportamento de secagem de *Lentinus crinitus* nas condições de tempo e temperatura, facilitando processos experimentais futuros, estabelecendo um tempo de secagem ideal e viabilizando a escolha de parâmetros importantes para o processo na indústria.

## 2 METODOLOGIA

O fungo isolado *Lentinus crinitus* (EF 58), pertencente a coleção de fungos basidiomicetos da Embrapa Florestas, foi cultivado em placas de Petri contendo meio de cultivo modificado de Rubel *et al.*, (2014) descrito na Tabela 1, incubado em BOD à  $27\pm 1^{\circ}\text{C}$  até o crescimento radial completo do micélio. Após este período, as placas foram armazenadas sob refrigeração a  $4^{\circ}\text{C}$  para futuros ensaios de cultivo em sistema de fermentação submersa (FSm).

Tabela 1: Composição do meio de cultivo utilizado para o crescimento de *Lentinus crinitus*.

Reagente	g L <sup>-1</sup>
Glicose	35,000
Peptona	5,000
Extrato de levedura	2,500
Fosfato dipotássico	0,883
Sulfato de magnésio hepta hidratado	0,500
Ágar ágar	15,000

Fonte: Modificado de Rubel *et al.*, (2014).

Cultivos de *L. crinitus* por FSm foram realizados em frascos cilíndricos de 500 mL contendo 100 mL de meio de cultura sintético (Tabela 1) com ausência de ágar, esterilizados em autoclave a 121°C±1°C e 1 atm por 15 minutos.

A inoculação foi realizada pelo método de fragmentação do micélio, que consistiu em triturar uma placa fúngica totalmente colonizada em 100 mL de água destilada utilizando liquidificador laboratorial e adicionando 20 mL desta suspensão em cada frasco contendo o meio de cultura sintético. Posteriormente, os frascos foram incubados em estufa BOD, à 27°C±1°C, durante 7 dias. Após o período de incubação, o micélio desenvolvido em cada frasco foi separado do líquido por filtração à vácuo para posterior processo de secagem.

## 2.1 Cinética de secagem de *L. crinitus*

Os micélios de *L. crinitus* foram pesados em papel filtro, previamente secos e pesados, e acondicionados em um suporte de aço inoxidável adaptado para um sistema de pesagem em tempo real, no qual uma balança analítica foi acoplada a uma estufa com circulação mecânica de ar. No interior da estufa, o suporte permaneceu suspenso e interligado a balança durante todo o tempo de secagem, possibilitando a pesagem das amostras nos intervalos de tempo pré-determinados sem a necessidade de retirá-las da estufa.

As temperaturas testadas foram 35°C e 55°C, em duplicata, baseado em estudo com outras espécies de cogumelos (WAKCHAURE *et al.*, 2010). Além disso, foi considerado que o teor de polissacarídeos diminuiu em processo de secagem a 60°C (WANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2014). Neste caso, como diversos compostos bioativos e nutrientes são polissacarídeos, estes podem ser afetados por temperaturas maiores que 55°C.

Após a temperatura da estufa atingir o estado estacionário, as amostras foram acondicionadas no suporte para a secagem. Iniciou-se com a medição da massa, que foi acompanhada em intervalos de cinco minutos, até tornar-se constante. Os valores obtidos foram utilizados para o cálculo da umidade de equilíbrio e posterior ajuste de modelos matemáticos.

## 2.2 Cálculo da umidade de equilíbrio e construção das curvas de secagem

Para construção das curvas de secagem e cálculo da umidade de equilíbrio das amostras, as umidades em base úmida (U) e em base seca (X) para cada temperatura estudada foram determinadas, utilizando as Equações 1 e 2 respectivamente (GEANKOPLIS, 1993).

Equação 1. Cálculo da umidade em base úmida.

$$U (\%bu) = \frac{\text{Massa de água}}{\text{Massa total}} * 100$$

Equação 2. Cálculo da umidade em base seca.

$$X (\%bs) = \frac{U}{100 - U}$$

Onde: U é a umidade em base úmida; X é a umidade em base seca.

Um gráfico do teor de umidade em base seca (X) em função do tempo de secagem (t) foi plotado e a equação polinomial obtida foi derivada em relação ao tempo. Desta forma, foi determinado o ponto em que a umidade se aproxima da umidade de equilíbrio, àquela na qual a taxa de secagem tende a zero e é a menor umidade atingível em condições de secagem determinadas (DUANGKHAMCHAN; WISSET; POOMSA-AD, 2013).

Plotou-se um gráfico de velocidade de secagem (-dX/dt) em função do teor de umidade em base seca (X), utilizando a equação obtida pela regressão linear dos dados no período de velocidade decrescente para calcular a umidade de equilíbrio (X<sub>e</sub>) (GEANKOPLIS, 1993).

Posteriormente, os dados foram convertidos para umidade adimensional ( $X_r$ ), conforme a Equação 3, para construção das curvas de secagem normalizadas (teor de umidade *versus* tempo) para cada temperatura estudada (GEANKOPLIS, 1993) e posterior ajuste de modelos matemáticos.

Equação 3. Cálculo da umidade adimensional.

$$X_r = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e}$$

Onde:  $X$  é a umidade instantânea em base seca;  $X_r$  é a umidade adimensional;  $X_0$  é a umidade inicial em base seca;  $X_e$  é a umidade de equilíbrio em base seca (atingida no estado estacionário da secagem).

### 2.3 Ajuste de modelos matemáticos

Após a construção das curvas de secagem, o ajuste de modelos matemáticos empíricos e semi-empíricos foi realizado, para cada temperatura estudada, por regressão não linear. Desta forma, pode-se estabelecer equações preditivas para o processo de secagem. Dentre os modelos propostos na literatura para o estudo de ajuste a cinética de secagem de produtos naturais, existem alguns utilizados mais frequentemente (ZHANG *et al.*, 2016), sendo selecionados para este estudo àqueles descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Modelos matemáticos utilizados para a modelagem da secagem de *L. crinitus*.

Modelo	Equação
Diffusion Approach	$X_r = ae^{-kt} + (1-a) e^{-kbt}$
Page	$X_r = e^{-ktn}$
Logarithmic	$X_r = a_0 + ae^{-kt}$
Midilli	$X_r = ae^{-ktn} + bt$

Legenda:  $X_r$  = umidade adimensional; “a”, “b”, “k” e “n” = constantes do modelo; t = tempo de secagem.

Os modelos ajustados às curvas foram comparados de modo a identificar o modelo que representa mais satisfatoriamente a perda de umidade do produto

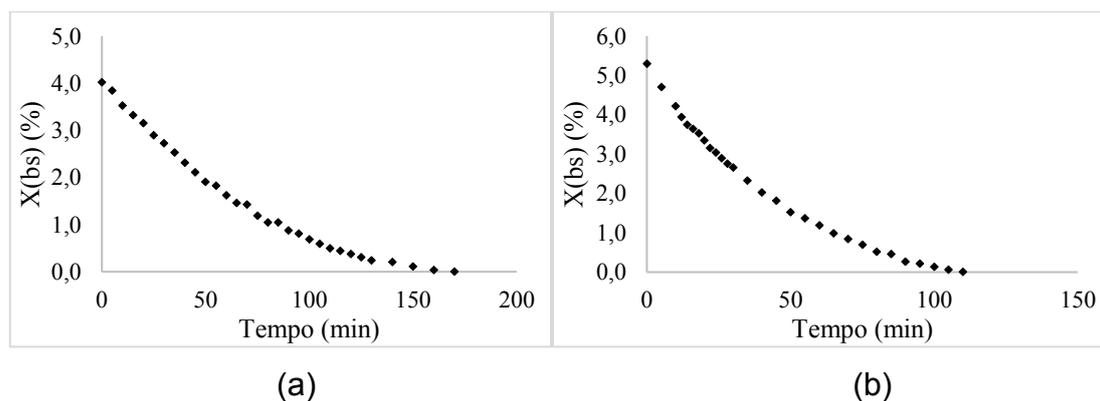
durante o período de secagem, utilizando como parâmetro maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Secagem dos micélios de *L. crinitus*, cálculo da umidade de equilíbrio e construção das curvas de secagem

Após a determinação da umidade em base úmida e em base seca das amostras de *L. crinitus* obtidas com os dados experimentais do processo de secagem a 35°C e 55°C, foi possível representar a dinâmica de secagem plotando um gráfico do teor de umidade em base seca ( $X$ ) em função do tempo de secagem ( $t$ ), conforme mostrado na Figura 1a (35°C) e 1b (55°C).

Figura 1: Variação da umidade do micélio de *L. crinitus* em função do tempo de secagem para 35°C (a) e 55°C (b).



Analisando o comportamento da umidade em base seca das amostras ao longo do tempo de secagem (Figura 1a e 1b), constatou-se diminuição contínua desta variável ao longo do tempo, de forma exponencial. Houve rápida redução de umidade ou perda de água das amostras no início da secagem, devido a evaporação da umidade superficial (WANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2014) e ao alto gradiente de transferência de calor entre o ar e a amostra (SALEHI; KASHANINEJAD; JAFARIANLARI, 2017). Um período de decaimento lento, tendendo à zero, foi observado após 120 min (Figura 1a) e 90 min (Figura 1b).

Além disso, é evidente que a temperatura de secagem tem efeito significativo sobre o tempo de secagem total. Comparando as curvas na Figura 1, nota-se que há redução do tempo de secagem conforme aumento da temperatura, mostrando relação inversa entre tempo e temperatura. Este comportamento pode ser atribuído ao fato de altas temperaturas aumentarem a força motriz da transferência de massa e acelerar a taxa de difusão de vapor d'água (LIAPIS *et al.*, 1996; PEI *et al.*, 2014).

A temperatura e o tempo são parâmetros de extrema importância para a manutenção da qualidade de frutas, vegetais e cogumelos, durante o processo de secagem (QI *et al.*, 2014). Temperaturas muito altas podem resultar na perda de propriedades biológicas e nutricionais e características como textura, cor e sabor (DAS; ARORA, 2018; QI *et al.*, 2014) e temperaturas muito baixas aumentam o tempo de secagem, resultando em alto consumo de energia (DAS; ARORA, 2018). Isto implica na seleção cuidadosa destes parâmetros em um processo em escala industrial, considerando, o consumo energético, a viabilidade técnica e econômica e a manutenção das características desejadas do produto.

Estudos envolvendo secagem de *L. crinitus* são pouco reportados na literatura. No entanto, o comportamento de secagem observado neste estudo se assemelha aos encontrados em estudos de secagem no qual se empregam diferentes métodos, temperaturas e espécies de cogumelos comestíveis, tanto para seus micélios quanto para os corpos de frutificação. A cinética de secagem do micélio de *L. crinitus* mostrou-se semelhante à de *Agaricus bisporus* em sistema integrado de micro-ondas e secagem convectiva a 60°C (DAS; ARORA, 2018), liofilização e liofilização combinada com secagem a vácuo em micro-ondas a 20, 30 e 40°C (PEI *et al.*, 2014), secador de leite fluidizado a 45, 55 e 65°C (WAKCHAURE *et al.*, 2010); *Pleurotus ostreatus* a 50, 60 e 70°C (TULEK, 2011); *Calocybe indica* em secador de leite fluidizado a 50, 55 e 60°C (ARUMUGANATHAN *et al.*, 2009); *Lentinus squarrosulus* Mont. e *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Singer, utilizando secador de ar quente controlado a 40, 50 e 60°C (DUANGKHAMCHAN; WISET; POOMSA-AD, 2013); além de *L. edodes*, utilizando Secagem por Ar Quente, Secagem por Infravermelho Intermediário, Secagem por Cama de Jato de Micro-ondas a Vácuo a 50, 60 e 70°C (QI *et al.*, 2014), Secagem isotérmica a 55°C (GUO *et al.*, 2014) e em secador com controle

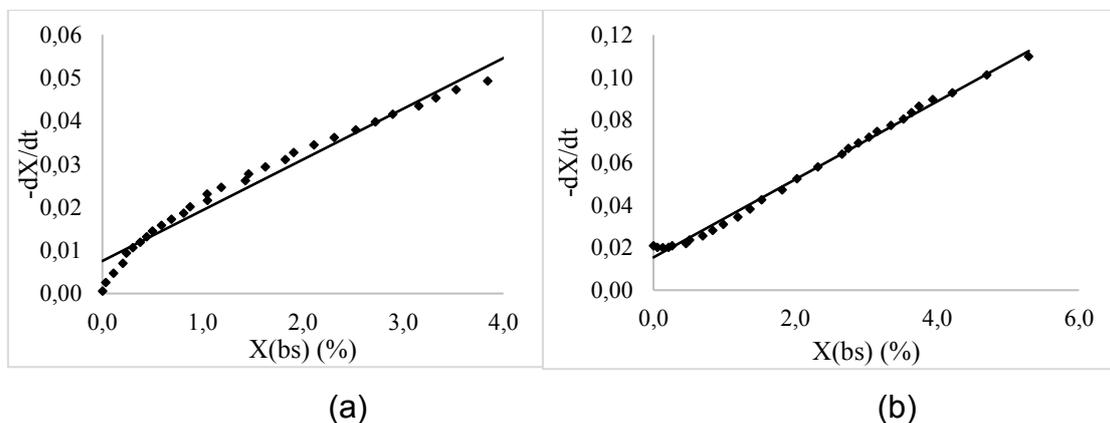
de temperatura 50 e 70°C (SAMPAIO; QUEIROZ, 2006). Portanto, pode-se sugerir que o comportamento apresentado é característico de secagem de cogumelos.

Como a umidade desempenha um papel importante sobre a qualidade e composição do produto, é necessário conhecer a umidade de equilíbrio (GEANKOPLIS, 1993). Esta determinação permite avaliar e obter condições ótimas do processo de secagem e armazenamento do produto, que se manterá estável, com vida de prateleira prolongada e com menor risco de contaminações microbiológicas.

Para encontrar a umidade de equilíbrio, as equações polinomiais obtidas das curvas de secagem a 35°C e 55°C (Figura 1) foram derivadas em relação ao tempo. Plotou-se, então, um gráfico da velocidade de secagem ( $-dX/dt$ ) em função do teor de umidade em base seca ( $X$ ) para cada temperatura (Figura 2a e 2b). A umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) pode, assim, ser calculada, por meio da regressão linear dos dados no período de velocidade decrescente (GEANKOPLIS, 1993).



Figura 2: Variação da velocidade de secagem em função do teor de umidade em base seca, para secagem de *L. crinitus* a 35°C (a) e 55°C (b).



Os gráficos da Figura 2a e 2b indicam aumento proporcional entre a velocidade de secagem e a temperatura. Percebe-se que a secagem ocorre no período de queda de velocidade durante todo o processo, com ausência de período de taxa de secagem constante. Este comportamento indica que a perda de umidade do micélio ocorre por meio da transferência de massa interna por difusão (GEANKOPLIS, 1993; WANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2014). Portanto, a

difusão é o mecanismo físico predominante, governando o movimento da umidade nas amostras (TULEK, 2011). Da mesma forma, este comportamento foi observado em estudos com diferentes espécies de cogumelos, como *Lentinula edodes* (WANG; ZHANG; MUJUMDAR, 2014), *Pleurotus ostreatus* (TULEK, 2011) e *Agaricus bisporus* (WAKCHAURE, 2010).

### 3.2 Ajuste de modelos matemáticos

Após o ajuste dos modelos matemáticos aos dados obtidos experimentalmente, constatou-se que todos os modelos testados se ajustaram às curvas de ambas as temperaturas estudadas, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,96.

Porém, os melhores ajustes foram o modelo Page para 35°C e o modelo Midilli para 55°C, cujos ajustes às respectivas curvas podem ser observados na Figura 3a (35°C) e 3b (55°C). Estes modelos se destacaram devido a representação da perda de umidade do produto durante o tempo de secagem ser mais satisfatória, considerando o ajuste aos dados experimentais e utilizando como parâmetro estatístico maior  $R^2$ .

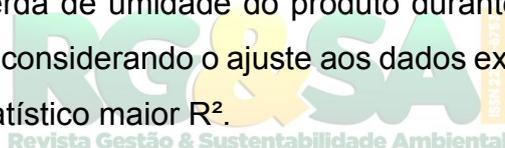
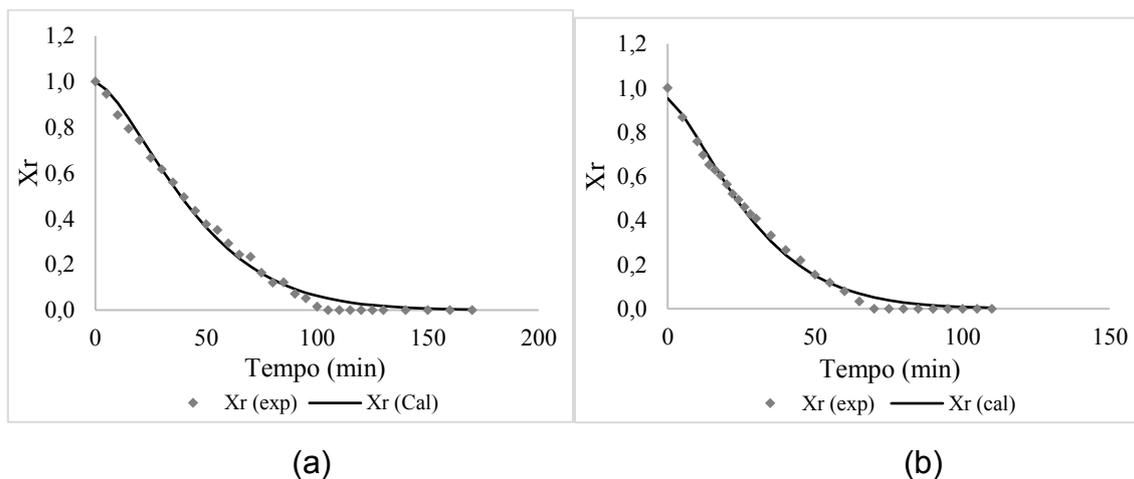


Figura 3: Ajuste dos modelos de Page para 35 °C (a) e Midilli para 55 °C (b) nas curvas de secagem de *L. crinitus*.



Legenda:  $X_r$  (exp) = curva de secagem experimental;  $X_r$  (cal) = ajuste do modelo matemático; (a)  $R^2 = 0,993$ ; (b)  $R^2 = 0,994$ .

Com base nas equações dos modelos, os resultados indicaram que o tempo para secagem do fungo será de aproximadamente 70 minutos, nas condições geométricas da amostra empregadas, quando realizado em temperaturas próximas de 55°C e cerca de 110 minutos para 35°C.

Os modelos de Page e Midilli podem representar a cinética de secagem do fungo *L. crinitus* nas condições de secagem realizadas neste estudo. Estes mesmos modelos também se adequaram aos dados experimentais de diversos autores para diferentes espécies de cogumelos, como para *L. edodes* (ARTNASEAW *et al.*, 2010; RHIM & LEE, 2011; SALEHI, KASHANINEJAD & JAFARIANLARI, 2017), *Agaricus bisporus* (IZLI; ISIK, 2014; PEI *et al.*, 2014) e *Pleurotus ostreatus* (TULEK, 2011), corroborando com o presente estudo.

Os modelos matemáticos descritos na literatura: Modified Page (KANTRONG; TANSAKUL; MITTAL, 2014), Two term (DUANGKHAMCHAN; WISET; POOMSA-AD, 2013) e Midilli-kucuk (GUO *et al.*, 2014), mostraram ajustes adequados aos dados experimentais. No entanto, estes modelos divergiram dos resultados encontrados neste estudo. Estas diferenças podem ser decorrentes, das condições de secagem nos quais as amostras foram submetidas: velocidade do ar, dimensões do material a ser seco, distribuição do material, precisão das balanças, metodologia utilizada para as regressões e tipo de cogumelo utilizado.

A cinética de secagem pode ser utilizada para descrever os mecanismos macroscópicos e microscópicos de transferência de calor e massa durante o processo da secagem, e os modelos matemáticos vem sendo aplicados para descrever e prever a cinética de secagem (PEI *et al.*, 2014). Assim, deve-se utilizar modelos pré-determinados com cautela, de modo a analisar o conjunto de dados, amostras e parâmetros a serem estudados, sempre observando as particularidades de cada caso. A escolha adequada de modelos de secagem é importante por auxiliar no dimensionamento de equipamentos, otimização de processos, bem como na melhoria da qualidade de produtos (SALEHI; KASHANINEJAD; JAFARIANLARI, 2017; ZHANG *et al.*, 2016).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O cultivo de cogumelos comestíveis e medicinais pode ser uma alternativa efetiva para a sustentabilidade ambiental, reduzindo impactos ambientais negativos e gerando produtos com valor agregado pela bioconversão de resíduos sólidos agroindustriais lignocelulósicos. Os cogumelos, além da importância ecológica em processos de biotransformação, são organismos de grande interesse biotecnológico, na produção de enzimas de interesse industrial e comercial para uso em processos de biodegradação e tratamento biológico de efluentes.

Portanto, os estudos de aplicação de técnicas de secagem para aumentar a vida de prateleira e manter a qualidade de produtos contendo cogumelos possui papel importante do ponto de vista comercial. Como estes microrganismos são muito sensíveis a diversos fatores físicos, é importante escolher, por exemplo, a temperatura de secagem ideal, que mantenha suas propriedades. Nas condições estudadas, o teor de umidade das amostras de *L. crinitus* possibilitam retardar a deterioração, possivelmente sem haver perda dos nutrientes e das propriedades bioativas por ação da temperatura do processo de secagem, havendo necessidade de estudos adicionais para comprovação.

Além disso, deve-se destacar que conhecer a cinética de secagem é um fenômeno complexo, sendo influenciada por diversos fatores que se interconectam de forma não linear. Assim, utilizam-se modelos matemáticos para conhecer e prever o comportamento da umidade durante o processo de secagem. Nas condições estudadas, os modelos que melhor se ajustaram aos dados experimentais foram o de Page, para 35°C, e o de Midilli, para 55°C, descrevendo satisfatoriamente a cinética de secagem do *L. crinitus* nas condições experimentais estudadas. Portanto, este estudo poderá fornecer subsídios para melhorar a qualidade e a vida útil do produto obtido na produção de cogumelos comestíveis/medicinais em resíduos agroindustriais, com posterior secagem para comercialização, de forma sustentável.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem os recursos oriundos da Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. A autora L.B.B. Tavares é bolsista do

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 9, n. esp , p. 830-846, fev. 2020

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). A autora T.G. Timm é bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado (FAPESC/SC – Brasil).

## REFERÊNCIAS

ABREU, J.A.S.; ROVIDA, A.F.S.; PAMPFILE, J.A. Fungos de interesse: aplicações biotecnológicas. **UNINGÁ Review**, v.21, p.55-59, 2015.

ARTNASEAW, A.; THEERAKULPISUT, S.; BENJAPIYAPORN, C. Drying characteristics of Shiitake mushroom and Jinda chili during vacuum heat pump drying. **Food and Bioproducts Processing**, v.88, p.105–114, 2010.

ARUMUGANATHAN, T.; MANIKANTAN, M.R.; RAI, R.D.; ANANDAKUMAR, S.; KHARE, V. Mathematical modeling of drying kinetics of milky mushroom in a fluidized bed dryer. **International Agrophysics**, v.23, p.1-7, 2009.

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.

DUANGKHAMCHAN, W.; WISSET, L.; POOMSA-AD, N. Evaluation Of Drying And Moisture Sorption Characteristics Models For Shiitake Mushroom (*Lentinussquarrosulus* Mont.) And Grey Oyster Mushroom (*Pleurotussajor-caju* (Fr.) Singer). **Suranaree Journal of Science and Technology**, v.20, p.151-166, 2013.

FARIA, M.G.I.; AVELINO, K.V.; VALLE, J.S.; SILVA, G.J.; GONÇALVES, A.C.JR.; DRAGUNSKI, D.C.; COLAUTO, N.B.; LINDE, G.A. Lithium bioaccumulation in *Lentinus crinitus* mycelial biomass as a potential functional food. **Chemosphere**, v.235, p.538-542, 2019.

GEANKOPLIS, C.J. **Transport processes and unit operations**, 3rd ed., Englewood Cliffs: Prentice Hall, NJ, 1993.

GUO, X.H.; XIA, C.Y.; TAN, Y.R.; CHEN, L.; MING, J. Mathematical Modeling and Effect of Various Hot-Air Drying on Mushroom (*Lentinus edodes*). **Journal of Integrative Agriculture**, v.13, p.207-216, 2014.

HENRIQUES, G.S.; HELM, C.V.; BUSATO, A.P.; SIMEONE, M.L.F. Lipid profile and glycemic response of rats fed on a semi-purified diet supplemented with *Agaricus brasiliensis* mushroom. **Acta Scientiarum, Health Sciences**, v.38, p.71-79, 2016.

IZLI, N.; ISIK, E. Effect of different drying methods on drying characteristics, colour and microstructure properties of mushroom. **Journal of Food and Nutrition Research**, v.53, p.105–116, 2014.

JUDD, W.S.; CAMPBELL, C.S.; KELLOGG, E.A.; STEVENS, P.F.; DONOGHUE, M.J. **Sistemática vegetal: um enfoque filogenético**, 3rd ed., Artmed, Porto Alegre/RS/Brazil, 2009.

JULIAN, A.V.; REYES, J.R.; EGUCHI, F. Agro-Industrial Waste Conversion Into Medicinal Mushroom Cultivation. **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**, Elsevier, 2018.

KAMTHAN, R.; TIWARI, I. Agricultural Wastes- Potential Substrates For Mushroom Cultivation. **European Journal of Experimental Biology**, v.7, p.1-4, 2017.

KANTRONG, H.; TANSAKUL, A.; MITTAL, G.S. Drying characteristics and quality of shiitake mushroom undergoing microwave-vacuum drying and microwave-vacuum combined with infrared drying. **Journal of Food Science and Technology**, v.51, p.3594–3608, 2014.

LIAPIS, A.; PIM, M.; BRUTTINI, R. Research and development needs and opportunities in freeze drying. **Drying Technology**, v.14, p.1265–1300, 1996.

NIKSIC, M.; KLAUS, A.; ARGYROPOULOS, D. Chapter 22 - Safety of Foods Based on Mushrooms. **Regulating Safety of Traditional and Ethnic Foods**, Elsevier, p.421-439, 2016.

PEI, F.; SHI, Y.; MARIGA, A.M.; YANG, W.J.; TANG, X.Z.; ZHAO, L.Y.; AN, X.X.; HU, Q.H. 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, p.1629–1639, 2014.

QI, L.L.; ZANG, M.; MUJUMDAR, A.S.; MENG, X.Y.; CHEN, H.Z. Comparison of Drying Characteristics and Quality of Shiitake Mushrooms (*Lentinus edodes*) Using Different Drying Methods. **Drying Technology**, v.32, p.1751–1761, 2014.

RHIM, J-W.; LEE J.H. Drying kinetics of whole and sliced shiitake mushrooms (*Lentinus edodes*). **Food Science and Biotechnology**, v.20, p.419–427, 2011.

RUBEL, R.; SANTOS, L.F.; SANTA, H.S.D.; VANDENBERGHE, L.P.S.; WOICIECHOWSKI, A.L.; CARVALHO, J.C.; HABU, S.; VÍTOLO, F.M.D.;  
R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 9, n. esp , p. 830-846, fev. 2020

AUGUR, C.; SOCCOL, C.R. Analysis and glycosyl composition of the exopolysaccharide isolated from submerged fermentation of *Ganoderma lucidum* CG144. **Acta Societatis Botanicorum Poloniae**, v.83, p.239-241, 2014.

SALEHI, F.; KASHANINEJAD, M.; JAFARIANLARI, A. Drying kinetics and characteristics of combined infrared- vacuum drying of button mushroom slices. **Heat and Mass Transfer**, v.53, p.1751–1759, 2017.

SAMPAIO, S.M.; QUEIROZ, M.R. Influência Do Processo De Secagem Na Qualidade Do Cogumelo Shiitake. **Engenharia Agrícola**, v.26, p.570-577, 2006.

SANTANA, T.T.; LINDE, G.A.; COLAUTO, N.B.; VALLE, J.S. Metallic-aromatic compounds synergistically induce *Lentinus crinitus* laccase production. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v.16, p.625–630, 2018.

SARI, M.; PRANGE, A.; LELLEY, J.I.; HAMBITZER, R. Screening of beta-glucan contents in commercially cultivated and wild growing mushrooms. **Food Chemistry**, v.216, p.45-51, 2017.

SHUKLA, B.D.; SINGH, S.P. Osmo-convective drying of cauliflower, mushroom and greenpea. **Journal of Food Engineering**, v.80, p.741-747, 2007.

TIAN, Y.; ZHAO, Y.; HUANG, J.; ZENG, H.; ZHENG, B. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms. **Food Chemistry**, v.197, p.714-722, 2016.

TSEGAYE, Z.; TEFERA, G. Cultivation of Oyster Mushroom (*Pleurotostreatus Kumm*, 1871) using Agro-Industrial Residues. **Journal of Applied Microbiological Research**, v.1.1, p.01-06, 2017.

TULEK, Y. Drying Kinetics of Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in a Convective Hot Air Dryer. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.13, p.655-664, 2011.

VALVERDE, M.E.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, T.; PAREDES-LÓPEZ, O. Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. **International Journal of Microbiology**, v.7, p.1-13, 2015.

VAZ, J.A.; HELENO, S.A.; MARTINS, A.; ALMEIDA, G.M.; VASCONCELOS, M.H.; FERREIRA, I.C.F.R. Wild mushrooms *Clitocybe alexandri* and *Lepista inversa*: In vitro antioxidant activity and growth inhibition of human tumour cell lines. **Food and Chemical Toxicology**, v.48, p.2881-2884, 2010.

VEGA-GÁLVEZ, A.; PUENTE-DÍAZ, L.; LEMUS-MONDACA, R.; MIRANDA, M.; TORRES, M.J. Mathematical modeling of thin-layer drying kinetics of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.38, p.728-736, 2014.

WAKCHAURE, G.C.; MANIKANDAN, K.; MANI, I.; SHIRUR, M. Kinetics of Thin Layer Drying of Button Mushroom. **Journal of Agricultural Engineering**, v.47, p.41-46, 2010.

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, p.1791–1802, 2014.

ZHANG, Z.; LIU, Z.; LIU, C.; LI, D.; JIANG, N.; LIU, C. Effects of ultrasound pretreatment on drying kinetics and quality parameters of button mushroom slices. **Drying Technology**, v.34, p.1791–1800, 2016.

